

**Pengantar**  
**MIKROBIOLOGI AIR**

# **Pengantar MIKROBIOLOGI AIR**

**Dra. MM. Sintorini, MS  
Dr. rer. nat. H. Widyatmoko**

Sanksi Pelanggaran Pasal 44  
Undang – Undang Nomor 7 Tahun 1987 Tentang  
Perubahan Atas Undang – Undang Nomor 6 Tahun 1982

Tentang Hak Cipta

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dengan pidana penjara dan/atau denda paling banyak Rp. 100.000.000,- (seratus juta rupiah).
2. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 50.000.000,- (lima puluh juta rupiah).

**Pengantar MIKROBIOLOGI AIR**

**Dra. MM. Sintorini, MS & Dr. rer. nat. H. Widyatmoko**

*Cetakan Pertama: Desember 2001*

*ISBN: 979 – 3047 – 08 – 9*

Penerbit: Abdi Tandur

PT. Dinastindo Adiperkasa Internasional

Jl. Senopati No. 54, Kebayoran Baru

Jakarta 12110

Telp. (021) 7250002

E – mail: [dinastindo@yahoo.com](mailto:dinastindo@yahoo.com)

**Anggota IKAPI**

Dilarang memproduksi buku ini, baik sebagian atau seluruhnya, dalam bentuk dan dengan tujuan apapun baik melalui media elektronik maupun secara mekanis, termasuk fotokopi, rekaman, atau berbagai bentuk penyimpanan dan pengaksesan informasi lainnya, tanpa izin tertulis dari Penerbit. Pembuatan duplikasi buku ini, atau sebagian dari buku ini dengan tujuan apapun, adalah pelanggaran terhadap Undang – undang Hak Cipta R.I.

Perpustakaan Nasional: Katalog dalam Terbitan (KTD)

**Dra. MM. Sintorini, MS & Dr. rer. nat. H. Widyatmoko**

Pengantar MIKROBIOLOGI AIR

oleh: **Dra. MM. Sintorini, MS & Dr. rer. nat. H. Widyatmoko**

Jakarta: Abdi Tandur, 2001

Cet 1, 106 hal.

ISBN: 979 – 3047 – 08 – 9

Pengantar MIKROBIOLOGI AIR

I. **Dra. MM. Sintorini, MS**

II. **Dr. rer. nat. H. Widyatmoko**

## Daftar Isi

Kata Pengantar	
BAB I. Dunia mikroorganisme.....	1
BAB II. Dimana mikroorganisme terdapat.....	7
Pengelompokan.....	8
A. Berdasarkan cara memperoleh energi.....	8
B. Berdasarkan kebutuhan oksigen.....	8
C. Berdasarkan keaktifannya terhadap temperatur.....	9
D. Berdasarkan kisaran pH.....	10
BAB III. Morfologi mikroorganisme .....	11
Bakteri .....	11
Mikrofungi .....	14
Protozoa .....	14
BAB IV. Fisiologi mikroorganisme.....	15
Struktur sel .....	16
Perkembangbiakan.....	26
Syarat fisik untuk pertumbuhan bakteri.....	30
Metabolisme .....	37
BAB V. Jenis-jenis mikroorganisme di air limbah.....	45
BAB VI. Pengolahan air buangan.....	78
Memeriksa kualitas air.....	79
Air buangan .....	80
Tinjauan Lumpur Aktif .....	88
Daftar Pustaka .....	106

## Kata Pengantar

Sebelum ditemukannya mikroskop, dunia mikroorganisme merupakan dunia misteri. Saat inipun bagi sebagian orang dunia jasad renik ini masih tetap dianggap demikian karena untuk melihat jenis makhluk hidup ini perlu menggunakan suatu alat bantu yang disebut mikroskop, sehingga tidaklah mudah untuk mengamatinya. Tetapi banyak hasil kerja, tanda atau bukti kehadiran mikroorganisme yang dapat dilihat dengan mata biasa tanpa alat bantu. Sebab tanpa kehadiran mikroorganisme maka bumi penuh dengan bahan sisa atau sampah.

Buku ini ditujukan untuk peminat yang mempunyai perhatian terhadap kehidupan mikroorganisme. Agar pemahaman lebih baik maka penyajiannya dibuat dengan bahasa yang sederhana agar mudah dimengerti, sehingga mikroorganisme menjadi dunia yang lebih dekat dengan manusia karena kita mengenalnya dengan baik. Semoga buku ini dapat menjadi pegangan yang berguna.

Jakarta, 2001

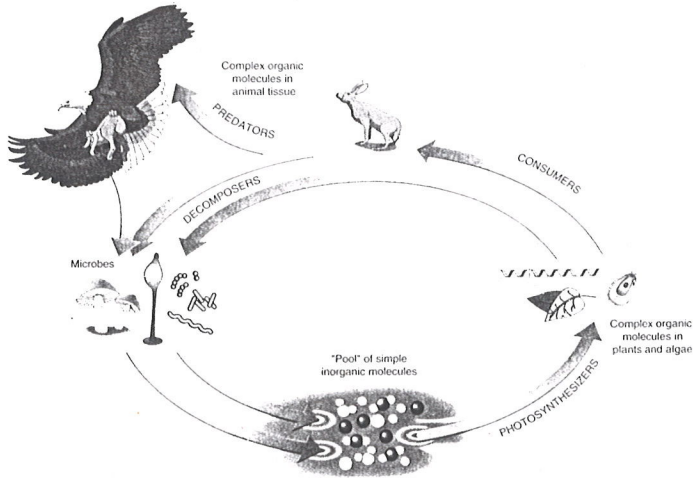
Penulis

## BAB I

### DUNIA MIKROORGANISME

Studi tentang kehidupan organisme yang mempunyai ukuran sangat kecil (mikroorganisme) disebut **mikrobiologi**. Makhluk hidup yang tergolong mikroorganisme adalah bakteri, protozoa, virus, jamur dan ganggang (algae) yang berukuran mikroskopik. Karena ukurannya yang sangat kecil, pengamatan mikroorganisme tidak dapat dilakukan dengan mata telanjang tetapi harus menggunakan alat bantu yang disebut mikroskop. Di dalam mikrobiologi di pelajari bentuk, sifat, kehidupan dan penyebaran mikroorganisme.

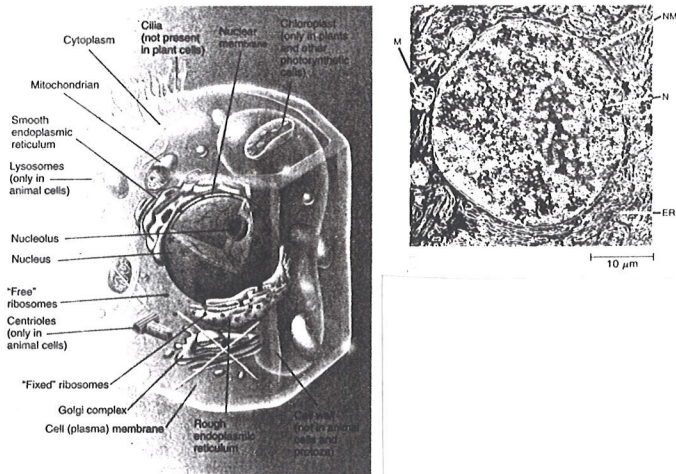
Mikroorganisme mempunyai wilayah hidup yang sangat luas. Hampir di seluruh permukaan bumi terdapat jenis makhluk hidup ini, mulai dari daratan tertinggi sampai laut terdalam. Rentang kehidupan yang sangat luas ini berkaitan dengan peran mikroorganisme dalam kehidupan. Ia berperan dalam menguraikan materi organik menjadi materi anorganik, materi kompleks menjadi sederhana sehingga unsur-unsur alam berputar dalam siklus rantai makanan (*biogeochemical cycle*).



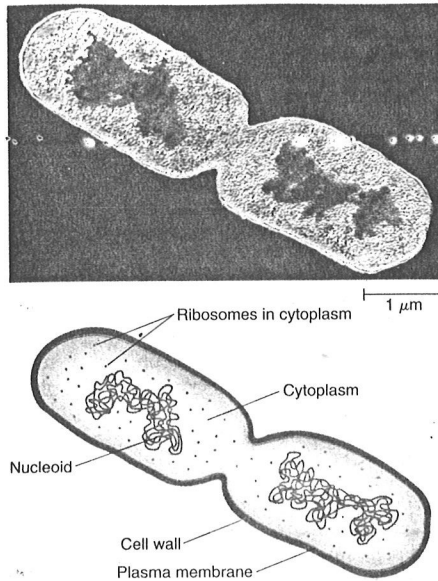
Gambar 1: Siklus biogeokimia

Mikroorganisme bukanlah bentuk miniatur dari sel tumbuhan atau hewan yang besar. Mikroorganisme atau sering disebut mikroba adalah makhluk hidup yang umumnya ber sel satu (unicellular), mempunyai komponen kimia dan struktur internal sendiri. Tahun 1950 ketika ditemukan mikroskop elektron maka mulai dapat dipelajari perbedaan antar mikroorganisme, misalnya antara sel bakteri dan sel organisme lain.

Sel yang mempunyai bentuk inti jelas kemudian disebut sel **eukaryotik** (Eu = benar, karyote = nukleus) sedangkan sel yang mempunyai bentuk inti tidak jelas disebut sel **prokaryotik**. Contoh sel yang termasuk eukaryotik adalah fungi (jamur), algae (ganggang), protozoa dan organisme multiseluler lainnya seperti manusia. Struktur sel eukaryotik ini kemudian menjadi karakteristik tumbuhan, hewan, fungi dan protista (protozoa dan algae). Ciri yang mudah dikenali pada jenis sel eukaryotik adalah nukleusnya terlihat memenuhi sitoplasma. Nukleus (=inti) adalah struktur ikatan membran yang mengandung materi genetik, terdapat pada eukaryote. Sedangkan sitoplasma adalah semacam kandungan cairan didalam sel selain nukleus itu sendiri.



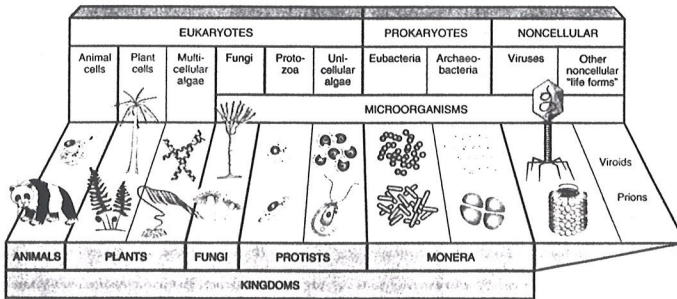
Gambar 2: Struktur sel eukaryotik



Gambar 3. Struktur sel prokaryotik

Pada sel **prokaryotik** nukleus terlihat tidak terbungkus dalam suatu selaput (membrana). Materi *hereditary* (berkaitan dengan perbanyakan diri) tersuspensi di dalam sitoplasma dan disebut nukleoid atau daerah inti, selain itu terdapat juga plasma membran dan ribosome. Sel prokaryotik merupakan ciri sel bakteri, dan terbagi lagi menjadi 2 kelompok yaitu **eubakteria** (eu = true) dan **archaeobacteria** (archae = ancient = kuno). Perbedaan

utama keduanya adalah pada komposisi plasma membrane, dinding sel dan ribosome.



Gambar 4: Pembagian dunia organisme

## BAB II

### DIMANA MIKROORGANISME TERDAPAT

Mikroorganisme ditemukan hampir disemua tempat diseluruh dunia. Mulai dari daerah kutub sampai di sumber air panas dengan temperatur  $90^{\circ}\text{C}$  -  $105^{\circ}\text{C}$ . Beberapa bakteri bahkan ditemukan pada asam sulfat dengan konsentrasi yang dapat mematikan organisme lain. Mikroorganisme dapat hidup pada tubuh manusia dan hewan, tumbuh tersebar mulai dari mulut sampai saluran usus. Jadi manusia dapat hidup bersama-sama dengan mikroorganisme tanpa menyebabkan sakit. Sebagai contoh dalam keadaan tubuh normal didalam usus besar manusia terdapat bakteri lebih banyak 10x dibandingkan bagian tubuh lainnya, tetapi pada darah serta jaringan tubuh yang sehat sama sekali tidak mengandung mikroorganisme.

Jika tubuh tidak sehat maka mikroorganisme pada tubuh akan berkali lipat jumlahnya. Sehingga bahan buangan yang berasal dari sisa aktivitas manusia sering mengandung mikroorganisme penyebab penyakit seperti demam typhoid, disentri, kolera dan penyakit serius lainnya. Penyakit-penyakit ini dapat ditularkan melalui makanan, tanah atau air yang terkontaminasi oleh bakteri fekal (bakteri yang berasal dari buangan manusia). Oleh sebab

itu air buangan dari aktifitas manusia ini harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke perairan umum.

Selain menyebabkan penyakit, ada manfaat yang dapat diambil dari mikroorganisme. Mahluk hidup ini dapat berperan membersihkan lingkungan dari pencemaran. Sering dipakai dalam pengolahan limbah secara biologis. Contoh lain adalah jenis mikroorganisme tertentu yang dapat menyerap minyak sehingga digunakan untuk membersihkan tumpahan minyak dilaut lepas.

#### ◎ PENGELOMPOKKAN:

Karena begitu luas rentang hidup mikroorganisme maka untuk memudahkan identifikasi dan mempelajari sifat-sifatnya, mikroorganisme dikelompokkan menjadi:

##### A. Berdasarkan cara memperoleh energi:

Mikroorganisme memperoleh energi untuk metabolisme dari reaksi fotokimia pada proses fotosintesa, maka disebut mikroorganisme **phototroph** dan umumnya adalah mikroorganisme yang mempunyai klorofil. Ada jenis lain yang mendapatkan energinya dari reaksi kimiawi, sehingga disebut mikroorganisme **chemotroph** / kemosintetik.

##### B. Berdasarkan kebutuhan oksigen (O<sub>2</sub>):

**Aerob / aerofilik:**

Adalah mikroorganisme yang hidupnya mutlak memerlukan oksigen. Jika tidak ada oksigen mikroorganisme tersebut akan mati. Contoh. *Pseudomonas, Bacillus, Nitrobacter, Sarcina*.

**Anaerob obligat:**

Adalah mikroorganisme yang hidupnya tidak memerlukan oksigen. Jika ada oksigen justru mikroorganisme tersebut akan mati. Contoh: *Clostridium tetani*.

**Anaerob fakultatif:**

Adalah mikroorganisme yang hanya memerlukan sedikit oksigen. Contoh: *Vibrio, Escherichia coli, Salmonella, Shigella, Staphilococcus, Hemophilus*.

**C. Berdasarkan keaktifannya terhadap temperatur:****Psikrofil:**

Adalah jenis mikroorganisme yang hidup pada rentang suhu  $0^{\circ} - 30^{\circ}\text{C}$ . Aktivitas optimalnya pada suhu  $15^{\circ}\text{C}$ .

**Mesofil:**

Adalah mikroorganisme yang hidup pada rentang suhu  $15^{\circ} - 55^{\circ}\text{C}$ . Aktivitas optimalnya pada suhu antara  $25^{\circ} - 37^{\circ}\text{C}$ , jenis ini banyak yang bersifat pathogen pada

manusia (menyebabkan sakit) karena rentang optimalnya tersebut berada pada suhu kamar.

**Termofil:**

Jenis ini termasuk organisme perintis. Pada saat organisme lain belum dapat hidup di suatu daerah yang baru terbentuk misalnya dari bekas letusan gunung berapi, mikroorganisme termofil sudah tumbuh optimum. Rentang hidupnya berada pada suhu  $40^{\circ} - 75^{\circ}\text{C}$  tetapi aktivitas optimal pada suhu antara  $55^{\circ} - 60^{\circ}\text{C}$ .

D. Berdasarkan kisaran pH:

**Asidofilik:**

Mikroorganisme yang dapat hidup pada lingkungan asam dengan pH 2 – 5.

**Mesofilik:**

Mikroorganisme yang hidup pada lingkungan pH relatif normal 5,5 – 8

**Alkalfilik:**

Mikroorganisme yang hidup pada lingkungan pH basa > 8,5

### BAB III

## MORFOLOGI MIKROORGANISME

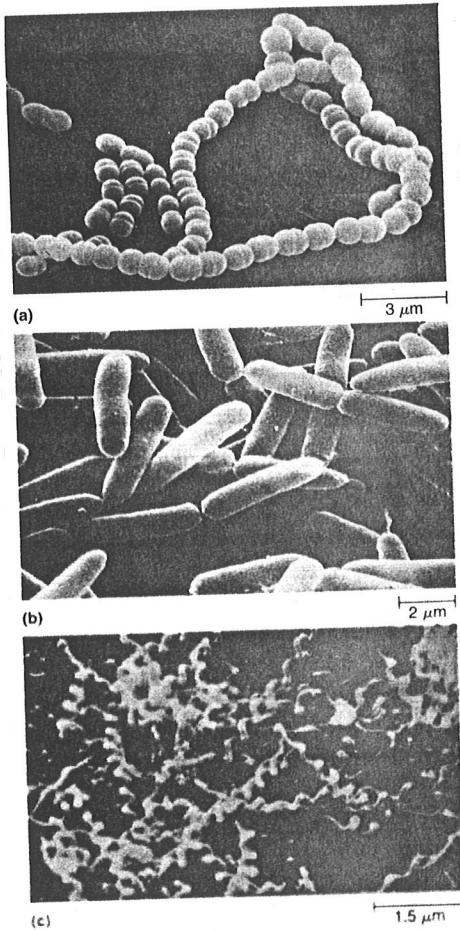
#### © Bakteri:

Kebanyakan bakteri mempunyai bentuk yang tetap yaitu bentuk

- **Basil** (batang) dengan panjang 1 – 10  $\mu\text{m}$ , bentuk batang yang lebih pendek dan agak bulat disebut **coccobacilli**.
- **Vibrio** yaitu basil yang bentuknya seperti koma misalnya *Vibrio cholerae*,
- **Coccus** yang berbentuk bola kecil rata-rata diameter 1  $\mu\text{m}$  dan
- **Spiral**.

Beberapa bakteri mempunyai bentuk yang tidak termasuk dalam bentuk-bentuk diatas, disebut **pleomorphic** termasuk bakteri yang berbentuk filamen. Kebanyakan berperan sebagai dekomposer (pengurai) di tanah dan berkontribusi pada daur ulang materi organik. Contoh: spesies *Streptomyces* (menghasilkan beberapa jenis antibiotik) dan *Actinomycetes naeslundii* (bentuk filamen), *Mycoplasma* (tidak ada bentuk tertentu),

*Simonsiella muelleri* (seperti kelopak bunga), *Arcula* (seperti lembaran kertas), *Stella* (bentuk bintang).



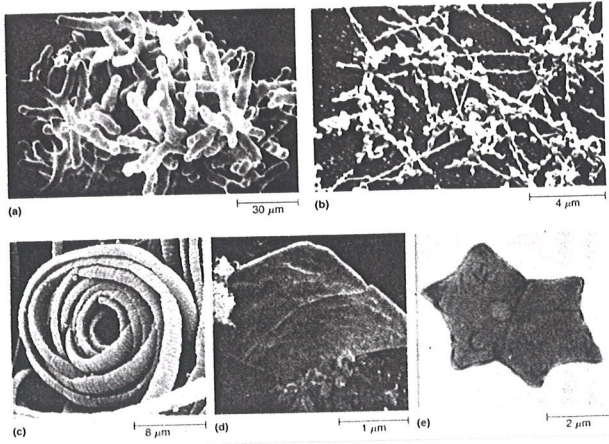
Gambar 5: Bentuk umum bakteri yang mudah dijumpai

### ◎ Mikrofungi:

Adalah fungi (jamur) yang berukuran mikroskopis. Ukuran mikrofungi lebih besar dari bakteri, dengan diameter sel individu 1 – 30  $\mu\text{m}$ . Fungi dibedakan menjadi *mold* dan *yeast*. *Mold* termasuk multiseluler dengan filamen panjang yang disebut *hyphae*. Sedangkan *yeast* termasuk sel tunggal dengan filamen yang agak jarang. *Hypha* yang membentuk seperti jaring-jaring disebut *mycellium*. Hifa ada yang bersekat (*septum*) dan tidak bersekat.

### ◎ Protozoa:

Adalah organisme uniseluler nonphotosynthetic (bersel tunggal dan tidak melakukan fotosintesa) dengan struktur sel eukaryotic. Protozoa berukuran 2  $\mu\text{m}$  – 20.000  $\mu\text{m}$  (2 cm). Protozoa terkecil seukuran dengan bakteri, sedangkan yang terbesar dapat dilihat tanpa alat bantu mikroskop. Kebanyakan protozoa adalah polymorphic (poly = banyak; morph = bentuk). Contoh: *Radiolaria* yang mempunyai shell (cangkang) mengandung silika, *Balantidium coli* yang pathogen dalam usus manusia dan *Amoeba*.



Gambar 6: Berbagai bentuk bakteri

## BAB IV

### FISIOLOGI MIKROORGANISME

Penggolongan mikroorganisme yang meninjau bentuk inti adalah terdiri dari eukaryotik dan prokaryotik. Sel yang mempunyai bentuk inti jelas disebut sel **eukaryotik** (Eu = benar, karyote = nukleus) dan sel yang mempunyai bentuk inti tidak jelas disebut sel **prokaryotik**. Jenis yang terakhir ini terbagi menjadi 2 kelompok yaitu eubakteria dan archaeobakteria.

Golongan **eubakteria** kebanyakan adalah organisme **nonfotosintetik**. Beberapa jenis hanya menggunakan kimia anorganik sederhana untuk pertumbuhannya. Mayoritas eubakteria memperoleh makanan dengan menguraikan materi organik. Bahkan jenis tertentu ada yang sangat efisien dalam menggunakan nutrisi yang diperoleh dari air destilasi. Eubakteria ada juga yang **fotosintetik** yaitu *cyanobacteria* yang dapat mengikat oksigen fotosintetik sama dengan yang dilakukan pada algae eukaryotik dan tumbuhan. Beberapa jenis cyanobakteria dapat mengubah unsur nitrogen ( $N_2$ ) kedalam bentuk yang dapat digunakan oleh tumbuhan tinggi. Contoh: Anabaena yang dapat mengikat nitrogen

bebas dan dapat hidup dalam lingkungan yang tertutup seperti di daerah kutub.

**Archaeobakteria** terdiri dari 3 kelompok yang tumbuh subur di lingkungan ekstrim, yaitu:

- bakteri halophile (di tempat asin),
- bakteri thermoacidophile (di tempat panas dan asam) dan
- bakteri penghasil methane.

Beberapa jenis archaeobacteria hidup di dasar laut pada kedalaman 1500 meter dan suhu 250°C. Atau ada yang juga yang hidup pada larutan asam (seperti pada *runoff* dari daerah penambangan). Struktur plasma membran yang unik menyebabkan bakteri ini dapat hidup survive pada lingkungan spesifik, yang tidak dapat dilakukan oleh organisme lain.

## © STRUKTUR SEL

### **Eukaryotik:**

Adalah karakteristik pada sel tumbuhan, hewan, fungi dan protista (protozoa dan algae). **Dinding sel** pada eukaryotic berfungsi untuk memberi bentuk pada sel, tersusun dari polysaccharida. Pada tanaman dan kebanyakan algae dinding sel terdiri dari selulosa, dan beberapa jenis

eukaryotic mempunyai lapisan tambahan pada dinding sel yang disebut **kapsul** untuk melindungi isi sel dari kerusakan.

Semua sel eukaryotik dan prokaryotik dikelilingi oleh **plasma membran** (selaput membran), yang didalamnya mengandung **cytoplasma**. Plasma membran berfungsi memisahkan sel dari lingkungannya dan berfungsi sebagai lapisan atau selaput yang selektif (selektif permeabel), memilih molekul yang diperlukan oleh sel dan mengeluarkan hasil metabolisme sel.

Struktur terbesar pada cytoplasma adalah nukleus. **Nukleus** mengandung materi genetik yaitu DNA (deoxyribonucleic acid) yang menentukan karakteristik sel. DNA ditemukan dalam kromosom yang berada di dalam nukleus. Bagian materi genetik yang tampak lebih kecil dalam nukleus adalah nukleolus, RNA (ribonucleic acid) dan ribosom.

**Reticulum endoplasma**, adalah sistem membran internal dimulai dari *nuclear membrane* (membran inti). Adanya materi ini memungkinkan nutrisi mencapai semua bagian sel, selain itu juga berfungsi untuk mempercepat hasil metabolisme yang dibuang. Tanpa reticulum

endoplasma materi esensial akan terserap lambat sehingga pertumbuhan sel juga menjadi lambat.

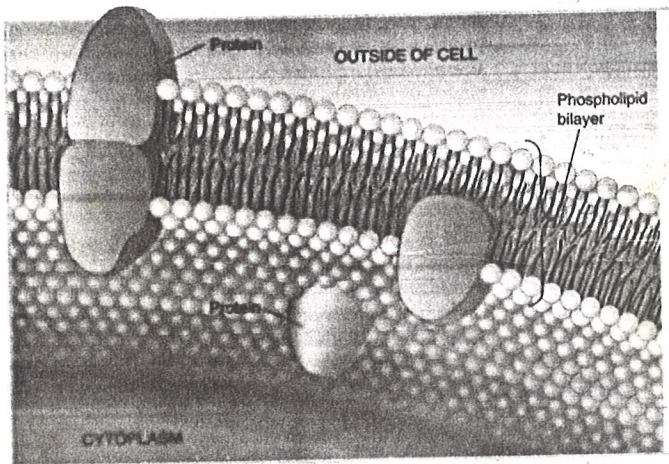
**Ribosome** adalah organel lain didalam cytoplasma yang berfungsi mensintesa protein. Energi untuk fungsi sel dihasilkan oleh **mitochondria**. Energi ini mengandung ATP (Adenosin Triphosphat) yang digunakan untuk respirasi (proses pelepasan energi dari molekul makanan). Ribosome pada mitochondria lebih kecil dari ribosome pada cytoplasma.

Sel eukaryotik yang fotosintetik mengandung **chloroplast**. Membran pada Chloroplast mengandung pigmen chlorophyl hijau yang digunakan untuk proses fotosintesis. Energi dari sinar matahari digunakan untuk mengubah  $\text{CO}_2$  dan air menjadi senyawa organik yang mengandung energi kimia dan diperlukan untuk aktifitas biologis sel.

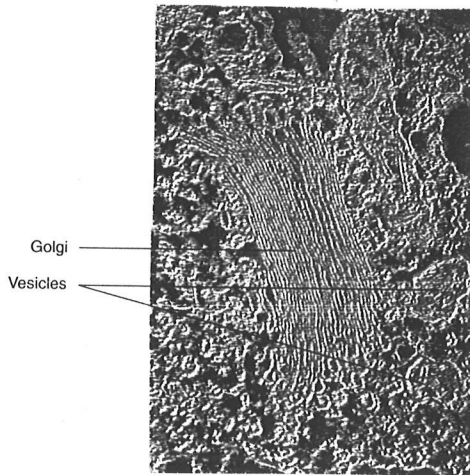
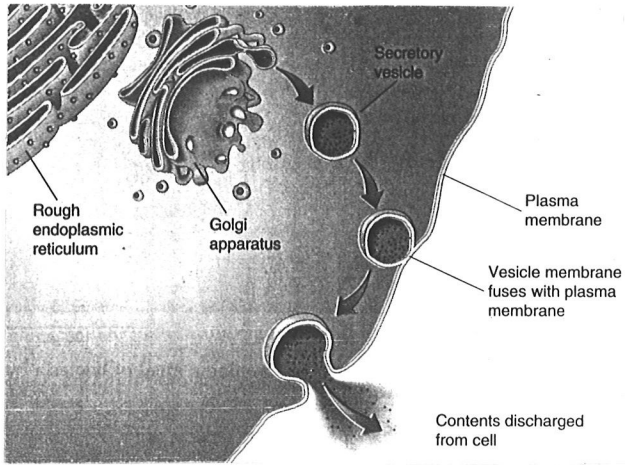
Pada sel eukaryotik ada kantong ikatan membrane intraseluler yang disebut **vesicle**, dibentuk oleh endocytosis. Vesicle membentuk **lysosome** yang mengandung enzim untuk mendorong reaksi kimia di dalam sel. Enzim ini dilepas ke dalam vacuola makanan (food vacuola/kantong makanan) jika sedang mencerna makanan. **Complex golgi (badan golgi)**, adalah organ sel

yang memodifikasi protein yang diterima dari ribosome dan membungkusnya dalam vesicle. **Secretory vesicle** kemudian berpindah ke permukaan sel, dan secara difusi dikeluarkan dari sel oleh plasma membrane. Beberapa hormon di keluarkan (sekret) melalui cara yang sama dengan mekanisme ini.

Alat gerak pada eukaryotic berbeda-beda. Amoeba bergerak dengan permukaan tubuhnya disebut **pseudopods**, mikroba lainnya dengan **flagella** atau **cilia**. Cilia lebih pendek dari flagella. Keberadaan cilia dan flagella menjadi salah satu cara untuk identifikasi mikroorganisme.



Gambar 7: Struktur plasma membran



Gambar 8: Cara ekskresi pada sel bakteri

**Prokaryotik:**

Sel prokaryot lebih besar dari eukaryot. Volume jenis prokaryotik kira-kira  $\frac{1}{125}$  dari jenis eukaryotik. Sel prokaryotik dapat menggunakan energi lebih efektif, misalnya dapat menggunakan ekstrak energi kimia dari nitrogen anorganik atau hydrogen sulfida, juga mengeliminasi buangan dan mengolahnya. Sel prokaryotik dapat hidup pada lingkungan yang ekstrim, seperti suhu yang sangat tinggi atau pH rendah dimana jenis eukaryotik tidak dapat hidup. Semua prokaryotik mempunyai sitoplasma, nucleoid, plasma membran dan ribosome, hanya beberapa yang tidak mempunyai dinding sel.

**Kapsul:**

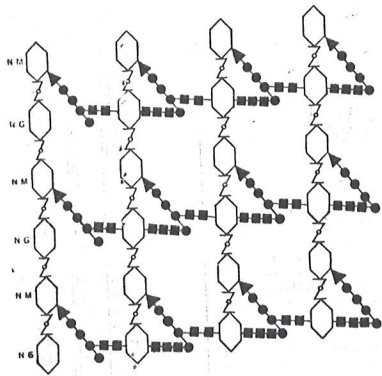
Pada bakteri (termasuk prokaryot) jika dilihat dengan mikroskop elektron terdiri dari 3 lapisan yang mengelilingi sitoplasma yaitu kapsul atau lapisan permukaan, dinding sel dan sel membran. Lapisan-lapisan ini berbeda struktur, komposisi dan fungsinya.

Kapsul berfungsi melindungi sel dari pengaruh lingkungan yang tidak menguntungkan. Patogenitas sel atau kemampuan sel untuk menyebabkan sakit pada mahluk hidup berhubungan dengan keberadaan kapsul, jika

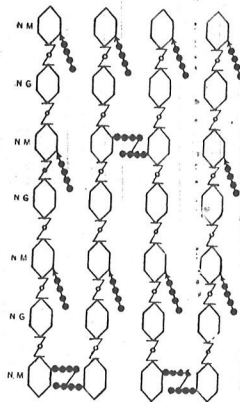
kapsul dihilangkan maka patogenitas akan turun. Struktur kapsul terdiri dari mucus (lendir/slime) hasil metabolisme yang disekresikan. Terdiri dari senyawa kompleks polysaccharida atau polypeptida yang mengandung asam amino tunggal. Pembentukan lapisan lendir dikontrol oleh lingkungannya. Ada jenis bakteri yang jika ditumbuhkan pada media gula tertentu langsung membentuk lendir yang kemudian menjadi kapsul.

### **Dinding sel:**

Dibawah kapsul ada dinding sel, berfungsi memberi bentuk. Ketebalan dinding sel antara 15 – 20  $\mu\text{m}$  dan kira-kira 1% dari total ketebalan sel. Dinding sel tersusun dari bahan n-acetylglucosamin dan n-acetylmuramic acid dan membentuk ikatan glycosidic. Saccharida dan asam amino yang menyusun dinding sel lebih dikenal sebagai glycopeptide atau murein. Perbedaan komposisi dinding sel ini yang menyebabkan sel bereaksi gram positif dan gram negatif, sehingga memudahkan identifikasi bakteri.



Gambar 9: Struktur dinding sel bakteri Gram positif



Gambar 10: Struktur dinding sel bakteri Gram negatif

**Nucleoid:**

Pada elektron mikroskop nucleoid terlihat sebagai area yang lebih terang dari isi sitoplasma lainnya. Nucleoid mengandung chromosome tunggal DNA yang panjangnya kira-kira 400 kali panjang sel dan protein yang menjaga kromosom tetap kompak. Proses duplikasi nucleoid disebut *binary fission* yang tidak memerlukan perangkat/organ khusus untuk pembelahan sel.

**Plasma membrane:**

Berfungsi sebagai batas fisik dan pertahanan yang selektif terhadap sel. Menyaring mana materi yang dapat masuk dan tidak. Plasma membran juga berperan dalam berbagai fungsi organel yang ditemukan pada eukaryotik. Jika tidak ada mitochondria atau chloroplast maka fungsi respirasi atau photosynthesis dilakukan oleh plasma membran.

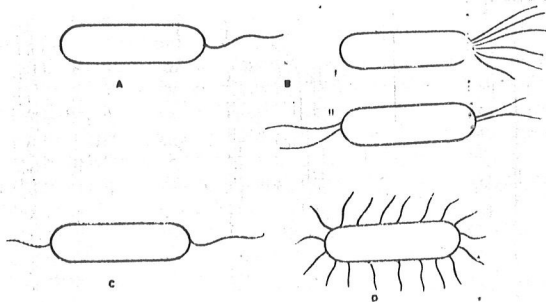
**Ribosome:**

Organel ini berfungsi untuk mensintesa protein seperti yang ada pada sel eukaryotik. Ribosome tersebar di dalam sitoplasma dan menempel pada permukaan membran. Mempunyai diameter 100 Å. Jumlah ribosome

bervariasi tergantung dari tingkat metabolik sel. Sel yang aktif mensintesa protein mempunyai 10.000 ribosome per sel, sedangkan sel yang dalam keadaan kelaparan atau menderita hanya beberapa ratus ribosome saja.

### Flagella:

Kebanyakan ditemukan pada jenis bacillus dan spirillum, jarang pada jenis coccus. Letak flagella dapat menjadi dasar identifikasi bakteri. Jenis flagella **polar** (di ujung sel) adalah monotrichous (satu flagella pada ujung bakteri), lopotrichous (dua atau lebih flagella pada satu atau dua ujung bakteri) dan amphitrichous (satu flagella pada dua ujung). Jenis lainnya adalah **peritrichous** yaitu flagella yang tersebar merata seluruh tubuhnya.



Gambar 11: Berbagai macam letak flagella pada bakteri

Tebal flagella antara 0,02 – 0,1  $\mu\text{m}$  dan diameter antara 120 – 185 Å. Flagella pada prokaryotik secara struktur dan kimia berbeda dengan eukaryotik. Pada prokaryotik flagella lebih tipis dan terdiri dari flagellin (protein tunggal dengan berat molekul 30.000 – 60.000). Flagella pada *Spirillum serpens* mempunyai rotasi 2.400 rpm dan kecepatan 50  $\mu\text{/detik}$ , *Vibrio comma* 200  $\mu\text{/detik}$ . Gerak mikroorganisme ditentukan oleh rotasi flagella ini.

### ◎ PERKEMBANG BIAKAN

Pada lingkungan yang sesuai, mikroorganisme akan berkembang biak maksimal. Kebanyakan jenis bakteri berkembang biak dengan membelah dua (binary fission) yaitu proses pembelahan sel dalam ukuran dan bentuk yang sama. Volume sitoplasma yang membesar, dengan cepat terisi oleh ribosome dan enzim yang baru terbentuk dari replikasi kromosom. Sel kemudian tumbuh sampai batas yang cukup untuk sel baru. Jika sel duplikat sudah lengkap maka sel baru tersebut akan berdiri sendiri atau memisah.

Masing-masing sel pada generasi baru akan meneruskan pembelahan sel model binary fission. Satu sel menjadi dua, dua sel menjadi empat, empat sel menjadi

Kurva pertumbuhan bakteri terbagi menjadi 4 tahap:

a. Lag phase (fase adaptasi):

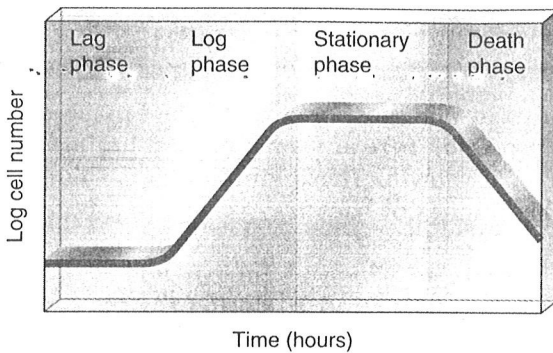
Merupakan fase penyesuaian terhadap lingkungan. Lag phase terjadi jika sel dipindahkan ke tempat yang baru, dan perlu menyesuaikan diri. Pada fase ini tidak ada penambahan jumlah sel. Kecepatan pertumbuhan (growth rate) sama dengan nol. Lag fase berakhir jika sel sudah menyesuaikan diri dan mulai membelah. Lamanya lag fase tidak tentu tergantung pada:

- fase dimana bakteri tersebut sebelumnya. Jika fase sebelumnya adalah stasioner maka pada media yang baru lag fase akan lebih lama.
- Jumlah awal bakteri yang hidup di dalam media, semakin banyak jumlah inokulum yang dimasukkan makin cepat lag fase.
- Keadaan lingkungan yang baru, jika sesuai maka lag fase akan lebih cepat.

b. Logarithmic phase:

Sesudah fase adaptasi, pertumbuhan sel mencapai periode yang sangat aktif, disebut fase eksponensial dimana jumlah sel meningkat dengan cepat menurut deret ukur. Massa sel dan jumlah sel bertambah sampai kecepatan pertumbuhan mencapai ukuran konstan.

delapan dan seterusnya. Setelah 10 kali membelah akan terdapat 1000 sel atau  $2^{10}$ . Populasi mikroorganisme pada mulanya bertambah dengan perlahan, tetapi lama kelamaan bertambah cepat sampai pada suatu saat mencapai keadaan stasioner. Jika media tidak diperbarui maka setelah keadaan ini tahap selanjutnya adalah fase kematian (death phase), populasi mikroorganisme terus berkurang, seperti dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 12: Kurva pertumbuhan bakteri

Kecepatan pertumbuhan dipengaruhi oleh faktor genetik yang menentukan kecepatan pada kultur medium mana mikroorganisme dapat mengabsorpsi. Waktu yang dibutuhkan untuk pembelahan sel (disebut waktu generasi) setiap species berbeda. Sebagai contoh *Escherichia coli* memerlukan waktu 20 – 25 menit, sedangkan pada *Mycobacterium tuberculosis* sampai beberapa jam.

Kecepatan pertumbuhan sangat kuat dipengaruhi oleh faktor fisik lingkungan dan komposisi kultur medium. Selama pertumbuhan logaritmik anggota populasi ada pada puncak metabolisme. Pertumbuhan terhenti jika esensial nutrisi sudah habis, dan produk toksik metabolisme yang terakumulasi menghambat pertumbuhannya.

c. Stationary phase:

Eksponensial phase segera berubah perlahan-lahan ke fase stationer. Kecepatan pertumbuhan menjadi nol, jumlah sel yang membelah dan sel yang mati sama. Massa sel dan jumlah sel tetap. Fase ini berlangsung selama beberapa jam. Sel yang mempunyai substansi toksik pada fase ini tidak menghasilkan efek drastis. Pada tahap stationer sebagian besar sel dalam

keadaan pasif. Tetapi dapat aktif kembali jika keadaan membaik, misalnya medium tempat tumbuhnya diganti.

d. Death phase:

Akhir pertumbuhan menuju fase kematian, ketika kecepatan pertumbuhan menjadi negatif. Jumlah sel pada tahap ini berkurang karena yang mati lebih banyak dari sel hidup, disebabkan nutrisi yang ada sudah berkurang. Jika sel yang telah tua tersebut dipindah ke medium baru, maka pada tahap lag phase sel akan memperbaiki diri lebih dahulu, baru kemudian mulai membelah.

Seperti pertumbuhan, kematian juga terjadi secara logaritmik. Pada populasi bakteri campuran, laju kematian yang tinggi dapat disebabkan karena adanya zat antagonis yang dihasilkan dari suatu bakteri dan bersifat racun bagi bakteri lain.

◎ **SYARAT FISIK UNTUK PERTUMBUHAN BAKTERI:**

Selain nutrisi, pertumbuhan mikroorganisme juga memerlukan faktor fisik lingkungan yaitu temperatur, pH, oksigen dan tekanan osmotik. Setiap mikroorganisme mempunyai faktor esensial yang berbeda-beda seperti

cahaya yang menjadi faktor penting untuk mikroorganisme fotosintetik. Sedangkan mikroorganisme lain mempunyai faktor pembatasnya sendiri. Sehingga kadang-kadang sulit untuk menumbuhkan mikroorganisme tertentu pada kondisi lingkungan buatan.

### **Temperatur:**

Semua organisme mempunyai rentang karakteristik temperatur berbeda-beda sesuai untuk pertumbuhannya. Berdasarkan keaktifannya terhadap temperatur mikroorganisme dikelompokkan menjadi:

#### **Psikrofil:**

Mikroorganisme ini tumbuh baik pada temperatur dibawah  $20^{\circ}\text{C}$  dan dapat tumbuh pada  $0^{\circ}\text{C}$  bahkan ada yang  $-7^{\circ}\text{C}$ . Organisme ini biasanya hidup di laut dalam seperti artik dan antartik, juga pada makanan yang disimpan di lemari es. Rata-rata rentang temperatur untuk dapat tumbuh adalah  $0^{\circ} - 30^{\circ}\text{C}$  (optimal pada  $15^{\circ}\text{C}$ ).

Temperatur yang rendah mengurangi kadar air pada membran, membatasi transport makanan esensial, dan

reaksi enzim berjalan lambat. Jika temperatur dinaikkan maka transport pada membran berjalan lebih cepat dan reaksi enzim lebih cepat. Konsekuensi bakteri adalah tumbuh lebih cepat pada temperatur yang lebih hangat. Naiknya temperatur diatas maksimal akan mematikan bakteri dan protein mengalami denaturasi dan kerusakan sel yang permanen.

**Mesofil:**

Mikroorganisme yang hidup pada rentang suhu  $15^{\circ}$  –  $55^{\circ}\text{C}$  (optimal  $25^{\circ}$  –  $37^{\circ}\text{C}$ ). Jenis yang pathogen untuk manusia umumnya adalah mesofil, beradaptasi pada temperatur  $37^{\circ}\text{C}$  yang sesuai suhu tubuh manusia. Beberapa mesofil ditemukan hidup pada suhu yang lebih tinggi, misalnya pada makanan. Fenomena ini yang menyebabkan makanan dapat membusuk walaupun dalam refrigerator.

**Termofil:**

Jenis mikroorganisme ini termasuk organisme perintis. Pada saat organisme lain belum dapat hidup pada suatu daerah yang baru terbentuk dari suatu bekas letusan gunung api, jenis mikroorganisme ini sudah

tumbuh optimum. Rentang hidupnya adalah pada suhu  $40^{\circ} - 75^{\circ}\text{C}$  (optimal  $55^{\circ} - 60^{\circ}\text{C}$ ). Kebanyakan termofil adalah prokaryot nonfotosintetik.

### **Kisaran pH:**

Ukuran asam atau basa suatu larutan disebut pH yang nilainya antara 0 – 14. Angka pH adalah ekspresi konsentrasi ion hidrogen ( $\text{H}^+$ ) di dalam larutan. Sebagai contoh: Jika  $[\text{H}^+] = 0,00001 (10^{-5})$  maka pH larutan tersebut adalah 5.

Larutan yang lebih asam pada  $0,01 (10^{-2})$  mempunyai pH rendah yaitu 2. Tiap organisme mempunyai pH minimal dan maksimal untuk tumbuh. Kebanyakan bakteri mempunyai pH netral (disebut **mesofilik** antara 6 – 8), dan tidak dapat tumbuh pada pH dibawah 4 atau diatas 9 karena protein tidak aktif sehingga mengganggu transport di plasma membran dan merusak enzim di sitoplasma. Beberapa bakteri ada yang lebih menyukai keadaan asam atau basa.

**Asidofilik:**

Mikroorganisme yang dapat hidup pada suasana asam pH 2 – 5. Tumbuh baik pada pH 5,5 karena bakteri ini membutuhkan ion hidrogen untuk menstabilkan plasma membran. Ion hidrogen tidak berkumpul didalam sel sehingga memerlukan lingkungan yang asam untuk menetralkan. Contoh *Thiobacillus* yang mempunyai pH optimal 2 – 3. Ditemukan di tanah asam dari runoff vulkanik atau drainase dari daerah pertambangan.

**Alkalifilik:**

Mikroorganisme yang hidup dalam suasana pH basa diatas 8,5 bahkan ada yang diatas pH 11. Biasanya ditemukan pada danau atau tanah yang basa. Bakteri ini dapat hidup di suasana basa karena sistem transport aktif membantu mengkonsentrasi ion hidrogen dari lingkungannya. Lipid pada membrane dan asam amino pada protein stabil pada pH tinggi.

**Berdasarkan kebutuhan oksigen (O<sub>2</sub>):**

Kebutuhan oksigen di dalam sel mikroorganisme berbeda-beda.

**Aerob / aerofilik:**

Mikroorganisme yang mutlak memerlukan O<sub>2</sub> untuk metabolisme, jika tidak ada O<sub>2</sub> mikroorganisme tersebut akan mati. Contoh. *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Nitrobacter*, *Sarcina*.

**Anaerob:**

Disebut juga anaerob obligat. Biasanya hidup pada jaringan-jaringan mati. Mikroorganisme ini tidak memerlukan O<sub>2</sub> (oxygen free). Jika ada O<sub>2</sub> akan cepat terjadi oksidasi dan merusak sitoplasma sehingga justru mikroorganisme tersebut tidak dapat hidup. Contoh: *Clostridium tetani*, *C.botulinum*.

**Anaerob fakultatif:**

Jenis ini tumbuh baik jika ada oksigen. Tetapi dapat menggunakan secara efisien mekanisme lingkungan tanpa oksigen (anaerobik). Sehingga kehadiran O<sub>2</sub> dalam jumlah kecil pun mikroorganisme ini dapat hidup.

Sebagai contoh: *Vibrio*, *E. coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Staphylococcus*, *Hemophilus*.

### **Tekanan osmotik:**

Air dapat keluar dan masuk sel melalui mekanisme osmosis. Jika lingkungan sel lebih pekat dari sitoplasma maka cairan sitoplasma keluar sel, tetapi jika lingkungan lebih rendah konsentrasinya maka air di lingkungan masuk ke dalam sitoplasma. Media yang paling baik bagi pertumbuhan sel adalah media yang **isotonik** terhadap isi sel. Jika bakteri berada pada lingkungan yang **hipertonik**, seperti lingkungan dengan kadar garam atau gula yang tinggi maka bakteri akan mengalami **plasmolisis**. Sebaliknya jika berada pada lingkungan yang **hipotonik** seperti air suling maka bakteri mengalami **plasmoptisis**. Sebagian besar mikroorganisme terganggu pertumbuhan dan perkembangannya jika berada pada lingkungan dengan kadar garam atau kadar gula yang tinggi. Tetapi ada jenis mikroorganisme yang dapat hidup pada kadar garam tinggi, disebut **halofil**. Jenis bakteri ini di isolasi dari Great Salt Lake dan Dead Sea dan tidak dapat hidup di laut bebas. Sedangkan mikroorganisme yang mampu hidup pada kadar

gula tinggi disebut **osmofil**, jamur dan khamir merupakan contoh yang banyak dikenal karena dapat tumbuh pada selai yang sangat manis.

## ◎ METABOLISME

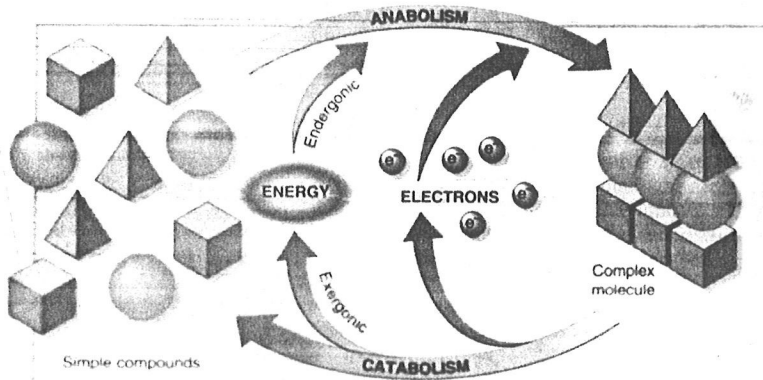
Metabolisme adalah semua reaksi kimiawi yang dilakukan oleh sel untuk menghasilkan energi dan reaksi kimia yang menggunakan energi untuk mensintesa komponen-komponen sel dan aktifitas lainnya. Metabolisme mempunyai 2 kategori reaksi umum yaitu katabolisme dan anabolisme.

### **Katabolisme:**

Adalah reaksi kimia yang terjadi di dalam sel, yang membebaskan energi melalui perombakan nutrien dari ikatan kompleks menjadi ikatan sederhana. Dalam proses ini dihasilkan energi yang disebut **exergonic**. Energi kimia tersimpan di dalam ikatan atom pada molekul kompleks yang jika di pecah akan menghasilkan energi. Reaksi-reaksi pada katabolisme dapat berlangsung secara aerob dan anaerob.

**Anabolisme:**

Biosintesa molekul kompleks dari ikatan sederhana. Reaksi anabolik disebut **endergonik** (pemakai energi). Energi yang diperlukan berasal dari reaksi katabolisme. Secara umum ikatan kompleks lebih banyak mengandung energi dibanding ikatan yang sederhana. Energi dilepaskan dengan memecah struktur kompleks menjadi komponen sederhana.



Gambar 13: Katabolisme dan anabolisme



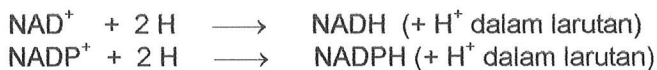
Tabel berikut memperlihatkan hubungan oksidasi dan reduksi pada proses katabolisme dan anabolisme.

Tabel 1. Karakteristik proses katabolisme dan anabolisme

	Katabolisme	Anabolisme
Pertukaran energi	Exergonik	Endogonik
Jenis reaksi	Oksidatif	Reduktif
Konversi alami	Kompleks → sederhana	Sederhana → kompleks
Sumber energi	Substrat	Produk

### Pembawa elektron (electron carriers):

Transfer energi pada oksidasi reduksi memerlukan pertukaran elektron. Elektron ini di transfer kepada salah satu dari 3 molekul pembawa elektron. 3 molekul ini adalah NAD (adenin dinucleotide), NADP (nicotinamide adenin dinucleotide) dan FAD (flavin adenin dinucleotide). Masing-masing ikatan ini dapat direduksi menerima pasangan elektron yang dilepas dari elektron donor dalam bentuk atom hidrogen. Hanya 1 proton dari hidrogen yang diterima. Proton yang lain dari 2 atom hidrogen dilepas ke larutan sebagai ion hidrogen ( $H^+$ ). Sehingga pembawa elektron sekarang menjadi NADH dan NADPH. Reaksinya adalah sebagai berikut:

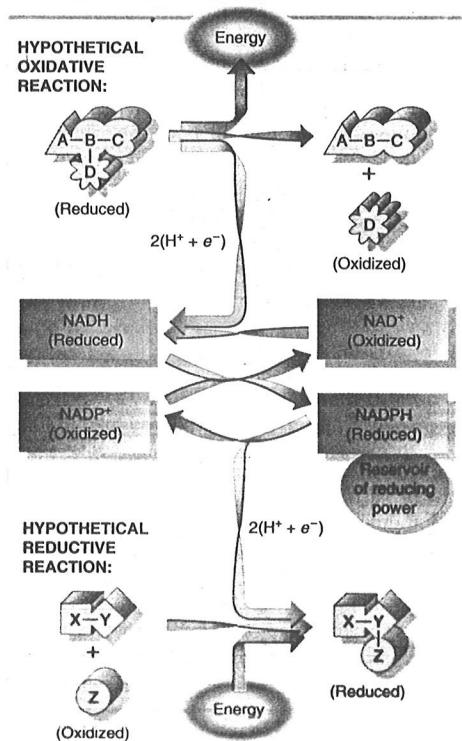


Bentuk reduksi FAD mengandung 2 proton dan 2 elektron dalam bentuk  $FADH_2$ .

Fungsi pembawa elektron ada 2:

- elektron dilepas oleh oksidasi ikatan organik yang dibawa oleh  $NAD^+$  dan FAD ke tempat khusus dimana energi potensial dapat dilepas dan digunakan dalam bentuk ATP.

- Elektron dilepas oleh oksidasi molekul organik yang ditransfer dari NADH ke  $\text{NADP}^+$ . Reduksi NADP (NADPH). Bentuk reduksi NADP (NADPH) dapat mentransfer elektron ini dalam bentuk ikatan pada waktu sintesa.



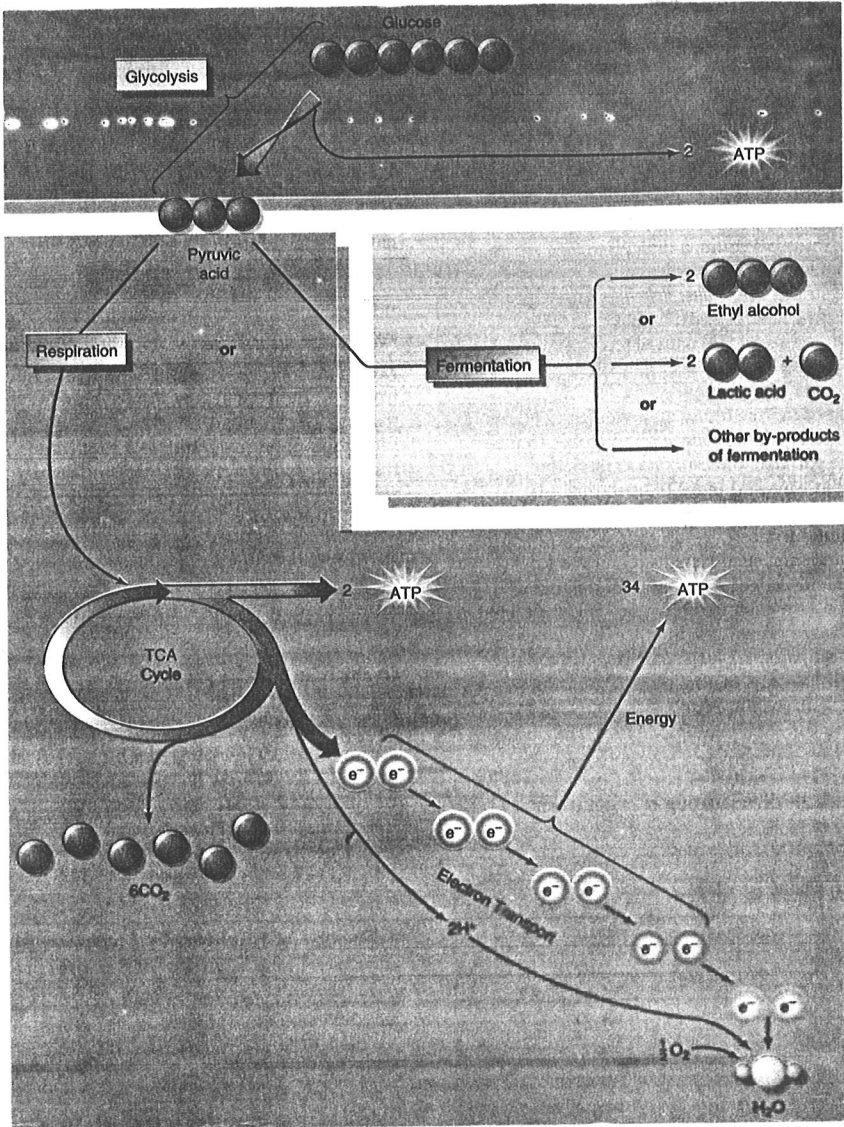
Gambar 14: Pembentukan dan penguraian energi (NADPH)

## Sumber energi:

### - Perolehan energi dengan chemotroph:

Dasar strategi pengumpulan energi pada kebanyakan chemoheterotroph adalah mengkonversi molekul makanan ke glukosa. Energi kimia pada glukosa dilepas pada proses oksidasi molekul, membongkarnya menjadi produk yang mengandung sedikit energi. Metabolisme glukosa tergantung dari tingkatan glukosa dibongkar seperti terlihat pada gambar berikut:

Proses oksidasi lengkap glukosa ke  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  di dalam sel disebut **respirasi**. Pada kondisi tertentu beberapa organisme tidak dapat melakukan respirasi. Sel-sel ini membongkar glukosa dengan proses yang disebut **fermentasi** yang menghasilkan beberapa ATP dan mengkonversikan sisa fragmen dari glukosa ke hasil fermentasi. Baik respirasi maupun fermentasi mulai dengan jalur yang disebut glycolysis. Jika senyawa organik menjadi donor dan aseptor elektron disebut **fermentasi**. Jika organik sebagai donor dan anorganik sebagai aseptor elektron disebut **respirasi**.



Gambar 15: Rangkuman penyediaan energi secara Chemoheterotroph

## **BAB V**

### **JENIS-JENIS MIKROORGANISME DI AIR LIMBAH**

Air limbah mengandung materi organik dan anorganik. Dengan mengetahui cara-cara metabolisme pada mikroorganisme maka makhluk ini dapat digunakan untuk membantu proses penguraian materi anorganik atau senyawa kimia yang terkandung dalam air limbah, sehingga pengolahan untuk air limbah dilakukan juga secara biologis, selain secara fisik dan kimia. Seperti diuraikan pada bab terdahulu, proses penguraian materi kompleks menjadi sederhana dilakukan oleh mikroorganisme yang berperan sebagai dekomposer/pengurai.

Mikroorganisme yang terdapat di air dan air limbah, dikategorikan menjadi 4 kelompok. Yaitu mikroorganisme prokaryotik, eukaryotik, virus dan invertebrata tingkat rendah (termasuk multiseluler). Dari ke 4 kategori itu yang sangat berperan penting dalam proses biologik pengolahan air limbah adalah bakteri karena sifat metabolismenya sesuai dengan proses yang diharapkan dalam pengolahan air limbah. Oleh sebab itu tinjauan pertama adalah mengenai bakteri.

## BAKTERI:

Adalah organisme terkecil dan paling penting di dalam lumpur aktif. Ukuran bakteri mulai dari seper 100 mm sampai seper ribuan mm. Di dalam 1 liter air dapat mengandung beberapa milyar bakteri. Walaupun bentuk bakteri bermacam-macam tetapi dalam 1 famili menunjukkan kemiripan yang tinggi. Sehingga pembedaannya yang mudah hanya melalui kekhususannya dalam metabolisme, misalnya merubah bahan organik tertentu.

Menurut cara metabolismenya bakteri terbagi menjadi kemoheterotrof dan kemoautotrof. Bakteri jenis kemoheterotrof menggunakan bahan organik sebagai sumber energi dan karbon, sehingga termasuk bakteri terpenting dalam pengolahan air limbah karena dapat memecah bahan organik. Sedangkan bakteri jenis kemoautotrof mengoksidasi senyawa anorganik yang sudah tereduksi seperti  $\text{NH}_3$  untuk energi dan  $\text{CO}_2$  untuk sumber karbon. Jenis terakhir ini banyak dikenal sebagai bakteri nitrifikasi yang mengoksidasi amonia nitrogen menjadi nitrogen nitrat.

Bagaimana bakteri dapat berperan penting dalam proses pengolahan limbah adalah sebagai berikut. Sel

bakteri mempunyai membrana sitoplasma (membran sitoplasmik) yang reaktif. Tanpa organ ini bakteri tidak mampu bertahan hidup, sebab semua materi baik organik maupun anorganik harus melalui lapisan ini sebelum di metabolisme oleh sel bakteri yang sangat selektif terhadap materi tertentu. Hal ini diduga berkaitan dengan daya afinitas mikroorganisme terhadap nutrien tertentu sesuai dengan enzim yang dipunyainya. Sistem seperti ini disebut "**sistem permease**". Sehingga tiap jenis bakteri mempunyai jenis nutrien tertentu. Dalam suatu pengolahan limbah umumnya lebih baik menggunakan kultur campuran karena akan banyak jenis mikroorganisme yang dapat melakukan metabolisme, sehingga proses degradasi limbah pada unit pengolahan menjadi makin cepat.

Kapsul bakteri yang sering disebut lapisan lendir berfungsi sebagai pengikat partikel flok bakteri. Partikel ini terdiri dari sel-sel bakteri yang terbentuk selama proses pengolahan limbah secara biologis. Dalam proses *activated sludge*, yang disebut lumpur aktif adalah kumpulan kapsul-kapsul bakteri yang membentuk seperti lapisan lendir, dan karena bentuk seperti lumpur maka disebut lumpur aktif.

Jika lumpur aktif pada *activated sludge* itu terdiri dari kultur mikroorganisme yang sudah tua atau sedang dalam

fase istirahat maka mempunyai lebih banyak kapsul sehingga lapisan lendir terlihat lebih banyak. Tetapi jika kultur yang digunakan masih dalam fase muda maka lapisan lendirnya sedikit karena pertumbuhan sedang maksimal. Pemisahan partikel-partikel yang terikat pada lapisan lendir dapat dilakukan dengan sedimentasi gravitasi. Untuk sel bakteri pemisahan ini tidak mempengaruhi metabolisme atau laju pertumbuhan sel. Sebab metabolisme sangat tergantung pada membrana sitoplasma bukan kapsul, ada atau tidak ada kapsul metabolisme tetap berjalan. Tetapi kehilangan kapsul akan mempengaruhi sifat antigenik sel, seperti hilangnya daya virulen pada *Streptococcus pneumoniae*. Kemampuan membentuk flokulasi ini merupakan karakteristik khusus pada bakteri, yang memisahkan padatan mikroba sehingga kualitas efluen menjadi baik.

Mikroorganisme bakteri yang mempunyai laju pertumbuhan paling cepat dan mampu menggunakan bahan organik yang tersedia secara maksimal adalah yang dipilih untuk pengolahan air limbah. Jenis yang demikian ini disebut jenis pradominan.

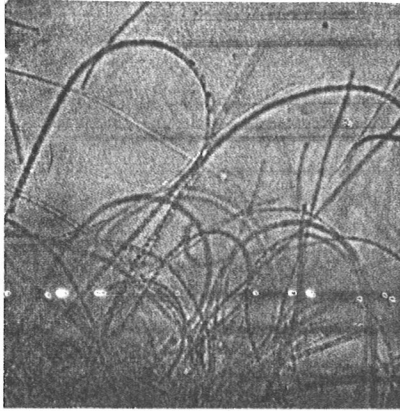
Jenis bakteri ada yang mempunyai motilitas (dapat bergerak) dan ada yang tidak. Untuk pengolahan air limbah

biasanya digunakan jenis bakteri yang motilitasnya rendah. Sehingga efektif dalam pembentukan flok. Tetapi bakteri yang motil (mempunyai flagella) akan mudah bergerak, sehingga jika tempat tidak sesuai maka dapat berpindah ke tempat lain yang sesuai. Hal ini justru tepat untuk respons fisik dan kimia yang diperlakukan pada unit pengolahan tersebut.

Unit pengolahan limbah secara aerobik umumnya menggunakan bakteri yang aerob yaitu bakteri yang menggunakan oksigen sebagai aseptor elektron. Demikian pula pengolahan yang anaerobik menggunakan bakteri anaerob, dimana energi diperoleh dari bahan organik kompleks dan senyawa lain selainnya oksigen sebagai pengoksidasi, seperti karbon dioksida, sulfat dan nitrat. Proses pemecahan bahan organik yang tidak menggunakan oksigen sama sekali disebut sebagai fermentasi. Tetapi beberapa organisme ada yang mampu hidup aerob dan anaerob, disebut organisme yang fakultatif. Walau tidak ada oksigen (anaerob) bakteri tersebut tetap dapat bekerja, tetapi jika ada oksigen (aerob) maka dapat bekerja lebih baik.

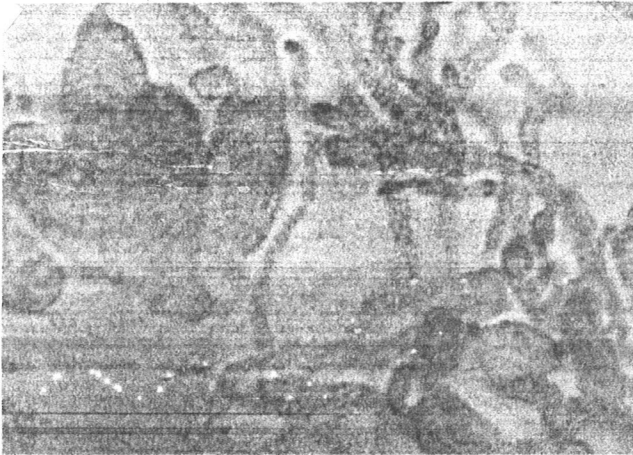


Gambar 16. Bakteri bentuk batang panjang dan pendek  
Ada yang dapat bergerak dan ada yang tidak



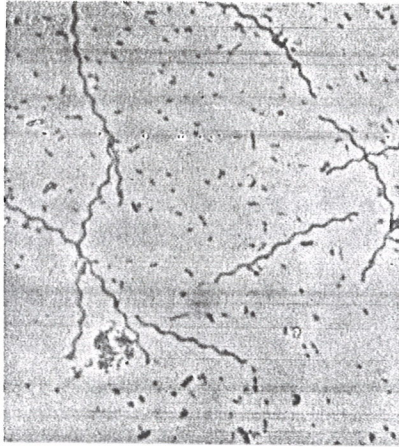
Gambar 20. Beggiatoa

Adalah bakteri sulfur, koloninya bentuk benang tapi tidak bercabang, butiran bulat dalam benang adalah sulfur



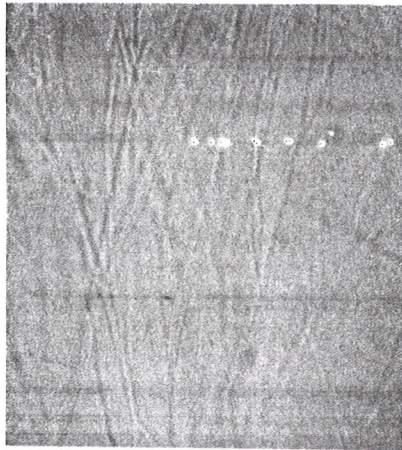
Gambar 21. Zooglea

Koloninya menyerupai bentuk pohon kecil bercabang



Gambar 18. *Vitreocilla*

Berukuran lebih besar dari spirillum, gerakannya sangat lambat hampir tidak kelihatan.



Gambar 19. *Sphaerotillus*

Koloninya berbentuk benang bercabang, seolah tidak dapat bergerak sendiri

## JAMUR:

Jenis organisme yang akan tumbuh atau yang akan menjadi pradominan ditentukan oleh kondisi lingkungannya. Jika limbah mempunyai kadar pH rendah, kadar air rendah atau nitrogen rendah maka jenis jamur yang akan menjadi pradominan. Jamur adalah mikroorganisme yang aerob, nonfotosintesis, bersel satu, mempunyai benang-benang yang disebut filamen.

Karena sifatnya maka pengolahan limbah anaerob tidak dapat menggunakan jamur, dan juga bentuknya yang berfilamen-filamen sulit untuk terbentuknya endapan, sehingga jamur tidak digunakan untuk unit pengolahan limbah. Tetapi dalam kondisi asam dengan pH 4 atau 5 dimana bakteri sulit tumbuh, jamur dapat menjadi mikroorganisme yang pradominan.

## VIRUS:

Jenis mikroorganisme ini termasuk parasit obligat. Untuk berkembang biak, virus menggunakan sel hidup organisme lain yang terinfeksi kemudian mengarahkan reaksi sintesis sel hidup tersebut untuk memproduksi partikel virus baru. Penggandaan atau replikasi virus ini dimulai dari adsorpsi virus pada sel yang peka. Asam

nukleat virus akan memasuki sel inang. Asam nukleat ini kemudian bergerak menuju nukleus sel inang, kemudian memerintahkan mekanisme sintesis untuk menghasilkan partikel-partikel virus baru. Setelah ini membrana sel inang akan pecah maka keluarlah virus-virus baru hasil replikasi dalam jangka waktu yang singkat. Bahkan ada yang memerlukan waktu hanya 20 menit untuk semua proses diatas, mulai dari masuknya asam nukleat ke sel inang sampai terbentuknya virus baru.

Kemampuan patogenitas virus tidak berubah baik di dalam atau di luar sel inang, sehingga pengolahan air limbah dengan tujuan menghilangkan virus tetap harus dilakukan. Apalagi diketahui bahwa 1 viron tunggal masih tetap dapat menyebabkan infeksi pada manusia. Banyak penyakit yang disebabkan oleh virus dan ditularkan melalui air seperti hepatitis dan infeksi polio. Sistem pengolahan air limbah yang sudah digunakan saat ini yaitu dengan perlakuan sedimentasi, koagulasi dan filtrasi dapat mengurangi jumlah virus sampai 90%. Ditambah kemudian dengan pemberian klorin atau ozon, maka efektifitas penghilangan virus dapat mencapai 99%.

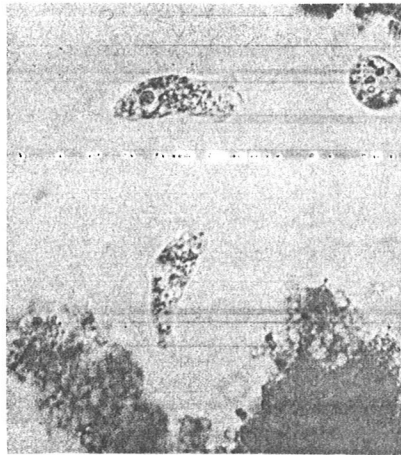
## PROTOZOA:

Mikroorganisme ini termasuk jenis eukaryotik, bersel satu, motil, mempunyai membrana internal, tidak mempunyai dinding sel, predator untuk bakteri. Jenis protozoa yang sering ditemukan pada pengolahan air limbah adalah flagelata dan siliata. Spesies protozoa yang umum dijumpai adalah *Vorticella*. Sedangkan jenis *Entamoeba histolytica* adalah protozoa yang termasuk "waterborne disease", menimbulkan penyakit disentri amuba. Banyak kasus ini terjadi pada saat banjir melanda, dimana sungai dan saluran-saluran air meluap masuk kerumah penduduk.

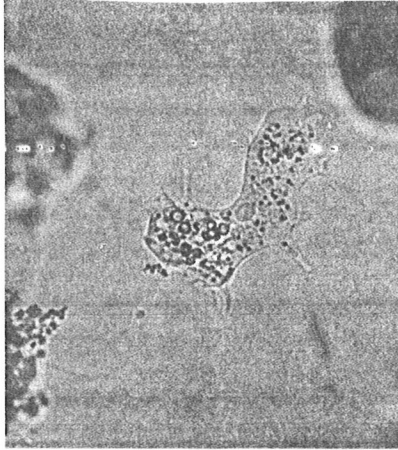
Flagelata adalah jenis organisme yang terletak antara hewan dan tumbuhan. Berukuran lebih besar dari bakteri, rata-rata  $< 1/20$  mm. Nama flagelata berasal dari misai (sungut) yang panjang menyerupai pecut dan digunakan untuk alat gerak. Dalam 1 liter air terdapat kira-kira 1 juta flagelata. Determinasi flagelata sangat sulit karena misai yang menjadi ciri jenis ini hanya dapat dilihat dibawah mikroskop fase kontras atau pada bidang gelap mikroskop. Bentuk tubuhnya dengan mudah berubah karena untuk bergerak organisme ini menggunakan tubuhnya yang dipanjangkan dan dipendekkan. Ukuran

terkecil adalah  $1/50$  mm dan terpanjang dapat dilihat dengan mata biasa.

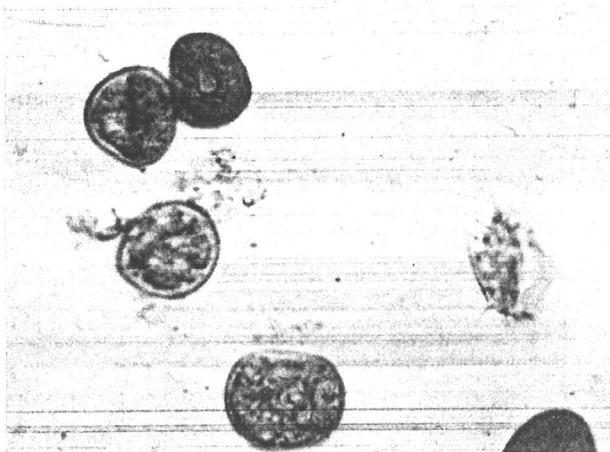
Karena sifat protozoa adalah predator bagi bakteri, maka protozoa dapat dipakai untuk mengontrol jumlah bakteri yang berlebihan dalam sistem pengolahan limbah, mengurangi bahan organik yang tidak di metabolisme oleh bakteri, sehingga membantu menghasilkan efluen berkualitas baik. Biasanya protozoa banyak terdapat pada pengolahan anaerob dan pada pengolahan untuk limbah ruminansia (dari hewan, mis rumah potong hewan).



Gambar 22. Genus Vahlkampfia  
Adalah jenis terkecil dari flagelata. Untuk bergerak hampir tidak membentuk kaki sehingga seperti tidak berubah bentuknya.

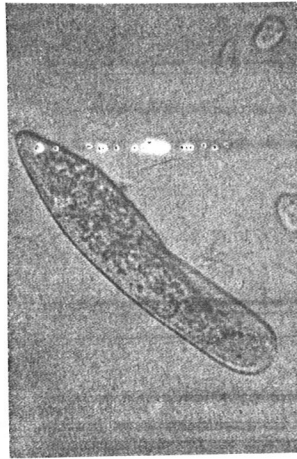


Gambar 23. Genus Mayorella  
Alat geraknya ukuran pendek

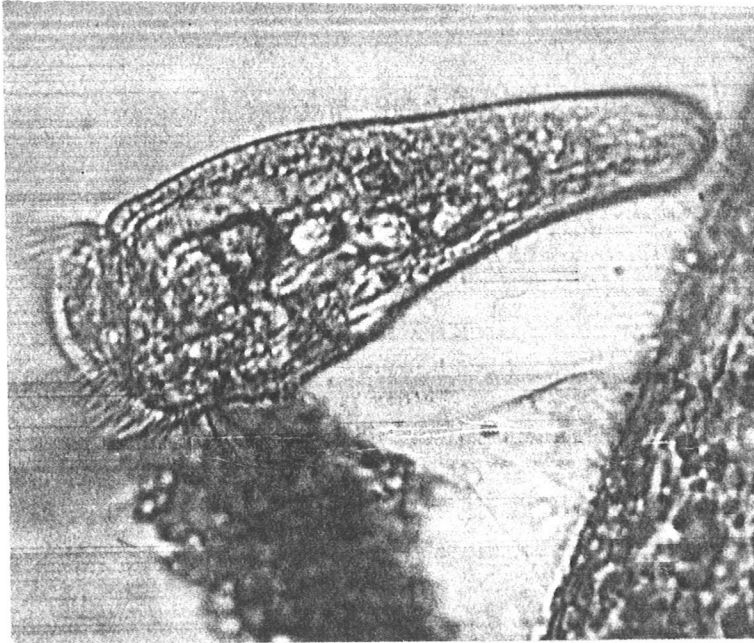


Gambar 24. Genus Arcella  
Mempunyai selaput untuk membungkus  
tubuhnya

Siliata (Ciliata) adalah juga termasuk protozoa atau hewan bersel satu. Susunan organisasi tubuhnya lebih rumit dan lebih sempurna dari flagelata. Ciliata mempunyai bulu getar untuk bergerak dan mengambil makanan. Contoh jenis ini adalah *Paramecium*, *Stentor mulleri*.

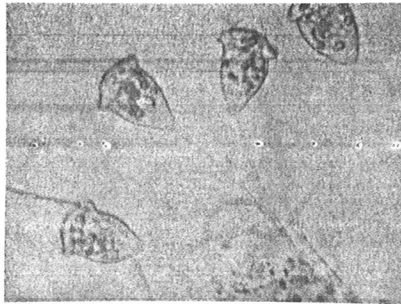


Gambar 25. *Paramecium caudatum*  
Adalah jenis ciliata besar dengan panjang  $\frac{1}{3}$  mm. Kemampuan kontraksinya membuatnya populer dalam pelajaran biologi.



Gambar 26. Stentor mülleri  
Karena bentuknya disebut binatang terompet.  
Berukuran 1 1/2 mm.

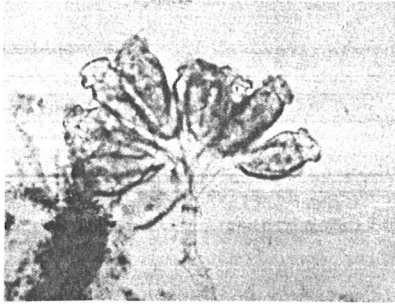
Mikroorganisme yang bentuknya menyerupai lonceng juga populer dalam kelompok ciliata. Jenis ini mempunyai bulu/rambut berbentuk spiral mengelilingi lubang mulutnya yang digunakan untuk memasukkan makanan. Pada keadaan tertentu bahkan terbentuk bulu kedua yang digunakan untuk bergerak, sehingga binatang ini dapat lepas dari tangkainya. Di dalam tangkai ini terdapat serabut menyerupai otot yang disebut myonem. Dengan bantuan myonem tangkai mempunyai kemampuan mengkerut dan dalam sekejap dapat membentuk spiral sehingga menjadi lebih pendek untuk melindungi diri dari bahaya. Tetapi ada genus yang tidak mempunyai myonem. Mikroorganisme menyerupai lonceng ini menetap permanen di suatu tempat.



Gambar 27. *Vorticella convallaria* (menyerupai lonceng)  
Mempunyai tangkai tidak bercabang, di  
dalamnya terdapat myonem.



Gambar 28. *Carchesium polypinum*  
Banyak percabangan pada tangkainya, mudah dikenali pada saat kontraksi, koloninya dapat terdiri dari 1000 individu dan besarnya mencapai beberapa mm

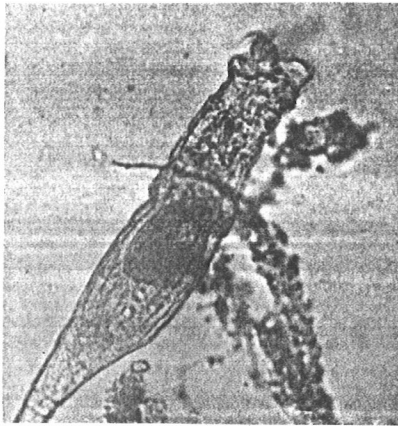


Gambar 29. Genus *Epistylis*  
Tidak mempunyai myonem sehingga  
tangkainya tampak bening

Mikroorganisme yang dekat dengan ciliata adalah Oria, yang tidak mempunyai bulu atau rambut. Sebagai gantinya ia melengkapi diri dengan tentakel penghisap yang ujungnya agak tebal menyerupai bundelan. Kebanyakan jenis ini bertangkai tetapi tidak mempunyai myonem.



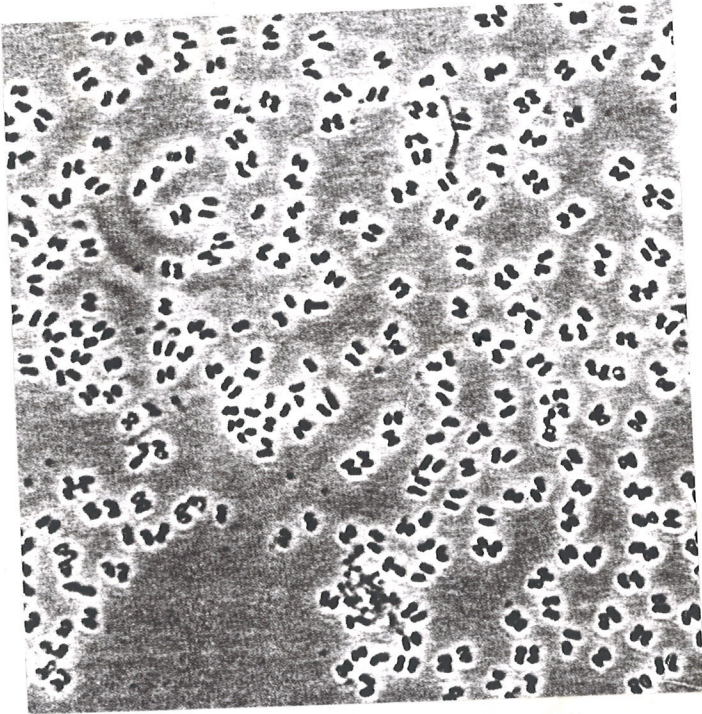
Gambar 30. *Tocophrya*  
Mempunyai dua bundelan tentakel, tetapi ada  
genus lain yang memiliki empat bundelan.



Gambar 31. *Rotaria*  
Binatang ini bersel banyak. Ukurannya tidak  
lebih besar dari ciliata. Di bawah mikroskop  
tampak seperti roda sepeda yang dikelilingi  
bulu-bulu.

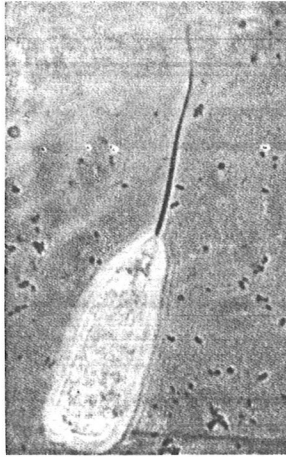
Banyaknya mikroorganisme di dalam lumpur aktif menjadi indikator tingkat penguraian optimal. Lumpur aktif yang terdiri dari bermacam-macam mikroorganisme akan mempunyai kebiasaan makan yang berbeda pula sehingga akan mempunyai kemampuan lebih untuk menyesuaikan diri terhadap air buangan yang mengandung bermacam-macam zat. **Lumpur yang lapar** adalah istilah yang tepat untuk menggambarkan keadaan mikroorganisme di dalam lumpur aktif tersebut.

Banyak mikroorganisme yang hanya dapat memakan bahan yang benar-benar larut atau bentuk koloidal. Sering diistilahkan sebagai **pemakan sup**. Proses pengambilan makanan dapat bersifat difus melalui permukaan seluruh tubuh atau lewat sel mulut yang berada pada bagian tertentu. Berikut adalah contoh cara makan mikroorganisme.



Gambar 32. Bakteri

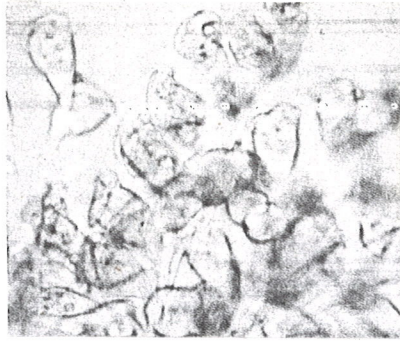
Kandungan terpenting bahan terlarut dalam air buangan adalah bakteri. Banyak jenis mikroorganisme mengeluarkan enzim untuk membantu menguraikan bahan makanan yang sukar larut, seperti yang dilakukan oleh bakteri.



Gambar 33. Flagellata

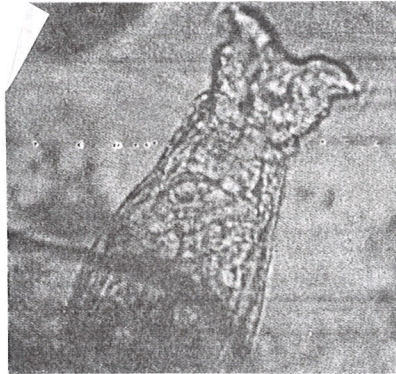
Banyak flagellata yang hanya mau mengambil bahan makanan cair. Berbeda dengan bakteri, flagellata mempunyai sel mulut.

Bagi mikroorganisme makanan yang tersedia tidak selalu berbentuk cair (koloid) tetapi kadang berbentuk padatan. Sehingga diperlukan filter untuk menyaring bahan mana yang dapat masuk yang sesuai dengan sistem pencernaannya.



Gambar 34. *Carchesium polypinum*

Mikroorganisme ini juga mengambil makanan yang isinya bakteri. Ia dapat dengan cepat menghabiskan makanan pada air yang tidak mengalir. Oleh sebab itu *Carchesium* hanya terdapat pada air yang mengalir, dimana makanan baru selalu datang.



Gambar 35. *Philodina plena*

Jenis ini termasuk Rotaria, mempunyai filter. Jika sedang makan ia melekat pada suatu tempat, jika telah habis ia berpindah ke tempat lain, sehingga tidak tergantung pada air yang mengalir.



Gambar 36. *Paramecium caudatum*  
Mempunyai filter, mudah dikenali karena bentuknya seperti sandal atau sepatu, mampu bergerak sehingga dapat mencari tempat yang banyak koloni bakterinya.

Banyak mikroorganisme yang mempunyai bulu / rambut menjadi pemakan bakteri dan flok-flok dalam lumpur aktif. Sehingga organel untuk tujuan tersebut menjadi penting. Selain bulu-bulu, tubuhnya dilengkapi pula dengan membran yang dapat bergerak dan perangkap seperti *fish trap*. Contoh berikut dapat menerangkannya.

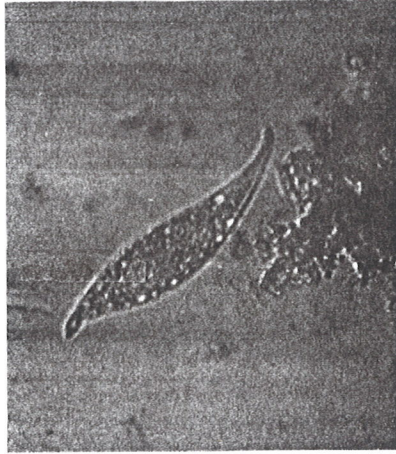


Gambar 37. Euplotes

Salah satu jenis mikroorganisme yang rakus, berbentuk oval dan bagian punggungnya bergaris seperti rusuk.

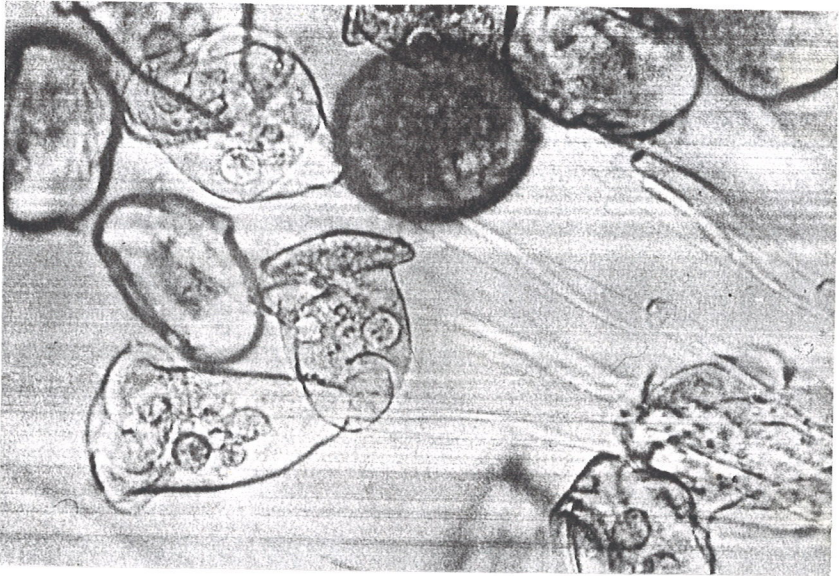


Gambar 38. *Chilodonella unicata*  
Pada lubang mulut *Chilodonella unicata* terlihat sekumpulan fish trap yang terdiri dari tongkat-tongkat kecil.



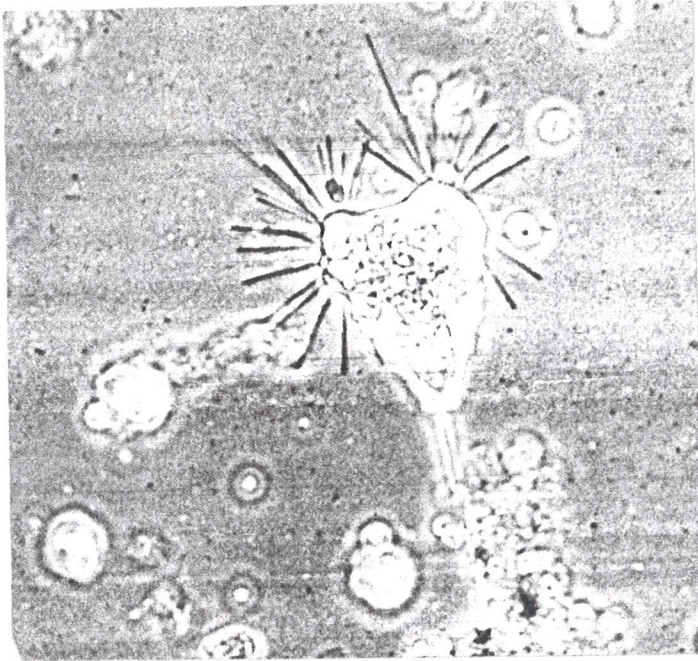
Gambar 39. *Hemiophrys pleurosigma*

Jenis ciliata ini senang memburu ciliata lain, bahkan jenis yang lebih besar seperti paramécium. Lubang mulut *Hemiophrys* panjang berbentuk lipatan. Hampir separuh dari bagina depan tubuhnya yang bentuknya lebih konveks. Sebelum ditelan mangsa dibuat lumpuh terlebih dulu oleh alat yang disebut trichocyst (kista tricho).



Gambar 40. *Amphileptus claparedei*

Sifatnya mirip *Hemiophrys pleurosigma* diatas, tetapi makanannya hewan menyerupai lonceng terutama genus *Carchaesium*. Mampu melahap mangsanya dalam sekejap setelah itu biasanya ia tinggal berjam-jam dengan menggunakan ujung tangkainya sebagai kista pencernaan yang bentuknya oval. Pada gambar diatas tampak dua kista pencernaan berbentuk oval diantara *Carchaesium*.



Gambar 41. Tocophrya

Untuk menangkap dan menghisap mikroorganisme lain anggota genus ini mempunyai tentakel hisap berbentuk bundel yang melekat pada mikroorganisme lain.

#### ALGAE:

Menurut ukurannya algae terbagi menjadi makroalgae dan mikroalgae. Khusus algae yang berperan dalam pengolahan air limbah adalah mikroalgae, sehingga yang dibahas dalam buku ini adalah dari jenis algae

mikroskopis. Algae atau ganggang termasuk organisme autotrof fotosintetik dan memperoleh energi untuk metabolisme dari sinar matahari. Proses fotosintetik yang dilakukan algae akan menghasilkan O<sub>2</sub> yang kemudian digunakan oleh bakteri untuk metabolisme bahan-bahan organik.

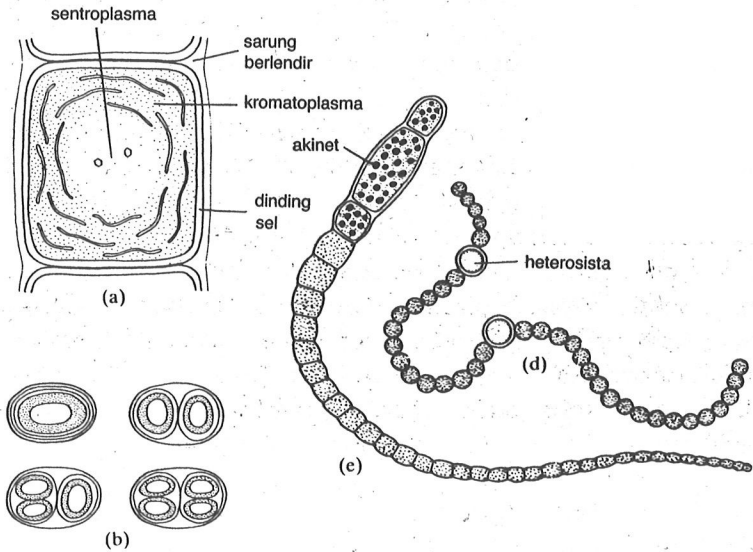


CO<sub>2</sub> yang diperlukan algae untuk fotosintetik diperoleh dari respirasi aerob, anaerob organisme lain, absopsi CO<sub>2</sub> dari udara dan dari alkalinitas bikarbonat. Sehingga pertumbuhan algae dalam sistem pengolahan air limbah dapat dikontrol atau dikendalikan dengan membatasi karbon, tetapi pada sistem yang alamiah sulit untuk melakukan ini.

Hal terpenting dalam pertumbuhan algae adalah keberadaan sinar matahari untuk melakukan fotosintetik. Pada sistem tertutup seperti activated sludge dimana sinar matahari sulit masuk maka pertumbuhan algae menjadi minimal, tidak dapat melakukan fotosintetik, tetapi respirasi endogenes masih dapat dilakukan seperti yang terjadi pada bakteri. Sehingga pada sistem tertutup ini justru kandungan O<sub>2</sub> bertambah dengan adanya aktifitas algae. Jenis algae yang umum terdapat dalam sistem pengolahan air limbah

adalah *blue green algae* (ganggang biru hijau) dan *green algae* (ganggang hijau).

**Ganggang biru hijau** adalah salah satu jenis algae (ganggang) yang digolongkan pada prokaryotik. Pigmen fikosianin biru dan fikoeritrin merah menutupi pigmen klorofil yang berwarna hijau, sehingga algae ini tampak berwarna biru kehijauan. Bersel tunggal dan berkembang biak dengan pembelahan biner. Dapat sendiri-sendiri atau dalam koloni dan berfilamen dengan dinding luar bersama. Jenis *Microcystis* dan *Anabaena* sering menimbulkan masalah karena kandungan toksinnya menyebabkan penyakit dan kematian pada hewan yang meminum air yang ditumbuhi algae jenis ini. Dan jika air tersebut dikonsumsi manusia maka timbul keluhan bau dan rasa tidak enak, hal ini dapat diperbaiki dengan menambahkan klorin dan ozon atau bahkan ditambah karbon aktif sehingga menaikkan kualitas air minum.

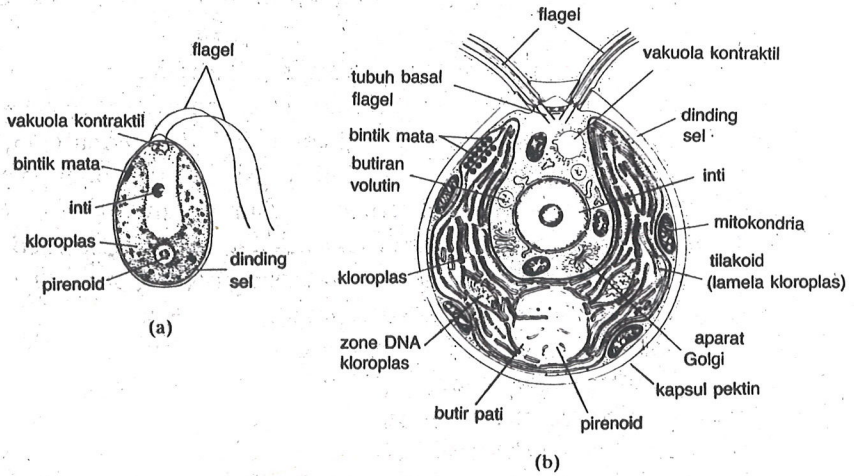


Gambar 42. Algae biru hijau (blue green algae)

- a. Sel algae biru hijau berfilamen memperlihatkan organisasi sel jenis prokaryot
- b. Bentuk filamen dengan akinet dan heterosista

**Ganggang hijau** adalah jenis algae yang strukturnya serupa dengan tumbuhan tinggi sehingga pengelompokannya dimasukkan pada sel eukaryotik. Jenis

algae hijau yang pradominan pada pengolahan limbah adalah *Chlorella* dan *Cenedesmus*.



Gambar 43. *Chlamydomonas* (algae hijau)  
 a. sel vegetatif  
 b. penampang sel vegetatif

## **BAB VI**

### **PENGOLAHAN AIR BUANGAN**

Air buangan yang tidak diolah potensial menyebabkan penyakit pada manusia (bersifat pathogen), juga menimbulkan bau tidak enak pada lingkungan akibat adanya bahan organik terlarut. Catatan dari WHO menyebutkan paling kurang 3000 orang meninggal setiap hari di negara-negara miskin yang kurang memperhatikan sanitasi dan pengelolaan air buangan.

Penjernihan air dilakukan dengan filter pasir atau arang aktif. Proses ini efektif untuk menyaring TSP (total suspended particulate). Tetapi mikroorganisme yang ukurannya sangat kecil seperti virus dan spora tidak dapat disaring dengan filter karena dapat lolos, sehingga biasanya ditambahkan klorin sebagai langkah akhir untuk menangani mikroorganisme agar air dapat di minum dengan aman. Pada kadar rendah klorin dapat menonaktifkan pathogen di air tetapi pada kadar tinggi klorin dan produknya mengganggu manusia dan merusak lingkungan.

### © MEMERIKSA KUALITAS AIR :

Air disebut terkontaminasi mikroba jika mengandung mikroorganisme patogen (mikroorganisme yang menyebabkan penyakit pada manusia). Kontaminasi kotoran manusia (feces) pada air diketahui dengan adanya bakteri Escherichia coli (disebut juga fecal coliform). Secara alami bakteri coli ada di usus manusia sehat dan mamalia lainnya untuk membantu pencernaan, tetapi beberapa strain coli ada yang bersifat patogen. Di Amerika air dikategorikan aman di minum jika tidak lebih dari 1 fecal coli / 100 mL air.

Adanya bakteri E. coli (coliform) dapat diperiksa dengan teknik fermentasi yang disebut test Most Probable Number (MPN), atau cara yang lebih mudah dengan melakukan pengujian air 3 tahap yaitu Presumptive test, Confirmed test dan Completed test. Cara ini paling sering dilakukan dan sering dipraktikkan oleh mahasiswa.

Cara yang lebih modern untuk mendeteksi coli adalah reaksi rantai polimerase. Bakteri dikumpulkan dari filter air dan diinkubasikan dengan gen E. coli yang spesifik untuk penggunaan laktosa. Dalam beberapa jam, dengan teknik ini dapat diketahui adanya informasi genetik yang cukup karena keberadaan organisme bersel tunggal pada

sampel air. Metode yang sama juga digunakan untuk memonitor virus pathogen. Air yang akan dikonsumsi harus bebas dari endotoksin dan bakteri gram positif. Inokulasi endotoksin pada sistem sirkulasi air konsumsi menyebabkan penyakit, bahkan kematian. FDA (The Food and Drug Administration) di Amerika merekomendasikan semua larutan yang masuk tubuh manusia harus bebas dari endotoksin (McKane & Kandel, 1996)

### © AIR BUANGAN

Ada beberapa pendekatan dalam memperlakukan air buangan domestik. Pertama mengembalikan langsung ke lingkungan, dan yang kedua menguburnya atau membuangnya di laut, danau, sungai. Cara-cara ini mengharapkan mikroorganisme sebagai dekomposer akan mengubahnya menjadi bentuk anorganik dan mengeliminasi buangan pathogen. Sesudah periode ini buangan menjadi aman dari pathogen, bahan kimia berbahaya, dan bau yang tidak enak. Sayangnya proses ini membutuhkan waktu lama, dan kemungkinan air buangan digunakan kembali sebelum bahan pathogen dieliminir sehingga menyebabkan epidemi "water borne disease"

yang serius. Selain itu dekomposisi secara alami tidak dapat berjalan cepat jika volume buangan terlalu besar.

### **Penanganan Sistem Aerobik:**

Pada tingkat rumah tangga, air buangan ditampung di septik tank, yaitu suatu bentuk penampungan kotoran sampai kondisinya padat / stabil dan terjadi dekomposisi materi organik. Proses penguraian / pemecahan secara lengkap, hanya terjadi dengan adanya oksigen, dan aktifitas biologis di dalamnya. Tangki akan dengan cepat mengkonsumsi oksigen dan menghasilkan kondisi yang anaerob. Cairan yang keluar (effluent) dari septik tank melalui pipa, kemudian mengalami aerasi dan terurai menjadi materi organik oleh dekomposer yang ada dipermukaan aliran effluent tersebut, baru kemudian masuk / merembes ke tanah.

Untuk komunitas yang lebih besar misalnya kota menggunakan alat / unit pengolahan air buangan yang disebut "**treatment plants**". Pada sistem ini laju dekomposisi bahan padat dan mikrobial dipercepat untuk mengimbangi volume masuk air buangan yang sangat besar. Partikel padat yang berukuran besar pada air buangan disaring. Cairannya kemudian di alirkan ke tangki

sedimen dimana bahan padat yang tertinggal akan menjadi lumpur endapan (sludge). Proses yang pertama dilakukan pada model pengolahan air buangan ini disebut "primary treatment" yang lebih kepada proses fisika dari pada dekomposisi mikrobial.

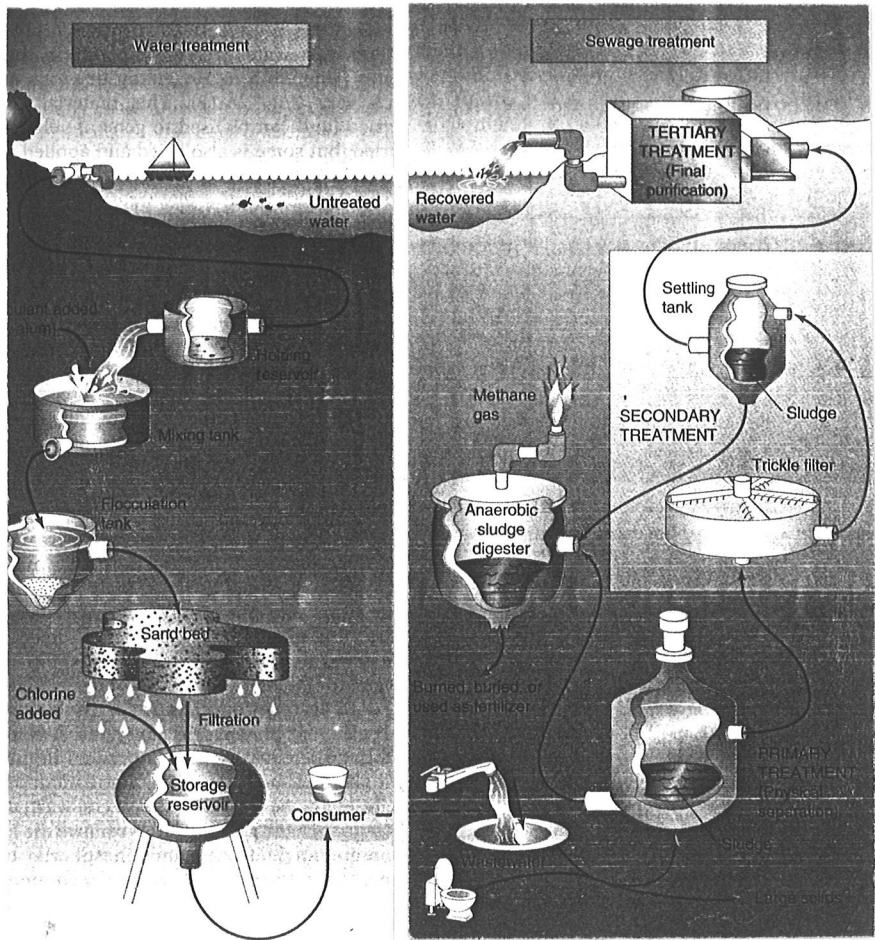
Semua effluent dari "**primary treatment**" dan lumpur / endapannya mengandung bahan pathogen yang potensial berbahaya dan ikatan organik sehingga kadar BOD (Biochemical Oxygen Demand = jumlah oksigen terlarut yang digunakan untuk proses biokimia) menjadi tinggi. Materi organik yang terurai menjadi lebih banyak, sehingga lebih banyak pula oksigen yang diperlukan bakteri untuk mendekomposisi. Buangan yang ditumpuk dengan BOD tinggi menaikkan konsentrasi ikatan organik terurai di lingkungan, dimana benda / bahan itu dibuang. Materi organik lain yang masuk pada ekosistem alami seperti danau dapat menghabiskan oksigen dan menyebabkan hewan air misalnya ikan kekurangan oksigen. Selain itu akan timbul bau tidak enak (bau busuk) dan perairan menjadi berwarna gelap (Vesilind, et al, 1994).

"**Secondary treatment**" lebih kepada proses biologi yang tergantung pada aerasi lengkap. Kehadiran oksigen selama proses "secondary treatment" akan mengurangi

BOD air buangan sekitar 80 – 90%. Pada **“trickle filtration”** (penyaring menetes), gerak yang lamban dari **“sprinkler arms”** (batang pengaduk) menyebabkan effluent kecil dari **“settling tank”** melalui batu-batu kerikil yang diselimuti mikroba yang segera mengoksidasi ikatan organik terurai dan materi padat yang tersuspensi. Effluent kemudian dikumpulkan di tangki sedimentasi untuk pemisahan bahan padat.

Sistem **“activated sludge”** (lumpur aktif) lebih efisien dari pada sistem **“trickle filter”**. Pada sistem ini, effluent dari **“primary system”** masuk ke tangki yang kemudian dipompakan udara yang kuat ke dalamnya. Mikroba yang ada dalam buangan akan mendekomposisi bahan material organik terlarut dan **“suspended”** terlarut. Air buangan kemudian dialirkan ke **“settling tank”** / sentrifuge besar untuk pemisahan air dengan lumpurnya. Lumpur dari tangki **“primary”** dan **“secondary treatment”** dicerna oleh mikroorganisme anaerobik. Proses ini mendekomposisi banyak bahan organik ke senyawa methane, yaitu gas yang mudah terbakar dan dapat digunakan sebagai bahan bakar pada fasilitas-fasilitas di area pengolahan bahan buangan tersebut.

Mikroorganismen yang aktif pada trickling filter adalah bakteri fakultatif heterotrofik. Jenis alga hanya tumbuh pada permukaan filter saja karena metabolisme alga mutlak memerlukan sinar matahari, sedangkan dibawah permukaan filter sinar matahari tidak dapat masuk. Bahan organik yang terdapat dalam air limbah akan merangsang pertumbuhan mikroba pada permukaan media. Waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi optimal mikroba adalah sekitar 4 – 6 minggu.



Gambar 44: Skema pengolahan air dan limbah domestik

## Penanganan Sistem Anaerobik

Adalah proses penanganan limbah oleh aktifitas mikroorganismenya dalam kondisi tanpa oksigen. Proses ini meniru apa yang terjadi dalam perut hewan yaitu proses pencernaan secara anaerobik atau fermentasi, produk akhirnya adalah  $\text{CH}_4$  (gas metan) yang mempunyai pH netral. Bakteri yang aktif dalam penanganan limbah anaerobik adalah bakteri fakultatif anaerob, yang juga aktif dalam proses aerob. Berikut adalah hasil proses anaerob yang dilakukan oleh bakteri coli.

Tabel 2. Hasil metabolisme anaerob oleh E.coli

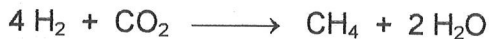
Senyawa	Jumlah (mmol / 100mmol pH 6,2	glukosa pada pH 7,8
2.3 Butanediol	0,3	0,26
Acetoin	0,06	0,19
Gliserol	1,42	0,32
Etanol	49,8	50,5
Asam format	2,43	86,0
Asam asetat	36,5	38,7
Asam laktat	79,5	70,0
Asam suksinat	10,7	14,8
Karbon dioksida	88,0	1,75
Hidrogen	75,0	0,26

Sumber: Schroeder, 1977

Bakteri metana adalah mikroorganisme yang umum terdapat pada pengolahan cara anaerob. Hasil kerja bakteri ini adalah gas metan. Jenis bakteri metan yang berhasil diidentifikasi ada 4 genus, yaitu:

1. *Methanobacterium*, bakteri bentuk batang yang tidak menghasilkan spora
2. *Methanobacillus*, bakteri bentuk batang yang menghasilkan spora
3. *Methanococcus*, bakteri bentuk kokus
4. *Methanosarcina*, bakteri bentuk sarcina (berkelompok membentuk kotak)

Bakteri dari genus methano ini mampu mengoksidasi hidrogen dengan menggunakan  $\text{CO}_2$ , reaksinya adalah sebagai berikut:



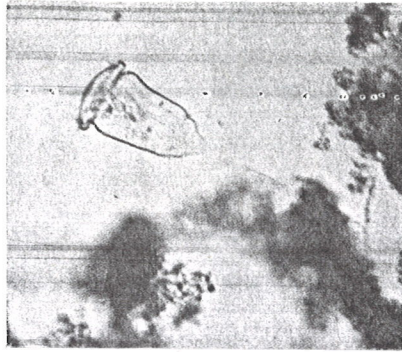
Sifat kekhususan lainnya adalah bakteri ini mampu mengoksidasi asam organik seperti asam valerat menjadi asam asetat dan asam propionat. Dalam proses fermentasi hal yang penting dan menjadi kontrol adalah derajat keasaman (pH) dan suhu. Untuk menjaga keseimbangan pH, biasanya di lapangan menggunakan penambahan kapur atau larutan basa seperti  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaCO}_3$

dan pH yang diharapkan adalah tetap sekitar 6,5 – 7,5. Umumnya bakteri yang berperan dalam fermentasi adalah jenis mesofilik dimana suhu optimal untuk tumbuh adalah 20° – 45°C, jika suhu fermentasi diatas 40°C maka hasil metan menurun cepat. Ratio CO<sub>2</sub> dan metan juga perlu diketahui untuk mengukur efisiensi proses anaerob. Jika ratio 0,7 artinya 70% adalah CH<sub>4</sub> dan 30% CO<sub>2</sub> berarti proses anaerob berjalan baik.

#### TINJAUAN LUMPUR AKTIF:

Lumpur aktif adalah poses pengolahan limbah yang banyak dilakukan terutama pada limbah domestik. Berikut adalah jenis mikroorganisme yang banyak berperan di dalam lumpur aktif dan proses-proses yang terjadi di dalamnya.

Sebenarnya tugas lumpur aktif sangat berat. Suplai oksigen menjadi syarat mutlak agar lumpur aktif mampu menjalankan tugasnya dengan baik. Melalui mikroskop kita dapat mengetahui bagaimana lumpur aktif memperoleh oksigen. Dan bagaimana mikroorganisme menjadi indikator keaktifan lumpur aktif.



Gambar 45. *Vorticella convallaria*

Kepadatan *Vorticella convallaria* adalah sebagai tanda keberadaan oksigen yang optimal atau hampir selalu tidak dibawah 2 miligram/liter.

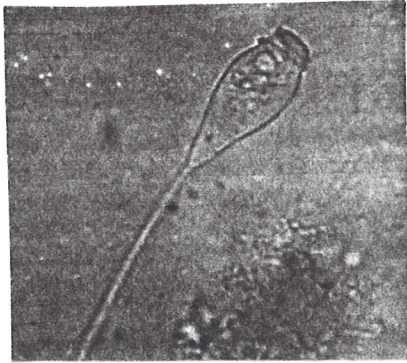


Gambar 46. *Opercularia*

Menunjukkan lumpur aktif masih mengandung oksigen 1 – 1,5 mg / liter



Gambar 47. *Carchesium*  
Indikator kondisi buruk lumpur aktif



Gambar 48. *Vorticella putrina*

Kepadatan *Vorticella putrina* dan yang serupa yaitu *Vorticella microstoma* menandakan suplai oksigen kurang baik, bahkan sering konsentrasi oksigen jauh di bawah 1 mg / liter



Gambar 49. *Colpidium campylum*

Menandakan lumpur aktif dalam keadaan kurang oksigen, bahkan sering tidak terdeteksi secara kimia maupun dengan elektrode.

### FAKTOR FISIK YANG MEMPENGARUHI LUMPUR AKTIF:

Pada **temperatur** tinggi gangguan lebih jarang terjadi dibandingkan pada temperatur rendah. Penurunan temperatur pada musim dingin dan musim gugur menyebabkan timbulnya bakteri *Sphaerotilus* dalam jumlah banyak, yang semakin tinggi jika banyak asam lemak masuk dari buangan industri ke dalam sistem pengolahan tersebut.

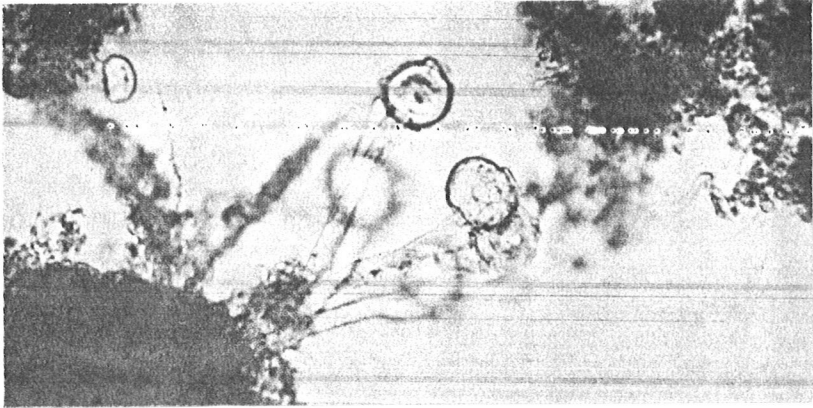
Hal lain yang perlu diperhatikan adalah jika **volume** lumpur membesar, yaitu jika indeksnya mencapai 200 atau 300 sehingga proses pengendapan tidak terjadi. Penyebabnya adalah adanya bakteri *Sphaerotilus* yang bentuknya menyerupai benang dan jenis *Zooglea*.

Kadar senyawa tertentu di dalam lumpur aktif sering membuat beberapa mikroorganisme tidak dapat hidup. Sebagai contoh kadar  $\text{NH}_4^+$  yang terlalu tinggi (diatas 20 mg/liter) membuat jenis *Colpidium* (gambar 49) tidak dapat hidup. Tetapi ada mikroorganisme yang justru tahan hidup pada kadar  $\text{NH}^+$  tinggi seperti *Paramecium tricum*.

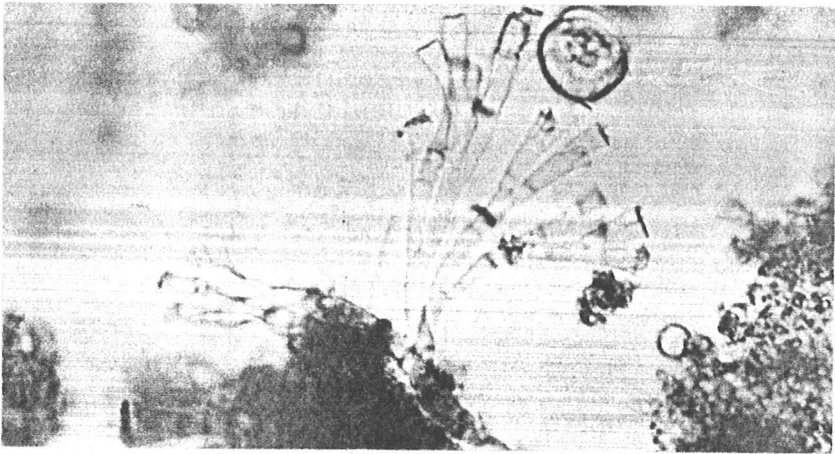


Gambar 50. *Paramecium tricum*  
Organisme bentuk sandal ini sanggup hidup  
pada  $\text{NH}^+$  tinggi

Air buangan yang langsung di buang dalam jumlah besar dapat membuat mikroorganisme yang terdapat pada lumpur aktif seperti mengalami shock. Sehingga justru menghambat proses dekomposisi. Seperti yang diperlihatkan oleh mikroorganisme yang berbentuk lonceng (*Epistylis*) di bawah mikroskop. Dalam waktu singkat maka ia dapat membentuk selaput pelindung dan bersembunyi untuk sementara waktu sehingga organisme ini tampak seperti kista



Gambar 51. Epistylis enzystiert  
Epistylis dalam bentuk koloni kista

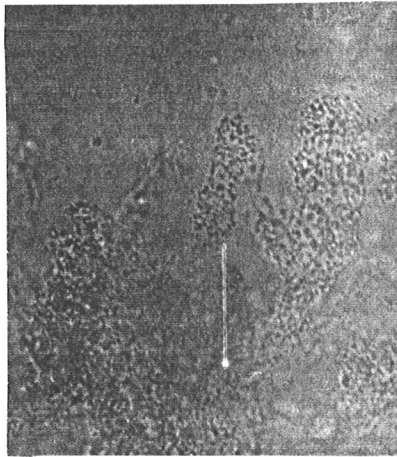


Gambar 52. Tangkai Epistylis  
Adanya turbulensi dalam bak lumpur aktif dapat  
menyebabkan kista terlepas dari tangkainya

Kondisi lumpur aktif yang baik dapat dilihat dari:

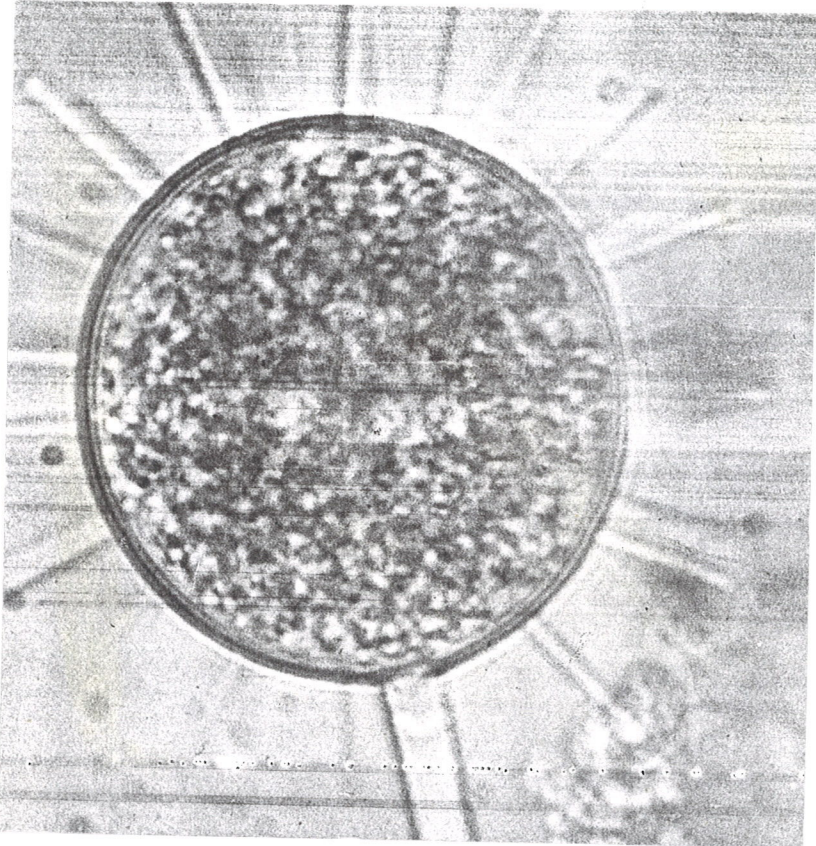
- banyaknya mikroorganisme yang membutuhkan oksigen
- jumlah bakteri yang menyerupai benang
- ada tidaknya kista hewan yang bentuknya menyerupai lonceng

Selain indikator umum diatas, beberapa mikroorganisme indikator dibawah ini dapat menjadi acuan.



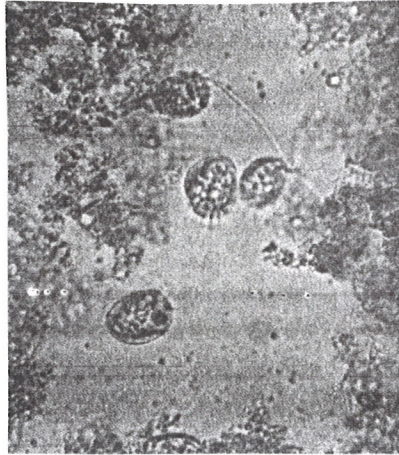
Gambar 53. Zooglea-Dendrita

Adanya sejumlah Zooglea yang mempunyai cabang banyak sehingga bentuknya seperti Dendrit manandakan bahwa lumpur mempunyai kemampuan adsorpsi tinggi.



Gambar 54. Podophrya

Generasi diantara dua fase pembelahan sel Oria penghisap dan penginfus berlangsung lebih lama dibandingkan jenis ciliata lainnya. Sehingga pengaruh yang kurang menguntungkan dari lingkungan sekeliling lebih berdampak pada perkembangannya. Dengan demikian keberadaan mikroorganisme ini dapat dijadikan indikator kestabilan lumpur aktif.



Gambar 55. Aspidica

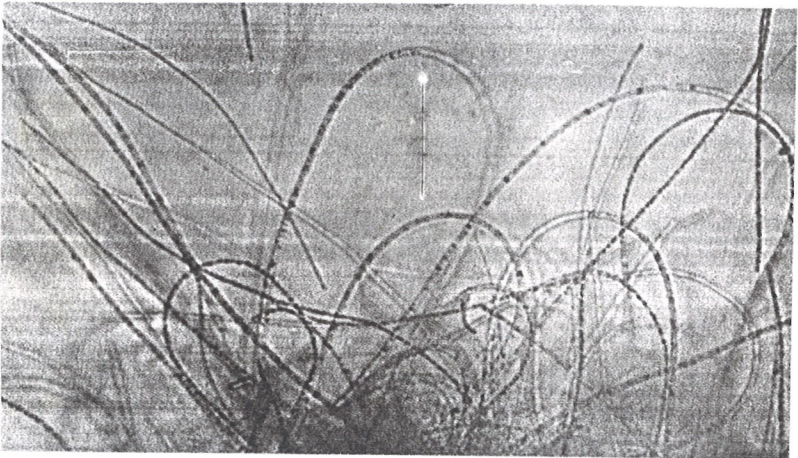
Keberadaan mikroorganisme ini menjadi indikasi bahwa fasa air mengandung sedikit bakteri tersuspensi, tidak tersedia cukup makanan bagi organisme bentuk lonceng. Keadaan ini adalah tanda berlangsungnya penjernihan pada lapisan dalam.

Diatas telah diterangkan mengenai tanda-tanda lumpur aktif jika pasokan oksigen terlalu sedikit, kadar  $\text{NH}_4^+$  dan kadar asam lemak oksida terlalu tinggi. Berikut ini adalah beberapa indikator lainnya yang penting.



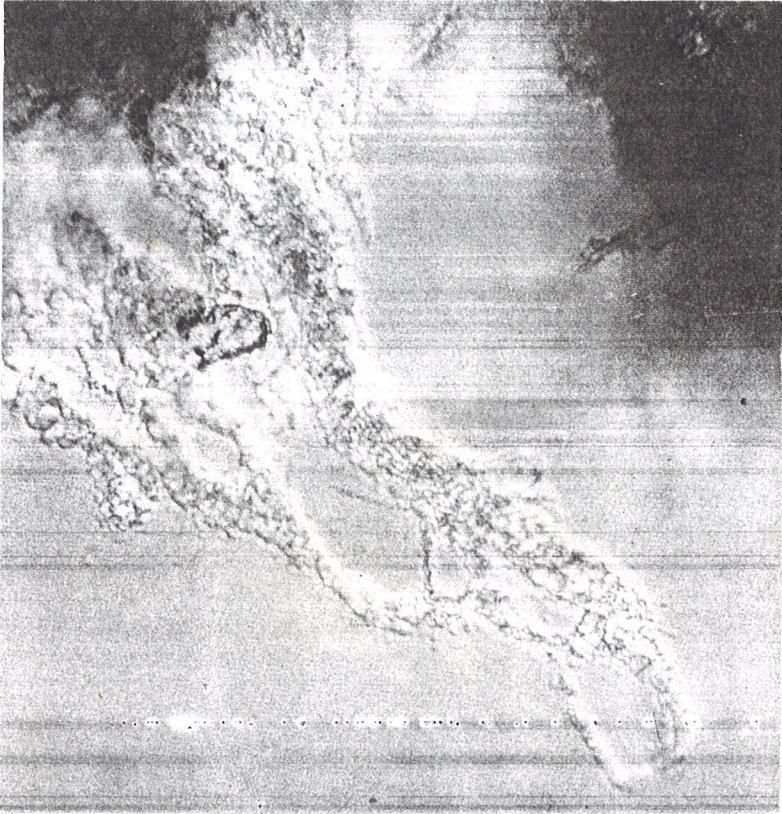
Gambar 56. Spirillum

Keberadaan bakteri jenis *Spirillum* dalam jumlah banyak menunjukkan bahwa lumpur telah mengalami keadaan anaerob dalam waktu lama yang sering kali disebabkan tingkat pencemaran yang tinggi. *Spirillum* juga dapat berkembang dalam air yang berada terlalu lama pada tahap awal proses penjernihan dan baru kemudian masuk ke sistem pengolahan, untuk berkembang lagi pada bak lumpur aktif.



Gambar 57. *Beggiatoa*

Bakteri sulfur genus *Beggiatoa* berkembang di bak lumpur aktif. Keberadaan jenis ini menunjukkan turbulensi sedikit dan kurangnya hidrolis pada bak lumpur aktif tersebut.



Gambar 58. Degenerasi lumpur

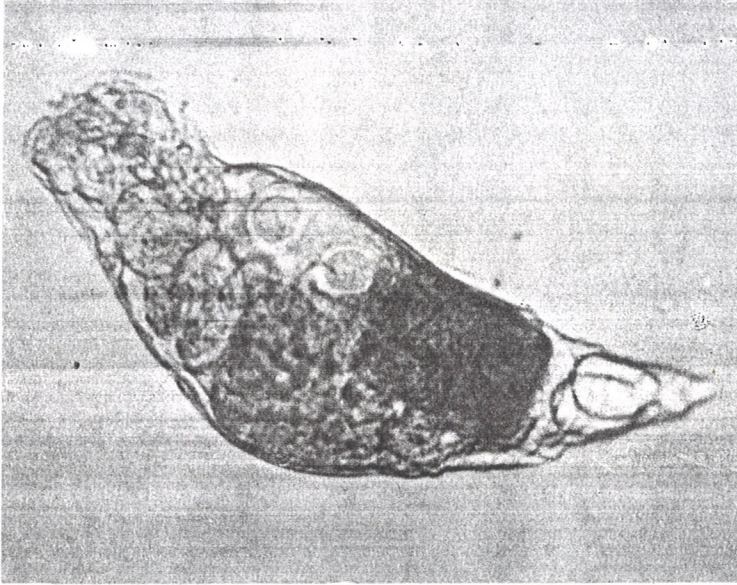
Bila perangkat lumpur aktif mulai dioperasikan, biasanya baru akan berfungsi setelah beberapa minggu, sampai lumpur benar-benar sesuai dengan yang diharapkan. Sebelumnya terdapat berbagai jenis kelompok mikroorganisme yang akan segera menghilang seperti jenis flagelata.



Gambar 59. Vahlkampfia

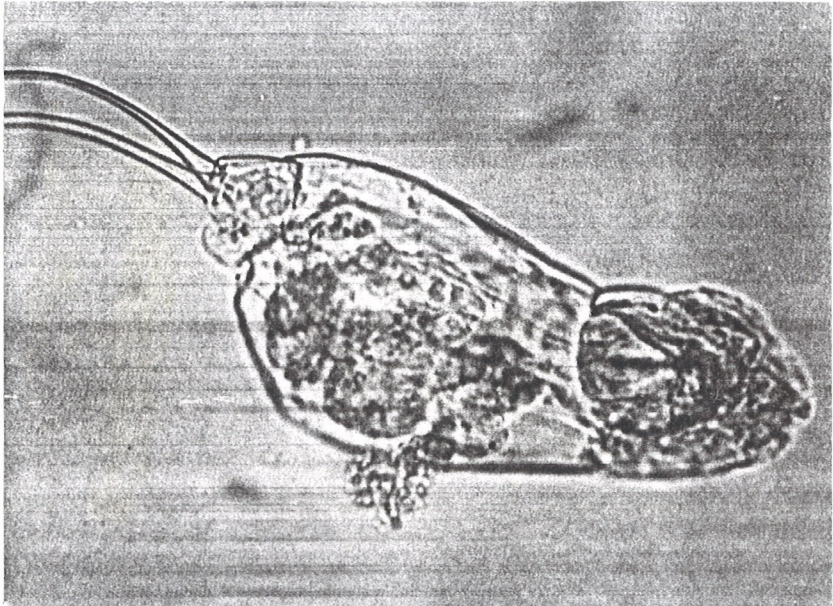
Jenis mikroorganisme yang bentuknya sering berubah-ubah, dapat dijadikan tanda bahwa lumpur belum diaktifkan.

Lumpur disebut sudah sangat tua jika pasokan lumpur lebih sedikit dibandingkan lumpur yang disirkulasikan. Hal ini dapat dikenali melalui pemeriksaan mikroskop, dimana koloni Zooglea sangat sedikit dan hampir tidak ditemui Dendrita.



Gambar 60. Proales

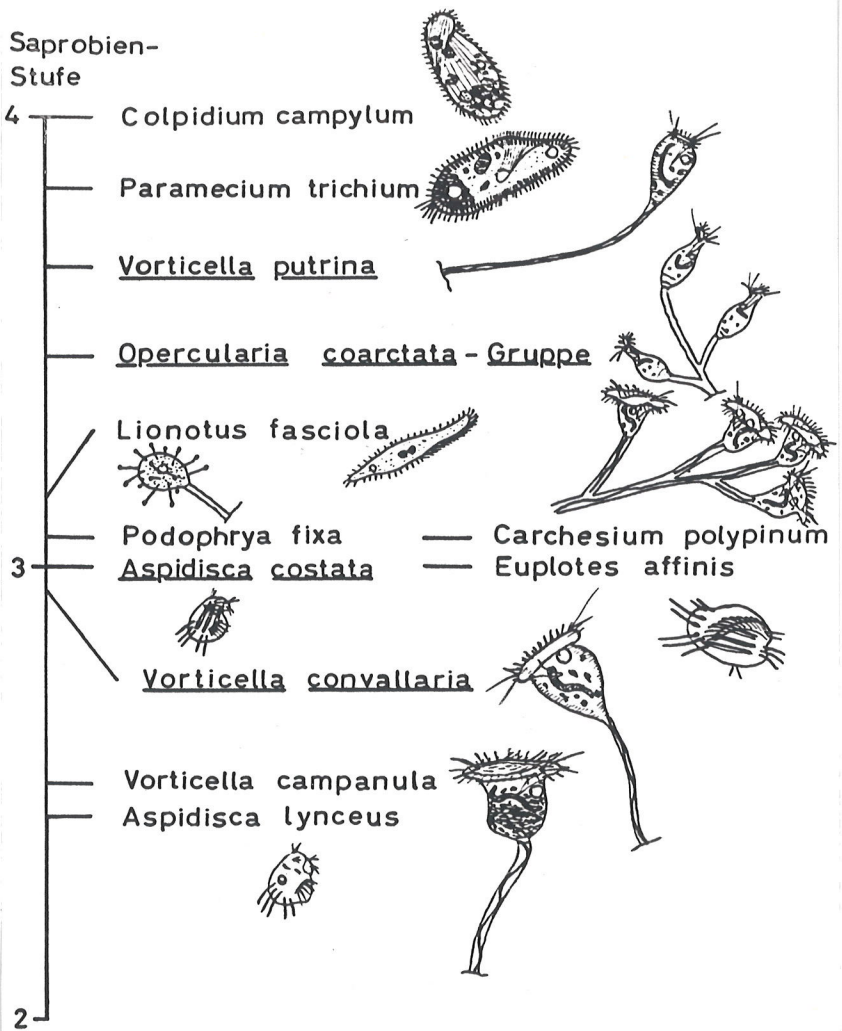
Jenis Rotaria terutama Proales ini adalah sebagai tanda lumpur aktif telah sangat tua dan bebannya sangat sedikit.



Gambar 61. *Cephalodella gibba*

Jeris Rotaria ini hanya terdapat pada perangkat pengolahan air yang bebannya sedikit. Kebutuhan oksigen jenis ini hanya 3 miligram / liter.

Untuk menilai kondisi lumpur aktif harus hati-hati. Gambar berikut dapat menjadi acuan untuk penilaian. Ada 4 skala untuk klasifikasi kualitas air. Skala ini disebut juga Skala Sistem Saprobien. Dalam sistem ini tingkat 1 berarti air tidak terbebani dan tingkat 4 berarti derajat pencemaran sangat tinggi. Organisme pada tingkat 3 secara keseluruhan menunjukkan tingkat kemampuan operasi perangkat pengolahan air berfungsi baik. Sedangkan organisme tingkat 4 menunjukkan fungsi yang kurang baik. Sebaliknya adalah organisme pada tingkat 2. Disini perlu dipertanyakan apakah penambahan oksigen dalam jumlah yang sangat besar masih ekonomis.



Gambar 62. Sistem Skala Saprobien

**DAFTAR PUSTAKA**

Buck, Harald; B. Sabine, 1987, "Mikroorganismen in der Abwasserreinigung", Abwassertechnischen Vereinigung Landesgruppe Baden-Württemberg, F. Hirthammer Verlag München.

Dwidjoseputro, D., 1998, "Dasar-dasar Mikrobiologi", Penerbit Djambatan, Jakarta.

McKane, Larry; Kandel, Judy, 1996, "Microbiology, Essentials and Applications", McGraw-Hill, Inc., New York - Toronto

Pelczar, M.J.; Chan, E.C.S., 1981, "Elements of Microbiology", International Student Edition, McGraw-Hill International Book Company, Auckland - Tokyo.

Sinha, U; Srivastava, Sheela, 1997, "An Introduction to Bacteria", Vikas Publishing House PVT LTD.

Vesilind, P.A.; Peirce, J.J.; Weiner, R.F., 1994, "Environmental Engineering", third edition, Butterworth-Heinemann, Boston - Wellington.

Volk, W.A.; Wheeler, M.F., 1984, "Mikrobiologi Dasar", Edisi ke 5 jilid 1, Editor Soenartono Adisoemartono, Penerbit Erlangga, Jakarta.

## **Tentang Pengarang**

**MM. Sintoni** , lahir di Jakarta 22 November 1962, lulus sebagai sarjana Biologi UGM 1988, kemudian gelar Master diperoleh dari Universitas Indonesia bidang Kesehatan Lingkungan, saat ini sedang menyelesaikan studi doktor di bidang yang sama. Sejak 1988 sebagai pengajar di Jurusan teknik Lingkungan Universitas Trisakti Jakarta.

**H. Widyatmoko** , lahir di Yogyakarta 21 Oktober 1952, sejak tahun 1995 sampai sekarang adalah dosen bidang kimia, sistem energi lingkungan, geologi lingkungan dan pengelolaan sumber daya tanah pada jurusan Teknik Lingkungan dan Planologi Universitas Trisakti.

Gelar Diplom Geologe & Palaeontologe (1986) dan Doktor der Naturwissenschaften (1994) diperoleh dari Universitaet zu Koeln, Jerman. Tahun 1995 mengikuti pendidikan Environment Oriented Management and Resources - Management di Jerman. Tahun 1982 - 1987 sebagai asisten laboratorium geokimia dan tenaga ahli proyek lingkungan hidup untuk pengembangan dan pengkajian sanitasi lingkungan Universitaet zu Koeln & Bundesministerium fuer Forschung und Technologie, Jerman. Di bidang lingkungan hidup aktif pada organisasi Partai Hijau dan Green Center

Dinastindo  
Jalan Senopati 54  
Jakarta 12110

Telp. (021)7250002, 72799307

Fax (021)7262145

e-mail: [dinastindo@yahoo.com](mailto:dinastindo@yahoo.com)

ISBN 979 - 3047 - 08 - 9