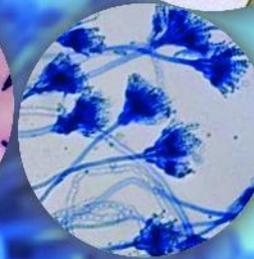
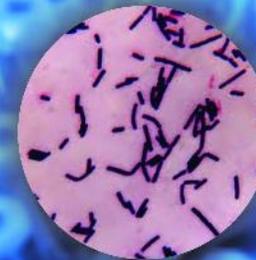
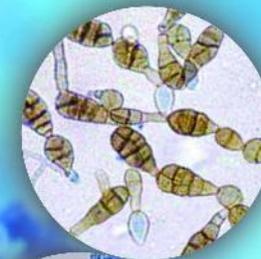


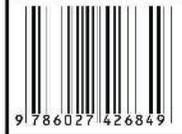
ISBN 978-602-74268-4-9

Dasar - dasar Mikrobiologi

ENDAH RITA SULISTYA DEWI
ATIP NURWAHYUNANI



ISBN 978-602-74268-4-9



9 786027 426849



UNIVERSITAS PGRI SEMARANG
PRODI PENDIDIKAN BIOLOGI

Dasar-dasar Mikrobiologi

Penyusun : Endah Rita Sulistiya Dewi, dkk.

Editor : Atip Nurwahyunani

Desainer Sampul : Atip Nurwahyunani

Cetakan Pertama tahun 2018

Dicetak oleh.....

ISBN.....

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penyusun panjatkan kepada Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga mampu menyelesaikan penyusunan buku Mikrobiologi.

Dalam kehidupan sehari-hari tanpa disadari manusia selalu berhubungan dengan mikroba dari alam yang tidak tampak dengan mata biasa. Sebagian dari manusia hidup bergantung dengan mikroba, itu sebabnya pengetahuan mengenai mikroba dalam kehidupan sangat penting untuk pelajari dan diteliti.

Harapannya buku mikrobiologi ini dapat membantu mahasiswa dalam menambah pengetahuan mahasiswa tentang mikroba. Kepada para mahasiswa kami ucapkan selamat belajar dan manfaatkanlah buku ini sebaik-baiknya.

Semarang, Januari 2018
Penyusun

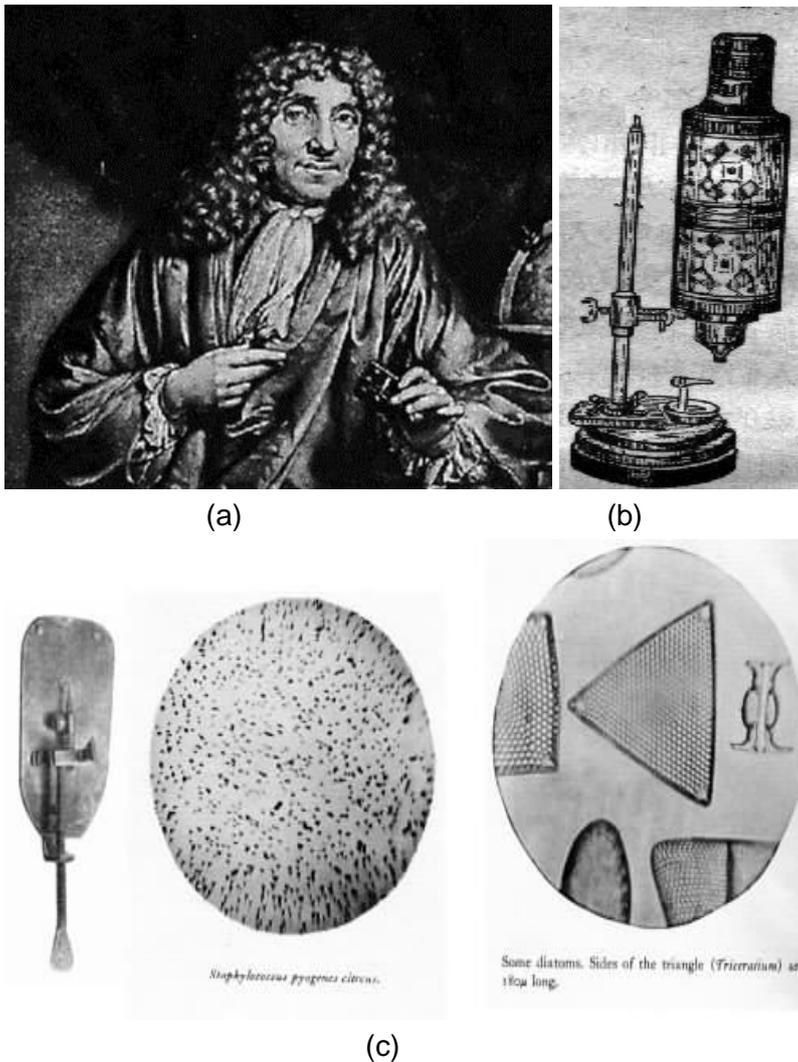
Daftar Isi

Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iii
Bab 1 Sejarah Perkembangan Mikrobiologi	1
Bab 2 Morfologi dan Struktur Bakteri	7
Bab 3 Pewarnaan Bakteri	17
Bab 4 Pertumbuhan dan Perkembangan Mikroorganisme	27
Bab 5 Protista	30
Bab 6 Virus	44
Bab 7 Metabolisme Mikroorganisme	54
Bab 8 Mikrobiologi Terapan	73
Daftar Pustaka	

Bab 1. SEJARAH PERKEMBANGAN MIKROBIOLOGI

Mikrobiologi adalah ilmu yang mempelajari bentuk, sifat dan kehidupan jasad-hidup yang termasuk **mikroba** (jasad-renik mikrobial, mikroorganisme).

Dunia mikroba walaupun sudah sejak lama dikenal kehadiran dan peranannya, baru “terbuka” setelah Anthony van Leeuwenhoek (1632-1723) menciptakan mikroskop sederhananya. Disebut sederhana karena mikroskop tersebut hanya terdiri dari satu lensa dengan mencapai pembesaran 200 kali.



Gambar 1. Anthony van Leeuwenhoek (a), Mikroskop sederhana (b), Mikroorganisme sel tunggal (c).

<http://basic.shsmu.edu.cn/passw/micro2/index.asp>

Berbicara tentang sejarah bidang mikrobiologi, maka sebaiknya diungkapkan berdasarkan periode perkembangan bidang tersebut mulai dari periode yang paling awal hingga yang modern sesuai dengan kemajuan yang dicapai, yaitu:

1. Periode spekulasi dan perintisan: dari jaman prasejarah sampai 1850

Pada periode ini para ahli mencoba mencari jawaban dari berbagai permasalahan yang timbul dilingkungannya yang mungkin berkaitan dengan peranan mikroba, misalnya :

- a) Bagaimana dan darimana kehidupan ini berasal (masalah **biogenesis**)
- b) Apa yang terjadi dengan bahan-makanan yang kemudian menjadi busuk atau berbau (masalah pembusukan, pelendiran)
- c) Mengapa dan bagaimana suatu penyakit dapat menular dan menyebar (masalah **Kontagion**)
- d) Apa yang terjadi dengan pelukaan yang kemudian membengkak dan mengeluarkan nanah (masalah **supurasi**)
- e) Bagaimana proses fermentasi dapat terjadi

Pada periode inilah timbul dan lahirnya fenomena, batasan, ataupun postulat tentang segala sesuatu yang berhubungan dengan mikrobiologi secara umum ataupun secara khusus.

Adalah hal yang bisa dimengerti mengingat tingkat kemajuan ilmu pengetahuan dan sarana peralatan yang ada saat itu, kalau pada jaman dahulu orang mempercayai adanya **generatio spontanea** (generasi spontan) atau teori **abiogenesis**. Yaitu bahwa suatu kehidupan atau hadirnya makhluk hidup dapat terjadi secara spontan atau tiba-tiba dari benda mati.

Percobaan **Redi** (1626-1697) seorang ahli pengetahuan kedokteran Italia yang mula-mula “meruntuhkan” teori abiogenesis, dengan memanaskan terlebih dahulu benda-benda yang mau disimpan, sehingga kemungkinan besar walaupun sudah menempel “bibit” jasad-hidup pada permukaan benda/barang akibat sentuhan tangan, hembusan angin ataupun dicuci dengan air biasa, dengan jalan dipanaskan akan mati. Ternyata dengan penyimpanan lama setelah pemanasan, benda atau bahan tersebut tidak ditumbuhi oleh jasad-hidup.

Juga percobaan **Spallanzani** (1729-1799) yang memasukkan substrat/bahan berupa senyawa organik ke dalam botol-labu dan ditutup rapat, kemudian dipanaskan. Ternyata walaupun labu itu kemudian, disimpan lama, adanya kehidupan di dalam bahan nampak dan terjadi. Tetapi berbeda hasilnya dengan botol lain diisi dengan bahan yang sama tetapi hanya ditutup dan tidak dipanaskan di dalamnya telah ditumbuhi oleh jasad hidup.

Untuk masa berpuluh-puluh tahun yang tetap dianut adalah **proses fermentasi**, misalnya fermentasi cairan buah anggur, anggur beralkohol. Proses tersebut adalah proses kimia, dimana jasad pemrosesnya tidak Nampak. Berkat penelitian tiga orang ahli, diantaranya **Pasteur** pada tahun 1830, dapat diketahui dan dipastikan proses fermentasi adalah proses biologis dimana mikroba (ragi) berperan.



Gambar 2. Louis Pasteur dengan percobaannya menumbangkan teori **generatio spontanea**

<http://basic.shsmu.edu.cn/passw/micro2/index.asp>

Dalam bidang ilmu penyakit, walaupun sejak jaman banyak ahli yang mempunyai keyakinan bahwa penyebab penyakit berpindah tempat dan menyebar dari satu orang ke orang lain, melalui udara, melalui air, ataupun melalui pembawa lainnya. **Fracastorius** (1478-1553) mengemukakan dasar-dasar yang menyakinkan tentang perpindahan dan penyebaran jasad penyebab penyakit, mulai diungkapkan. Serta lebih kurang satu setengah abad kemudian oleh **Kircher** (1602-1680) cara-cara yang pasti tentang penularan, penyebaran, dan perpindahan jasad penyakit tersebut diuraikan dengan lebih terperinci. Uraian, bahasan, dan batasan Kircher inilah yang kemudian mengungkapkan berbagai jenis penyebab penyakit serta cara penularannya, seperti oleh **Panum** (1820-1885) ahli kedokteran Denmark untuk penyakit Campak, **Snow** (1813-1858) dan **Budd** (1811) tentang epidemi kolera Asia, dan sebagainya.

Pada periode perintisan dan spekulasi, yang paling banyak ditanyakan adalah masalah mikrobiologi bidang penyakit/kedokteran diungkapkan, karena masalah ini secara langsung menyangkut mati-hidup orang.

Juga pada periode ini tentang terjadinya gejala pembekakan luka yang dibiarkan, diketahui kemudian disebabkan oleh pertumbuhan mikroba yang kemudian hidup disekitar dan didalam luka sehingga menyebabkan infeksi.

2. Periode keemasan: 1850 sampai 1910

Berkat penemuan, khususnya perintisan, dan penelitian periode sebelumnya, maka masa antara tahun 1850-1910 dinamakan keemasan, hal ini dikaitkan dengan penemuan-penemuan:

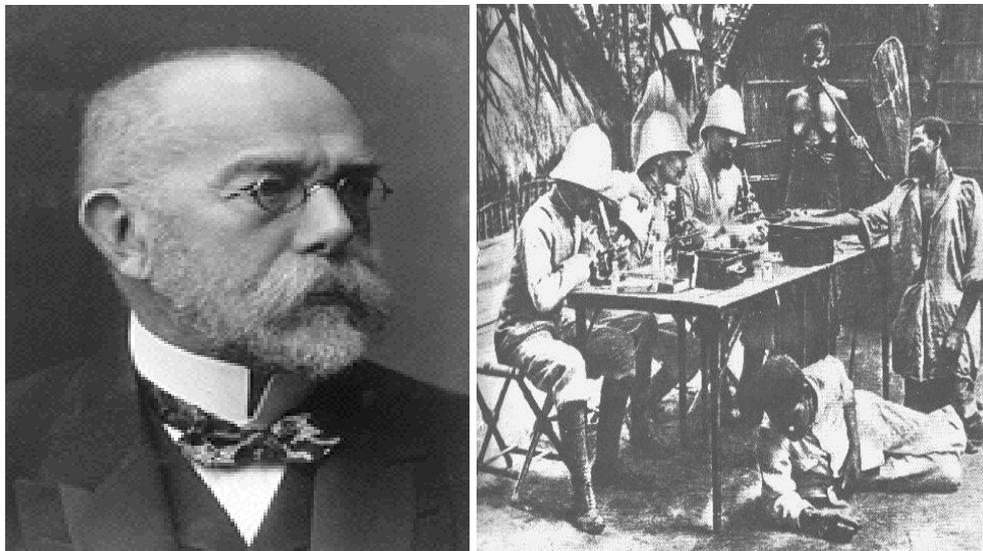
- a) **Robert Koch** pada tahun 1881 tentang metode isolasi (pemisahan)
- b) Pembuatan preparat dan identifikasi biakan mikroba secara murni.
- c) Penemuan **Petri** (salah seorang asisten Koch) untuk cawan-pateri (petri-disk) dalam cara-teknik pembiakan mikroba
- d) Penemuan **Gram** ditahun 1844 untuk sistem pewarnaan bakteri sehingga “terbagi” menjadi dua kelompok besar: Gram-positif dan Gram-negatif

- e) Penemuan **Chamberland** untuk sistem saringan/filter ditahun 1887 guna keperluan sterilisasi secara fisik.

Nama-nama seperti **Ehrlich** (1854-1915). **Von. Behring** dan **Kitasato, Metchnikoff** (1883), **Loeffler** (1884), **Park** (1894) dan banyak nama-nama ahli dibidang mikrobiologi, merupakan nama yang ditulis dengan tinta emas di dalam sejarah perkembangan mikrobiologi. Seperti secara khusus untuk bidang penyebab penyakit di Amerika Serikat oleh **Rush** (1813), **Webster** (1843), **Spencer** (1851), **Welch** (1894), **McCoy** (1910) dalam bidang penyakit sipilis, pes, kolera, tifus dan difteri.

Khusus mengenai **Robert Koch** yang sampai sekarang namanya tetap dikenang dan dihargai karena jasa-jasa besarnya di bidang mikrobiologi kedokteran dan kemanusiaan. Berkat penelitian Koch ini maka ihwal dan penyebab penyakit TBC, tifus, difteri, kolera dan gonorhu serta anthraks, dapat terungkap dan dipisahkan secara murni. Yang paling penting adalah Postulat Koch yang menjadi dasar seseorang ahli untuk mencari, menemukan, dan mengetahui jasad penyebab suatu penyakit di dalam suatu wabah yang sedang berkecamuk. Tahap-tahap kerjanya sebagai berikut:

- a) Bahwa mikroba yang disangka penyebab harus selalu didapatkan pada semua penderita dan tidak didapatkan pada bukan penderita (yang sehat)
- b) Bahwa mikroba penyebab harus dapat dibiakan secara murni di dalam media tanpa kehadiran bagian/jaringan jasad yang tadinya dikenai.
- c) Bahwa biakan jasad yang sudah dibiakan, bila diinokulasikan (disuntikan) kepada hewan percobaan, akan menimbulkan gejala penyakit yang sama
- d) Bahwa biakan jasad yang sudah diinokulasikan, dan diisolasi/dipisahkan kembali serta kalau kemudian dibiarkan akan mempunyai bentuk yang sama seperti asal.



(a)

(b)

Gambar 3. **Robert Koch** (a), menemukan organisme spesifik penyebab penyakit (b).

<http://basic.shsmu.edu.cn/passw/micro2/index.asp>

3. Periode Modern: 1910 sampai sekarang

Periode ini ditandai dengan dipegunakannya metode dan peralatan yang mutakhir, seperti misalnya elektro-mikroskop, khromatografi-gas dan sebagainya. Sehingga masalah-

Dasar-dasar mikrobiologi

masalah pelik yang sebelumnya belum terungkap, misalnya masalah antibiotika, vaksin, serum, virus dan sebagainya dapat diketahui.

Virus misalnya, sudah sejak Pasteur dan Koch melakukan penelitiannya sudah ada dan berusaha untuk diketahui. Tetapi ketika hasil penelitian **Iwanowski** (1892) sarjana mikrobiologi Rusia diumumkan, penyebab penyakit aneh pada daun tembakau (yang dikenal nama TMV/tobacco mosaic virus) dan sebagainya. Diketahui nama ahli seperti **Buist** (1887), **Negri** (1903), **Ricketts** (1906), **Wood** dan **Goodpasture** (1930), **Stanley** (1937) dan sebagainya, berkecimpung di dalam penelitian dan pengembangan virus.

Periode modern ditandai pula dengan diraihnya beberapa hadiah nobel oleh para ahli mikrobiologi yang bergerak dalam bidang pengobatan kedokteran, seperti **Domagk** (1939) untuk penemuan obat sulfat sebagai obat ampuh untuk infeksi bakteri, oleh **Gleming, Florey** dan **Chain** (1954) untuk penemuan antibiotika: **penisilin**, oleh **Waksman** (1952) untuk penemuan antibiotika: **streptomisin**, oleh **Stanley** (1946) untuk penemuan protein-virus secara murni, dan oleh **Enders, Weller** dan **Beadle** (1954) untuk penemuan **virus poliomyelitis** sehingga pembuatan **vaksin-polio** memungkinkan untuk dilakukan.



Gambar 4. **Mikroskop elektron** adalah sebuah **mikroskop** yang mampu untuk melakukan pembesaran objek sampai 2 juta kali, yang menggunakan elektro statik dan elektro magnetik untuk mengontrol pencahayaan dan tampilan gambar serta memiliki kemampuan pembesaran objek serta resolusi yang jauh lebih bagus daripada **mikroskop** cahaya

<http://praktikumbiologi.com/mengenal-mikroskop-elektron/>

UJI PENGETAHUAN

1. Jelaskan tokoh-tokoh yang mendukung teori abiogenesis, beserta penemuannya !

2. Jelaskan tokoh-tokoh yang mendukung teori biogenesis, beserta penemuannya !

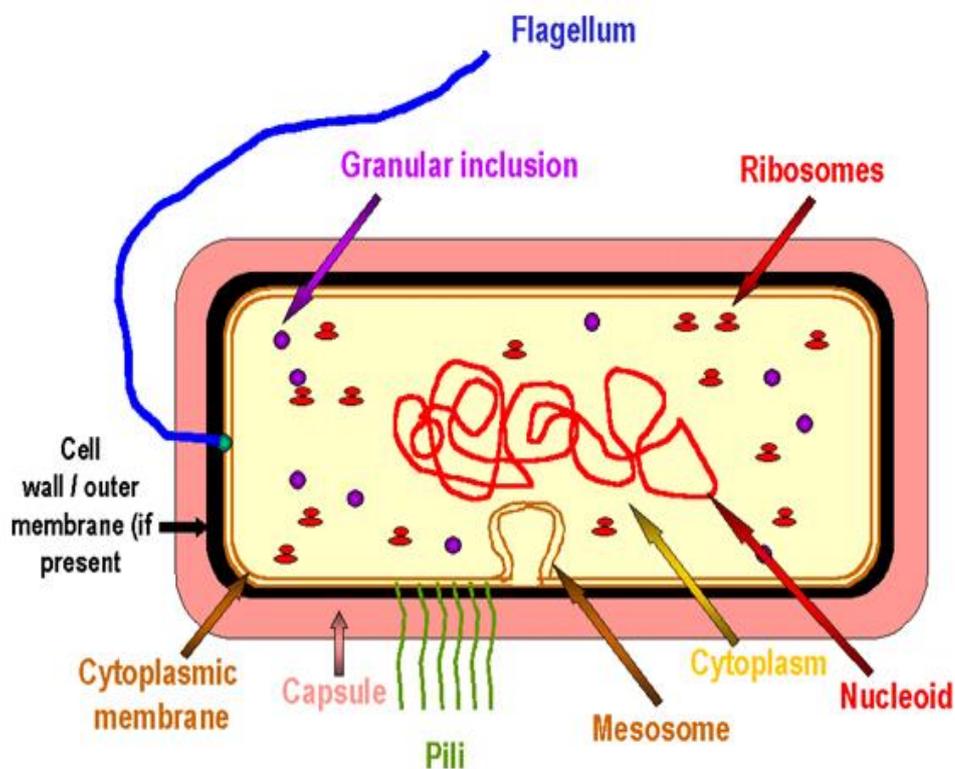
Bab 2. MORFOLOGI DAN STRUKTUR BAKTERI

Sel mikroba, di sini sebagai contoh umum adalah sel bakteri, mempunyai ciri-ciri morfologis (bentuk luar) dan anatomis (bentuk kandungan dalam) yang unik dibandingkan dengan sel jasad hidup lainnya. Sehingga membicarakan sifat dan kehidupan sel mikroba, dimulai dari membicarakan ciri-ciri tersebut dalam satu kesatuan yang tidak terpisahkan.

Morfologi sel bakteri ada beberapa bentuk diantaranya : bulat (*coccus*), batang atau siliner (*bacillus*), dan batang melengkung (*spiral*).

A. Bentuk Luar

Seperti pula pada sel jasad hidup lainnya, bentuk luar dan bentuk dalam sel mikroba dibatasi oleh dinding sel. Tetapi untuk bakteri misalnya, tidak hanya ada dinding sel, melainkan dilengkapi juga di bagian-bagian lain seperti:

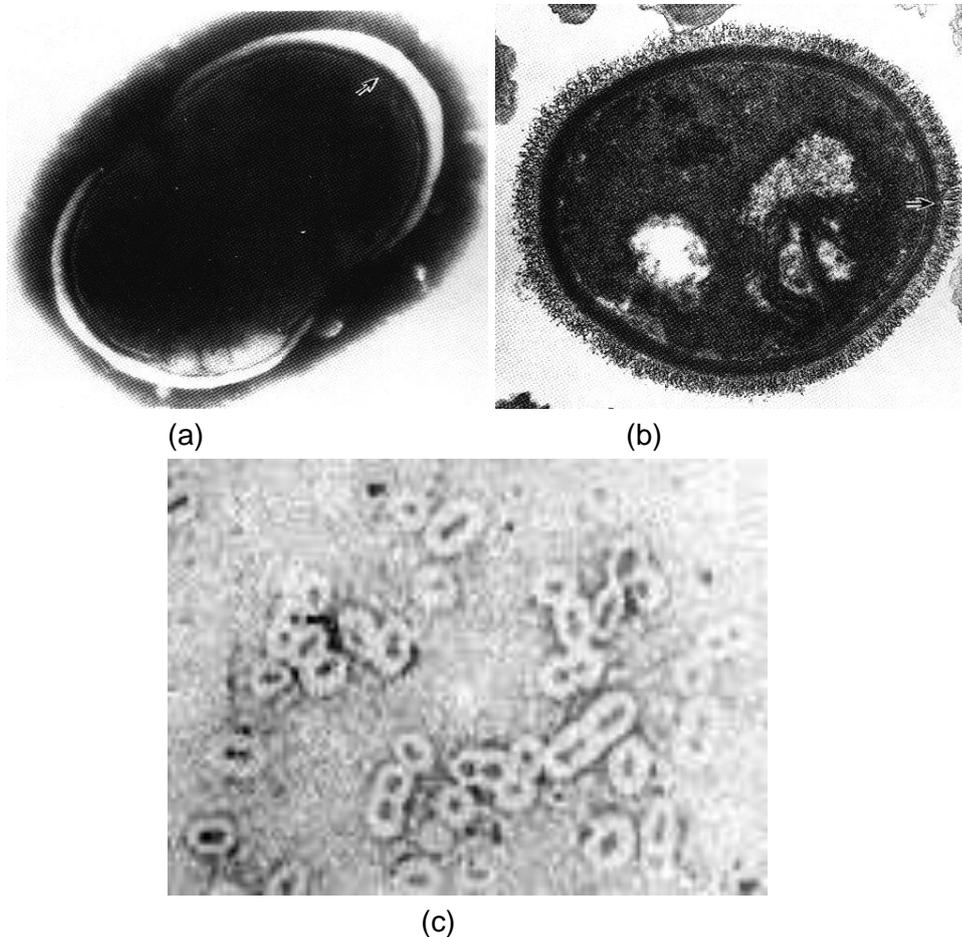


Gambar 4. Struktur Sel Bakteri

<http://basic.shsmu.edu.cn/passw/micro2/index.asp>

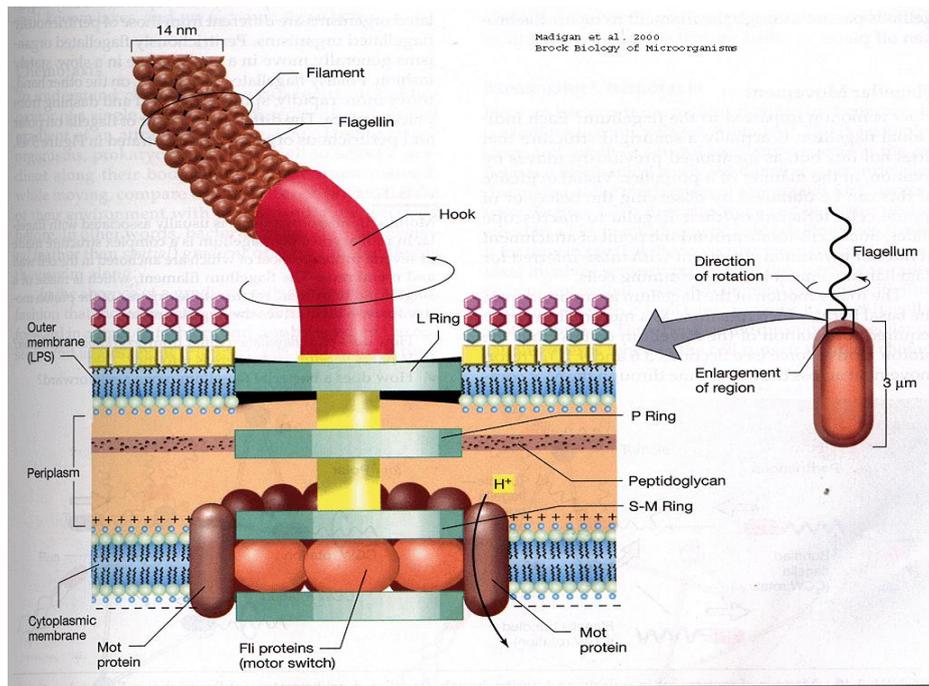
- 1) **Kapsula**, yaitu lapisan muka (lendir) yang melindungi sel tersebut, merupakan hasil metabolisme sel yang disekresikan. Pada umumnya lapisan terdiri dari senyawa yang sangat kompleks berupa polisakarida seperti gula-sederhana, gula-amina, asam-gula dan campurannya. Fungsi kapsula ialah untuk melindungi sel terhadap kehadiran faktor lingkungan merugikan, juga bertindak sebagai pengikat antarsel. Beberapa jenis bakteri misalnya ketika ditumbuhkan, ada yang dapat langsung memberi lendir yang kemudian berubah menjadi kapsula, misalnya, **Leuconos messenteroides** jika ditumbuhkan pada media yang mengandung gula tertentu.

Secara khusus, kapsula bagi bakteri mempunyai arti yang penting karena erat hubungannya dengan sifat **patogenitas** (keganasan) sudah jenis. Jenis **patogen** (penyebab penyakit) misalnya, akan turun nilai keganasanya kalau kapsulanya dihilangkan. Hal ini erat hubungannya dengan kehadiran bahan-bahan pembentuk kapsula dengan sifat-sifat fagositik bakteri tersebut.

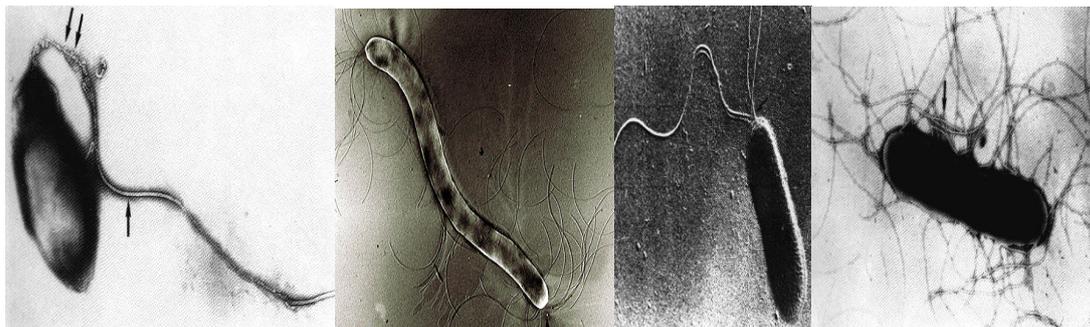


Gambar 5. Kapsul yang terbentuk pada sel
<http://basic.shsmu.edu.cn/passw/micro2/index.asp>

- 2) **Flagella atau trikha**, adalah alat pergerakan bakteri yang ditemukan hampir pada semua jenis berbentuk lengkung dan sebagian berbentuk batang. Berukuran sangat kecil dan tidak terlihat dengan menggunakan mikroskop biasa, rata-rata mempunyai ketebalan antara 0 –n 0.1 mikron dengan panjang tidak melebihi panjang selnya. Berdasarkan pada letaknya, flagela pada bakteri dapat dibagi menjadi 4 golongan:
- Monotrikha**, kalau jumlah flagella hanya satu buah terletak pada bagian ujung sel,
 - Lofotrikha**, kalau jumlah flagella banyak tetapi terletak pada satu tempat saja serta hanya pada salah satu ujung sel,
 - Amfitrikha** kalau pada tiap-tiap ujung sel terletak satu buah atau satu berkas flagella,
 - Peritrikha**, kalau jumlah flagella sangat banyak dan terletak pada semua bagian permukaan sel.



(a)



(b)

(c)

(d)

(e)

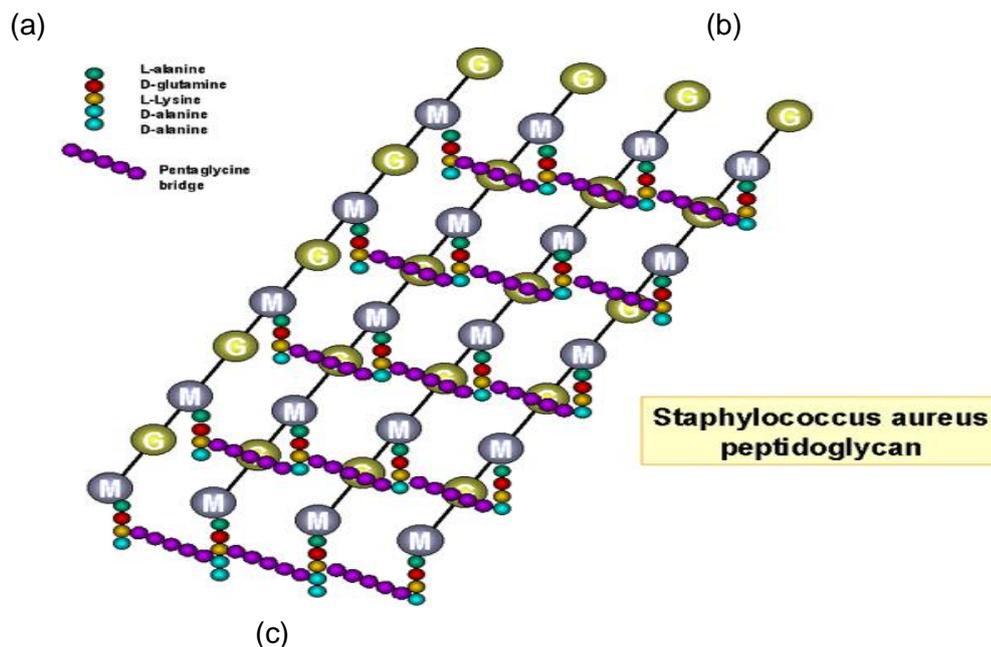
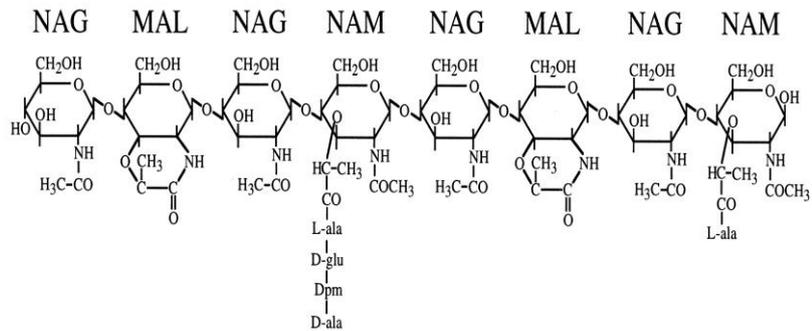
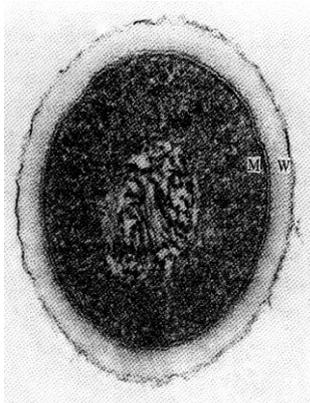
Gambar 6. Morfologi Flagel (a), Monotrik (b), Amfitrik (c), Lopotrik (d), Peritrik (e)

<http://basic.shsmu.edu.cn/passw/micro2/index.asp>

- 3) Dinding sel, yang disamping berperan untuk melindungi sel, jenis berpengaruh terhadap bentuk sel. Sifatnya elastik, terletak diantara kapsula dan membran sitoplasma dengan susunan kimia yang kompleks. Umumnya makromolekul dinding sel terdiri dari bahan mukokompleks, yaitu bahan utama penyusun dinding sel, tersusun oleh heteropolimer zat amino (asetil glukosamin) dan asam asetil muramat dengan asam amino seperti glutamat, alanin, glisin dan diaminopimelat atau lisin untuk bakteri Gram positif, bahan mukokompleks ini disertai oleh polisakarida sederhana dan kadang-kadang juga oleh jenis polimer lainnya dikenal sebagai **asam teikoat** yang terdiri dari **ester-fosfat gula** alkohol yang dibangun menjadi satu polimer bersama glukosa dan asam amino (alanin). Sedang untuk bakteri Gram negatif, selalu mengandung sejumlah besar protein, lipida dan polisakarida disamping mukokompleks yang tidak mengandung teikoat. Enzim lisosim, misalnya dapat menghidrolisis mukokompleks menjadi bahan-bahan yang berat molekulnya lebih kecil, yang bekerja pada ikatan antarglukosamin dan asam muramat yang mengikat rantai peptida.

Fungsi dinding sel yang paling menonjol antara lain adalah:

- Memberi perlindungan kepada lapisan protoplasma
- Berperan di dalam reproduksi sel,
- Turut mengatur pertukaran zat dari dalam dan luar sel (karena bersifat semipermeable), mempengaruhi kegiatan metabolisms, sebagainya.

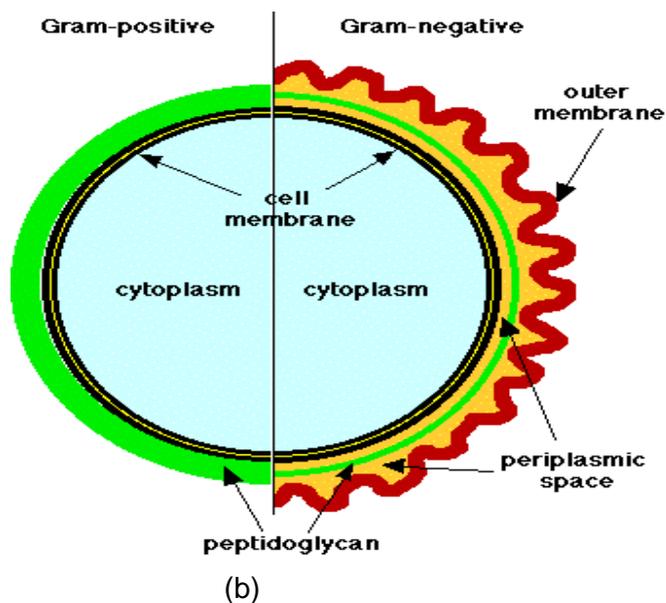
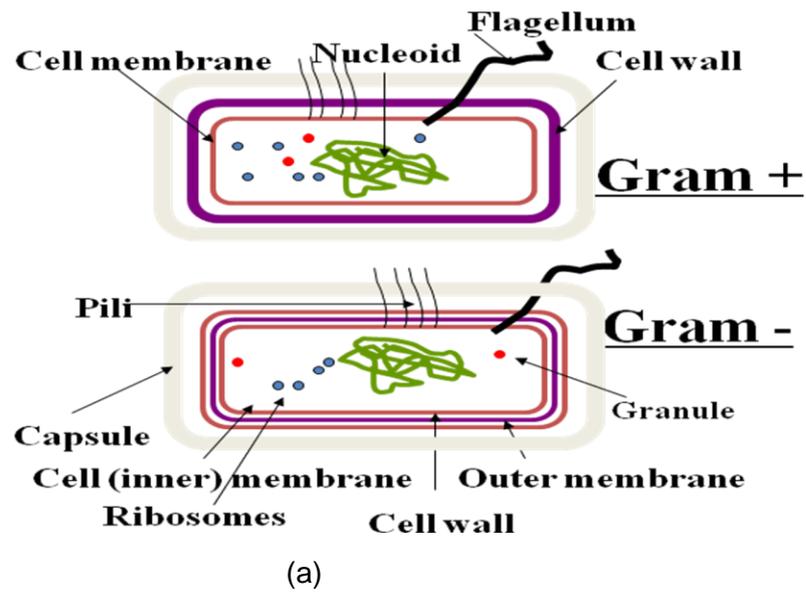


Gambar 7. Dinding Sel (a), Susunan kimiawi Peptidoglikan pada Dinding Sel (b), Formasi Asam Amino (c).

Sumber : a. Gram, C. 1884. Ueber die isolirte Färbung der Schizomyceten in Schnitt Äund Trockenpreparaten. b. *Fortschritte der Medicin*, Vol. 2, pages 185-189.

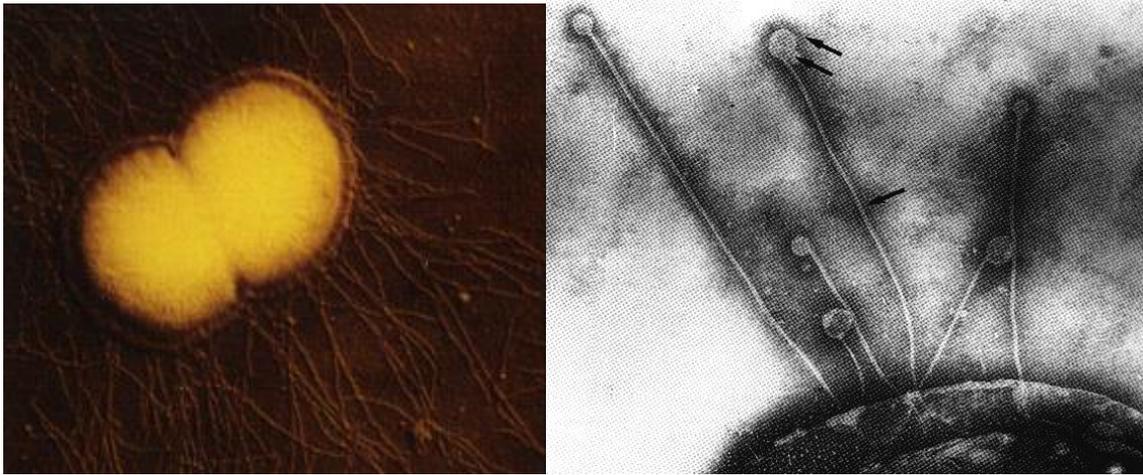
<http://www.pnas.org/content/93/26/15405/F1.expansion.html>

c. <https://microbeonline.com/peptidoglycan-mureinmucopeptide-structure-and-medical-significance/>,



Gambar 8. Perbedaan Struktur Dinding Sel pada Gram Positif dan Gram Negatif Gram, C. 1884. Ueber die isolirte Färbung der Schizomyceten in Schnitt- und Trockenpräparaten. *Fortschritte der Medicin*, Vol. 2, pages 185-189.

- 4) **Pili** atau sering pula dinamakan fimbria, adalah benang-benang halus yang ke luar/menonjol dari dinding sel, yang hanya ditemukan pada bakteri berbentuk batang **bersifat negatif**. Susunan kimia pili terdiri dari protein yang dinamakan pilina, yaitu heteropolimer dari 18 asam amino yang **bersifat antigenik**. Pili berfungsi untuk melekatkan diri pada substrat, sedangkan **Sex-Pili** berfungsi sebagai jembatan transfer materi genetik dalam peristiwa konjugasi.



Gambar 9. Pili, <http://basic.shsmu.edu.cn/passw/micro2/index.asp>

Baik pili, flagella/trikha ataupun kapsula, dapat terlepas dari sel secara mekanik tanpa harus merusak pertumbuhan ataupun kehidupan jasadnya.

B. Susunan Dalam

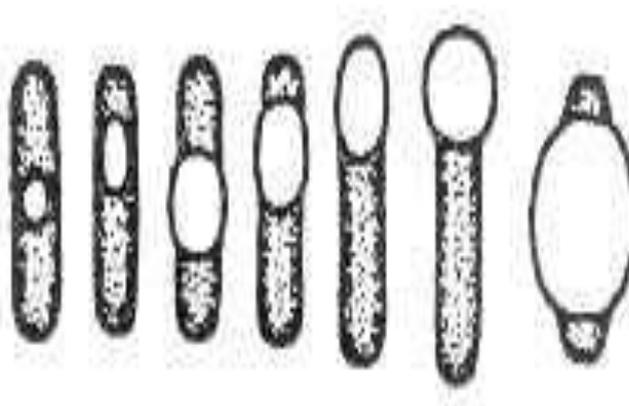
Sel mikroba, khususnya bakteri, tersusun oleh unsur-unsur makro seperti C, H, O, N, S, P dengan jumlah kurang lebih 99% dari berat keringnya, unsur-unsur mikro seperti Fe, K, Mg, Na, dan sebagainya serta senyawa lainnya.

Bagian-bagian sangat penting di dalam susunan dalam sel mikro (bakteria) ialah:

- a) Membran sitoplasma, yang terletak di bagian bawah dinding sel tetapi tidak terikat, tersusun oleh senyawa protein, lipida dan asam nukleat. Karena mengandung asam ribonukleat (RNA) maka sifat menyerap pewarna basa lebih kuat daripada sitoplasma.
- b) Inti (nukleus), walaupun pada sel (bakteri misalnya) masih belum jelas kehadirannya seperti halnya pada sel-sel mikroba lainnya, tetapi berdasarkan elektron-mikrograf “benda” yang disebut inti bakteri berbentuk “daerah” “electron dense” yang kaya akan asam deoksiribonukleat (DNA). Ini diperjelas dengan pewarna sesama Diemsa pada pengujian sitokimia, yang menunjukkan hasil daer hitam. Ini menandakan adanya reaksi DNA dengan pewarna tersebut sesuai dengan adanya daerah “electron dense” tersebut. Dengan hasil reaksi pemotretan ini dapat disimpulkan bahwa di dalam sel bakteri membran “bahan” inti (DNA) yang tidak berdinging / berselaput seperti halnya inti-inti pada mikroba lainnya.
- c) Sitoplasma, merupakan kandungan sel dan zat kehidupan yang sangat penting dan menentukan bagi jasad hidup. Di dalamnya terdapat granul spora, bentuk seperti vakuola serta benda-benda lainnya, termasuk massa pembentuk inti. Meskipun tanpa dinding sel, bentuk dan fungsinya protoplasma tidak berubah, asal ada stabilisator yang isotonis atau hipertonis, misal larutan sukrosa 0,2 M.
- d) Ribosoma, adalah partikel yang terdapat di dalam sel, berfungsi dalam sintesis protein. Ini disebabkan karena mengandung RNA yang melekat pada ribosoma atau poliribosoma, berfungsi sebagai alat cet untuk membentuk rangkaian asam amino menjadi polipeptida protein. Robosoma sering terikat pada unsur-unsur sel yang

berbentuk membran atau sebagai benda bebas di dalam sitoplasma dengan susunan kimianya dari 40 – 60% RNA dan sisanya protein.

- e) **Mesosoma**, pengganti retikulum endoplasmik yang terdapat di dalam mikroba karyota (misal jamur). Ini disebabkan bahwa di dalam prokaryota seperti bakteri, yang ada adalah invaginasi (pelipatan dalam) pada membran sitoplasma yang mungkin berfungsi untuk memberi permukaan dalamnya, seperti yang terdapat didalam jamur atau mikro dengan retikulum ensoplasmiknya.
- f) **Volutin**, berupa granula yang sangat kaya dengan organik-fost. Sebagian besar tersusun oleh metafosfat yang berpolimerisasi dantidak larut, berasosiasi dengan asam nukleat dn lipida. Sifatnya kromofil mempunyai afinitas besar terhadap pewarna basa, serta sering bersifat metakromatik, dengan menghasilkan warna yang berbeda dengan pewarna yang dipergunakan. Karena sifat afinitasnya yang besar ini terhadap pewarna, volutin sering dikacaukan dengan bentuk inti pada bakteri.
- g) **Granula poli-beta-hidroksi asam nukleat (PBHB)**, berbentuk asam lemak yang terpolimerisasi. Jika diperlukan oleh sel, granula ini dihidroksi menjadi beta-hidroksi asam butirat.
- h) **Mitokhondria**, berbentuk endoensim yang berperan di dalam proses pementukan energi, berbentuk granula yang mempunyai membran, umumnya (pada mikroalga -hijau misalnya) didapatkan pada khloroplas.
- i) **Spora**, berbentuk bulat atau bulat lonjong, sangat membias sukar diwarnai dan sangat resisten terhadap faktor lingkungan buruk. Beberapa jenis bakteri mempunyai spora yang disebut endos (karena letaknya di bagian dalam sel) sedang lainnya, misal pada jamur dan mikroalge disebut eksospora (karena letaknya di luar sel). Spora pada bakteria dapat dianggap sebagai bentuk istirahat (latent) bakteri karena didapatkan di dalam sel.

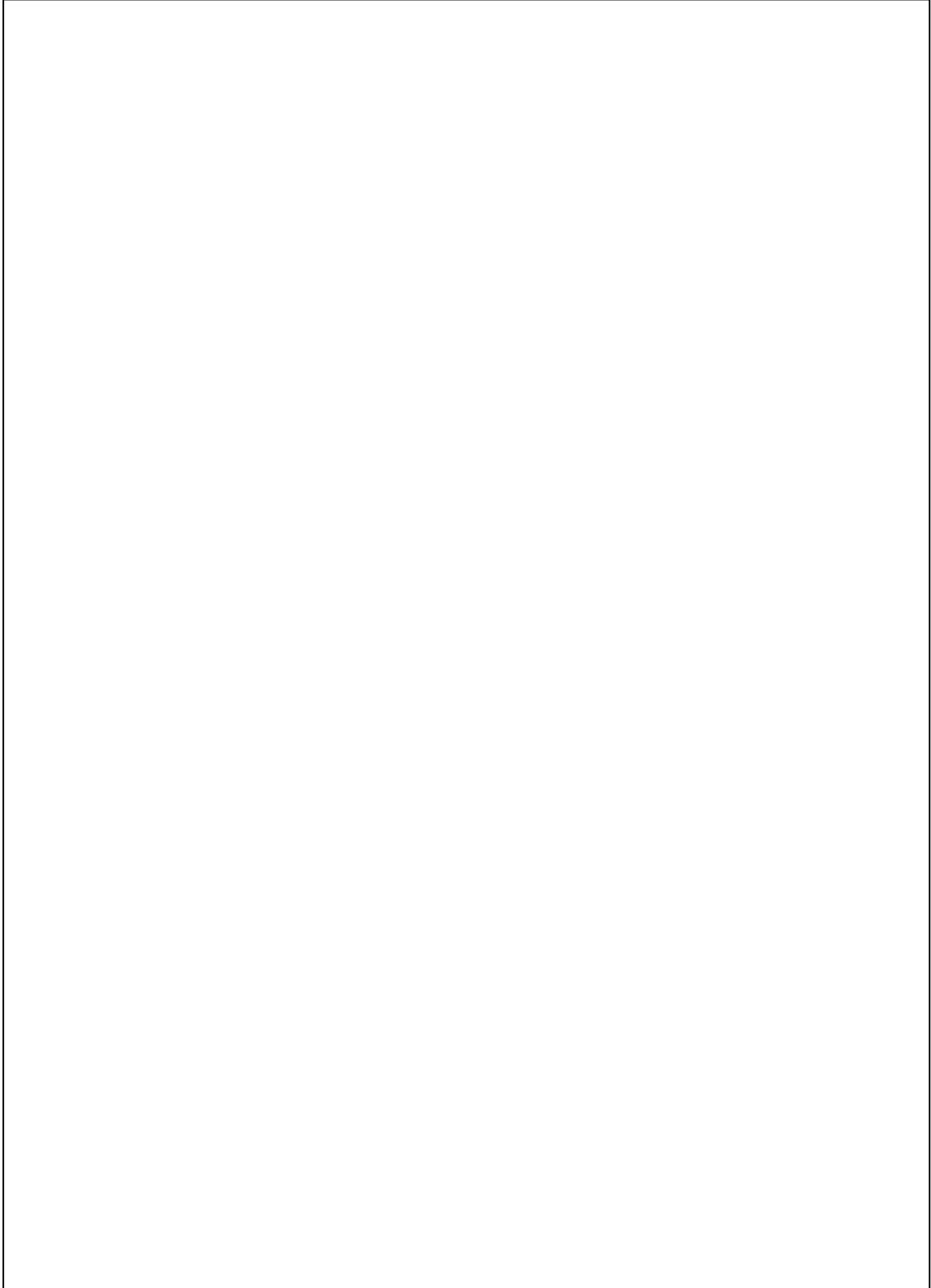


Gambar 10. Spora dan Letak Spora pada Sel

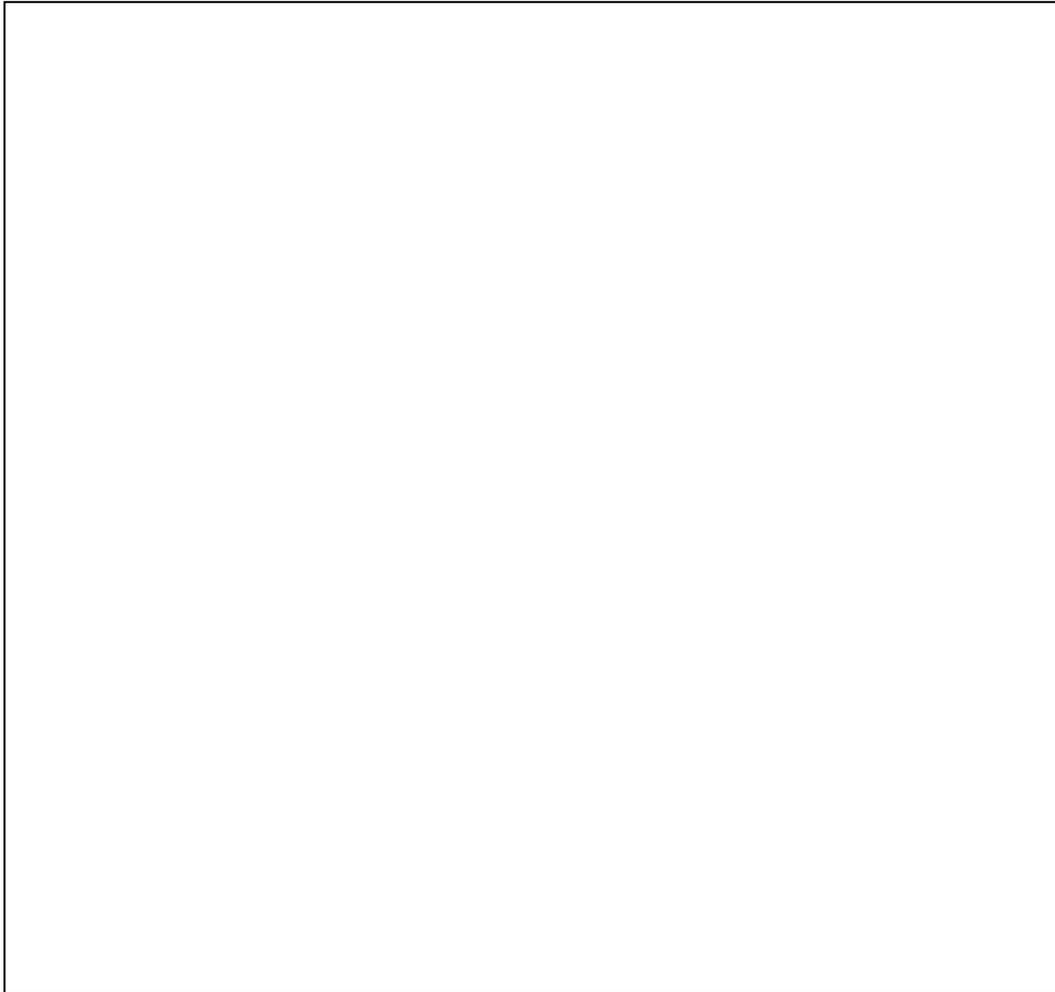
<http://basic.shsmu.edu.cn/passw/micro2/index.asp>

UJI PENGETAHUAN

1. Gambarlah macam bentuk bakteri beserta keterangan lengkap.



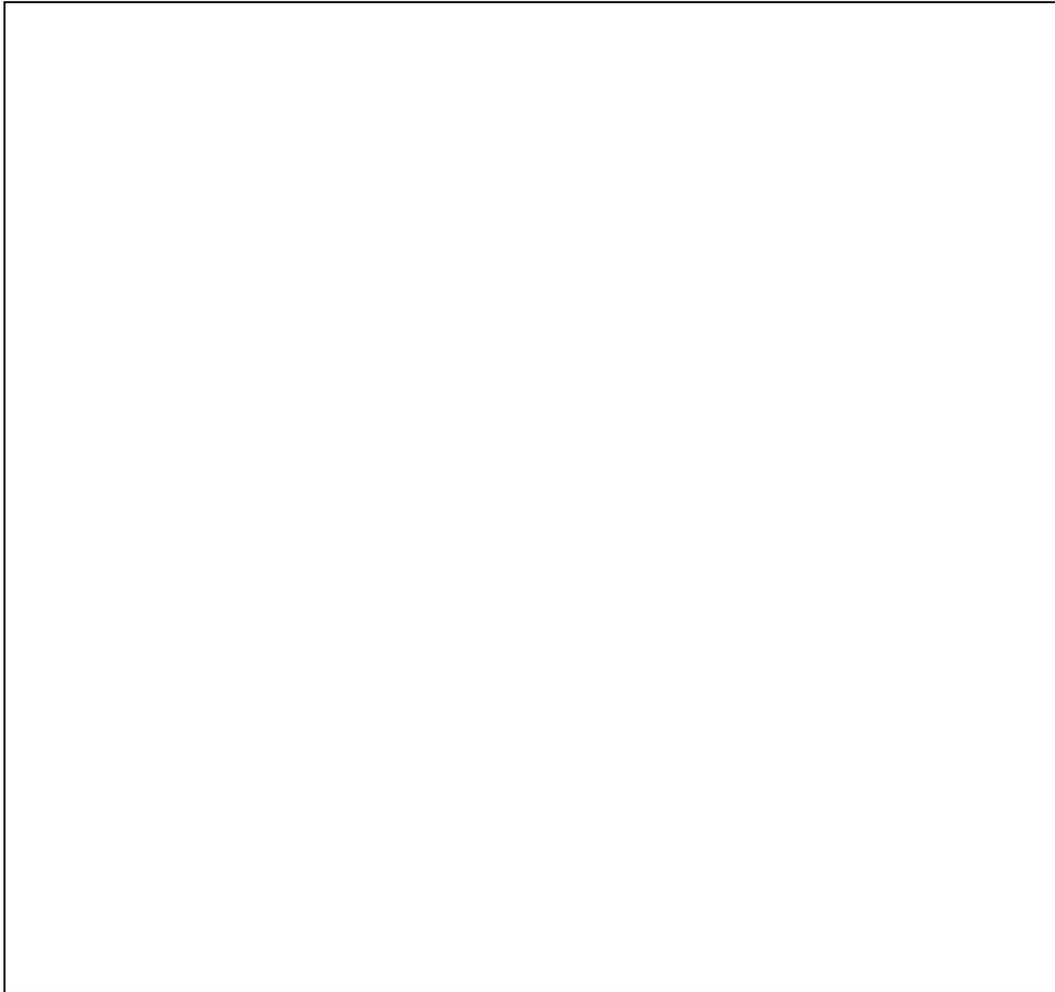
2. **GAMBARLAH** bentuk organel Membran Plasma dan Periplasma, lengkapi dengan bagian dan fungsinya?



3. Mengapa Peptidoglikan tidak mudah lepas dari membran plasma ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

4. **GAMBARLAH** tahapan pembentukan endospora, dilengkapi dengan keterangan !



5. Struktur organel yang membedakan antara *archaebacteria* dengan *eubacteria*

Organel	<i>Eubacteria</i>	<i>Archaeobacteria</i>

Bab 3. PEWARNAAN MIKROORGANISME

1. Latar Belakang Pewarnaan Mikroorganisme

Mikroorganisme yang ada di alam ini mempunyai morfologi, struktur dan sifat-sifat yang khas, termasuk bakteri. Bakteri yang hidup hampir tidak berwarna dan kontras dengan air. Untuk melihat dan mengamati bentuk sel bakteri dalam keadaan hidup sangat sulit, sehingga untuk mengidentifikasinya dilakukan dengan metode pengecatan atau pewarnaan sel bakteri, sehingga sel dapat terlihat jelas dan mudah diamati. Hal tersebut juga berfungsi untuk mengetahui sifat fisiologisnya, yaitu mengetahui reaksi dinding sel bakteri melalui serangkaian pengecatan. Oleh karena itu, teknik pewarnaan sel bakteri ini merupakan salah satu cara yang paling utama dalam penelitian-penelitian mikrobiologi.

Banyak istilah-istilah yang digunakan untuk pewarnaan, yaitu pewarnaan, pengecatan, pengubaran, reaksi terhadap zat warna (staining reaction). Tujuan dari pewarnaan adalah untuk mengenal morfologi mikroorganisme. Dalam mengidentifikasi suatu mikroorganisme, pewarnaan memegang peranan yang penting. Setiap mikroorganisme (bakteri) mempunyai sifat-sifat yang tertentu terhadap zat-zat asam. Sifat ini terdapat dalam protoplasma. Bagaimana sebenarnya proses atau reaksi bakteri terhadap pewarnaan belum diketahui dengan pasti. Ada pendapat bahwa reaksi badan bakteri ini adalah berdasarkan permeabilitas dinding sel bakteri.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pewarnaan mikroorganisme (bakteri) yaitu fiksasi, peluntur warna, substrat, intensifikasi pewarnaan dan penggunaan zat warna penutup. Suatu preparat yang sudah meresap suatu zat warna, kemudian dicuci dengan asam encer maka semua zat warna terhapus. Sebaliknya terdapat juga preparat yang tahan terhadap asam encer. Bakteri-bakteri seperti ini dinamakan bakteri tahan asam, dan hal ini merupakan ciri yang khas bagi suatu spesies bakteri.

Teknik pewarnaan warna pada mikroorganisme (bakteri) dapat dibedakan menjadi empat macam yaitu pewarnaan sederhana (pewarnaan positif), pewarnaan negatif, pewarnaan diferensial dan pewarnaan khusus (struktural). Pemberian warna pada mikroorganisme (bakteri atau jasad-jasad renik) dengan menggunakan larutan tunggal suatu pewarna pada lapisan tipis, atau olesan, yang sudah difiksasi, dinamakan pewarnaan sederhana. Prosedur pewarnaan yang menampilkan perbedaan di antara sel-sel mikroba atau bagian-bagian sel mikroba disebut teknik pewarnaan diferensial. Sedangkan pewarnaan khusus (struktural) hanya mewarnai satu bagian dari sel sehingga dapat membedakan bagian-bagian dari sel. Termasuk dalam pewarnaan ini adalah pewarnaan endospora, flagella dan pengecatan kapsul.

2. Langkah-Langkah Pewarnaan Mikroorganisme

Langkah-langkah utama teknik pewarnaan adalah sebagai berikut :

- a. Pembuatan olesan atau lapisan tipis spesimen pada kaca objek, olesan mikroorganisme (bakteri) tidak boleh terlalu tebal atau tipis.

- b. Fiksasi, dapat dilakukan secara pemanasan atau dengan aplikasi bahan kimia seperti sabun, formalin, fenol. Hal ini menyebabkan mikroorganisme itu melekat pada kaca objek.
- c. Aplikasi zat warna, dapat berupa tunggal, atau lebih dari 1 zat warna/ serangkaian larutan pewarna (reagen).

Teknik pewarnaan dikelompokkan menjadi beberapa tipe, berdasarkan respon sel bakteri terhadap zat pewarna dan sistem pewarnaan yang digunakan untuk pemisahan kelompok bakteri digunakan pewarnaan Gram, dan pewarnaan Tahan Asam (*acid-fast*) untuk genus *Mycobacterium*.

Untuk melihat struktur digunakan pewarnaan flagela, pewarnaan kapsul, pewarnaan spora, dan pewarnaan nukleus. Pewarnaan Neisser atau Albert digunakan untuk melihat granula metakromatik (*volutin bodies*) pada *Corynebacterium diphtheriae*. Untuk semua prosedur pewarnaan mikrobiologi dibutuhkan pembuatan apusan lebih dahulu sebelum melaksanakan beberapa teknik pewarnaan yang spesifik.

3. Macam-Macam Pewarnaan Mikroorganisme

Secara garis besar teknik pewarnaan mikroorganisme (bakteri) dapat dikategorikan sebagai berikut:

a. Pewarnaan Sederhana (Pewarnaan Positif)

Pewarnaan sederhana ini menggunakan satu macam zat warna biru metilen (*methylen blue*) atau air fukhsin, tujuannya hanya untuk melihat bentuk sel. Pewarnaan sederhana, merupakan pewarna yang paling umum digunakan. Berbagai macam tipe morfologi bakteri (kokus, basil, spirillum, dan sebagainya) dapat dibedakan dengan menggunakan pewarna sederhana, yaitu mewarnai sel-sel bakteri hanya digunakan satu macam zat warna saja. Kebanyakan bakteri mudah bereaksi dengan pewarna-pewarna sederhana karena sitoplasmanya bersifat basofilik (suka akan basa) sedangkan zat-zat warna yang digunakan untuk pewarnaan sederhana umumnya bersifat alkalin (komponen kromoforiknya bermuatan positif).

Zat warna yang dipakai hanya terdiri dari satu zat yang dilarutkan dalam bahan pelarut. Pewarnaan Sederhana merupakan satu cara yang cepat untuk melihat morfologi bakteri secara umum. Beberapa contoh zat warna yang banyak digunakan adalah biru metilen (*methylen blue*) (30-60 detik), ungu kristal (*crystal violet*) (10 detik) dan fukhsin-karbol (5 detik).

b. Pewarnaan Negatif

Pewarnaan Negatif bertujuan untuk mempelajari penggunaan prosedur pewarnaan negatif untuk mengamati morfologi organisme yang sukar diwarnai oleh pewarna sederhana. Bakteri tidak diwarnai, tapi mewarnai latar belakang. Ditujukan untuk bakteri yang sulit diwarnai, seperti *Spirochaeta*.

Pewarnaan negatif, metode ini bukan untuk mewarnai bakteri tetapi mewarnai latar belakangnya menjadi hitam gelap. Pada pewarnaan ini mikroorganisme kelihatan transparan (tembus pandang). Teknik ini berguna untuk menentukan morfologi dan ukuran sel. Pada pewarnaan ini olesan tidak mengalami pemanasan

atau perlakuan yang keras dengan bahan-bahan kimia, maka terjadinya penyusutan dan salah satu bentuk agar kurang sehingga penentuan sel dapat diperoleh dengan lebih tepat. Metode ini menggunakan cat nigrosin/ pigrosin atau tinta cina (tinta bak).

Pewarnaan negatif memerlukan pewarna asam seperti eosin atau negrosin. Pewarna asam memiliki negatif charge kromogen, tidak akan menembus atau berpenetrasi ke dalam sel karena *negative charge* pada permukaan bakteri. Oleh karena itu, sel tidak berwarna mudah dilihat dengan latar belakang berwarna.

c. Pewarnaan Differensial

Pewarnaan bakteri yang menggunakan lebih dari satu zat warna atau serangkaian larutan pewarna (reagen), seperti pewarnaan gram dan pewarnaan tahan asam.

1. Pewarnaan Gram

Pewarnaan Gram atau metode Gram adalah suatu metode untuk membedakan spesies bakteri menjadi dua kelompok besar, yakni gram-positif dan gram-negatif, berdasarkan sifat kimia dan fisik dinding sel mereka. Metode ini diberi nama berdasarkan penemunya, ilmuwan Denmark bernama Hans Christian Gram (1853–1938) yang mengembangkan teknik ini pada tahun 1884 untuk membedakan antara *Pneumokokus* dan bakteri *Klebsiella pneumoniae*. Selain itu, dia melihat bahwa beberapa spesies bakteri dapat dibedakan dengan prosedur pewarnaan ini.

Dengan metode pewarnaan Gram, bakteri dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu bakteri Gram Positif dan bakteri Gram Negatif, hal ini berdasarkan reaksi atau sifat bakteri terhadap warna tersebut. Reaksi atau sifat bakteri tersebut ditentukan oleh komposisi dinding selnya. Oleh karena itu, pewarnaan Gram tidak bisa dilakukan pada mikroorganisme yang tidak mempunyai dinding sel seperti *Mycoplasma* sp, contoh bakteri yang tergolong bakteri tahan asam, yaitu dari genus *Mycobacterium* dan beberapa spesies tertentu dari genus *Nocardia*. Bakteri-bakteri dari kedua genus ini diketahui memiliki sejumlah besar zat lipodial (berlemak) di dalam dinding selnya, sehingga menyebabkan dinding sel tersebut relatif tidak permeabel terhadap zat-zat warna yang umum sehingga sel bakteri tersebut tidak terwarnai oleh metode pewarnaan biasa, seperti pewarnaan sederhana atau Gram.

Dalam pewarnaan gram diperlukan empat reagen yaitu :

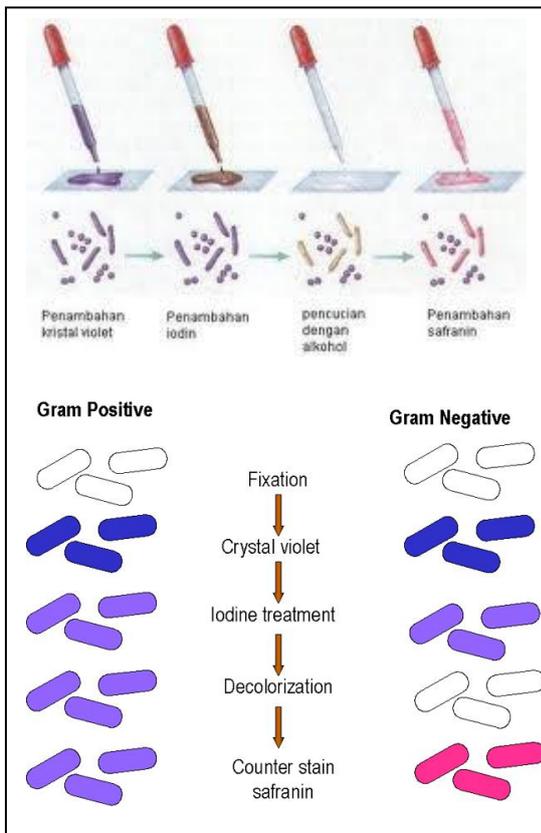
- 1) Zat warna utama (violet kristal).
- 2) Mordan (larutan Iodin) yaitu senyawa yang digunakan untuk mengintensifkan warna utama.
- 3) Pencuci/ peluntur zat warna (alkohol/ aseton) yaitu solven organik yang digunakan untuk melunturkan zat warna utama.
- 4) Zat warna kedua / cat penutup (safranin) digunakan untuk mewarnai kembali sel-sel yang telah kehilangan cat utama setelah perlakuan dengan alkohol.

Bakteri Gram Negatif adalah bakteri yang tidak mempertahankan zat warna metil ungu pada metode pewarnaan Gram. Bakteri Gram Positif akan

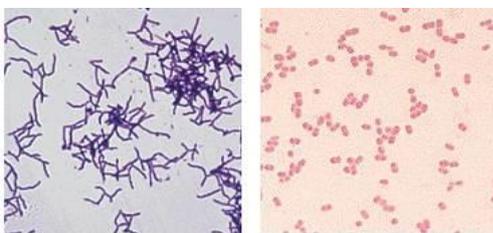
mempertahankan zat warna metil ungu gelap setelah dicuci dengan alkohol, sementara bakteri Gram Negatif tidak. Pada uji pewarnaan Gram, suatu pewarna penimbal (counterstain) ditambahkan setelah metil ungu, yang membuat semua bakteri Gram Negatif menjadi berwarna merah atau merah muda. Pengujian ini berguna untuk mengklasifikasikan kedua tipe bakteri ini berdasarkan perbedaan struktur dinding sel mereka.

Pewarnaan gram dilakukan dalam 4 tahap yaitu

- 1) Pemberian cat warna utama (cairan kristal violet) berwarna ungu.
- 2) Pengintensifan cat utama dengan penambahan larutan mordan JKJ.
- 3) Pencucian (dekolorisasi) dengan larutan alkohol asam.
- 4) Pemberian cat lawan yaitu cat warna safranin.



Gambar 11. Cara Pewarnaan



Gambar 12. Perbedaan Hasil Warna pada Bakteri Gram positif dan Gram Negatif.

Sumber: <https://laboratoryinfo.com/gram-staining-principle-procedure-interpretation-and-animation/>

Perbedaan dasar antara bakteri Gram Positif dan bakteri Gram Negatif adalah pada komponen dinding selnya. Kompleks zat iodin terperangkap antara dinding sel dan membran sitoplasma organisme gram positif, sedangkan penyingkiran zat lipida dari dinding sel organisme gram negatif dengan pencucian alkohol memungkinkan hilang dari sel. Bakteri Gram Positif memiliki membran tunggal yang dilapisi peptidoglikan yang tebal (25-50nm) sedangkan bakteri Gram Negatif lapisan peptidoglikennya tipis (1-3 nm). Sifat bakteri terhadap pewarnaan gram merupakan sifat penting untuk membantu determinasi suatu bakteri.

Untuk lebih memperjelas gambar tentang perbedaan antara bakteri Gram Positif dan bakteri Gram Negatif dapat dilihat pada tabel perbedaan karakteristik bakteri Gram Positif dan bakteri Gram Negatif, tertera pada Tabel 1.

a) Bakteri Gram Positif

Bakteri Gram Positif adalah bakteri yang mempertahankan zat warna kristal violet sewaktu proses pewarnaan gram sehingga akan berwarna biru atau ungu di bawah mikroskop. Ciri-ciri bakteri Gram Positif yaitu, sebagai berikut :

- 1) Struktur dinding selnya tebal, sekitar 15-80 nm, berlapis tunggal atau monolayer.

- 2) Dinding selnya mengandung lipid yang lebih normal (1-4%), peptidoglikan ada yang sebagai lapisan tunggal. Komponen utama merupakan lebih dari 50% berat ringan dan mengandung asam tekoat.
- 3) Bersifat lebih rentan terhadap penisilin.
- 4) Pertumbuhan dihambat secara nyata oleh zat-zat warna seperti ungu kristal.
- 5) Komposisi nutrisi yang dibutuhkan lebih rumit.
- 6) Lebih resisten terhadap gangguan fisik.
- 7) Resistensi terhadap alkali (1% KOH) larut.
- 8) Tidak peka terhadap streptomisin.
- 9) Toksin yang dibentuk Eksotoksin Endotoksin.

b) Bakteri Gram Negatif

Bakteri Gram Negatif adalah bakteri yang tidak mempertahankan zat warna kristal violet sewaktu proses pewarnaan gram sehingga akan berwarna merah bila diamati dengan mikroskop. Ciri-ciri bakteri Gram Negatif yaitu, sebagai berikut :

- 1) Struktur dinding selnya tipis, sekitar 10–15 mm, berlapis tiga atau multilayer.
- 2) Dinding selnya mengandung lemak lebih banyak (11-22%), peptidoglikan terdapat di dalam lapisan kaku, sebelah dalam dengan jumlah sedikit \pm 10% dari berat kering, tidak mengandung asam tekoat.
- 3) Kurang rentan terhadap senyawa penisilin.
- 4) Pertumbuhannya tidak begitu dihambat oleh zat warna dasar misalnya kristal violet.
- 5) Komposisi nutrisi yang dibutuhkan relatif sederhana.
- 6) Tidak resisten terhadap gangguan fisik.
- 7) Resistensi terhadap alkali (1% KOH) lebih pekat.
- 8) Peka terhadap streptomisin.
- 9) Toksin yang dibentuk Endotoksin.

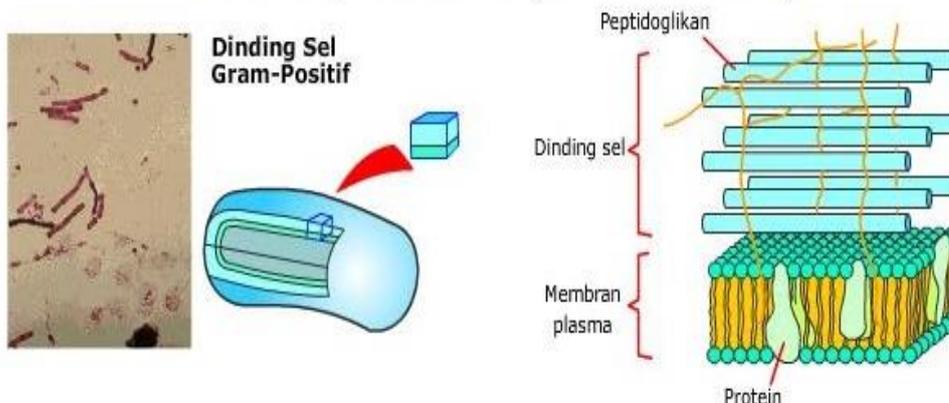
2. Pewarnaan Tahan Asam

Pewarnaan ini ditujukan terhadap bakteri yang mengandung lemak dalam konsentrasi tinggi sehingga sukar menyerap zat warna, namun jika bakteri diberi zat warna khusus misalnya karbolfukhsin melalui proses pemanasan, maka akan menyerap zat warna dan akan tahan diikat tanpa mampu dilunturkan oleh peluntur yang kuat sekalipun seperti asam-alkohol. Karena itu bakteri ini disebut Bakteri Tahan Asam (BTA).

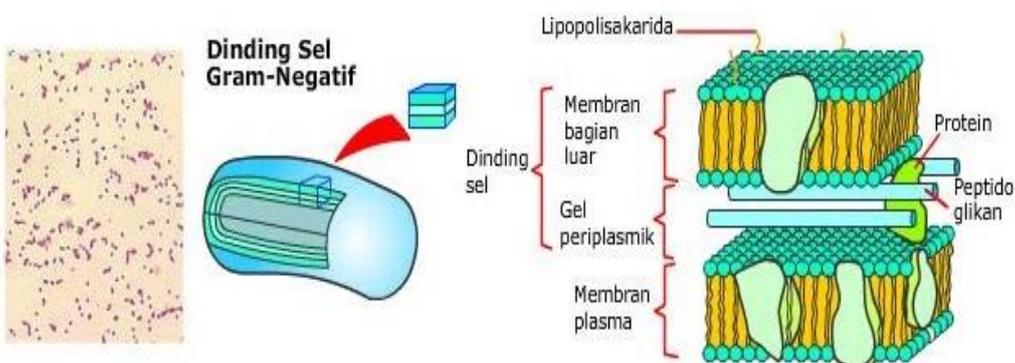
Teknik pewarnaan ini dapat digunakan untuk mendiagnosa keberadaan bakteri penyebab tuberculosis yaitu *Mycobacterium tuberculosis*.

Ada beberapa cara pewarnaan tahan asam, namun yang paling banyak adalah cara menurut Ziehl-Neelsen. Untuk bakteri Tahan Asam (pink) dan bakteri Tidak Tahan Asam (biru).

BAKTERI GRAM POSITIF (PEPTIDOGLIKAN)

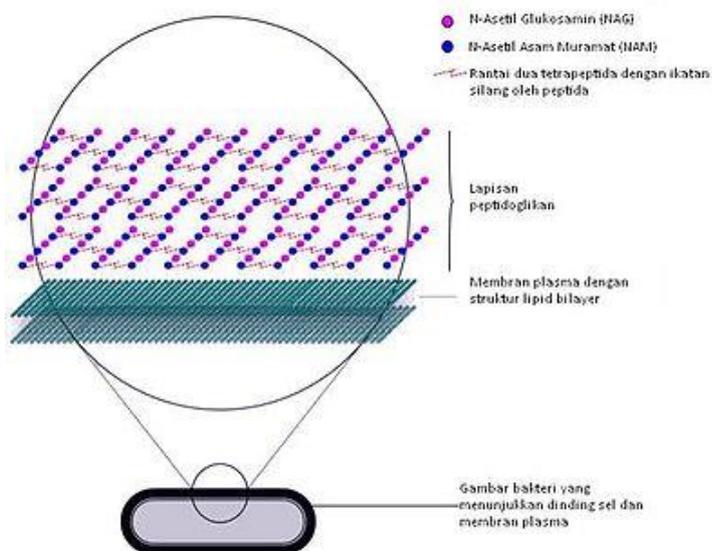


BAKTERI GRAM NEGATIF (LIPOPOLYSACHARIDA)



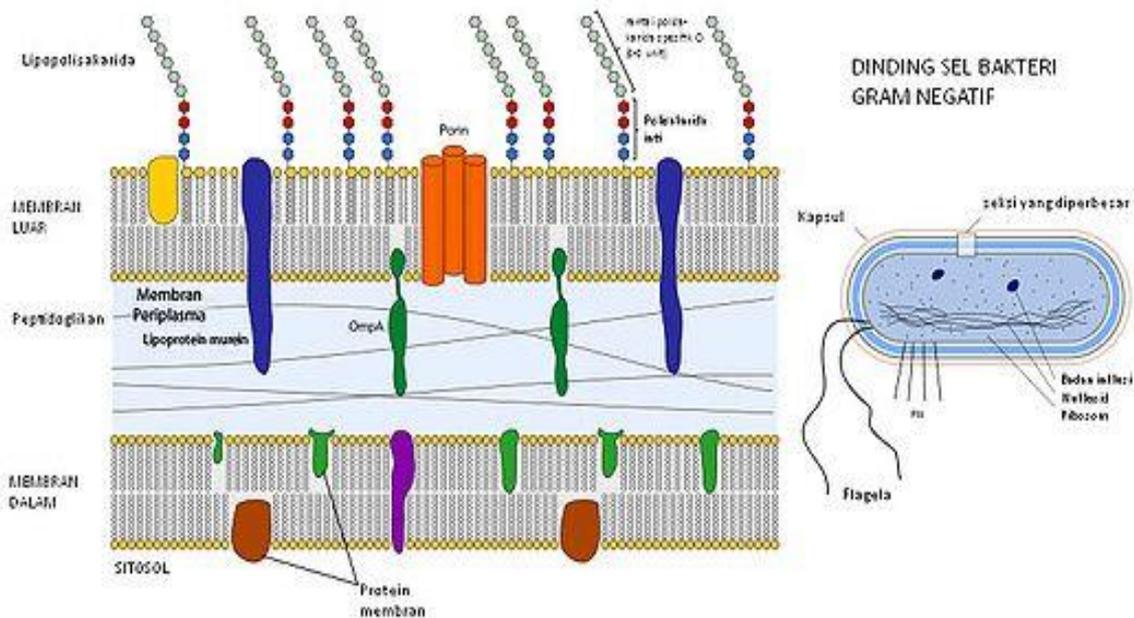
Gambar 13. Perbedaan Karakteristik Dinding Sel pada Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif

Sumber : <http://klikisma.com/2015/05/perbedaan-gram-positif-dan-gram-negatif.html>



Gambar 14. Skema Dinding Sel Bakteri Gram Positif

Sumber : <https://id.wikipedia.org/wiki/Gram-positif>



Gambar 15. Skema Dinding Sel Bakteri Gram Negatif

Sumber : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gram_negative_cell_wall.svg

4. Pewarnaan Khusus (Struktural)

Tujuan pewarnaan khusus adalah untuk melihat struktur tertentu. Misalnya pewarnaan flagel, pewarnaan spora, pewarnaan kapsul.

a. Pewarnaan Spora

Spora bakteri (endospora) tidak dapat diwarnai dengan pewarnaan biasa, diperlukan teknik pewarnaan khusus. Pewarnaan Klein adalah pewarnaan spora yang paling banyak digunakan.

Endospora sulit diwarnai dengan metode gram. Untuk pewarnaan endospora, perlu dilakukan pemanasan supaya cat malachite hijau bisa masuk ke dalam spora, seperti halnya pada pewarnaan Basil Tahan Asam dimana cat carbol fuchsin harus dipanaskan untuk bisa menembus lapisan lilin asam mycolic dari *Mycobacterium*.

Prinsip kerja dari pewarnaan ini karena spora kuman mempunyai dinding yang tebal sehingga diperlukan pemanasan agar pori-pori membesar zat warna fuchsin dapat masuk, dengan pencucian pori-pori kembali mengecil menyebabkan zat warna fuchsin tidak dapat dilepas walaupun dilunturkan dengan asam alkohol, sedangkan pada badan bakteri warna fuchsin dilepaskan dan mengambil warna biru dari *methylen blue*.

Cara kerja untuk pewarnaan spora adalah sebagai berikut :

- 1) Dibuat suspensi kuman, ditambah dengan carbol fuchsin sama banyak.
- 2) Dipanaskan selama 6 menit pada api kecil atau pada penangas air 80oc selama 10 menit.
- 3) Dibuat sediaan dan dikeringkan.
- 4) Dimasukkan kedalam H₂SO₄ 1% selama 2 detik
- 5) Dimasukkan kedalam alkohol sehingga tidak ada lagi warna merah mengalir.
- 6) Sediaan dicuci dengan air.
- 7) Diwarnai dengan methylen blue selama 1 menit kemudian dicuci dan dikeringkan.
- 8) Diperiksa dibawah mikroskop.

b. Pewarnaan Flagel

Pewarnaan flagel dengan memberi suspensi koloid garam asam tanat yang tidak stabil, sehingga terbentuk presipitat tebal pada dinding sel dan flagel.

c. Pewarnaan Kapsul

Pewarnaan ini menggunakan larutan Kristal violet panas, lalu larutan tembaga sulfat sebagai pembilasan menghasilkan warna biru pucat pada kapsul, karena jika pembilasan dengan air dapat melarutkan kapsul. Garam tembaga juga memberi warna pada latar belakang yang berwarna biru gelap.

d. Pewarnaan Khusus untuk Melihat Komponen Lain dan Bakteri

- 1) Pewarnaan Neisser (granula volutin).
- 2) Pewarnaan Yodium (granula glikogen).

UJI PENGETAHUAN

1. **LENKAPI TABEL** berikut dengan, identifikasi macam-macam penyakit yang disebabkan oleh berbagai genus bakteri !

Bakteri	Genus	Penyakit
Gram Positif		
Gram Negatif		

2. LENGKAPI TABEL Karakteristik Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif

Perbedaan Karakteristik Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif		
Karakteristik	Gram Positif	Gram Negatif
Dinding sel		
Bentuk sel		
Reproduksi		
Metabolisme		
Motilitas		
Anggota Tubuh (Apendase)		
Endospora		

Bab 4. PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN BAKTERI

1. Pertumbuhan dan Perkembangan

Pertumbuhan suatu jasad hidup, dapat ditinjau dari dua segi, yaitu pertumbuhan sebagai individu, dengan pertumbuhan segi kelompok sebagai satu populasi. Pertumbuhan sel diartikan sebagai satu adanya penambahan volume sel serta bagian-bagian sel lainnya, yang diartikan juga penambahan kuantitas isi atau kandungan didalamnya.

Penambahan dan pertumbuhan jumlah sel mikroba pada umumnya dapat digambarkan dalam bentuk kurve pertumbuhan. Kurve waktu tertentu, misalnya bernilai b, maka:

- Pada generasi pertama, $b = 1 \times 2$
 - Pada generasi kedua, $b = 1 \times 2^2$
 - Pada generasi ke-n, $b = 1 \times 2^n$
- Sehingga akhirnya : $b = a \times 2^n$

Dengan perhitungan logaritma, persamaan dapat dituliskan menjadi

$$\begin{aligned}\log b &= \log 10^a + a \log 10^2 \\ &= \log 10^a + 0.301 n \\ &= \log 10^b - \log 10^a\end{aligned}$$

$$\text{atau } n = 0.301$$

Kalau G (= waktu generasi rata-rata) sama dengan t (= waktu yang dibutuhkan dari jumlah a menjadi b) dibagi oleh a (= jumlah keturunan) sehingga:

$$\begin{aligned}G &= \frac{1}{n} \\ &= \frac{0.3011}{\log 10^a - \log 10^b}\end{aligned}$$

Selang waktu yang dibutuhkan sel untuk membelah diri disebut dengan waktu generasi. Tiap spesies bakteri memiliki waktu generasi yang berbeda-beda, seperti *Escherichia coli*, bakteri umum yang dijumpai di saluran pencernaan dan di tempat lain, memiliki waktu generasi 15-20 menit. Hal ini artinya bakteri *E. coli* dalam waktu 15-20 menit mampu menggandakan selnya menjadi dua kali lipat. Misalnya pada suatu tempat terdapat satu sel bakteri *E. coli*, maka ilustrasinya dapat berlangsung sebagai berikut:

Tabel 1. Contoh pembelahan biner bakteri tiap 15 menit

0'	15'	30'	45'	60'	75'	90'	105'	120'	135'
1 sel	2 sel	4 sel	8 sel	16 sel	32 sel	64 sel	128 sel	256 sel	512 sel
2^0	2^1	2^2	2^3	2^4	2^5	2^6	2^7	2^8	2^9

Hal ini menunjukkan hubungan antara penambahan sel dengan waktu adalah berbentuk geometrik eksponensial dengan rumus 2^n . Jadi, bakteri *E. coli* dalam waktu 10 jam

berkembang dari satu sel menjadi $1,09 \times 10^{12}$ sel atau lebih dari 1 triliun sel. Sekarang bagaimana apabila jumlah sel awal lebih dari 1 sel.

2. Kurve pertumbuhan

Apabila satu bakteri tunggal (seperti *E. coli* tersebut) diinokulasikan pada suatu medium dan memperbanyak diri dengan laju yang konstan/tetap, maka pada suatu waktu pertumbuhannya akan berhenti dikarenakan sokongan nutrisi pada lingkungan sudah tidak memadai lagi, sehingga akhirnya terjadi kemerosotan jumlah sel akibat banyak sel yang sudah tidak mendapatkan nutrisi lagi. Hingga akhirnya pada titik ekstrim menyebabkan terjadinya kematian total bakteri. Kejadian di atas apabila digambarkan dalam bentuk kurva. Kurve pertumbuhan jasad hidup, khususnya mikroba, merupakan gambaran dari fase pertumbuhan secara bertahap sejak awal hingga berhenti mengadakan aktivitas. Kurve ini umumnya terbagi ke dalam beberapa fase pertumbuhan, yaitu:

1) Fase lag

Selama fase ini perubahan bentuk dan pertambahan jumlah individu tidak secara nyata terlihat, karena fase ini dapat juga dinamakan sebagai fase adaptasi (penyesuaian) ataupun fase pengaturan jasad untuk aktivitas di dalam lingkungan yang mungkin baru. Maka grafik selama fase ini umumnya mendatar.

2) Fase eksponensial atau logaritmik

Setelah setiap individu dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan baru selama fase lag, maka mulailah mengadakan perubahan bentuk dan meningkatkan jumlah individu (sel) sehingga kurve meningkat dgn tajam (menanjak). Peningkatan ini harus diimbangi dengan banyak faktor, antara lain:

- a) Faktor biologis, yaitu bentuk dan sifat jasad terhadap lingkungan yang ada, serta asosiasi kehidupan diantara jasad yang ada kalau jumlah jenis lebih dari sebuah,
- b) Faktor non biologis, antara lain kandungan sumber nutrisi di dalam media, temperatur, kadar oksigen, cahaya dan sebagainya.

Kalau faktor-faktor di atas optimal, maka peningkatan kurve nampak tajam seperti gambar.

3) Fase pengurangan pertumbuhan

Berupa keadaan puncak dari fase logaritmik sebelum mencapai fase stasioner, dimana penambahan jumlah individu mulai berkurang atau menurun yang disebabkan oleh banyak faktor, antara lain berkurang sumber nutrisi di dalam media, tercapainya jumlah kejenuhan pertumbuhan jasad, dan sebagainya.

4) Fase Stasioner

Pengurangan sumber nutrisi serta faktor-faktor yang terkandung di dalam jasadnya sendiri, maka sampailah puncak aktivitas pertumbuhan kepada titik yang tidak bisa dilampaui lagi. Maka selama fase ini, gambaran grafik akan mendatar. Populasi jasad hidup di dalam keadaan yang maksimal stasioner yang konstan disebut dalam konsentrasi – M

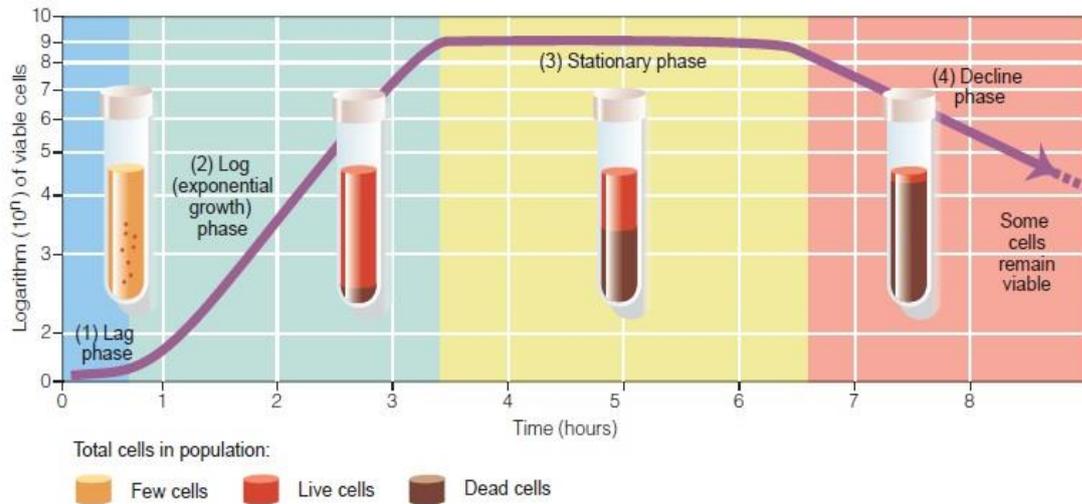
5) Fase kematian

Ini merupakan fase akhir dari suatu kurve dimana jumlah individu secara tajam akan menurun sehingga grafik seperti akan kembali ke titik awal lagi.

Perkembangan mikroba dapat terjadi secara aseksual (yang paling umum) dan secara seksual (terjadi pada beberapa individu saja). Pada bakteri misalnya,

perkembangbiakan secara aseksual terjadi secara pembelahan biner, yaitu sel induk membelah menjadi dua sel. Kemudian masing-masing sel anak akan membentuk dua sel anak lagi, dan seterusnya hidup makin memperbanyak. Selama sel membelah maka akan terjadi keselarasan replikasi DNA sehingga tiap-tiap sel anak akan menerima paling sedikit satu kopi (salinan) dari genom.

Perbanyakkan sel dengan cara pembelahan ini, kecepatannya ditentukan oleh waktu generasi. Ada jenis yang mempunyai waktu generasi singkat atau cepat, ada pula yang mempunyai waktu generasi lambat atau lambat sekali.



Gambar 16. Grafik Pertumbuhan Sel

Bab 5. PROTISTA

A. Kingdom Protista

Kingdom Protista adalah kingdom yang anggotanya sangat beragam mencakup semua makhluk hidup eukariotik (intinya mempunyai selaput/membran inti) yang sebagian besar bersel satu (uniseluler) sampai bersel banyak (multiseluler) yang sederhana/belum ada diferensiasi sel.

Protista dikelompokkan menjadi tiga kelompok besar :

1. Protista mirip hewan (protozoa)
2. Protista mirip tumbuhan (alga/ganggang)
3. Protista mirip jamur (jamur lendir/dan jamur air)

Berdasarkan cara memperoleh makanan, protista dikelompokkan atas:

- a. Protista autototrof, yaitu protista yang mempunyai klorofil sehingga dapat membuat makanan sendiri melalui fotosintesis. Fotosintesis adalah proses pembentukan senyawa organik dari senyawa anorganik menggunakan energi cahaya. Contohnya :
Alga/ganggang
- b. Protista heterotrof, yaitu protista yang tidak dapat membuat makanan sendiri sehingga memerlukan makanan organik dari lingkungannya, dengan cara:
 - a) Fagositosis, yaitu proses memakan makhluk hidup lain (misal : bakteri) dengan cara memasukkan makhluk hidup yang dimakan tersebut ke dalam sel. Contohnya:
Protozoa
 - b) Protista saprofit dan parasit, saprofit artinya mencerna makanan organik di luar sel dari sisa-sisa makhluk hidup yang telah mati dan parasit artinya menyerap sari-sari makanan dari makhluk hidup inangnya. Contoh: *jamur*

Selanjutnya kita bahas ketiga kelompok protista tersebut secara lebih detail dimulai dari yang paling sederhana:

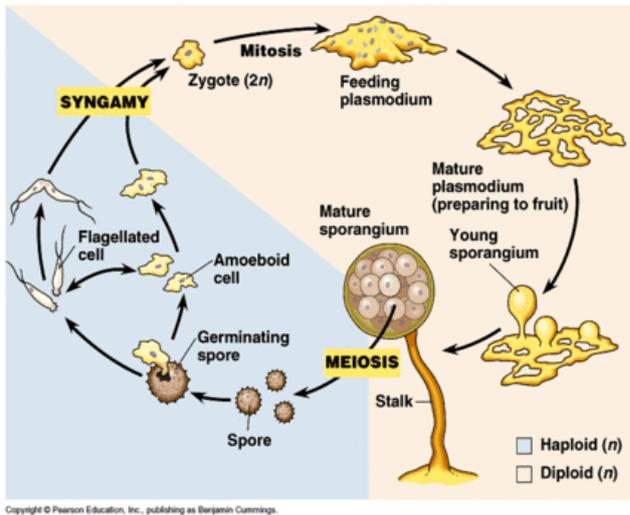
1. Protista Mirip Jamur

Protista mirip jamur tidak dimasukkan ke dalam fungi karena struktur tubuh dan cara reproduksinya berbeda. Reproduksi jamur protista mirip jamur/fungi, tetapi gerakan pada fase vegetatifnya mirip amoeba. Meskipun tidak berklorofil, struktur membran jamur ini mirip ganggang. Jamur protista dibedakan menjadi dua macam yaitu :

a. *Myxomycota* (Jamur Lendir)

- 1) Habitat di hutan basah, batang kayu yang membusuk, tanah lembab, kayu lapuk. Contoh jamur ini adalah *Dictyostelium discoideum*.
- 2) Fase hidupnya ada dua fase yaitu fase hewan (fase berbentuk **plasmodium**) dan fase tumbuhan (fase plasmodium mengering membentuk **tubuh-tubuh buah** yang bertangkai)
- 3) Struktur tubuh vegetatif berbentuk seperti lendir yang disebut plasmodium, yang merupakan massa sitoplasma berinti banyak dan bergerak seperti amoeba istilahnya **ameboid**. dan memperoleh makanan secara fagosit (memasukkan makanan ke

dalam sel dan makanan dicerna di dalam sel pada bagian yang disebut vakuola makanan).



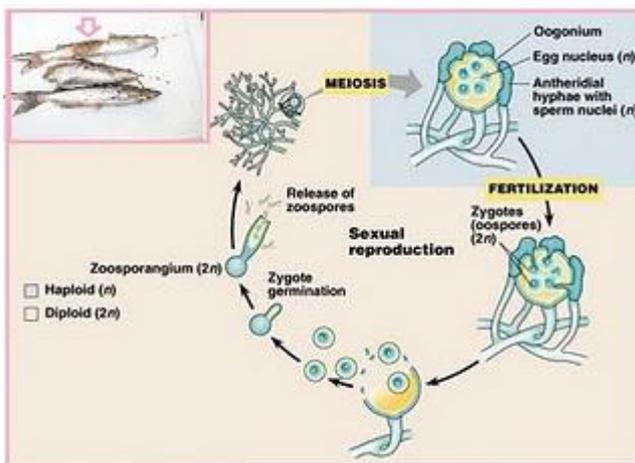
4) pada fase vegetatif/plasmodium ini dapat bereproduksi secara vegetatif dengan cara **pembelahan biner** (satu plasmodium membelah menjadi dua plasmodium)

5) Jika telah dewasa plasmodium akan menuju tempat yang kering dan membentuk badan buah (**fruiting bodies**) selanjutnya badan buah akan membentuk sporangium (kotak spora). Sporangium yang masak akan pecah dan spora tersebar dengan bantuan angin.

6) Spora yang berkecambah akan membentuk sel gamet yang bersifat haploid, dan sel gamet ini melakukan **singami**. Singami adalah peleburan dua gamet yang bentuk dan ukurannya sama (yang tidak dapat dibedakan jantan dan betinanya). Hasil peleburan berupa zigot dan zigot tumbuh dewasa menjadi plasmodium kembali.

b. Oomycota (Jamur air)

- 1) Habitatnya di tempat yang lembab/perairan
- 2) Jamur air mempunyai hifa yang tidak bersekat (senositik)
- 3) Dinding sel dari selulosa
- 4) Reproduksi vegetatif dengan cara membentuk zoospora yang memiliki dua flagel untuk berenang.
- 5) Reproduksi generatif dengan cara fertilisasi yang akan membentuk zigot yang tumbuh menjadi oospora.



Contohnya:

Saprolegnia (parasit pada telur ikan)
Phytophthora (parasit pada tanaman kentang)

Phytium (penyebab busuknya kecambah dan busuk akar)

2. Protista mirip Hewan

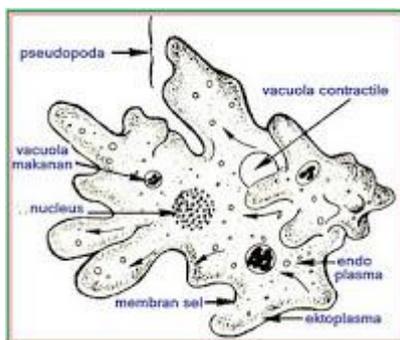
Protozoa berasal dari bahasa Yunani yaitu Protos artinya pertama dan Zoon artinya hewan. Protozoa sering disebut hewan bersel satu (uniseluler). Seluruh kegiatan hidupnya dilakukan oleh sel itu sendiri melalui organel-organel yang ada di dalam sel

yang secara fungsi mirip dengan sistem organ pada hewan-hewan bersel banyak (metazoa).

- a. Protozoa merupakan hewan bersel tunggal (uniseluler)
- b. Bersifat eukariotik/berinti sejati (inti dilindungi oleh membran inti) sehingga substansi genetik/ kromosom terpisah dengan sitoplasma karena ada pembatas membran inti (caryotheca)
- c. Selnya tidak memiliki dinding sel. namun jika lingkungan kurang baik dapat membentuk lapisan pelindung yang tebal disebut Kista/cysta setelah lingkungan baik kista pecah.
- d. Ukurannya antara 3 – 1000 mikron merupakan organisme mikroskopis bersifat heterotrof artinya makanan tergantung organisme lain (fagosit, saprofit atau parasit)
- e. Tempat hidupnya adalah tempat yang basah yang kaya zat organik, air tawar atau air laut
- f. Bentuk tubuh protozoa berbeda-beda pada fase yang berbeda dalam siklus hidupnya.
- g. Protozoa memiliki alat gerak bermacam-macam antara lain ada yang berupa kaki semu, bulu getar (cilia) atau bulu cambak (flagel).
- h. Pada umumnya protozoa berkembangbiak dengan membelah diri / pembelahan biner.

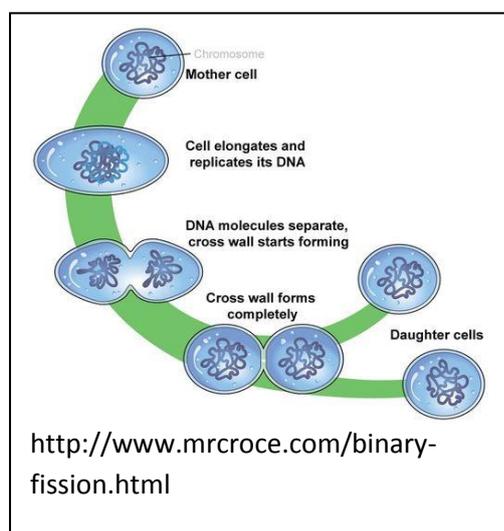
Klasifikasi Protozoa

Klasifikasi Protozoa berdasarkan alat geraknya. Protozoa dibedakan menjadi 4 kelas dan agar mudah menghafal disingkat RSCM (Rhizopoda, Sporozoa, Ciliata, Mastigophora)



a. Rhizopoda

- 1) Kebanyakan hidupnya di air tawar dan air laut
- 2) Struktur tubuhnya terdiri atas protoplasma yang dibatasi oleh membran.
- 3) Hewan ini memiliki ciri khusus yaitu alat geraknya yang berupa kaki semu (pseudopodium). Kaki semu merupakan penjurulan dari sebagian protoplasma. Geraknya disebut gerak amoeboid.
- 4) Berkembang biak secara vegetatif dengan membelah diri/pembelahan biner/amitosis.
- 5) Makanannya diambil dengan cara fagosit dan dicerna pada **vakuola makanan**.
- 6) Alat ekskresinya vakuola kontraktil / rongga berdenyut. Vakuola kontraktil juga berfungsi memelihara keseimbangan osmosis sel sehingga mencegah pengembangan di luar batas yang dapat mengakibatkan rhizopoda pecah.
- 7) Pernafasannya dilakukan dengan difusi memakai seluruh permukaan tubuhnya.



Contoh rhizopoda :

- a) *Entamoeba histolytica/disentriae* parasit di dalam usus halus manusia penyebab disentri
- b) *Entamoeba coli* parasit di dalam usus besar manusia penyebab diare
- c) *Entamoeba gingivalis* parasit di dalam rongga gigi dan dapat merusak gigi dan gusi
- d) *Arcella sp* memiliki kerangka luar dari zat kitin, terdapat di air tawar
- e) *Diffugia sp* Mempunyai selaput halus, sehingga pasir dapat menempel
- f) *Foraminifera sp* Kerangka luar dari kapur indikator adanya minyak bumi
- g) *Radiolaria sp* Kerangka luar dari zat kersik untuk bahan penggosok (ampelas)

b. Sporozoa

Sporozoa adalah hewan yang dapat membentuk spora untuk menginfeksi inangnya. Tubuh berbentuk bulat atau bulat panjang. Semua anggota filum Sporozoa tidak memiliki alat gerak dan bersifat parasit. Reproduksi dengan dua cara yaitu:

- 1) Secara aseksual/vegetatif yang dibagi lagi menjadi:
 - a) Skizogoni yaitu pembelahan diri berlangsung dalam tubuh inang tetap
 - b) Sporogoni yaitu membentuk spora yang berlangsung dalam tubuh inang perantara (*hospes intermediat*) caranya melalui peleburan yang terjadi pada tubuh nyamuk
 - c) Secara seksual/generatif disebut gamogoni/gametogenesis yang berupa pembentukan dan peleburan sel-sel gamet (mikrogamet/gamet jantan dan makrogamet/gamet betina) yang terjadi di dalam tubuh inang perantara atau nyamuk.

Contoh-contoh Sporozoa antara lain:

- a) *Plasmodium vivax*, penyebab penyakit malaria tertiana dengan gejala demam dengan masa sporulasi dalam selang waktu 48 jam.
- b) *Plasmodium malariae*, penyebab penyakit malaria quartana dengan gejala demam dengan masa sporulasi dalam selang waktu 72 jam.
- c) *Plasmodium falcifarum*, penyebab penyakit malaria tropika dengan gejala demam yang tidak teratur.
- d) *Plasmodium ovale*, penyebab penyakit limpa/malaria ovale tertiana, dengan gejala demamnya lebih ringan daripada malaria tertiana.

Daur Hidup Plasmodium

Siklus/daur hidup Plasmodium membutuhkan 2 inang makhluk hidup :

1. tubuh nyamuk Anopheles betina sebagai inang perantara
2. tubuh manusia sebagai inang tetap
3. Nyamuk Anopheles betina menggigit, menghisap darah manusia kemudian mengeluarkan air liur yang mengandung **sporozoit**.

Di dalam tubuh manusia:

- a) Bersama aliran darah **sporozoit** menuju hati dan menetap selama \pm 3 hari.

- b) Kemudian sporozoid keluar dari hati kemudian menginfeksi sel-sel darah merah. Sporozoid di dalam sel darah merah disebut tropozoid.
- c) Trofozoit akan membelah menjadi 6 - 32 merozoit. peristiwa pembelahan dalam inang manusia ini disebut skizogoni.
- d) Setelah sel darah merah pecah, merozoit keluar dan mencari sel-sel darah merah baru. Kejadian merozoit merusak/melisis sel-sel darah merah berulang beberap kali. Gejala demam terjadi ketika merozoit melisis sel darah merah dalam jumlah banyak.
- e) Sebagian dari merozoit berubah menjadi **gametosit** lalu gametosit akan berubah menjadi **makrogametosit**/gamet betina dan **mikrogametosit**/gamet jantan.
- f) Jika darah si penderita digigit nyamuk Anopheles betina dan menghisap darah penderita tadi maka makrogametosit dan mikrogametosit akan ikut terhisap dan masuk ke dalam tubuh nyamuk.

Di dalam tubuh nyamuk:

- a) Di dalam kelenjar ludah nyamuk makrogametosit dan mikrogametosit berkembang menjadi makrogamet (ovum) dan mikrogamet (sperma). Prosesnya dinamakan **gamogoni**/gametogenesis.
- b) Terjadi fertilisasi (peleburan gamet jantan dan gamet betina) sehingga terbentuklah **zigot**.
- c) Zigot berkembang menjadi **ookinet** masuk ke usus nyamuk untuk mendapatkan makanan
- d) Ookinet selanjutnya terbungkus oleh otot dinding perut nyamuk membentuk **ookista**
- e) Ookista akan membelah berulang kali membelah sehingga terbentuk sel-sel yang lengkap dinamakan **sporozoit**. Peristiwa pembelahan dalam tubuh nyamuk disebut **sporogoni**
- f) Ookista yang telah matang maka akan pecah sehingga sporozoit tersebar ke seluruh tubuh nyamuk, diantaranya adalah ke dalam kelenjar ludah.
- g) Nyamuk Anopheles betina menggigit, menghisap darah manusia kemudian mengeluarkan air liur yang mengandung **sporozoit**.

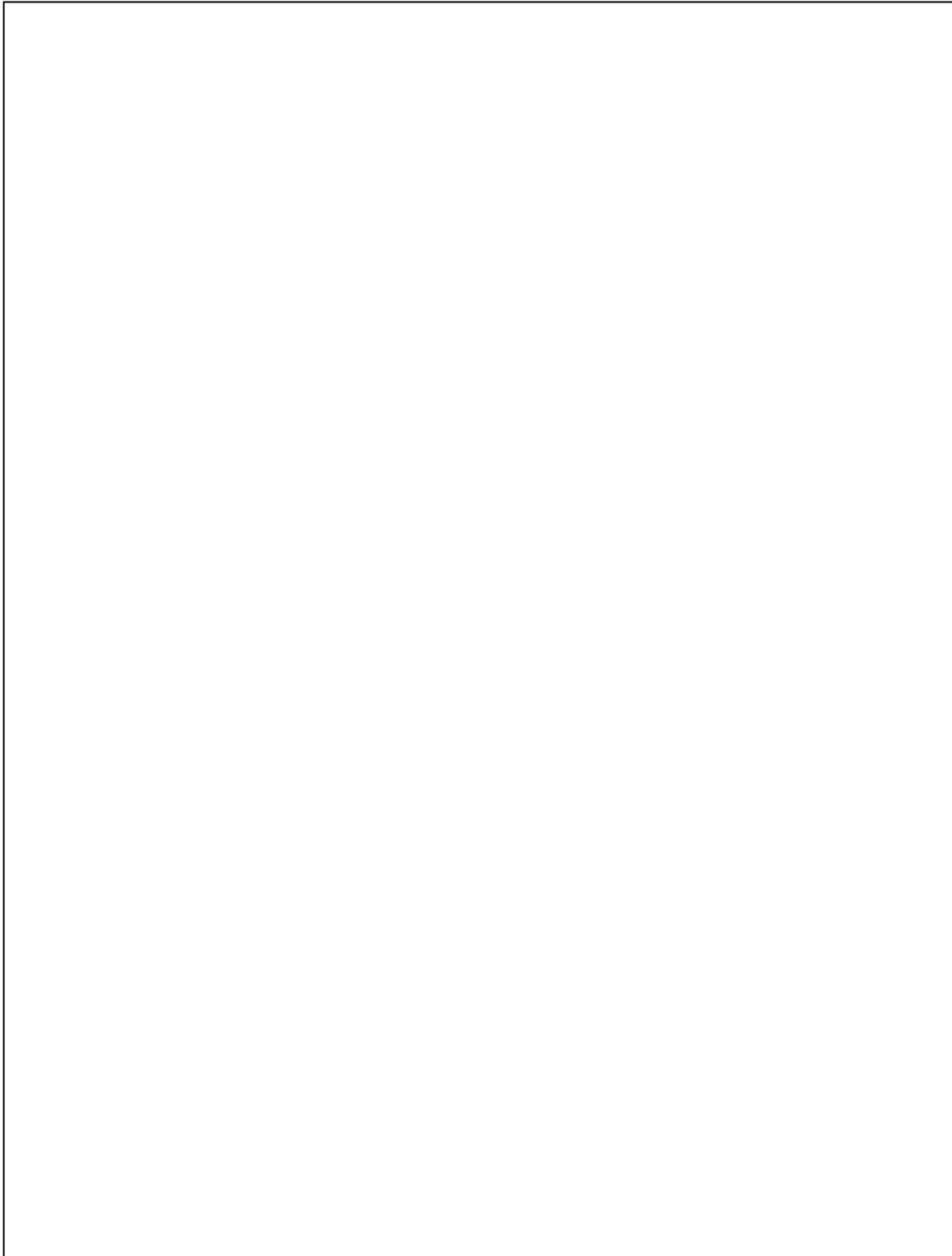
RINGKASNYA siklus ini sangat mudah dengan hafalan: **S-T-M-G-Z-O-O** (Sporozoid-Trofozoit-Merozoit-Gametosit-Zygot-Ookinet-Ookista).

Pemberantasan malaria dapat dilakukan dengan cara :

- a) Menghindari gigitan nyamuk *Anopheles sp.*
- b) Memotong siklus hidup plasmodium dengan cara mengubur barang-barang bekas yang dapat digenangi air, menutup bak penampungan air dan secara rutin mengurasnya dll.
- c) Mengendalikan populasi nyamuk Anopheles dengan insektisida dan larvasida
- d) Pengobatan penderita secara teratur dengan anti-malaria seperti atebtrin dan klorokin. Pengobatan tradisional menggunakan kina.

UJI KONSEP

Gambarlah siklus hidup plasmodium, lengkap dengan keterangan !



c. Ciliata

- a) Ciliata merupakan protista bersel satu yang permukaan tubuhnya ditumbuhi rambut getar (silia) yang berfungsi sebagai alat gerak dan menangkap mangsa.
- b) Bentuk tubuhnya oval dan bentuknya tetap/tidak berubah-ubah
- c) Hidup di tempat-tempat yang berair misal : sawah, rawa, tanah berair dan banyak mengandung bahan organik.
- d) Sifat hidup ciliata ada yang hidup bebas dan adapula yang parasit.
- e) Beberapa contoh kelas ciliata: *Paramecium*, *Nyctoterus*, *Stylonichia* sp, *Balantidium coli*, *Stentor*, *Vorticella*, *Didinium*

Paramecium caudatum

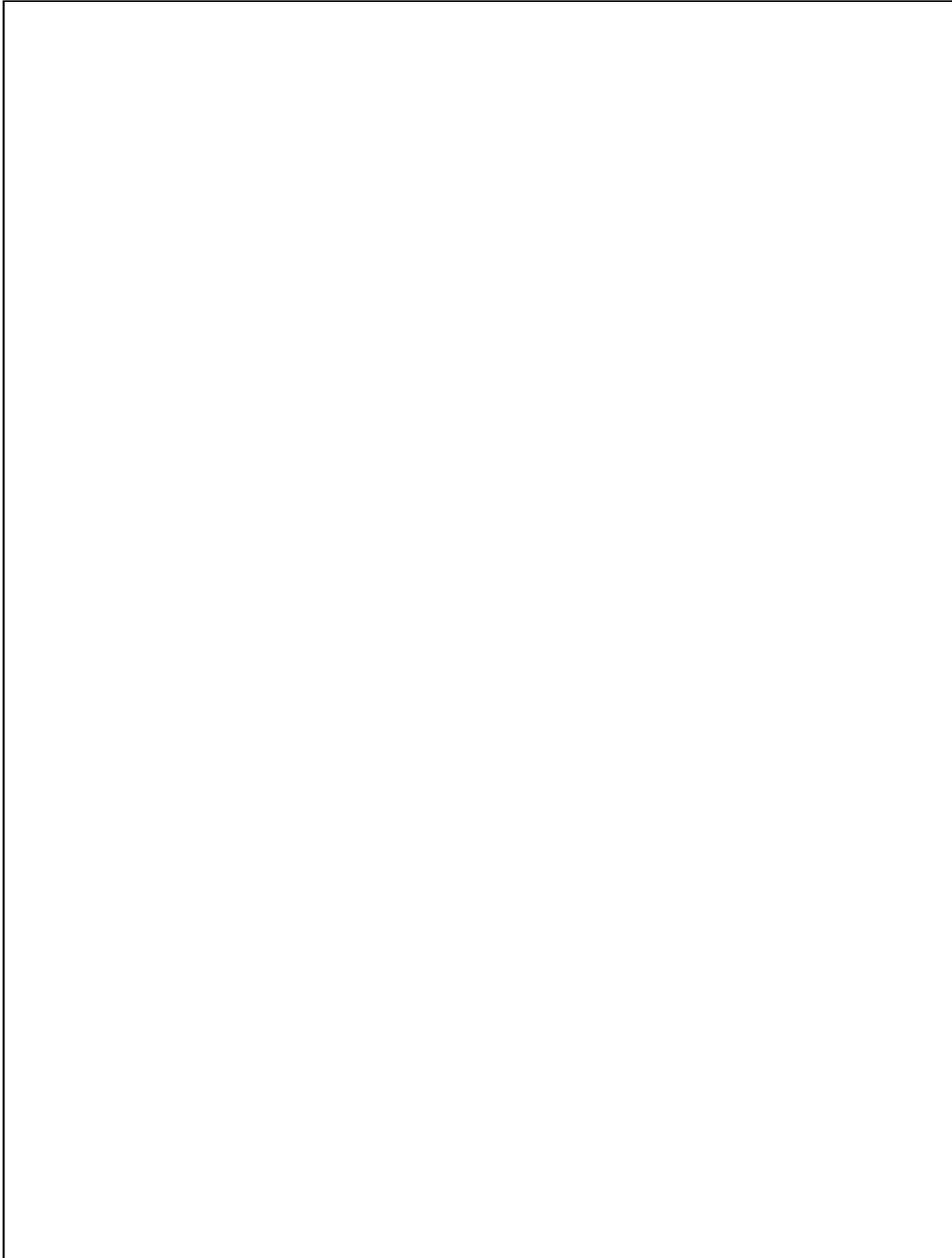
- a) Nama lain hewan sandal karena bentuknya mirip sandal
- b) Habitat di tempat berair, sawah, rawa
- c) Mempunyai dua macam nukleus yaitu mikronukleus untuk reproduksi dan makronukleus untuk membantu proses fisiologis yang lain
- d) Mempunyai dua macam vakuola yaitu vakuola makanan berfungsi untuk membantu mencerna makanan dan vakuola kontraktil/berdenyut berfungsi untuk menjaga keseimbangan air di dalam tubuh dan mengeluarkan sisa makanan cair.
- e) Berkembangbiak dengan dua cara yaitu vegetatif dengan cara pembelahan biner dan generatif dengan cara konjugasi.
- f) Proses konjugasi terjadi antara dua *paramecium* yang saling berlekatan dan membentuk saluran untuk saling tukar menukar mikronukleus.

Sedangkan contoh hewan Ciliata yang lainnya adalah:

- a) ***Stentor***: hewan berbentuk seperti terompet
- b) ***Didinium***: merupakan pemangsa *Paramecium*, hidup diperairan yang banyak protozoa.
- c) ***Vorticella***: bentuk seperti lonceng, silia terdapat di sekitar mulut sel.
- d) ***Stylonichia***: mirip dengan *Paramecium*, silia berkelompok disebut sirus.
- e) ***Nyctoterus ovalis***: parasit di usus kecoa, berbentuk oval mirip *Paramecium* sp
- f) ***Balantidium coli***: parasit pada usus/kolon manusia. penyakitnya disebut balantidiosis.

UJI KONSEP

Gambarlah Anatomi *Paramecium caudatum*, lengkap dengan keterangan !



d. Mastigophora/Flagellata

Semua organisme yang tergolong flagellata memiliki **flagellum** yang berperan sebagai alat gerak. Selain sebagai alat gerak flagellum juga dimanfaatkan membawa masuk makanan ke dalam mulut dan sebagai indra untuk mengetahui keadaan lingkungan.

Berdasarkan ada tidaknya klorofil kelas flagellata dibedakan menjadi dua macam yaitu fitoflagellata dan zooflagellata.

Fitoflagellata

Flagellata yang mampu melakukan fotosintesis karena mempunyai **kromatofora**. Habitat di perairan bersih dan perairan kotor, cara mencerna makanan ada beberapa cara:

- *holozoik*: memangsa organisme lain lalu mencernanya di dalam tubuhnya
- *holofitik*: membuat makanan sendiri dari zat anorganik
- *saprofitik*: mencerna organisme yang telah mati.

Cara reproduksi aseksual dengan pembelahan biner dan reproduksi seksualnya dengan konjugasi. Contoh: Euglena, Volvox, Noctiluca:

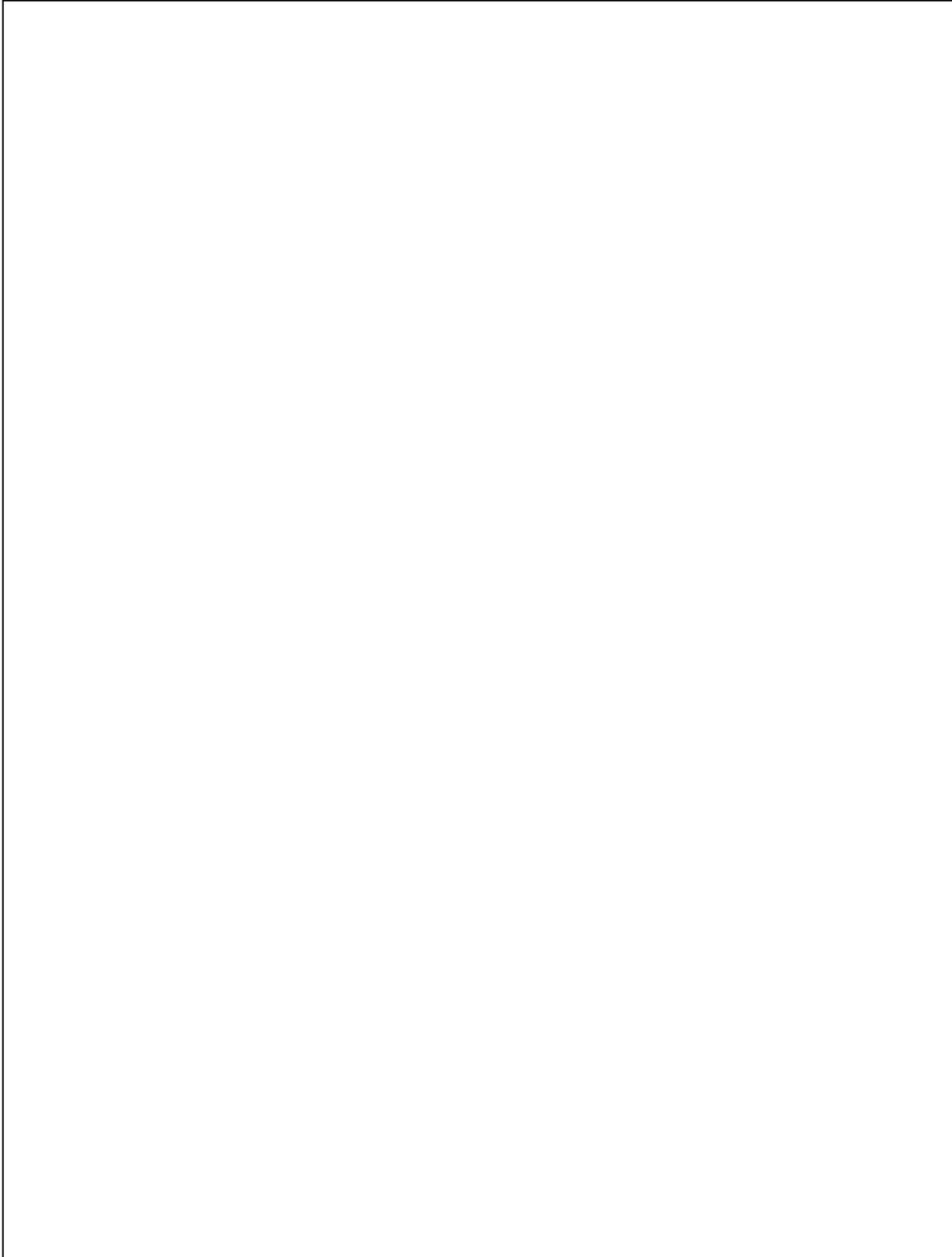
- Euglena viridis (mempunyai klorofil),
- Euglena sanguinea (memiliki pigmen fikokserin/merah)
- Volvox globator (hidup berkoloni)
- Noctiluca miliaris (mengeluarkan cahaya di malam hari).

Zooflagellata/dinoflagellata

- a) Tidak mempunyai klorofil, sehingga bersifat heterotrof
- b) Umumnya hidup sebagai parasit pada hewan dan manusia
- c) Contohnya: Tripanosoma, Leishmania
- d) Nama spesies dan penyakit yang ditimbulkan:
 - (1) *Tripanosoma lewisi* parasit pada darah tikus
 - (2) *Tripanosoma cruci* penyebab penyakit cagas (anemia anak)
 - (3) *Tripanosoma evansi* sakit sura (malas) pada ternak, vektor lalat tabanidae
 - (4) *Tripanosoma brucei* penyakit nagano pada ternak
 - (5) *Tripanosoma gambiense* sakit tidur, vektor lalat tsetse
 - (6) *Tripanosoma rhodosiense* sakit tidur, vektor lalat tsetse
 - (7) *Tripanosoma vaginalis* keputihan pada vagina
 - (8) *Leishmania donovani* penyebab sakit kalaazar (demam dan anemia)
 - (9) *Leishmania tropica* penyakit kulit

UJI KONSEP

Gambarlah Anatomi salah satu contoh *flagelata*, lengkap dengan keterangan !



3. Protista Mirip Tumbuhan (Alga)

Yang termasuk dalam kelompok protista mirip tumbuhan adalah ganggang (alga).

1. Ciri-ciri Alga

- a. merupakan organisme Eukariotik
- b. ada yang uniseluler (bentuk benang/pita) dan ada yang multiseluler (bentuk lembaran).
- c. Memiliki klorofil, sehingga bersifat autotrof. Selain klorofil, alga juga memiliki pigmen lain, seperti fikosianin (warna biru), fikoeritrin (warna merah), fikosantin (warna coklat), xantofil (warna kuning) dan karotena (warna keemasan).
- d. Tubuh alga/ganggang tidak dapat dibedakan antara akar, batang, dan daun. Tubuhnya berupa thalus, sehingga dimasukkan ke dalam golongan thalophyta.
- e. Reproduksi secara asexual (dengan fragmentasi, pembelahan, pembentukan spora) maupun seksual (dengan oogami dan isogami). oogami terjadi jika antara sel betina dan sel kelamin jantan mempunyai ukuran yang sama dan sulit dibedakan. Oogami terjadi jika antara sel kelamin jantan dan sel kelamin betina mempunyai bentuk dan ukuran yang berbeda dan mudah dibedakan. Dari peleburan dua sel kelamin tersebut, akan terjadi pembuahan yang menghasilkan zigot. Zigot akan terus berkembang menjadi individu baru
- f. Habitat di perairan (tawar – laut), tempat lembab. Ada yang menempel pada batuan (epilitik), tanah/lumpur/pasir (epipalik), menempel pada tumbuhan sebagai (epifitik), dan menempel pada tubuh hewan (epizoik).

2. Klasifikasi Alga

Klasifikasi Protista mirip tumbuhan berdasarkan pigmen warna, meliputi :

a. *Euglenophyta*

Euglenophyta merupakan kelompok protista yang unik karena dia memiliki sifat mirip tumbuhan dan hewan. Dianggap mirip tumbuhan karena memiliki klorofil a dan b, juga ditemukan karotin sehingga dia akan berfotosintesis. *Euglenophyta* dianggap mirip hewan karena dapat bergerak aktif dengan pertolongan satu atau beberapa bulu cambuk (flagela) yang keluar dari selnya. Karena mempunyai alat gerak, dia dapat hidup di perairan, misalnya air tawar dan air tergenang.

Contoh: *Euglena viridis*

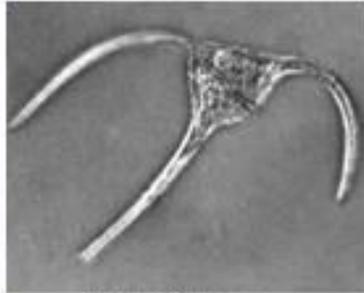
b. *Phyrophyta (Alga Api)*

Sering disebut Dinoflagellata karena memiliki 2 flagel. bersifat uniseluler, memiliki pigmen berupa klorofil a dan c. Memiliki dinding sel berupa selulosa dan ada juga yang tidak memiliki dinding sel. Disebut ganggang Api, karena mampu memancarkan cahaya (bioluminesens) pada kondisi gelap. Hidup di air laut dan ada yang di air tawar

Contoh: *Noctiluca sp*, *Ceratium sp*, *Gonyaulax sp*, *Perridium sp*.



Noctiluca,



Ceratium sp

c. *Chlorophyta* (Alga Hijau)

Ada yang uniseluler (soliter – koloni) dan multiseluler. Tubuhnya mengandung klorofil (klorofil a dan b), dan pigmen warna lain (karoten, xantofil). Hidup melayang-layang di air tawar atau air laut sebagai fitoplankton. Memiliki dinding sel yang tersusun atas selulosa dan lignin. Bentuk tubuh (benang, lembaran, dan berkoloni). Ada yang bersimbiosis (mutualisme) dengan fungi membentuk lichenes (lumut kerak).

Reproduksi secara aseksual (dengan pembelahan biner untuk yang bersel satu dan fragmentasi untuk yang berbentuk benang, pembentukan zoospora), dan secara seksual dengan konjugasi. Konjugasi adalah perpaduan gamet yang membentuk zigospora.

Contoh:

1) *Chlorococcum sp*

Struktur tubuhnya uniseluler, tidak memiliki alat gerak, hidup di air tawar, secara vegetatif berkembang biak dengan membentuk zoospora. Dan setiap zoospora memiliki sepasang flagella atau berflagel dua

2) *Chlorella sp*

Ganggang uniseluler berbentuk seperti bola, kloroplasnya menyerupai mangkuk. Memiliki pyrenoid yang mengandung protein tinggi (Protein Sel Tunggal/PST). Habitat *Chlorella* di air tawar, laut maupun di tempat-tempat yang basah. Reproduksi secara vegetatif dengan membelah.

3) *Spirogyra sp*

Habitatnya di air tawar, ukuran kloroplasnya besar menyerupai pita yang melingkar-lingkar di dalam sel. Kloroplasnya mengandung banyak pyrenoid untuk menyimpan hasil berupa fotosintesis amilum.

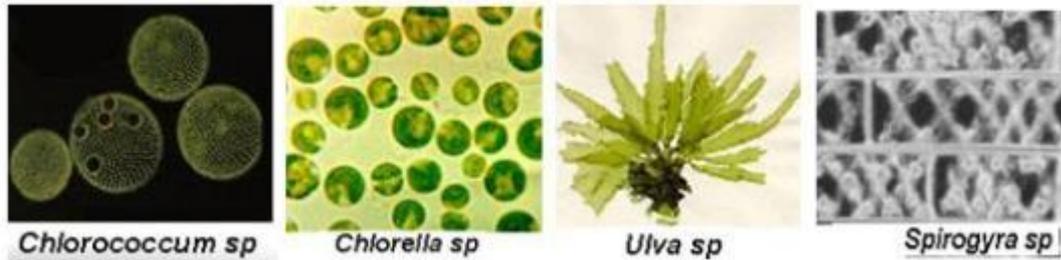
Reproduksi vegetatif dengan fragmentasi, sedang secara seksual dengan cara konjugasi yang berlangsung sebagai berikut: Dua sel filamen yang berbeda jenis (+ dan -) berdekatan, kemudian filamen tersebut membuat tonjolan yang akhirnya bergabung membentuk sebuah saluran/pembuluh yang menghubungkan plasma selnya. Selanjutnya plasma sel berjenis + mengalir menuju plasma - dengan demikian terjadilah penyatuan plasma (plasmogami), yang kemudian diikuti oleh penggabungan inti sel (kariogami). Penyatuan ini menghasilkan zigospora yang diploid. Zigospora bermeiosis menghasilkan empat sel baru yang haploid. Keempat sel ini biasanya satu sel tumbuh menjadi filamen *Spirogyra* yang baru.

4) *Ulva sp*

Habitat *Ulva* di air laut, air payau, menempel pada kayu atau batu-batu karang sepanjang pantai memiliki bentuk thalus (berupa lembaran).

5) *Chlamydomonas sp*

Memiliki bentuk bulat telur, berflagel dua di ujung depan, kloroplas berbentuk seperti mangkuk atau pita, terdapat stigma (bintik mata)



d. Chrysophyta (Alga coklat-keemasan)

Ada yang uniseluler dan ada yang multiseluler, dan banyak yang berflagel. Memiliki pigmen warna yang dominan adalah karotin, fukosantin (coklat kuning) dan pigmen warna lain klorofil a dan b. Sebagian besar kelompok ini adalah Diatom. Diatom mempunyai bentuk kotak dan memiliki dinding sel. Sel tersusun atas dua belahan, yaitu : wadah (hipoteka) dan tutup (epiteka). Dinding sel mengandung zat kersik, sehingga sering disebut ganggang kersik atau tanah diatom. Manfaat : untuk bahan penggosok, bahan isolasi, bahan dasar kosmetik, dan penyekat dinamit, penyaring kolam renang
Contoh: *Diatom, Navicula, Cyclotella, dan Pinnularia*



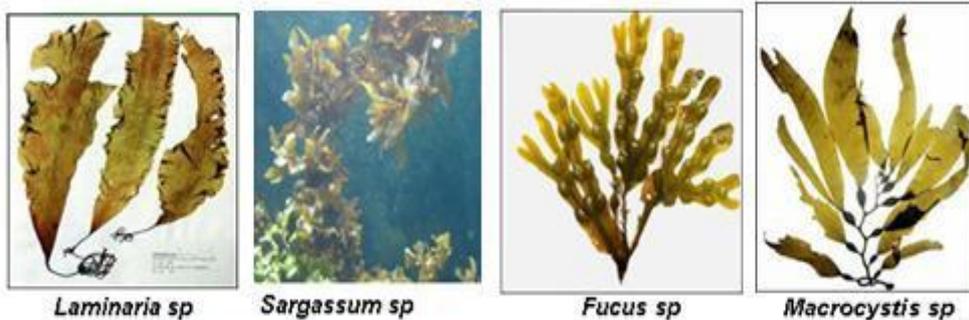
e. Phaeophyta (Alga Coklat)

Tubuhnya menyerupai tumbuhan tingkat tinggi, bersifat multiseluler, memiliki pigmen berupa xantofil, fukosantin, klorofil a dan c, habitat di dasar laut, reproduksi

secara metagenesis (pergantian keturunan antara vegetatif dan generatif). Vegetatif dengan cara fragmentasi, zoospora. Sedangkan generatif dengan cara oogami (peleburan antar ovum dan spermatozoid).

Contoh:

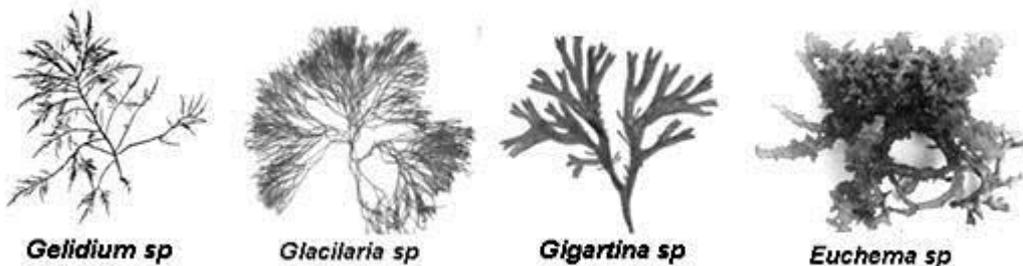
- a) *Laminaria sp*, penghasil asam alginat (untuk produksi tekstil, kosmetik dan makanan)
- b) *Sargassum sp*,
- c) *Fucus sp*,
- d) *Turbinaria sp*,
- e) *Macrocystis sp*



f. Rhodophyta (Alga Merah)

Bersifat multiseluler, memiliki pigmen fikobilin yang terdiri dari fikokoletrin (merah) dan fikosianin (biru), klorofil. habitat di dasar laut, seperti rumput sehingga sering disebut dengan rumput laut (sea weed). Reproduksi secara Vegetatif dengan pembentukan spora, dan secara generatif dengan peleburan antar ovum dan spermatozoid. Sering dimanfaatkan untuk bahan makanan (agar-agar) dan kosmetika.

Contoh: *Euchema spinosum*, *Glacilaria sp*, *Gelidium sp*, *Gigartina mammilosa*, *Erythrophyllum sp*, *Macrocladia sp*



Bab 6. VIRUS

1. Pengertian

Virus adalah parasit intraseluler obligat dan ukurannya 20-200 nm, bentuk dan komposisi kimianya bervariasi, tetapi hanya mengandung RNA or DNA. Partikelnya secara utuh disebut "VIRION" yang terdiri dari "Capsid" yang dapat terbungkus oleh sebuah Glycoprotein/membrane lipid. Virus resisten terhadap antibiotics. Virus merupakan Partikel yang bersifat parasit obligat pada sel/makhluk hidup Aseluler (bukan merupakan sel) Berukuran sangat renik Di dalam sel inang virus menunjukkan ciri makhluk hidup, sedangkan di luar sel menunjukkan ciri bukan makhluk hidup. Bentuk virus berbeda beda ada yang bula, batang, polihidris dan seperti huruf T.

UJI KONSEP

Gambarlah struktur dan anatomi virus, lengkap dengan keterangan !



2. Struktur dan Anatomi Virus

Virus merupakan organisme subselular yang karena ukurannya sangat kecil, hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop elektron. Ukurannya lebih kecil daripada bakteri sehingga virus tidak dapat disaring dengan penyaring bakteri. Virus terkecil berdiameter hanya 20 nm (lebih kecil daripada ribosom), sedangkan virus terbesar sekalipun sukar dilihat dengan mikroskop cahaya.

Asam nukleat genom virus dapat berupa DNA ataupun RNA. Genom virus dapat terdiri dari DNA untai ganda, DNA untai tunggal, RNA untai ganda, atau RNA untai tunggal. Selain itu, asam nukleat genom virus dapat berbentuk linear tunggal atau sirkuler. Jumlah gen virus bervariasi dari empat untuk yang terkecil sampai dengan beberapa ratus untuk yang terbesar. Bahan genetik kebanyakan virus hewan dan manusia berupa DNA, dan pada virus tumbuhan kebanyakan adalah RNA yang beruntai tunggal.

Bahan genetik virus diselubungi oleh suatu lapisan pelindung. Protein yang menjadi lapisan pelindung tersebut disebut kapsid. Bergantung pada tipe virusnya, kapsid bisa berbentuk bulat (sferik), heliks, polihedral, atau bentuk yang lebih kompleks dan terdiri atas protein yang disandikan oleh genom virus. Kapsid terbentuk dari banyak subunit protein yang disebut kapsomer.

Untuk virus berbentuk heliks, protein kapsid (biasanya disebut protein nukleokapsid) terikat langsung dengan genom virus. Misalnya, pada virus campak, setiap protein nukleokapsid terhubung dengan enam basa RNA membentuk heliks sepanjang sekitar 1,3 mikrometer. Komposisi kompleks protein dan asam nukleat ini disebut nukleokapsid. Pada virus campak, nukleokapsid ini diselubungi oleh lapisan lipid yang didapatkan dari sel inang, dan glikoprotein yang disandikan oleh virus melekat pada selubung lipid tersebut. Bagian-bagian ini berfungsi dalam pengikatan pada dan pemasukan ke sel inang pada awal infeksi.

Kapsid virus sferik menyelubungi genom virus secara keseluruhan dan tidak terlalu berikatan dengan asam nukleat seperti virus heliks. Struktur ini bisa bervariasi dari ukuran 20 nanometer hingga 400 nanometer dan terdiri atas protein virus yang tersusun dalam bentuk simetri ikosahedral. Jumlah protein yang dibutuhkan untuk membentuk kapsid virus sferik ditentukan dengan koefisien T, yaitu sekitar $60T$ protein. Sebagai contoh, virus hepatitis B memiliki angka $T=4$, butuh 240 protein untuk membentuk kapsid. Seperti virus bentuk heliks, kapsid sebagian jenis virus sferik dapat diselubungi lapisan lipid, namun biasanya protein kapsid sendiri langsung terlibat dalam penginfeksi sel.

Seperti yang telah dijelaskan pada virus campak, beberapa jenis virus memiliki unsur tambahan yang membantunya menginfeksi inang. Virus pada hewan memiliki selubung virus, yaitu membran menyelubungi kapsid. Selubung ini mengandung fosfolipid dan protein dari sel inang, tetapi juga mengandung protein dan glikoprotein yang berasal dari virus. Selain protein selubung dan protein kapsid, virus juga membawa beberapa molekul enzim di dalam kapsidnya. Ada pula beberapa jenis bakteriofag yang memiliki ekor protein yang melekat pada "kepala" kapsid. Serabut-serabut ekor tersebut digunakan oleh fag untuk menempel pada

suatu bakteri. Partikel lengkap virus disebut virion. Virion berfungsi sebagai alat transportasi gen, sedangkan komponen selubung dan kapsid bertanggung jawab dalam mekanisme penginfeksi sel inang.

3. Parasitisme Virus

Jika bakteriofag menginfeksi genomnya ke dalam sel inang, maka virus hewan diselubungi oleh endositosi atau, jika terbungkus membran, menyatu dengan plasmalema inang dan melepaskan inti nukleoproteinnya ke dalam sel. Beberapa virus (misalnya virus polio), mempunyai tempat-tempat reseptor yang khas pada sel inangnya, yang memungkinkannya masuk. Setelah di dalam, biasanya genom tersebut mula-mula ditranskripsi oleh enzim inang tetapi kemudian biasanya enzim yang tersandi oleh virus akan mengambil alih. Sintesis sel inang biasanya berhenti, genom virus bereplikasi dan kapsomer disintesis sebelum menjadi virion dewasa.

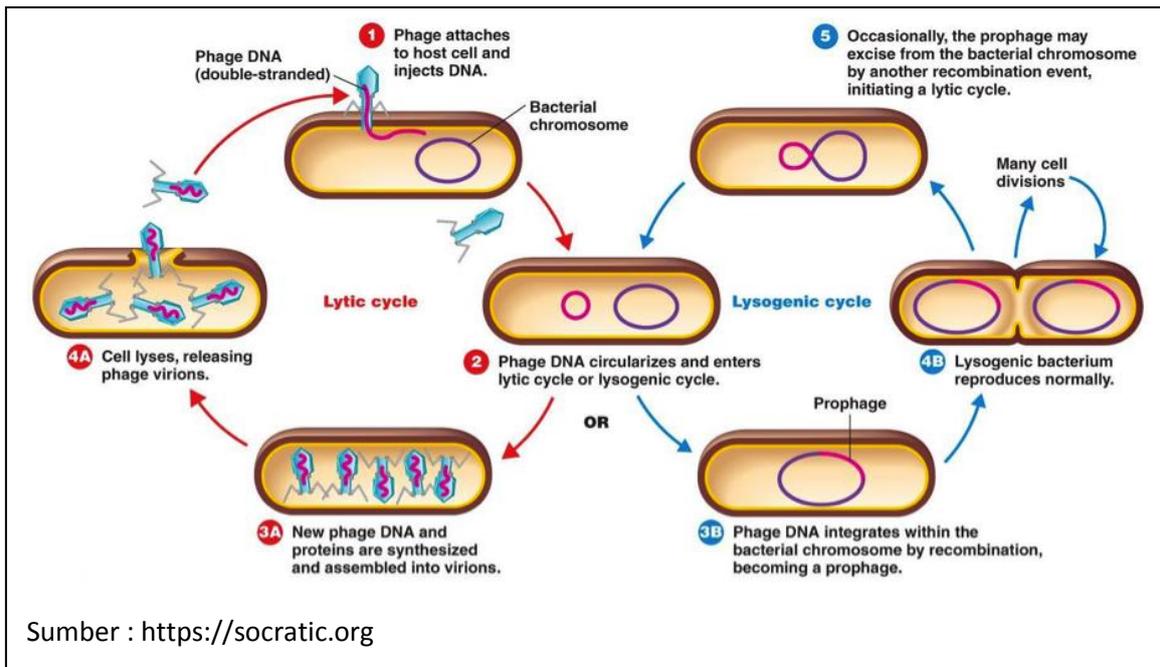
Virus biasanya mengkode suatu enzim yang diproduksi terakhir, merobek plasma membran inang (tahap lisis) dan melepaskan keturunan infeksi; atau dapat pula genom virus terintegrasi ke dalam kromosom inang dan bereplikasi bersamanya (provirus). Banyak genom eukariota mempunyai komponen provirus. Kadang-kadang hal ini mengakibatkan transformasi neoplastik sel melalui sintesis protein biasanya hanya diproduksi selama penggandaan virus. Virus tumor DNA mencakup adenovirus dan papavavirus; virus tumor DNA terbungkus dan mencakup beberapa retrovirus (contohnya virus sarkoma rous).

4. Reproduksi Virus

Reproduksi virus secara umum terbagi menjadi 2 yaitu siklus litik dan siklus lisogenik.

Siklus Litik

- a) Siklus litik dari bakteriofage (dimulai dari kanan bawah ke kiri): 1. adsorpsi & penetrasi 2. Penggabungan DNA virus dengan DNA sel 3. Replikasi DNA virus 4. Pembentukan kapsid 5. Pembentukan tubuh dan ekor bakteriofage 6. Lisis
- b) Siklus litik dalam virologi merupakan salah satu siklus reproduksi virus selain siklus lisogenik. Siklus litik dianggap sebagai cara reproduksi virus yang utama karena menyangkut penghancuran sel inangnya.
- c) Siklus litik, secara umum mempunyai 3 tahap yaitu adsorpsi & penetrasi, replikasi (biosintesis) dan lisis. Setiap siklus litik dalam prosesnya membutuhkan waktu dari 10-60 menit.



Tahapan siklus:

1. Adsorpsi & penetrasi

Tahap adsorpsi yaitu penempelan virus pada inang. Virus mempunyai reseptor protein untuk menempel pada inang spesifik. Setelah menempel, virus kemudian akan melubangi membran dari sel inang dengan enzim lisozim. Setelah berlubang, virus akan menyuntikkan DNA virusnya ke dalam sitoplasma sel inang.

2. Replikasi (Biosintesis)

Setelah disuntikkan ke dalam sel inang, DNA dari virus akan menonaktifkan DNA sel inangnya dan kemudian mengambil alih kerja sel inang, lalu menggunakan sel tersebut untuk memperoleh energi dalam bentuk ATP untuk melanjutkan proses reproduksinya. DNA dari virus, akan menjadikan sel inang sebagai tempat pembentukan virus baru, kemudian DNA akan mengarahkan virus untuk menghasilkan protein dan mereplikasi DNA virus untuk dimasukkan ke dalam virus baru yang sedang dibuat. Molekul-molekul protein (DNA) yang telah terbentuk kemudian diselubungi oleh kapsid, kapsid dibuat dari protein sel inang dan berfungsi untuk memberi bentuk tubuh virus.

3. Lisis

Tahap lisis terjadi ketika virus-virus yang dibuat dalam sel telah matang. Ratusan virus-virus kemudian akan berkumpul pada membran sel dan menyuntikkan enzim lisosom yang menghancurkan membran sel dan menyediakan jalan keluar untuk virus-virus baru. Sel yang membrannya hancur itu akhirnya akan mati dan virus-virus yang bebas akan menginvasi sel-sel lain dan siklus akan berulang kembali.

d) Siklus Lisogenik

Siklus lisogenik dalam virologi merupakan siklus reproduksi virus selain siklus litik. Tahapan dari siklus ini hampir sama dengan siklus litik, perbedaannya yaitu sel inangnya tidak hancur tetapi disisipi oleh asam nukleat dari virus. Tahap penyisipan tersebut kemudian membentuk provirus.

Siklus lisogenik secara umum mempunyai tiga tahap, yaitu adsorpsi dan penetrasi, penyisipan gen virus dan pembelahan sel inang.

Tahap siklus:

1. Adsorpsi dan penetrasi

Virus menempel pada permukaan sel inang dengan reseptor protein yang spesifik lalu menghancurkan membran sel dengan enzim lisozim, virus melakukan penetrasi pada sel inang dengan menyuntikkan materi genetik yang terdapat pada asam nukleatnya ke dalam sel.

2. Penyisipan gen virus

Asam nukleat dari virus yang telah menembus sitoplasma sel inang kemudian akan menyisip ke dalam asam nukleat sel inang, tahap penyisipan tersebut kemudian akan membentuk provirus (pada bakteriofage disebut profage). Sebelum terjadi pembelahan sel, kromosom dan provirus akan bereplikasi.

3. Pembelahan sel inang

Sel inang yang telah disisipi kemudian melakukan pembelahan, provirus yang telah bereplikasi akan diberikan kepada sel anakan dan siklus inipun akan kembali berulang sehingga sel yang memiliki profage menjadi sangat banyak.

Hubungan dengan siklus litik

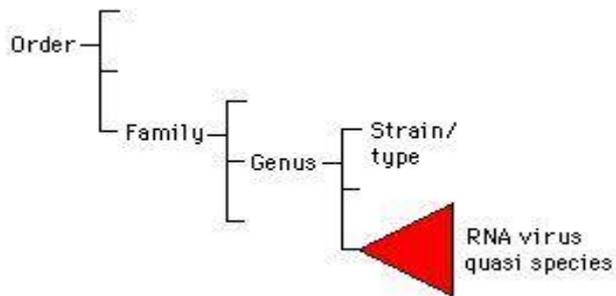
Provirus yang baru dapat memasuki keadaan Litik dalam kondisi lingkungan yang tepat tetapi kemungkinannya sangat kecil. Kemungkinan akan bertambah besar apabila diberi agen penginduksi.

5. Klasifikasi Virus

Virus dapat diklasifikasi menurut kandungan jenis asam nukleatnya. Pada virus RNA, dapat berunting tunggal (umpamanya pikornavirus yang menyebabkan polio dan influenza) atau berunting ganda (misalnya reovirus penyebab diare); demikian pula virus DNA (misalnya berunting tunggal pada fase $\phi \times 174$ dan parvovirus berunting ganda pada adenovirus, herpesvirus dan pokvirus). Virus RNA terdiri atas tiga jenis utama: virus RNA berunting positif (+), yang genomnya bertindak sebagai mRNA dalam sel inang dan bertindak sebagai cetakan untuk intermediet RNA unting minus (-); virus RNA berunting negatif (-) yang tidak dapat secara langsung bertindak sebagai mRNA, tetapi sebagai cetakan untuk sintesis mRNA melalui virion transkriptase; dan retrovirus, yang berunting + dan dapat bertindak sebagai mRNA, tetapi pada waktu infeksi segera bertindak sebagai cetakan sintesis DNA berunting ganda (segera berintegrasi ke dalam kromosom inang) melalui suatu transkriptase balik yang terkandung atau tersandi. Setiap virus imunodefisiensi manusia (HIV) merupakan bagian dari subkelompok lentivirus dari kelompok retrovirus RNA. Virus ini merupakan penyebab AIDS pada manusia, menginfeksi setiap sel yang mengekspresikan tanda permukaan sel CD4, seperti pembentuk T-sel yang matang.

Tingkat klasifikasi virus:

ordo – famili – subfamili – genus – species – strain/tipe



Untuk saat ini, klasifikasi virus yang penting hanya dari tingkat famili ke bawah. Semua famili virus memiliki akhiran – **viridae** , misalnya

- a. *Poxviridae*
- b. *Herpesviridae*
- c. *Parvoviridae*
- d. *Retroviridae*

Anggota-anggota famili *Picornaviridae* umumnya ditularkan melalui jalur *faecal/oral* dan melalui udara.

Genus memiliki nama dengan akhiran – **virus** . Misalnya, famili *Picornaviridae* terdiri dari 5 genus:

- a. Genus Enterovirus misalnya poliovirus 1, 2, 3
- b. Genus Cardiovirus misalnya mengovirus
- c. Genus Rhinovirus misalnya Rhinovirus 1a
- d. Genus Aphthovirus misalnya FMDV-C
- e. Genus Hepatovirus misalnya virus Hepatitis A

Definisi ‘spesies’ merupakan hal yang paling penting, namun sulit dilakukan untuk virus. Penentuan spesies virus mengandung unsur subyektif. Sebagai contoh, genus *Lentivirus* terdiri dari banyak spesies yang berbeda, termasuk:

- a. HIV-1, Human Immunodeficiency Virus 1
- b. HIV-2, Human Immunodeficiency Virus 2
- c. SIV, Simian Immunodeficiency Virus
- d. FIV, Feline Immunodeficiency Virus
- e. BIV, Bovine Immunodeficiency Virus
- f. Visna (domba)
- g. EIAV (kuda)
- h. CAEV (kambing)

Dasar-dasar klasifikasi secara taksonomi.

Ciri khas seperti morfologi (ukuran, bentuk, ada tidaknya selubung), sifat-sifat fisika-kimia (berat molekul, densitas, pH, stabilitas terhadap temperatur dan konsentrasi ion), genom (RNA, DNA, urutan materi genetik yang tersegmentasi (*segmented sequence*),

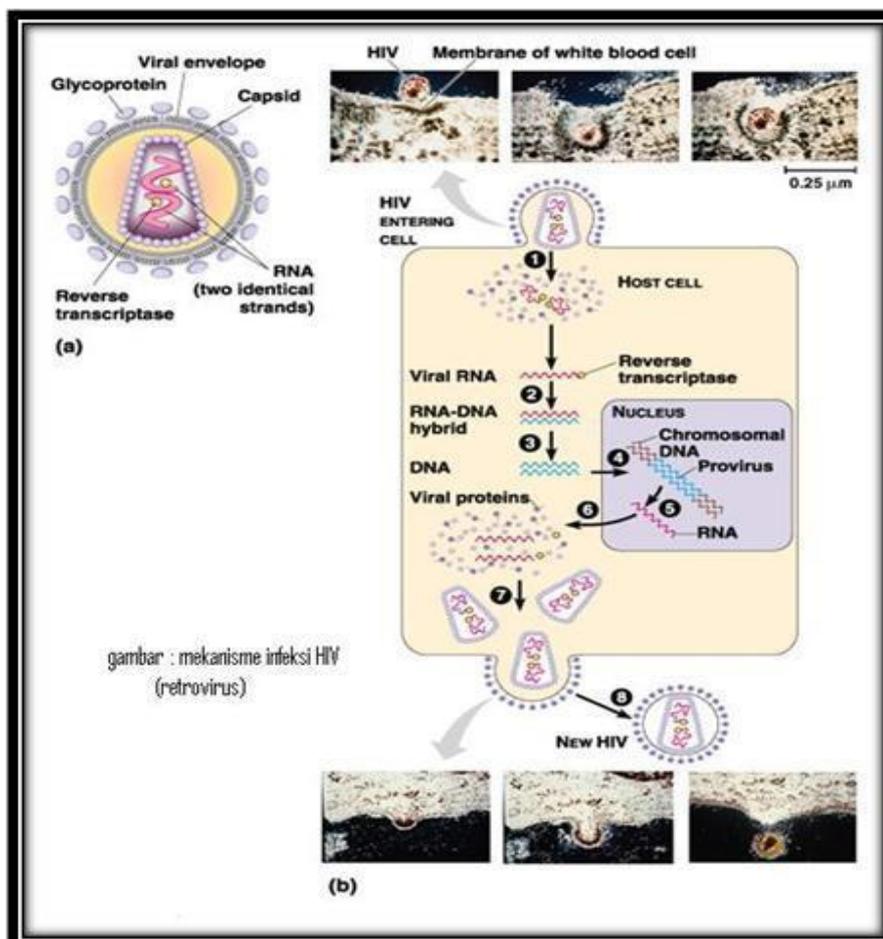
pemetaan posisi restriksi (*restriction map*), modifikasi, dsb.), makromolekul (komposisi dan fungsi protein), sifat-sifat antigenik, sifat-sifat biologis (organisme apa saja yang menjadi inangnya, cara penularan, cara perpindahan, dsb.), semuanya dipertimbangkan dalam menentukan klasifikasi virus.

6. Contoh-contoh Virus

a. HIV (Human Immunodeficiency Virus)

Termasuk salah satu retrovirus yang secara khusus menyerang sel darah putih (sel T). Retrovirus adalah virus ARN hewan yang mempunyai tahap ADN. Virus tersebut mempunyai suatu enzim, yaitu enzim transkriptase balik yang mengubah rantai tunggal ARN (sebagai cetakan) menjadi rantai ganda kopian ADN (cADN). Selanjutnya, cADN bergabung dengan ADN inang mengikuti replikasi ADN inang. Pada saat ADN inang mengalami replikasi, secara langsung ADN virus ikut mengalami replikasi. Retrovirus adalah virus ARN hewan yang mempunyai tahap ADN. Virus tersebut mempunyai suatu enzim, yaitu enzim transkriptase balik yang mengubah rantai tunggal ARN (sebagai cetakan) menjadi rantai ganda kopian ADN (cADN). Selanjutnya, cADN bergabung dengan ADN inang mengikuti replikasi ADN inang. Pada saat ADN inang mengalami replikasi, secara langsung ADN virus ikut mengalami replikasi.

Gambar Virus HIV



b. Virus herpes

Virus herpes merupakan virus ADN dengan rantai ganda yang kemudian disalin menjadi mRNA.

c. Virus influenza

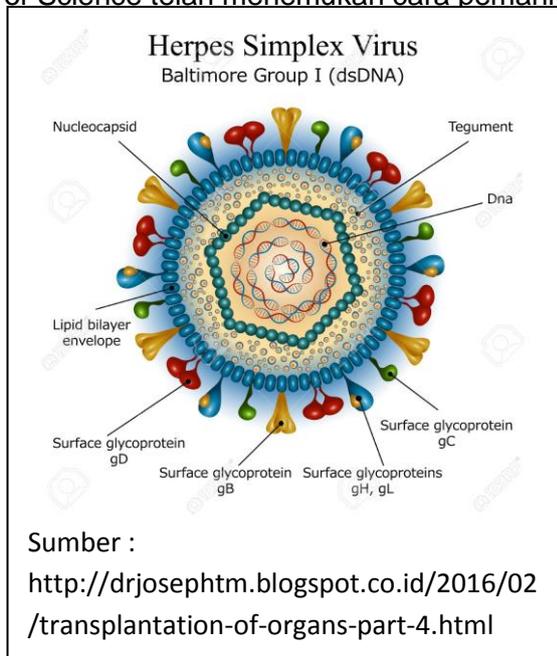
Siklus replikasi virus influenza hampir sama dengan siklus replikasi virus herpes. Hanya saja, pada virus influenza materi genetiknya berupa rantai tunggal ARN yang kemudian mengalami replikasi menjadi mRNA

d. Paramyxovirus

Paramyxovirus adalah semacam virus ARN yang selanjutnya mengalami replikasi menjadi mRNA. Paramyxovirus merupakan penyebab penyakit campak dan gondong.

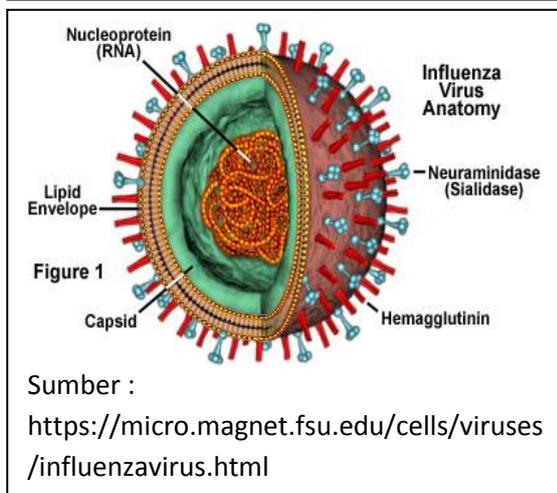
7. Peranan Virus dalam Kehidupan

Beberapa virus ada yang dapat dimanfaatkan dalam rekombinasi genetika. Melalui terapi gen, gen jahat (penyebab infeksi) yang terdapat dalam virus diubah menjadi gen baik (penyembuh). Baru-baru ini David Sanders, seorang profesor biologi pada Purdue's School of Science telah menemukan cara pemanfaatan virus dalam dunia kesehatan.



Dalam temuannya yang dipublikasikan dalam Jurnal Virology, Edisi 15 Desember 2002, David Sanders berhasil menjinakkan cangkang luar virus Ebola sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pembawa gen kepada sel yang sakit (paru-paru). Meskipun demikian, kebanyakan virus bersifat merugikan terhadap kehidupan manusia, hewan, dan tumbuhan.

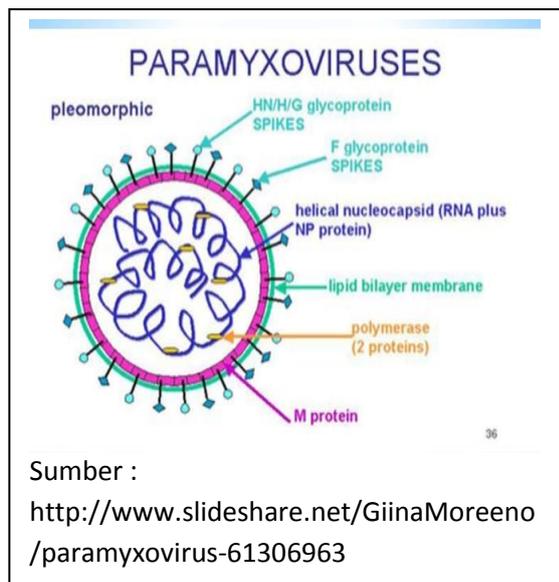
Virus sangat dikenal sebagai penyebab penyakit infeksi pada manusia, hewan, dan tumbuhan. Sejauh ini tidak ada makhluk hidup yang tahan terhadap virus. Tiap virus secara khusus menyerang sel-sel tertentu dari inangnya. Virus yang menyebabkan sesma menyerang saluran pernapasan, virus campak menginfeksi kulit, virus hepatitis menginfeksi hati, dan virus rabies menyerang sel-sel saraf. Begitu juga yang terjadi pada penyakit AIDS (acquired immune deficiency syndrome), yaitu suatu penyakit yang mengakibatkan menurunnya daya tahan tubuh penderita penyakit tersebut disebabkan oleh virus HIV yang secara khusus menyerang sel darah putih. Tabel berikut ini memuat beberapa macam penyakit yang disebabkan oleh virus.



Selain manusia, virus juga menyebabkan kesengsaraan bagi hewan dan tumbuhan. Tidak sedikit pula kerugian yang diderita peternak atau petani akibat ternaknya yang sakit atau hasil panennya yang berkurang.

Penyakit hewan akibat virus

- a. Penyakit tetelo**, yakni jenis penyakit yang menyerang bangsa unggas, terutama ayam. Penyebabnya adalah new castle disease virus (NCDV). Penyakit kuku dan mulut, yakni jenis penyakit yang menyerang ternak sapi dan kerbau. Penyakit kanker pada ayam oleh rous sarcoma virus (RSV). Penyakit rabies, yakni jenis penyakit yang menyerang anjing, kucing, dan monyet. Penyebabnya adalah virus rabies.



b. Penyakit tumbuhan akibat virus

Penyakit mosaik, yakni jenis penyakit yang menyerang tanaman tembakau. Penyebabnya adalah tobacco mosaic virus (TMV). Penyakit tungro, yakni jenis penyakit yang menyerang tanaman padi. Penyebabnya adalah virus Tungro. Penyakit degenerasi pembuluh tapis pada jeruk. Penyebabnya adalah virus citrus vein phloem degeneration (CVPD).

c. Penyakit manusia akibat virus

Contoh paling umum dari penyakit yang disebabkan oleh virus adalah Pilek (yang bisa saja disebabkan oleh satu atau beberapa virus sekaligus)

- 1) Cacar
- 2) AIDS (yang disebabkan virus HIV)
- 3) Demam herpes (yang disebabkan virus herpes simpleks)
- 4) Kanker leher rahim juga diduga disebabkan sebagian oleh papilomavirus (yang menyebabkan papiloma, atau kutil)

Yang memperlihatkan contoh kasus pada manusia yang memperlihatkan hubungan antara kanker dan agen-agen infeksi. Juga ada beberapa kontroversi mengenai apakah virus borna, yang sebelumnya diduga sebagai penyebab penyakit saraf pada kuda, juga bertanggung jawab kepada penyakit psikiatris pada manusia.

Potensi virus untuk menyebabkan wabah pada manusia menimbulkan kekhawatiran penggunaan virus sebagai senjata biologis. Kecurigaan meningkat seiring dengan ditemukannya cara penciptaan varian virus baru di laboratorium.

Kekhawatiran juga terjadi terhadap penyebaran kembali virus sejenis cacar, yang telah menyebabkan wabah terbesar dalam sejarah manusia, dan mampu menyebabkan kepunahan suatu bangsa. Beberapa suku bangsa Indian telah punah akibat wabah, terutama penyakit cacar, yang dibawa oleh kolonis Eropa. Meskipun sebenarnya diragukan

dalam jumlah pastinya, diyakini kematian telah terjadi dalam jumlah besar. Penyakit ini secara tidak langsung telah membantu dominasi bangsa Eropa di dunia baru Amerika.

Salah satu virus yang dianggap paling berbahaya adalah filovirus. Grup Filovirus terdiri atas Marburg, pertama kali ditemukan tahun 1967 di Marburg, Jerman, dan ebola. Filovirus adalah virus berbentuk panjang seperti cacing, yang dalam jumlah besar tampak seperti sepiring mi. Pada April 2005, virus Marburg menarik perhatian pers dengan terjadinya penyebaran di Angola. Sejak Oktober 2004 hingga 2005, kejadian ini menjadi epidemi terburuk di dalam kehidupan manusia.

UJI PENGETAHUAN

Jelaskan bagaimana mekanisme kerja virus HIV, sehingga sulit untuk diobati

Bab 7. METABOLISME MIKROORGANISME

1. Pengertian Metabolisme

Metabolisme ialah semua reaksi yang mencakup semua proses kimiawi yang terjadi di dalam sel yang menghasilkan energi dan menggunakan energi untuk sintesis komponen-komponen sel dan untuk kegiatan-kegiatan seluler. Seperti untuk pertumbuhan, pembelahan sel, pembaruan komponen sel, dan lain-lain. Kegiatan kimiawi yang dilakukan oleh sel amatlah rumit, beragamnya bahan yang digunakan sebagai unsur nutrisi oleh sel. Dalam melakukan setiap aktivitas sel dalam tubuh sangatlah berkaitan erat dengan kerja enzim sebagai substansi yang ada dalam sel yang jumlahnya amat kecil dan mampu menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan yang berkaitan dengan proses-proses seluler dan kehidupan. Semua aktivitas metabolisme prosesnya dikatalisis oleh enzim. Jadi kehidupan tidak akan terjadi tanpa adanya enzim dalam tubuh makhluk hidup.

2. Proses Metabolisme

Metabolisme meliputi dua proses yang berlangsung serempak, yaitu:

- a. **Anabolisme/ Asimilasi (Pembangunan);** Merupakan sintesis protoplasma yang meliputi proses sintesa makromolekul seperti asam nukleat, lipida dan polisakarida, dan penggunaan energi yang dihasilkan dari proses katabolisme.
- b. **Katabolisme/ Desimilasi (Perombakan);** Merupakan oksidasi substrat yang diiringi dengan terbentuknya energi, meliputi proses degradasi sebagai reaksi penguraian bahan organik kompleks menjadi bahan organik sederhana atau bahan anorganik yang menghasilkan energi dalam bentuk ATP.

Sebelum proses diperlukan pengaktifan sub unit yang akan dipakai dan energi tinggi yaitu ATP. Energi untuk metabolisme diambil dari proses fermentasi, respirasi dan proses fotosintesis. Hasil reduksi oksidasi pada semua proses selalu di bentuk ATP, dimana energi yang dibebaskan tersimpan untuk proses selanjutnya. Senyawa dengan tingkat energi yang sering di pakai sebagai penyalur energi. Pada fermentasi dan respirasi energi diperoleh dari proses katabolisme karbohidrat. Kuman heterotrof termasuk kuman pathogen yang menggunakan zat organik sebagai sumber C untuk mendapatkan energi. Kuman autotrof membutuhkan C dalam bentuk anorganik. Kuman autotrof kemosintetik mendapatkan energi dengan oksidasi bahan organik seperti Fe dan NH_3 . Untuk mendapatkan unsur energi untuk proses sintesis dari cahaya yang diolah menjadi energi kimia.

3. Enzim

Enzim adalah katalisator organik (biokatalisator) yang dihasilkan oleh sel. Enzim berfungsi sebagai katalisator anorganik yaitu untuk mempercepat reaksi kimia. Setelah reaksi berlangsung enzim tidak mengalami perubahan jumlah sehingga jumlah enzim sebelum dan setelah reaksi adalah tetap. Enzim mempunyai spesifitas yang tinggi terhadap reaktan yang direaksikan dan jenis reaksi yang dikatalisis. Enzim melakukan berbagai aktifitas fisiologik seperti penyusunan bahan organik, pencernaan, dan pembongkaran zat yang memerlukan aktivator berupa biokatalisator.

a. Sifat Umum Enzim yaitu;

- 1) Disusun oleh senyawa protein
- 2) Bekerja secara spesifik yaitu hanya mengkatalisis satu macam reaksi saja
- 3) Aktivitas enzim dipengaruhi suhu, pH, substrat dan inhibitor. Setiap enzim memiliki suhu dan pH optimum.
- 4) Enzim memiliki sifat alosentrik, yaitu mampu berkaitan dengan inhibitor ataupun aktivator.

b. Mekanisme Kerja Enzim

Enzim meningkatkan kecepatan reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi. Energi aktivasi adalah energi yang diperlukan untuk mengaktifkan suatu reaktan sehingga dapat bereaksi untuk membentuk senyawa lain. Energi potensial hasil reaksi menjadi lebih rendah, tetapi enzim tidak mempengaruhi letak keseimbangan reaksi. Saat berlangsungnya reaksi enzimatik terjadinya ikatan, sementara enzim dengan substratnya reaktan. Ikatan sementara bersifat labil dan hanya untuk waktu yang singkat saja. Selanjutnya ikatan enzim substrat akan pecah menjadi enzim dan hasil akhir. Enzim yang terlepas kembali setelah reaksi dapat berfungsi lagi sebagai biokatalisator untuk reaksi yang sama.

c. Struktur Enzim

Pada umumnya enzim tersusun dari protein. Protein penyusun enzim dapat berupa protein sederhana atau protein yang terikat pada gugusan non protein. Banyak enzim yang hanya terdiri dari protein saja seperti tripsin. Dialisis enzim dapat memisahkan bagian-bagian protein, yaitu bagian protein yang disebut apoenzim dan bagian nonprotein yang berupa koenzim, gugus prostetik dan kofaktor ion logam. Masing-masing bagian tersebut apabila terpisah akan menjadi tidak aktif. Apoenzim apabila bergabung dengan bagian non protein disebut holoenzim yang bersifat aktif sebagai biokatalisator. Koenzim dan gugus prostetik berfungsi sama. Koenzim adalah bagian yang terikat secara lemah pada apoenzim (protein). Gugus prostetik adalah bagian yang terikat kuat pada apoenzim. Koenzim berfungsi dalam menentukan reaksi kimia yang dikatalisis enzim. Ion logam merupakan komponen yang sangatlah penting yang diperlukan untuk memantapkan struktur protein dengan adanya interaksi antar muatan.

4. Klasifikasi/ Penggolongan Enzim

a. Penggolongan Enzim Berdasarkan Tempat Bekerjanya

a) Endoenzim

Endoenzim disebut juga enzim intraseluler yaitu enzim yang bekerja di dalam sel. Umumnya merupakan enzim yang digunakan untuk proses sintesis di dalam sel dan untuk pembentukan energi (ATP) yang berguna untuk proses kehidupan sel misalnya, dalam proses respirasi

b) Eksoenzim

Eksoenzim disebut juga enzim ekstraseluler yaitu enzim yang bekerjanya di luar sel. Umumnya berfungsi untuk mencernakan substrat secara hidrolisis untuk dijadikan molekul yang lebih sederhana dengan berat molekul lebih rendah sehingga dapat masuk melewati membrane sel. Energi yang dibebaskan pada reaksi pemecahan substrat di luar sel tidak digunakan dalam proses kehidupan sel.

b. Penggolongan Enzim Berdasarkan Daya Katalisis

a) *Oksidoreduktase*

Enzim ini mengkatalisis reaksi oksidasi-reduksi yang merupakan pemindahan elektron, hydrogen atau oksigen. Contoh; enzim electron transfer oksidase dan hidrogen perioksidase (katalase)

b) *Transferase*

Enzim ini mengkatalisis pemindahan gugus molekul dari satu molekul ke molekul lain. Contoh; Transaminase, Transfosforilase, dan Transasilase

c) *Hidrolase*

Enzim ini mengkatalisis reaksi-reaksi hidrolisis. Contoh; Karboksilesterase, Lipase dan Peptidase

d) *Liase*

Enzim ini berfungsi untuk mengkatalisis pengambilan atau penambahan gugus dari satu molekul tanpa melalui proses hidrolisis. Contoh; L Malat hidrolase (Fumarat), Dekarboksiasase.

e) *Isomerase*

Isomerase meliputi enzim-enzim yang mengkatalisis reaksi isomerisasi yaitu; Rasemase, epimerase, Co-transisomerase, Intramolekul ketolisomerase, dan Murase.

f) *Ligase*

Enzim ini mengkatalisis penggabungan dua molekul dengan dibebaskannya molekul priposfat dari nukleosida trifosfat. Contoh; Enzim Asetat

g) *Enzim Lain dengan Tata Nama Berbeda*

Ada beberapa enzim yang penamaanya tidak menurut cara diatas misalnya enzim pepsin, tripsin, dan sebagainya serta enzim yang termasuk permease. Permease adalah enzim yang berperan dalam menentukan sifat selektif permeabel dari membran sel.

c. Penggolongan Enzim Berdasarkan Cara Terbentuknya

a) Enzim Konstitutif

Kadar enzim dalam sel berjumlah normal atau tetap pada sel hidup

b) Enzim Adaptif

Enzim yang pembentukannya dirangsang oleh adanya substrat. Contoh; Enzim Beta galaktosidase yang dihasilkan oleh bakteri *E. coli*

d. Penggolongan Enzim Berdasarkan Substratnya

a) Karbohidrase, merupakan enzim yang menguraikan karbohidrat yang mencakup; Amilase, maltase, Laktase, Selulase dan Pektinase.

b) Esterase, merupakan enzim yang memecah golongan ester antara lain; Lipase dan Fosfatase.

c) Protease, merupakan enzim yang menguraikan golongan protein, contohnya; Peptidase, Gelatinase, dan Renin.

5. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Reaksi Enzimatik

a. *Substrat (Reaktan)*

Kecepatan reaksi enzimatik umumnya diketahui kadarsubstrat, penambahan kadar substrat sampai jumlah tertentu dengan jumlah enzim yang tetap, akan mempercepat reaksi enzimatik sampai mencapai maksimum. Penambahan substrat selanjutnya tidak akan menambah kecepatan reaksi, kecepatan reaksi enzimatik juga dipengaruhi kadar enzim, jumlah enzim yang terikat substrat dan konstanta.

b. *Suhu*

Seperti reaksi kimia pada umumnya, maka reaksi enzimatik dipengaruhi oleh suhu. Kenaikan suhu sampai optimum akan diikuti pula oleh kenaikan kecepatan reaksi enzimatik. Kepekaan enzim terhadap suhu pada keadaan suhu melebihi optimum disebabkan terjadinya perubahan fisikokimia protein penyusun enzim. Umumnya enzim mengalami enaturasi pada suhu diatas 50⁰ C. Walaupun demikian ada beberapa enzim yang tahan terhadap suhu tinggi, misalnya Taka-diafase dan Tripsin.

c. *Keasaman (pH)*

PH dapat mempengaruhi aktivitas enzim. Daya katalisis enzim menjadi rendah pada PH rendah maupun tinggi, karena terjadinya denaturasi enzim. Enzim mempunyai gugus aktif yang bermuatan positif dan negatif. Aktivitas enzim akan optimum kalau terdapat keseimbangan antara muatannya. Pada keadaan masam muatannya cenderung positif, dan pada keadaan basis muatannya cenderung negatif sehingga aktivitas enzimnya menjadi berkurang atau bahkan menjadi tidak aktif. pH optimum untuk masing-masing enzim tidak selalu sama. Sebagai contoh amilase jamur mempunyai pH optimum 5,0 dan Arginase mempunyai pH optimum 10.

d. *Penghambat Enzim (Inhibitor)*

Inhibitor enzim adalah zat atau senyawa yang dapat menghambat enzim dengan beberapa cara yaitu:

a) *Penghambat Bersaing (Kompetitif)*

Penghambatan disebabkan oleh senyawa tertentu yang mempunyai struktur mirip dengan substrat saat reaksi enzimatik akan terjadi.

b) *Penghambat Tidak Bersaing (Non-Kompetitif)*

Zat-zat kimia tertentu mempunyai afinitas yang tinggi terhadap ion, logam penyusun enzim.

c) *Penghambat Umpan Balik (Feed Back Inhibitor)*

Penghambatan umpan balik disebabkan oleh hasil akhir suatu rangkaian reaksi enzimatik yang menghambat aktivasi enzim pada reaksi pertama.

d) *Penghambat Represor*

Adalah hasil akhir suatu rangkaian reaksi enzimatik yang dapat mempengaruhi atau mengatur pembentukan enzim-enzim pada reaksi sebelumnya.

e) *Penghambat Alosterik*

Penghambat yang dapat mempengaruhi enzim Alosterik. Enzim Alosterik adalah enzim yang mempunyai dua bagian aktif, yaitu bagian aktif yang mengangkat substrat dan bagian yang menangkap penghambat.

f) *Aktivator (Peningkat) atau Kofaktor*

Adalah suatu zat yang dapat mengaktifkan enzim yang semula belum aktif. Enzim yang belum aktif disebut pre-enzim atau zymogen. Kofaktor dapat berbentuk

ion-ion dari unsur H, Fe, Cu, Mg, Mo, Zn, Co atau berupa co-enzim, vitamin dan enzim lain.

g) Penginduksi (Induktor)

Induktor adalah suatu substrat yang dapat merangsang pembentukan enzim. Sebagai contoh adalah Laktosa dapat menginduksi pembentukan enzim Beta galaktosidase.

6. Sumber Mikroorganisme Memperoleh Energi

Melalui Proses oksidasi-reduksi. Oksidasi adalah proses pelepasan elektron. Sedangkan reduksi adalah proses penangkapan elektron. Karena elektron tidak dapat berada dalam bentuk bebas, maka setiap reaksi oksidasi selalu diiringi oleh reaksi reduksi. Hasil dari reaksi oksidasi dapat terbentuknya energi.

7. Dua Macam Energi yang di Gunakan Makhluk Hidup

a. Sinar Matahari

Disebut dengan organisme fotosintesis atau organisme fototrofik.

b. Oksidasi Senyawa Kimia

Disebut dengan organisme kemosintesis kemotrofik atau autotrofik.

8. Fotosintesis Bakteri

a. Fotosintesis Tipe *Cyanobacteria*

Proses fotosintesis umumnya sama dengan proses fotosintesis pada tanaman tingkat tinggi dengan keseluruhan proses fotosintesis yang terjadi.

b. Fotosintesis Tipe *Noncyanobacteria*

Pada proses fotosintesis mikroorganisme tidak membutuhkan air sebagai reduktan sehingga oksigen tidak pernah dihasilkan dari proses fotosintesis. Fotosintesis yang demikian berlangsung secara anaerob sehingga dikenal dengan fotosintesis anaerob. Mikroorganisme memerlukan suplai senyawa organik sebagai donor hidrogennya.

9. Mikroorganisme Berdasarkan Tipe Pada Reduktan dan Pigmen Fotosintesisnya

a. Chlorobiceae

Disebut sebagai Green-sulfur bacteria. Bakteri ini juga digunakan hidrogen dan beberapa senyawa yang mengandung sulfat sebagai reduktannya.

b. Chromaticeae

Memiliki ciri pigmen merah jingga disebut dengan purple-sulfur-bacteria.

c. Rhodospirillaceae

Bakteri ini menggunakan hidrogen dan berbagai senyawa organik sebagai reduktan. Proses fotosintesis hanya dapat berlangsung dalam keadaan anaerob.

10. Metabolisme Bakteri

a. Metabolisme Bakteri *Kemoautotrof*

Organisme tidak berklorofil mendapatkan energinya dari hasil oksidasi kimia sehingga disebut kemoautotrof atau kemolitotrof. Melalui proses oksidasi jenis ini

mengubah senyawa anorganik menjadi senyawa organik. Seperti protein, lemak, asam nukleat dan vitamin. Proses fotosintesis menggunakan karbondioksida untuk sintesis semua komponen selnya yang memerlukan energi dan NADPH. Bagi bakteri fotosintesis energi ini diperoleh dari cahaya. Pada bakteri ini energi diperoleh dari hasil oksidasi kimia.

Berdasarkan bahan anorganik yang dioksidasi bakteri ini di bedakan atas beberapa marga yaitu;

1. Pengoksidasi Belerang, contohnya *Thiobacillus*
2. Pengoksidasi Amoniak, contohnya *Nitrosomonas*
3. Pengoksidasi Nitrit, contohnya *Nitobacter*
4. Pengoksidasi Hidrogen, terdapat pada berbagai marga.
5. Pengoksidasi senyawa besi, contohnya *Siderocapsa*

b. Metabolisme Bakteri *Heterotrik*

Mikroorganisme heterotrof tidak mampu mensintesis nutrisinya sendiri, melainkan menggantungkan diri pada bahan organik yang dihasilkan oleh makhluk hidup lainnya. Energi diperoleh dari hasil penguraian bahan organik seperti glukosa, atau bahan organik lainnya.

1. Respirasi Mikroorganisme

Respirasi adalah proses pembongkaran zat untuk mendapatkan energi yang diperlukan oleh suatu organisme. Respirasi dibedakan menjadi respirasi aerob dan respirasi anaerob.

a) Respirasi *Aerob*

Bakteri dapat menggunakan glukosa atau zat organik lain sebagai substrat untuk dioksidasi menjadi karbon dioksida dan air, serta diperlukannya energi. Contohnya *Acetobacter*.

b) Respirasi *Anaerob*

Pada respirasi anaerob oksigen bebas tidak digunakan bahkan bila terkena oksigen bebas bakteri akan mati. Salah satu sebab tidak digunakannya oksigen bebas adalah bakteri tidak memiliki enzim, untuk mereduksi oksigen tersebut. Contohnya *Streptococcus lactis*.

2. Fermentasi

Fermentasi merupakan proses penguraian anaerobik dari senyawa organik. Pada proses ini baik donor maupun akseptor elektron merupakan senyawa organik. Pada glikolisis, glukosa dioksidasi menjadi dua molekul asam piruvat.

Bergantung pada tipe mikroorganisme, asam piruvat akan mengalami metabolisme

tambahan untuk menghasilkan produk fermentasi akhir, yaitu;

- a. Fermentasi Asam Homolaktat (*Streptococcus* dan *Lactobacillus*)
- b. Fermentasi Beralkohol (*Khamir*)
- c. Fermentasi Asam Campuran (*E. coli*)
- d. Fermentasi Glikol-butilen (*Enterobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*)
- e. Fermentasi Asam Butirat, Butanol, Aseton (*Clostridium*).

Aktivitas Mikroba dipengaruhi faktor-faktor Lingkungan faktor abiotik dan faktor biotik, mengakibatkan perubahan sifat morfologi dan fisiologi mikroba misalnya beberapa kelompok mikroba sangat resisten terhadap perubahan faktor lingkungan dan dapat dengan cepat menyesuaikan diri dengan kondisi baru tersebut.

A. Faktor Abiotik

1. Suhu

a. Suhu Pertumbuhan Mikroba

Pertumbuhan mikroba memerlukan kisaran suhu tertentu suhu minimum suhu terendah tetapi mikroba masih dapat hidup suhu optimum suhu paling baik untuk pertumbuhan mikroba suhu maksimum suhu tertinggi untuk kehidupan mikroba Berdasarkan tingkat suhu dapat dikelompokkan mikroba psikrofil (kriofil), mesofil, dan termofil.

Psikrofil: kelompok mikroba yang dapat tumbuh pada suhu 0-30°C dengan suhu optimum sekitar 15°C.

Mesofil: kelompok mikroba yang umumnya mempunyai suhu minimum 15°C, suhu optimum 25-37°C, dan suhu maksimum 45-55°C.

Termofil: Kelompok mikroba yang tahan hidup pada suhu tinggi.

Mempunyai membran sel yang mengandung lipida jenuh, sehingga titik didihnya tinggi

- a) Dapat memproduksi protein termasuk enzim yang tidak terdenaturasi pada suhu tinggi
- b) Di dalam DNA-nya mengandung guanin dan sitosin dalam jumlah yang relatif besar, sehingga molekul DNA tetap stabil pada suhu tinggi
- c) Kelompok ini mempunyai suhu minimum 40 °C, optimum pada suhu 55-60 °C dan suhu maksimum untuk pertumbuhannya 75 °C

Mikroba Termofil Obligat: mikroba yang tidak tumbuh dibawah suhu 30 °C dan mempunyai suhu pertumbuhan optimum pada 60 °C

Mikroba Termofil Fakultatif: mikroba yang dapat tumbuh dibawah suhu 30 °C

Bakteri yang hidup di dalam tanah dan air, umumnya bersifat mesofil, tetapi ada juga yang dapat hidup diatas 50 0C (termotoleran).

Contoh bakteri mesofil yang termotoleran (dapat hidup diatas 50°C) adalah *Methylococcus capsulatus*

Contoh bakteri termofil adalah *Bacillus*, *Clostridium*, *Sulfolobus*, dan bakteri pereduksi sulfat/sulfur

Contoh bakteri psikrofil adalah bakteri yang hidup di laut (fototrof) dan bakteri besi (*Gallionella*).

b. Pengaruh Suhu tinggi

Apabila mikroba dihadapkan pada suhu tinggi diatas suhu maksimum, akan memberikan beberapa macam reaksi:

Titik Kematian Thermal, adalah suhu yang dapat mematikan spesies mikroba dalam waktu 10 menit pada kondisi tertentu.

Waktu Kematian Thermal, adalah waktu yang diperlukan untuk membunuh suatu spesies mikroba pada suatu suhu yang tetap.

Faktor-faktor yang mempengaruhi Titik Kematian Thermal ialah:

- 1) Waktu
 - 2) Kelembaban
 - 3) Suhu
 - 4) Spora
 - 5) Umur mikroba
 - 6) pH
 - 7) Komposisi medium
- c. Pengaruh Suhu Rendah

Apabila mikroba dihadapkan pada suhu rendah dapat menyebabkan gangguan metabolisme, akibat-akibatnya adalah:

- 1) Cold shock: penurunan suhu yang tiba-tiba menyebabkan kematian bakteri, terutama pada bakteri muda atau pada fase logaritmik.
- 2) Pembekuan (freezing): rusaknya sel dengan adanya kristal es di dalam air intraseluler.
- 3) Lyofilisasi: proses pendinginan dibawah titik beku dalam keadaan vakum secara bertingkat.

2. Kandungan Air

Mikroba memerlukan kandungan air bebas tertentu untuk hidupnya, ukurannya : a_w (water activity) atau kelembaban relative.

Mikroba umumnya tumbuh pada $a_w = 0,6 - 0,998$

Mikroba yang osmotoleran dapat hidup pada a_w terendah (0,6) misalnya khamir, *Saccharomyces rouxii*

Aspergillus glaucus dan jamur benang dapat tumbuh pada a_w 0,8

Bakteri umumnya memerlukan $a_w = 0,90 - 0,999$ atau lebih dari 0,98, kecuali bakteri halofil hanya memerlukan a_w 0,75

Mikroba yang tahan kekeringan adalah yang dapat membentuk spora, konidia, atau dapat membentuk kista.

3. Tekanan Osmosis

Tekanan osmosis sangat erat hubungannya dengan kandungan air Apabila mikroba diletakkan pada larutan hipertonis, maka selnya akan mengalami plasmolisis, yaitu terkelupasnya membran sitoplasma dari dinding sel akibat mengkerutnya sitoplasma.

Apabila diletakkan pada larutan hipotonis, maka sel mikroba akan mengalami plasmoptisa, yaitu pecahnya sel karena cairan masuk ke dalam sel, sel membengkak dan akhirnya pecah.

Berdasarkan tekanan osmosis yang diperlukan mikroba dapat dikelompokkan menjadi:

- 1) Mikroba Osmofil: tumbuh pada kadar gula tinggi, contoh beberapa jenis khamir, mampu tumbuh pada larutan gula dengan konsentrasi lebih dari 65 % wt/wt ($a_w = 0,94$)
- 2) Mikroba Halodurik: tahan (tidak mati) tetapi tidak dapat tumbuh pada kadar garam tinggi (30 %)

- 3) Mikroba Halofil: dapat tumbuh pada kadar garam yang tinggi, contoh: bakteri yang termasuk *Archaeobacterium*, misalnya *Halobacterium*

4. Ion-Ion Dan Listrik

a. Kadar Ion Hidrogen (pH)

Mikroba umumnya menyukai pH netral (pH 7), kecuali jamur umumnya dapat hidup pada kisaran pH rendah.

Apabila mikroba ditanam pada media dengan pH 5 maka pertumbuhan didominasi oleh jamur, tetapi apabila pH media 8 maka pertumbuhan didominasi oleh bakteri Berdasarkan pH-nya mikroba dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu:

- 1) Mikroba Asidofil, adalah kelompok mikroba yang dapat hidup pada pH 2,0 - 5,0
- 2) Mikroba Mesofil (neutrofil), adalah kelompok mikroba yang dapat hidup pada pH 5,5 - 8,0
- 3) Mikroba Alkalifil, adalah kelompok mikroba yang dapat hidup pada pH 8,4 - 9,5

b. Buffer

Buffer merupakan campuran garam monobasik dan dibasik, contoh adalah buffer fosfat anorganik dapat mempertahankan pH diatas 7,2. Cara kerja buffer adalah garam dibasik akan mengabsorpsi ion H^+ dan garam monobasik akan bereaksi dengan ion OH^- .

Untuk menumbuhkan mikroba pada media, memerlukan pH yang konstan, terutama pada mikroba yang dapat menghasilkan asam oleh karena itu buffer diperlukan untuk mempertahankan pH pada kisaran tertentu yang diperlukan untuk pertumbuhan mikroba.

c. Ion-ion lain

Logam berat seperti Hg, Ag, Cu, Au, dan Pb pada kadar rendah dapat bersifat meracuni (toksik) karena mempunyai daya oligodinamik, yaitu daya bunuh logam berat pada kadar rendah. Ion-ion lain seperti ion sulfat, tartrat, klorida, nitrat, dan benzoat dapat mengurangi pertumbuhan mikroba tertentu dan sering digunakan dalam pengawetan makanan, senyawa lain misalnya asam benzoat, asam asetat, dan asam sorbat.

d. Listrik

Bila aliran listrik diberikan pada medium tumbuh mikroba akan menyebabkan:

- 1) Terjadinya elektrolisis pada medium pertumbuhan
- 2) Menghasilkan panas yang dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba, sel mikroba dalam suspensi akan mengalami elektroforesis
- 3) Menyebabkan terjadinya shock karena tekanan hidrolis listrik, kematian mikroba akibat shock terutama disebabkan oleh oksidasi
- 4) Adanya radikal ion dari ionisasi radiasi dan terbentuknya ion logam dari elektroda juga menyebabkan kematian mikroba

e. Radiasi

Bila mikroba menerima paparan radiasi tertentu:

- 1) Menyebabkan ionisasi molekul-molekul di dalam protoplasma
- 2) Merusak mikroba yang tidak mempunyai pigmen fotosintesis

- 3) Cahaya mempunyai pengaruh germisida
 - 4) Sinar X ($0,005-1,0 \text{ \AA}$), sinar ultra violet ($4000-2950 \text{ \AA}$), dan sinar radiasi lainnya dapat membunuh mikroba
 - 5) Apabila tingkat iradiasi yang diterima sel mikroba rendah, maka dapat menyebabkan terjadinya mutasi pada mikroba
- f. Tegangan Muka
- 1) Tegangan muka mempengaruhi cairan sehingga permukaan cairan tersebut menyerupai membran yang elastis.
 - 2) Perubahan tegangan muka dinding sel akan mempengaruhi pula permukaan protoplasma, akibatnya mempengaruhi pertumbuhan dan morfologi mikroba.
 - 3) Zat-zat seperti sabun, deterjen, dan zat-zat pembasah (surfaktan) dapat mengurangi tegangan muka cairan/larutan.
 - 4) Umumnya mikroba cocok pada tegangan muka yang relatif tinggi
- g. Tekanan Hidrostatik
- 1) Umumnya tekanan 1-400 atm tidak mempengaruhi atau hanya sedikit mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan mikroba, tekanan hidrostatik yang lebih tinggi akan menghambat atau menghentikan pertumbuhan, karena dapat menghambat sintesis RNA, DNA, dan protein, serta mengganggu fungsi transport membran sel maupun mengurangi aktivitas berbagai macam enzim.
 - 2) Tekanan diatas 100.000 pound/inchi² menyebabkan denaturasi protein, tetapi ada mikroba yang tahan hidup pada tekanan tinggi (mikroba barotoleran), dan yang tumbuh optimal pada tekanan tinggi sampai 16.000 pound/inchi² (mikroba barofilik), umumnya mikroba laut adalah barofilik atau barotoleran, contoh: bakteri *Spirillum*
- h. Getaran
- Getaran mekanik dapat merusak dinding sel dan membran sel mikroba, dipakai untuk memperoleh ekstrak sel mikroba dengan cara menggerus sel-sel dengan menggunakan abrasif atau dengan cara pembekuan kemudian dicairkan berulang kali atau dengan getaran suara 100-10.000 kali/detik juga dapat digunakan untuk memecah sel mikroba.

B. Faktor Biotik

1. Interaksi dalam satu populasi mikroba
2. Interaksi antar populasi mikroba

Di alam jarang sekali ditemukan mikroba yang hidup sebagai biakan murni, tetapi selalu berada dalam asosiasi dengan jasad-jasad lain.

Antar jasad dalam satu populasi atau antarpopulasi jasad yang satu dengan yang lain saling berinteraksi.

1. Interaksi dalam satu populasi mikroba

Interaksi Positif

- a. Meningkatkan kecepatan pertumbuhan dan kepadatan populasi

- b. Disebut juga kooperasi, contoh: pertumbuhan satu sel mikroba menjadi koloni
- Interaksi Negatif
- c. Menurunkan kecepatan pertumbuhan dengan meningkatnya kepadatan populasi, misal: populasi mikroba yang ditumbuhkan dalam substrat terbatas
- d. Disebut juga kompetisi, contoh: interaksi jamur *Fusarium* dan *Verticillium* menghasilkan asam lemak dan H₂S yang bersifat meracuni.

2. Interaksi antar populasi mikroba

- a. Apabila dua populasi yang berbeda berasosiasi, maka akan timbul berbagai macam interaksi
- b. Interaksi tersebut menimbulkan pengaruh positif, negatif, ataupun tidak ada pengaruh antar populasi mikroba yang satu dengan yang lain

Tabel 2. Nama-mana interaksinya dan pengaruhnya adalah sebagai berikut:

Nama Interaksi	Pengaruh Interaksi	
	Populasi A	Populasi B
Netralisme	0	0
Komensalisme	0	+
Sinergiisme (protokooperasi)	+	+
Mutualisme (simbiosis)	+	+
Kompetisi	+	-
Amensalisme (antagonism)	-	-
Predasi	+	-
Parasitisme	+	-

Keterangan: (0) tidak berpengaruh, (+) pengaruh positif, (-) pengaruh negatif

1) Netralisme

Netralisme adalah hubungan antara dua populasi yang tidak saling mempengaruhi dan terjadi pada kepadatan populasi yang sangat rendah atau secara fisik dipisahkan dalam mikrohabitat.

Netralisme terjadi pada keadaan mikroba tidak aktif, misal dalam keadaan kering beku, atau fase istirahat (spora, kista). Contoh: interaksi antara mikroba allocthonous (nonindigenous) dengan mikroba autocthonous (indigenous)

2) Komensalisme

Hubungan terjadi apabila satu populasi diuntungkan tetapi populasi lain tidak terpengaruh. Contoh: Bakteri *Flavobacterium brevis* dapat menghasilkan ekskresi sistein. Sistein digunakan oleh *Legionella pneumophila*. *Desulfovibrio* mensuplai asetat dan H₂ untuk respirasi anaerobik *Methanobacterium*

3) Sinergisme

Menyebabkan terjadinya suatu kemampuan untuk dapat melakukan

perubahan kimia tertentu di dalam substrat. Apabila asosiasi melibatkan 2 populasi atau lebih dalam keperluan nutrisi bersama, maka disebut sintropisme yang sangat penting dalam peruraian bahan organik tanah, atau proses pembersihan air secara alami.

4) Mutualisme (Simbiosis)

Asosiasi antara dua populasi mikroba yang keduanya saling tergantung dan sama-sama mendapat keuntungan. Simbiosis bersifat sangat spesifik (khusus) dan salah satu populasi tidak dapat digantikan oleh spesies lain yang mirip. Contoh: bakteri *Rhizobium* sp. yang hidup pada bintil akar tanaman kacang-kacangan.

5) Kompetisi

Hubungan negatif antara 2 populasi mikroba yang keduanya mengalami kerugian yang ditandai dengan menurunnya sel hidup dan pertumbuhannya. Kompetisi terjadi pada 2 populasi mikroba yang menggunakan nutrien/makanan yang sama, atau dalam keadaan nutrien terbatas. Contoh: antara protozoa *Paramecium caudatum* dengan *Paramecium aurelia*.

6) Amensalisme (Antagonisme)

Asosiasi antar spesies yang menyebabkan salah satu pihak dirugikan, pihak lain diuntungkan atau tidak terpengaruh apapun. Umumnya merupakan cara untuk melindungi diri terhadap populasi mikroba lain, misalnya dengan menghasilkan senyawa asam, toksin, atau antibiotika. Contoh: bakteri *Acetobacter* yang mengubah etanol menjadi asam asetat. Asam tersebut dapat menghambat pertumbuhan bakteri lain.

7) Parasitisme

Terjadi antara dua populasi, satu diuntungkan (parasit) dan populasi lain dirugikan (host/inang). Terjadi karena keperluan nutrisi dan bersifat spesifik, ukuran parasit biasanya lebih kecil dari inangnya dan memerlukan kontak secara fisik maupun metabolik serta waktu kontak yang relatif lama. Contoh: Jamur *Trichoderma* sp. Memparasit jamur *Agaricus* sp.

8) Predasi

Hubungan predasi terjadi apabila satu organisme predator memangsa atau memakan dan mencerna organisme lain (prey).

Umumnya predator berukuran lebih besar dibandingkan prey, dan peristiwanya berlangsung cepat.

Contohnya adalah Protozoa (predator) dengan bakteri (prey). Protozoa *Didinium nasutum* (predator) dengan *Paramecium caudatum* (prey).

FUNGSI NUTRISI UNTUK MIKROBA

Peran utama nutrien adalah sebagai sumber energi, bahan pembangun sel, dan sebagai asektor elektron dalam reaksi bioenergetik (reaksi yang menghasilkan energi). Oleh karenanya bahan makanan yang diperlukan terdiri dari air, sumber energi, sumber karbon,

sumber asektor elektron, sumber mineral, faktor pertumbuhan, dan nitrogen. "Selain itu, secara umum nutrient dalam media pembenihan harus mengandung seluruh elemen yang penting untuk sintesis biologik organisme baru.

Setiap unsur nutrisi mempunyai peran tersendiri dalam fisiologi sel. Unsur tersebut diberikan ke dalam medium sebagai kation garam anorganik yang jumlahnya berbeda-beda tergantung pada keperluannya. Beberapa golongan mikroba misalnya diatomae dan alga tertentu memerlukan silika (Si) yang biasanya diberikan dalam bentuk silikat untuk menyusun dinding sel. Fungsi dan kebutuhan natrium (Na) untuk beberapa jasad belum diketahui jumlahnya. Natrium dalam kadar yang agak tinggi diperlukan oleh bakteri tertentu yang hidup di laut, algae hijau biru, dan bakteri fotosintetik. Natrium tersebut tidak dapat digantikan oleh kation monovalen yang lain.

Jasad hidup dapat menggunakan makanannya dalam bentuk padat maupun cair (larutan). Jasad yang dapat menggunakan makanan dalam bentuk padat tergolong tipe *holozoik*, sedangkan yang menggunakan makanan dalam bentuk cair tergolong tipe *holofitik*. Jasad holofitik dapat pula menggunakan makanan dalam bentuk padat, tetapi makanan tersebut harus dicernakan lebih dulu di luar sel dengan pertolongan enzim ekstraseluler. Pencernaan di luar sel ini dikenal sebagai *extracorporeal digestion*.

Bahan makanan yang digunakan oleh jasad hidup dapat berfungsi sebagai sumber energi, bahan pembangun sel, dan sebagai asektor atau donor elektron. Dalam garis besarnya bahan makanan dibagi menjadi tujuh golongan yaitu air, sumber energi, sumber karbon, sumber asektor elektron, sumber mineral, faktor tumbuh, dan sumber nitrogen

1) Air

Air merupakan komponen utama sel mikroba dan medium. Fungsi air adalah sebagai sumber oksigen untuk bahan organik sel pada respirasi. Selain itu air berfungsi sebagai pelarut dan alat pengangkut dalam metabolisme.

2) Sumber energi

Ada beberapa sumber energi untuk mikroba yaitu senyawa organik atau anorganik yang dapat dioksidasi dan cahaya terutama cahaya matahari.

3) Sumber karbon

Sumber karbon untuk mikroba dapat berbentuk senyawa organik maupun anorganik. Senyawa organik meliputi karbohidrat, lemak, protein, asam amino, asam organik, garam asam organik, polialkohol, dan sebagainya. Senyawa anorganik misalnya karbonat dan gas CO₂ yang merupakan sumber karbon utama terutama untuk tumbuhan tingkat tinggi.

4) Sumber asektor elektron

Proses oksidasi biologi merupakan proses pengambilan dan pemindahan elektron dari substrat. Karena elektron dalam sel tidak berada dalam bentuk bebas, maka harus ada suatu zat yang dapat menangkap elektron tersebut. Penangkap elektron ini disebut asektor elektron. Asektor elektron ialah agensia pengoksidasi. Pada mikrobia yang dapat berfungsi sebagai asektor elektron ialah O₂, senyawa organik, NO₃⁻, NO₂⁻, N₂O, SO₄⁼, CO₂, dan Fe₃⁺.

5) Sumber mineral

Mineral merupakan bagian dari sel. Unsur penyusun utama sel ialah C, O, N, H, dan P. unsur mineral lainnya yang diperlukan sel ialah K, Ca, Mg, Na, S, Cl. Unsur mineral yang digunakan dalam jumlah sangat sedikit ialah Fe, Mn, Co, Cu, Bo, Zn, Mo, Al, Ni, Va, Sc, Si, Tu, dan sebagainya yang tidak diperlukan jasad. Unsur yang digunakan dalam jumlah besar disebut unsur makro, dalam jumlah sedang unsur oligo, dan dalam jumlah sangat sedikit unsur mikro. Unsur mikro sering terdapat sebagai ikutan (*impurities*) pada garam unsur makro, dan dapat masuk ke dalam medium lewat kontaminasi gelas tempatnya atau lewat partikel debu. Selain berfungsi sebagai penyusun sel, unsur mineral juga berfungsi untuk mengatur tekanan osmose, kadar ion H⁺ (kemasaman, pH), dan potensial oksidasi-reduksi (*redox potential*) medium.

6) Faktor tumbuh

Faktor tumbuh ialah senyawa organik yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan (sebagai *prekursor*, atau penyusun bahan sel) dan senyawa ini tidak dapat disintesis dari sumber karbon yang sederhana. Faktor tumbuh sering juga disebut zat tumbuh dan hanya diperlukan dalam jumlah sangat sedikit. Berdasarkan struktur dan fungsinya dalam metabolisme, faktor tumbuh digolongkan menjadi asam amino, sebagai penyusun protein; base purin dan pirimidin, sebagai penyusun asam nukleat; dan vitamin sebagai gugus prostetis atau bagian aktif dari enzim.

7) Sumber nitrogen

Mikroba dapat menggunakan nitrogen dalam bentuk amonium, nitrat, asam amino, protein, dan sebagainya. Jenis senyawa nitrogen yang digunakan tergantung pada jenis jasadnya. Beberapa mikroba dapat menggunakan nitrogen dalam bentuk gas N₂ (zat lemas) udara. Mikroba ini disebut mikrobia penambat nitrogen.

Nitrogen adalah komponen utama dari protein dan asam nukleat, umumnya sekitar 10% dari bobot kering sel bakteri. Nitrogen dapat dipasok dalam beberapa bentuk yang berbeda dari udara seperti nitrat (NO₃), nitrit (NO₂), N₂, NH₄⁺, NH₃, R-NH₂, dan kemampuan mikroorganisme

Dalam mengasimilasi nitrogen berbeda-beda pula. Banyak mikroorganisme memiliki kemampuan mengasimilasi NO₃ dan NO₂ lewat reduksi dengan mengubah ion ini menjadi ammonia (NH₃). Kemampuan mengasimilasi N₂ dengan reduksi lewat NH₃, yang disebut penambatan (fiksasi) nitrogen, merupakan sifat unik bagi prokariotik yang hanya sedikit bakteri yang memiliki kemampuan metabolisme ini. Sebagian besar mikroorganisme dapat menggunakan NH₄⁺ sebagai sumber nitrogen satu-satunya dan banyak organisme memiliki kemampuan menghasilkan NH₄⁺ dari amina (R-NH₂).

Tabel 3. Unsur utama, sumber dan fungsi mereka dalam sel bakteri.

Elemen	% dari berat kering	Sumber	Fungsi
Karbon	50	Kompleks organik atau CO ₂	material Utama dari bahan selular
Oksigen	20	H ₂ O, Kompleks organik, CO ₂ , dan O ₂	Konstituen dari sel dan sel bahan air; O ₂ adalah menerima elektron dalam respirasi aerobik
Nitrogen	+14	NH ₃ , NO ₃ , Kompleks organik,	Konstituen dari asam amino, asam

		N ₂	nukleik nucleotides, dan coenzymes
Hidrogen	8	H ₂ O, Kompleks organik, H ₂	Utama dari organik memanjang dan sel air
Fosfor	3	anorganik Fosfat (PO ₄)	Konstituen dari asam nukleik, nucleotides, phospholipids, LPS, teichoic asam
Belerang	1	SO ₄ , H ₂ S, SO ₂ belerang organik memanjang	Konstituen dari cysteine, methionine, glutathione, beberapa coenzymes
Kalium	1	Kalium GARAM dapur	Utama selular anorganik gigih dan cofactor untuk enzim tertentu
Magnesium	0.5 0,5	Magnesium GARAM dapur	Anorganik selular dengan gigih, cofactor tertentu untuk reaksi enzimatik
Kalsium	0.5 0,5	Kalsium GARAM dapur	Anorganik selular dengan gigih, cofactor untuk enzim tertentu dan komponen endospores
Besi	0.2 0,2	GARAM dapur besi	Komponen tertentu cytochromes dan nonheme-besi dan protein yang cofactor untuk beberapa reaksi enzimatik

Toksin yang Dihasilkan oleh Bakteri

Species bakteri patogen menghasilkan zat yang merupakan racun bagi kehidupan makhluk hidup disekitarnya. Racun atau toksin ini menyebabkan suatu penyakit pada manusia maupun makhluk hidup lainnya. Berdasarkan toksin dari bakteri yang dihasilkan, sesuai dengan sifat kimianya, dapat dibedakan menjadi dua golongan.

1. Racun yang dikeluarkan dari sel bakteri, racun ini disebut eksotoksin. Eksotoksin terdiri dari protein yang dibuat oleh bakteri. Eksotoksin tidak begitu berbahaya jika tertelan, tetapi dapat berbahaya jika masuk ke dalam peredaran darah. Jika tertelan dan masuk ke dalam saluran pencernaan dapat menyebabkan diare. Kebanyakan eksotoksin mudah terurai dengan perebusan atau penyinaran yang kuat. Biasanya disebabkan oleh bakteri *Staphylococcus*, *Salmonella*, *Escherichia coli*, *vivriae*, *difteri*, *tetanus*, *botulinum*.
2. Racun yang tidak dikeluarkan dari sel bakteri, namun tersimpan di dalam sel dan tidak berbahaya selama masih ada dalam sel mikroba. Racun ini disebut endotoksin. Endotoksin terdiri dari lipopolysakarida yang merupakan komponen dari dinding sel bakteri gram negatif, yang dikeluarkan jika terjadi kerusakan pada sel bakteri atau bakteri itu mati. Sifat tak stabil, relatif tahan terhadap pemanasan.

Diantara kedua jenis toksin tersebut, eksotoksin lebih mudah dipisahkan dari bakteri dengan jalan penyaringan. Eksotoksin yang mengganggu kesehatan manusia dihasilkan oleh beberapa bakteri, namun toksin bakteri *botulinum* merupakan yang paling berbahaya jika masuk ke dalam alat-alat pencernaan. Toksin *botulinum* tipe A merupakan eksotoksin yang pertama kali dapat dihablurkan. Toksin ini terdapat pada makanan basi. Orang akan mati jika racun ini termakan sebanyak 0,0024 miligram.

Endotoksin lebih sulit lagi penyelimkannya, dan hingga beberapa tahun belum ditemukan jalan untuk memisahkan dari bakteri. Jika suspensi bakteri dilewatkan melalui saringan halus, maka cairan yang lewat tidak mengandung toksin, namun jika diambil bakteri yang mati ternyata terdapat toksin. Hal ini berarti toksin itu semula kedapatan terkandung didalam sel bakteri.

Makanan yang busuk biasanya telah mengandung toksin yang dihasilkan oleh bakteri. Bagi seorang ahli mikrobiologi bahan makanan, berdasarkan bau yang tercium

selama pembusukan, minimal dapat diketahui kelompok jasad penyebabnya yang dicontohkan pada tabel:

Tabel 4. Bahan makanan yang mudah terkontaminasi bakteri

Jenis Makanan	Jenis mikroorganisme	
	Asal	Jenis Mikroba
Telur	Lingkungan (terutama udara, air, dan tanah), waktu pengolahan, pengangkutan dan penyimpanan.	<i>Achromobacter</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Alkaligenes</i> .
Daging dan Ikan	Lingkungan (terutama udara dan air), waktu pengolahan, pengangkutan dan penyimpanan.	<i>Micrococcus</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Achromobacter</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Pseudomonas</i>

Bakteri pencemaran ini dapat pula menghasilkan gas atau senyawa yang menyebabkan makanan tidak baik untuk dikonsumsi. Di bawah ini terdapat bakteri penghasil senyawa dan golongannya:

Tabel 5. Jenis racun yang dihasilkan bakteri

Jenis gas/senyawa	Mikroorganisme	
	Golongan	Contoh Jenis
Ammoniak	Proteolitik	<i>Achromobacter</i> , <i>Plavobacterium</i> .
Indol	Indol	<i>Pseudomonas</i> , <i>Sarcina</i> .
Trimetilamin	<i>Enterobacteriaceae</i>	Terkecuali <i>Shigella</i>
Asam laktat	<i>laktat</i>	<i>Diplococcus</i> , <i>Pediococcus</i> <i>Streptococcus</i> <i>Lactobacillus</i>

Toksin Yang Dihasilkan Oleh Mikroalga

Mikroalga adalah alga berukuran mikro yang biasa dijumpai di air tawar dan air laut. Mikroalga merupakan spesies uniseluler yang dapat hidup soliter dan berkoloni. Berdasarkan spesiesnya, ada berbagai macam bentuk dan ukuran mikroalga. Tidak seperti tanaman tingkat tinggi, mikroalga tidak memiliki akar, batang, dan daun.

Mikroalga merupakan mikroorganisme fotosintetik yang memiliki kemampuan untuk menggunakan sinar matahari dan karbondioksida untuk menghasilkan biomassa. mikroalga juga menghasilkan sekitar 50 persen oksigen yang ada di atmosfer.

Keanekaragaman mikroalga sangatlah tinggi, diperkirakan terdapat 200.000-800.000 spesies mikroalga yang ada di Bumi. Dan baru sekitar 35.000 spesies saja yang telah teridentifikasi oleh manusia, seperti *Spirulina*, *Nannochloropsis sp*, *Botryococcus braunii*, *Chlorella sp*, dan *Tetraselmis suecia*.

Sel-sel mikroalga tumbuh dan berkembang pada media air, itu sebabnya mikroalga memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi dalam hal penggunaan air, karbondioksida, dan nutrisi lainnya bila dibandingkan dengan tanaman tingkat tinggi.

Proses pertumbuhan mikroalga terdiri atas tiga tahapan yaitu fase lag, eksponensial, dan stasioner. American Journal of Biochemistry and Biotechnology edisi 2008 menyebutkan bahwa kebanyakan spesies mikroalga menghasilkan produk yang khas seperti karotenoid, antioksidan, asam lemak, enzim, polimer, peptida, toksin, dan sterol.

Menurut Journal of Chemical Technology and Biotechnology edisi 2009, spesies mikroalga yang mempunyai potensi untuk digunakan sebagai bahan baku bioetanol adalah *Prymnesium parvum*, *Chlorococum sp*, *Tetraselmis suecia*, *Anthrospira sp*, dan *Chlorella sp*.

Ganggang yang berbahaya telah diamati dapat menyebabkan efek samping untuk berbagai spesies mamalia laut dan penyu laut, dengan masing-masing yang spesifik menyajikan toksisitas diinduksi pengurangan perkembangan, imunologi, kapasitas neurologis, dan reproduksi. Seperti kematian massal 107 lumba-lumba botol yang terjadi di sepanjang menjulur Florida pada musim semi 2004 karena mengonsumsi menhaden terkontaminasi dengan brevetoxin tingkat tinggi. Manatee mortalitas juga telah dikaitkan dengan brevetoxin tapi tidak seperti lumba-lumba, vektor toksin utama spesies endemik lamun (*Thalassia testudinum*) di mana konsentrasi tinggi brevetoxins terdeteksi dan kemudian ditemukan sebagai komponen utama dari isi perut manate. Tambahan spesies mamalia laut, seperti Paus Atlantik Utara kanan sangat terancam, telah terkena neurotoksin dengan memangsa zooplankton. Dengan habitat musim panas, spesies ini sangat tumpang tindih dan tercemar. Blooming musiman fundyense *Alexandrium dinoflagellata* yang beracun, dan berikutnya penggembalaan copepod, paus mencari makan dan akan menelan konsentrasi besar dari copepoda terkontaminasi. Menelan mangsa yang terkontaminasi tersebut dapat mempengaruhi kemampuan pernafasan, perilaku makan, dan akhirnya kondisi reproduksi.

Spesies dari kelas *Bacillariophyceae* merupakan spesies yang umum ditemukan di perairan laut yaitu kelompok *Bacillariophyceae* atau lebih dikenal diatom merupakan kelompok terbesar dari algae. Ledakan populasi dari diatom di suatu perairan umumnya menandakan meningkatnya produktivitas perairan tersebut, namun blooming diatom kadang-kadang dapat menyebabkan berkurangnya kandungan oksigen di dalam air laut. Dominansi *Skeletonema costatum* disebabkan oleh sifatnya yang euryhaline dan eurythermal (mampu tumbuh pada kisaran suhu 3° - 30° C), sehingga lebih toleran terhadap perubahan kondisi lingkungan Salinitas yang berbeda berpengaruh terhadap komposisi jenis fitoplankton yang ada di perairan. Salinitas pada lokasi pengambilan sampel berkisar antara 5 %– 30%. Dimana titik-1 merupakan estuarin bersalinitas 5%, sedangkan pada titik lain merupakan perairan laut dengan salinitas $\geq 25\%$. *Bacillariophyceae* merupakan kelompok yang dominan dan selalu ada pada tiap titik pengambilan sampel, hal ini menunjukkan bahwa *Bacillariophyceae* merupakan organism euryhaline, dimana *Bacillariophyceae* dapat hidup pada kisaran salinitas 5%-30% Suhu pada masing-masing titik pengambilan sampel masih berada dalam kisaran yang memungkinkan untuk kehidupan plankton, yaitu 27 – 32.1°C.

Suhu optimum untuk kehidupan fitoplankton adalah 25-30°C. Suhu berpengaruh langsung terhadap laju fotosintesis tumbuhan khususnya reaksi enzimatik. Perubahan temperatur merupakan indikator terjadinya proses perubahan kondisikimia dan biologi perairan. Faktor pembatas bagi kehidupan fitoplankton ialah nitrat dan fosfat. Pada pengamatan dari ke-12 titik didapatkan kandungan nitrat dan fosfat berturut-turut berada pada kisaran 0.02-0.517 mg/L dan 0.04-0.224 mg/L. Pada semua titik nilai nitrat dan fosfat melebihi dari ambang batas yang ditetapkan untuk baku mutu air laut untuk biota laut,

berdasarkan KepMen LH no 51 thn 2004 lampiran III kadar nitrat sebesar 0,008 mg/l dan fosfat sebesar 0,015 mg/l. Titik 1 mempunyaikadar nitrat dan fosfat yang paling tinggi, karena daerah muara merupakan perairan yang banyak mendapat masukan zat haradari daratan. Kadar nitrat yang lebih dari 0,2 mg/l dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi, selanjutnya menstimulir pertumbuhan algae secara pesat (blooming). Indeks keanekaragaman (H') berkisar antara 0,272-2,378 sehingga dapat diasumsikan bahwa struktur komunitas perairan antara tidak stabil sampai lebih stabil, dengan struktur komunitas tidak stabil untuk titik-4 dan struktur komuntas lebih stabil pada titik-6.

Struktur komunitas dikatakan stabil jika tidak ada suatu spesies yang mendominasi di dalam komunitas tersebut. Sedangkan struktur komunitas dianggap labil atau tidak stabil bisa jadi dikarenakan terjadi tekanan ekologis (stress lingkungan).

Lima spesies HAB yang paling banyak ditemukan berasal dari kelas *Dinophyceae*. Hal ini dikarenakan *Dinophyceae* dapat membentuk sista (cyst) sebagai tahap istirahat, sista ini mengendap di dasar laut dan istirahat sampai kondisi lingkungan mendukung kembali untuk tumbuh. Anggota dari kelompok ini diketahui paling banyak mempunyai jenis-jenis toksik. *Nitzschia* sp. merupakan spesies penyebab Amnesic Shellfish Poisoning (ASP) yang mengeluarkan toksin asam domoic. Toksin yang diproduksi dapat memasuki rantai makanan hingga ke tubuh manusia melalui perantara kerang. Kerang merupakan organisme bentik suspension feeder yang menyaring plankton yang melimpah di kolom air. Ambang batas akumulasi asam domoic pada kerang ialah 20 µg (asam domoic)/ g (berat jaringan kerang). Menurut jenis kerang yang ditemukan di perairan Sidoarjo adalah kerang batik (*Paphia undulata*) yang mencapai 70 % dari total tangkapan kerang di perairan, kerang darah (*Anadara granosa*) dan kerang bulu (*Anadara antiqua*), dan ke-tiga jenis kerang tersebut merupakan kerang yang umum dikonsumsi dan berpotensi untuk diekspor.

Sedangkan menurut Dinas Kelautan dan Perikanan, standar untuk ekspor kerang ialah salah satunya dilihat dari adanya fitoplankton berbahaya dengan kepadatan >5000 individu/liter. Dan dari hasil penelitian, kepadatan *Nitzschia* yang ditemukan kurang dari 5000 individu/liter. *Chaetoceros* sp, spesies HABs tertinggi kedua setelah *Nitzschia* sp. merupakan spesies fitoplankton yang tidak toksik terhadap manusia tetapi secara fisik dapat mengganggu system pernafasan ikan dan avertebrata terutama apabila kepadatan individunya relatif tinggi. Diatom jenis ini mempunyai morfologi khas yaitu duri. Duri-duri tersebut dapat merangsang pembentukan lender pada insang biota laut, sehingga biota tersebut sukar bernafas. Duri-duri ini bahkan dapat menyebabkan pendarahan di insang. *Chaetoceros* merupakan jenis fitoplankton yang diketahui mampu bertahan di perairan tercemar.

1. Pengertian HAB

Harmful Algal Bloom (HAB) adalah suatu fenomena blooming fitoplankton toksik di suatu perairan yang dapat menyebabkan kematian biota lain. Toksin yang dihasilkan HAB bahkan dapat mengkontaminasi manusia yaitu melalui perantara kerang dan ikan yang kita konsumsi sehari-hari. Fitoplankton memiliki klorofil yang berperan dalam fotosintesis untuk menghasilkan bahan organik dan oksigen dalam air yang digunakan sebagai dasar mata rantai pada siklus atau rantai makanan di laut. Namun fitoplankton tertentu mempunyai peran menurunkan kualitas perairan laut apabila jumlahnya

berlebih (blooming). Tingginya populasi fitoplankton beracun di dalam suatu perairan dapat menyebabkan berbagai akibat negatif bagi ekosistem perairan, seperti berkurangnya oksigen di dalam air yang dapat menyebabkan kematian berbagai makhluk air lainnya.

Hal ini diperparah dengan fakta bahwa beberapa jenis fitoplankton yang potensial blooming adalah yang bersifat toksik, seperti dari beberapa kelompok Dinoflagellata, yaitu *Alexandrium* spp, *Gymnodinium* spp, dan *Dinophysis* spp. Dari kelompok Diatom, yaitu *Pseudonitzschia* spp. Ledakan populasi fitoplankton yang diikuti dengan keberadaan jenis fitoplankton beracun akan menimbulkan Ledakan Populasi Alga Berbahaya (Harmful Algal Bloom-HAB). Faktor yang dapat memicu ledakan populasi fitoplankton berbahaya antara lain karena adanya eutrofikasi dan adanya upwelling yang mengangkat massa air kaya unsur-unsur hara, adanya hujan lebat dan masuknya air ke laut dalam jumlah yang besar.

Untuk menyatakan ledakan populasi fitoplankton yang berbahaya karena spesies-spesies penyebab HAB menyebabkan racun atau toksik. Spesies HAB sendiri dibagi ke dalam dua kelompok, yakni penghasil racun dan penghasil biomassa tinggi. Fenomena ini sering terjadi begitu saja tanpa diketahui faktor-faktor yang menyebabkannya dan tanpa dapat diprediksi waktu terjadinya. Secara umum, penyebab terjadinya HAB juga berasal dari aktivitas manusia sehingga dapat meningkatkan pemasukan bahan organik ke perairan, transportasi dan pembuangan air ballast atau bekas pencucian kapal. Harmful Algal Bloom (HAB) juga sering diartikan sebagai peningkatan yang cepat atau akumulasi dalam populasi ganggang (biasanya mikroskopis) dalam sebuah sistem perairan. Ganggang dapat ditemui di air tawar maupun lingkungan laut. Biasanya, hanya satu atau sejumlah kecil fitoplankton spesies yang terlibat, dan beberapa blooming dapat ditandai dengan perubahan warna air yang dihasilkan oleh kepadatan tinggi sel-sel berpigmen dari fitoplankton. Meskipun tidak ada ambang batas yang diakui secara resmi, ganggang dapat dianggap blooming pada konsentrasi ratusan hingga ribuan sel per mililiter, tergantung pada keparahan. Blooming alga dapat mencapai konsentrasi jutaan sel per mililiter. Ganggang biasanya berwarna hijau, tetapi mereka juga dapat berwarna lain seperti kuning- coklat atau merah, tergantung pada spesies alga.

2. Penyebab HAB

Belum diketahui secara pasti penyebab daripada HAB, menurut peristiwa yang terjadi di beberapa tempat, tampaknya penyebab sepenuhnya adalah alam. Namun, ada berbagai spesies alga yang dapat hasil dari aktivitas manusia. membentuk HAB, masing-masing dengan persyaratan lingkungan yang berbeda untuk pertumbuhan yang optimal.

Frekuensi dan keparahan HAB di beberapa bagian dunia telah dikaitkan dengan pemuatan nutrisi yang meningkat dari aktivitas manusia. Di daerah lainnya, HAB adalah kejadian musiman yang diprediksikan akibat upwelling pesisir, hasil alami dari gerakan arus laut tertentu. Pertumbuhan fitoplankton laut (baik non-toksik dan beracun) umumnya dibatasi oleh ketersediaan nitrat dan fosfat, yang dapat melimpah di zona upwelling pesisir serta dalam pertanian. Jenis nitrat dan fosfat yang tersedia dalam

sistem juga faktor, karena fitoplankton dapat tumbuh pada tingkat yang berbeda tergantung pada kelimpahan relatif dari zat-zat (misalnya amonia, urea, ionnitrat). Berbagai sumber nutrisi lain juga dapat memainkan peran penting dalam mempengaruhi pembentukan mekar alga, termasuk besi, silika atau karbon. Polusi air di pesisir yang dihasilkan oleh manusia dan meningkatkan sistematis dalam suhu air laut juga telah diusulkan sebagai faktor kontribusi yang memungkinkan. Faktor lain seperti kelimpahan besi juga memicu HAB. Bahkan debu dari daerah gurun pasir yang luas seperti Sahara juga ditaksirkan memainkan peran untuk ganggang-ganggang di pantai menyebabkan.

Hasil dari beberapa penelitian menunjukkan terdapat 11 spesies penyebab HAB, antara lain: *Nitzschia sp.*, *Chaetoceros sp.*, *Chaetoceros diversus*, *Chaetoceros pseudocarvisetum* dari kelas Bacillariophyceae, *Ceratium sp.1*, *Ceratium sp.2*, *Ceratium sp.3*, *Ceratium sp.4*, *Prorocentrum sp.*, *Dinophysis homunculus* dari kelas Dinoflagellata dan *Anabaena sp.* dari kelas Cyanophyceae.

UJI PENGETAHUAN

Apa yang kalian ketahui mengenai Aflatoxin ? Bagaimana jalur masuknya toxin kedalam tubuh, sehingga menimbulkan berbagai macam gejala seperti mual, muntah, pusing, diare, kejang, bahkan kematian.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Bab 8. MIKROBIOLOGI TERAPAN

Mikrobiologi tanah adalah cabang ilmu Biologi yang mempelajari biota penghuni tanah dan proses yang terjadi di dalamnya. Tanah merupakan lingkungan kompleks yang ditempati mikroorganisme beranekaragam.

Ilmu mikrobiologi tanah memfokuskan pada virus tanah, bakteri, *actinomyces*, jamur dan protozoa. Namun, melibatkan juga penelitian pada hewan tanah, misalnya nematoda, tungau, dan mikroarthropoda lainnya.

Semua organisme tersebut adalah biota tanah yang berfungsi di ekosistem bawah tanah di akar tumbuhan dan sampah sebagai sumber makanan. *Mikrobiologi tanah* modern merupakan gabungan ilmu tanah, kimia, dan ekologi untuk memahami fungsi mikroorganisme dalam ekosistem tanah.

1. MIKROBIOLOGI TANAH

Di permukaan tanah terdapat mikroorganisme dalam jumlah dan variasi yang banyak. Hal tersebut karena permukaan tanah mengandung banyak sumber makanan dari tumbuhan dan hewan. Biota tanah membentuk sistem berdasarkan energi dan nutrisi yang dihasilkan dari proses dekomposisi tumbuhan dan hewan. Dekomposer primer adalah bakteri dan jamur.

Mikroorganisme seperti alga dan lumut kerak adalah koloni yang menghuni permukaan batu. Kolonisasi organisme ini merupakan proses awal pembentukan tanah yang diperlukan oleh tumbuhan tingkat tinggi.

Dekomposer mengurai, mendaur ulang energi, karbon, dan nutrisi dalam tumbuhan dan hewan mati menjadi bentuk yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan. Oleh karena itu, mikroorganisme memegang peran penting dalam proses kehidupan di bumi. Perubahan bentuk elemen dalam proses dekomposisi dijabarkan pada siklus elemen.

Peran Mikroorganisme Tanah

Tanah atau lapisan kerak bumi ini bisa dibedakan menjadi, lapisan tanah atas, lapisan tanah bawah, dan lapisan batuan induk. Ketiga lapisan ini membentuk susunan tanah yang jika diuraikan akan sebagai berikut.

- a. Lapisan atas adalah lapisan yang berasal dari batu-batuan dan sisa makhluk hidup yang telah mati dan mengalami pelapukan. Tanah yang paling subur dan bisa dimanfaatkan sebagai lahan pertanian oleh manusia adalah di bagian lapisan atas ini.
- b. Lapisan tengah berasal dari bebatuan yang pada proses pelapukannya mengalami pengikisan oleh air, sehingga bahan lapisan itu mengendap. Karena kandungan airnya banyak, maka tanah di lapisan tengah ini sangat liat, sehingga lebih dikenal sebagai tanah liat. Tanah liat bisa berwarna merah atau bisa pula berwarna putih.
- c. Lapisan bawah adalah lapisan tanah yang terdiri dari bongkahan-bongkahan batu dan bebatuan yang telah melapuk disela-selanya. Sehingga pada lapisan bawah ini ada dua jenis bahan pembentuk, yaitu bebatuan yang belum melapuk dan bebatuan yang sudah mengalami pelapukan.
- d. Lapisan batuan induk tersusun dari bebatuan padat dan berada dalam lapisan terdalam bumi.

Susunan tanah mineral terdiri atas tiga komponen, yakni pasir (*sand*), debu (*silt*), dan lempung (*clay*). Ketiga susunan tanah mineral tersebut dibagi berdasarkan ukuran yang berbeda-beda.

- a. Partikel pasir memiliki ukuran sekitar 200 mikrometer hingga 2.000 mikrometer.
- b. Partikel debu memiliki ukuran sekitar 2 mikrometer sampai kurang dari 200 mikrometer.
- c. Partikel lempung memiliki ukuran kurang dari 2 mikrometer.

Semakin halus ukuran partikel tanah tersebut, maka luas permukaan partikel per satuan bobot semakin besar. Partikel tanah dengan permukaan yang lebih luas memberi peluang lebih banyak terjadinya reaksi kimia. Partikel lempung per satuan bobot mempunyai luas permukaan lebih luas dari pada partikel tanah lainnya (debu dan pasir).

Reaksi-reaksi kimia yang berlangsung di permukaan tanah berupa lempung lebih banyak dibandingkan yang berlangsung di permukaan tanah berupa partikel debu dan pasir per satuan bobot yang sama.

Hal ini menunjukkan bahwa partikel lempung merupakan komponen susunan tanah paling aktif terhadap reaksi kimia sehingga berkontribusi menentukan sifat kimia tanah dan juga mempengaruhi kesuburan tanah.

Pada siklus karbon, mikroorganisme mengubah sisa-sisa jasad tumbuhan dan hewan menjadi karbon dioksida dan bahan organik tanah yang disebut humus. Humus meningkatkan kapasitas tanah untuk menampung air, menyediakan nutrisi bagi tumbuhan, dan mendukung pembentukan tanah.

Mikroorganisme tanah berperan dalam siklus nitrogen. Atmosfer mengandung 80% nitrogen (N_2), yaitu bentuk nitrogen yang hanya dapat digunakan oleh tumbuhan jika diubah dalam bentuk amonia (NH_3).

Perubahan bentuk menjadi amonia dilakukan oleh bakteri tanah melalui proses fiksasi N_2 atau oleh manusia (dengan menggunakan pupuk). Bakteri tanah juga terlibat dalam proses denitrifikasi yang mengembalikan oksigen ke atmosfer dengan mengubah NO_3 menjadi N_2 atau gas N_2O . Mikroorganisme berperan penting dalam proses daur ulang sulfur, fosfor, besi, dan banyak mikronutrien lainnya.

Ada juga interaksi antara tumbuhan dan mikroba yang dapat merugikan atau menguntungkan tumbuhan. Beberapa mikroorganisme tanah bersifat patogenik terhadap tumbuhan dan menyebabkan penyakit pada perakaran sehingga menjadi layu dan busuk.

Banyak tumbuhan bersimbiosis dengan jamur bernama mikoriza. Mikoriza meningkatkan kemampuan tumbuhan untuk menyerap nutrisi dan air. Interaksi antara mikroorganisme tanah dan akar tumbuhan banyak dikaji dalam ilmu mikrobiologi tanah. Mikroorganisme tanah juga bermanfaat bagi kehidupan manusia. Salah satunya adalah bakteri *actinomyces* yang menghasilkan antibiotik.

Tanah adalah tempat hidup bakteri-bakteri penting. Mikroorganisme tanah dapat menguraikan zat beracun yang berasal dari polusi. Hal ini menjadi dasar bioremediasi, yaitu penggunaan mikroorganisme untuk mendetoksifikasi dan menguraikan zat berbahaya dalam lingkungan.

Dari uraian tersebut, maka tanah mempunyai banyak manfaat bagi kehidupan makhluk hidup. Berikut ini adalah beberapa kegunaan tanah bagi kehidupan makhluk hidup.

- a. Tanah berfungsi untuk produksi biomassa, yaitu tempat tumbuh dan berkembangnya perakaran, sumber hara serta zat pendukung pertumbuhan.
- b. Tanah berfungsi untuk penyaringan, penyangga, dan pengubah antara atmosfer, air tanah, serta akar tanaman.
- c. Tanah berfungsi sebagai habitat biologi dan konservasi genetik.
- d. Tanah berfungsi sebagai ruang infrastruktur untuk teknik, industri, sosial ekonomi, dan pembangunannya.
- e. Tanah berfungsi sebagai sumber daya energi, material dasar, pertambangan, dan air.
- f. Tanah berfungsi sebagai sumber keindahan dan warisan budaya.

Banyak sekali kegunaan tanah bagi kelangsungan hidup. Tanah sebagai tempat penyimpanan air dan tumbuhnya tanaman, serta pohon-pohon yang dapat menjaga kita dari bencana alam, seperti longsor.

Di dalam tanah atau perut bumi terkandung unsur-unsur dan kekayaan alam yang tidak ternilai, contohnya minyak bumi, batu bara, emas, dan lain-lain. Zaman dahulu, konon tanah juga sering digunakan untuk menyimpan atau mengubur harta karun.

Tanah pun dapat dijadikan barang atau hiasan yang mengandung nilai komersial. Tanah liat dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan batu bata dan kerajinan tangan seperti patung, vas bunga, guci, kendi atau teko, dan lain-lain.

Pada zaman purba, tanah digunakan untuk membangun tempat tinggal dan tempat pemujaan. Candi-candi dan piramid peninggalan zaman purba dibuat dari tanah liat yang dibentuk menjadi batu bata, kemudian dibakar agar awet dan tidak mudah pecah. Selain digunakan untuk membuat bangunan, masyarakat purba menggunakan tanah untuk membuat peralatan rumah tangga, seperti gerabah.

Tanah merupakan kekayaan alam yang tidak ternilai. Bumi ini terdiri dari daratan dan lautan. Manusia hidup di daratan yang merupakan tanah. Untuk itu, tanah yang merupakan tempat tinggal manusia harus dirawat dan dilestarikan.

Selain itu, buang sampah sembarangan dapat mengakibatkan pencemaran tanah. Terutama sampah yang tidak dapat mengurai di dalam tanah, seperti sampah plastik dan kaleng.

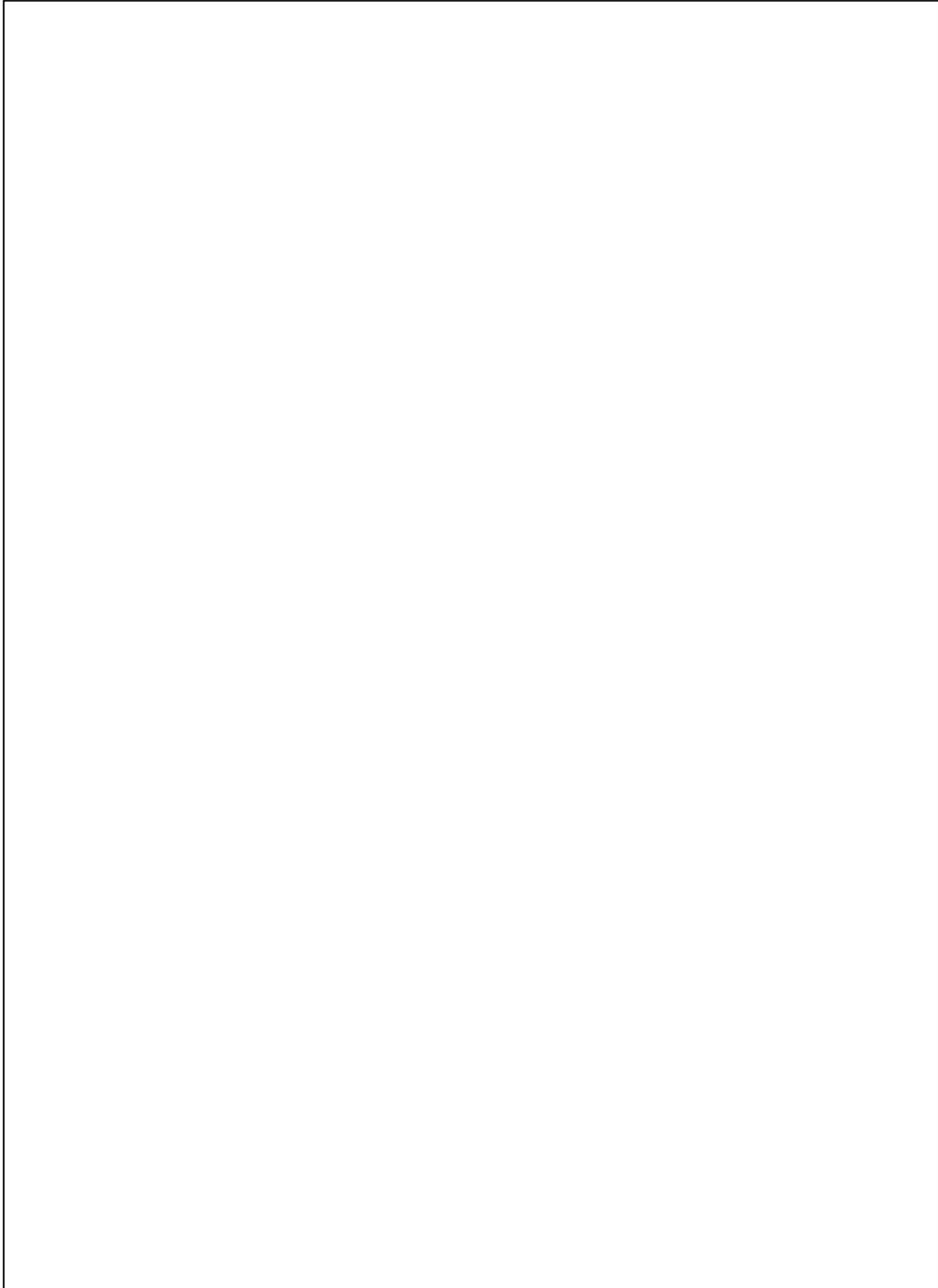
Akibatnya tidak akan terasa secara langsung. Pencemaran sampah pada tanah tersebut selain mengakibatkan tanah menjadi kotor, juga dapat mengakibatkan banjir.

Untuk itu, alam ini harus dijaga agar tidak terjadi kerusakan alam dan akibatnya dirasakan oleh manusia dan makhluk lainnya di bumi ini, termasuk mikrobiologi tanah. Pelestarian alam sekitar dapat dimulai dari diri sendiri.

UJI PENGETAHUAN

1. Jelaskan Peranan mikroba pada kesuburan tanah terkait dengan peningkatan nitrogen

2. Jelaskan Peranan mikroba pada kesuburan tanah terkait simbiosis antara fungi dengan tumbuhan membentuk mikoriza. Dilengkapi dengan proses terbentuknya mikoriza.



2. MIKROBIOLOGI UDARA

Udara merupakan pelanggan customers yang memuat sederhana dan pelanggan customers inisial berada dalam, dalam, satu fasa yaitu gas. Jumlah relatif yang bahasa dari berbagai gas di udara diukur artikel baru fg volume yaitu terdiri bahasa dari nitrogen 78%, 21% oksigen, argon 0,9%, 0,03% karbon dioksida 0,01% hidrogen dan gas before ilustrasi: sedikit jumlah selain berbagai. Gas, debu dan uap yang terkondensasi juga dapat ditemukan di udara. Udara terdiri bahasa dari berbagai lapisan hingga ketinggian sekitar 1000 km. Lapisan yang terdekat artikel baru bumi disebut troposfer. Di daerah subtropis, troposfer memanjang sekitar 11 km sedangkan di daerah tropis sampai sekitar 16 km. Troposfer inisial dicirikan artikel baru keberadaan mikroorganisme. Atmosfer temperatur bervariasi cara dekat permukaan bumi. Namun, mikroba dalam, jumlah besar ditemukan di atmosfer bagian bawah (permukaan bumi).

Oksigen merupakan kebutuhan manusia kedudukan yang memuat esensial. Saat inisial, masyarakat di kota-kota besar sudah sulit mendapat udara yang bersih desa dan segar karena tingginya tingkat pencemaran udara akibat kendaraan bermotor dan secepatnya lingkungan kegiatan pabrik. Kondisi pencemaran udara seperti inisial mengakibatkan logam-logam kendaraan bermotor berbahaya, virus, bakteri dan mikroorganisme before bercampur baur dan masuk ke dalam, tubuh melalui tarikan napas kita.

Atmosfer tersusun atas 2 lapisan utama yaitu troposfer dan stratosfer. Troposfer tersusun atas lapisan laminar, lapisan turbulen, lapisan friksi luar, dan lapisan konveksi. Atmosfer mengandung partikel-partikel yang disebut sebagai aerosol, salah satu komponen aerosol yaitu bioaerosol yang terdiri antara lain mikroba dan pollen.

Sebenarnya tidak benar-benar ada organisme yang hidup di udara, karena organisme tidak dapat hidup dan terapung begitu saja di udara. Flora mikroorganisme udara terdiri atas organisme yang terdapat sementara mengapung di udara atau terbawa serta pada partikel debu. Setiap kegiatan manusia agaknya menimbulkan bakteri di udara. Batuk dan bersin menimbulkan aerosol biologi (yaitu kumpulan partikel udara). Kebanyakan partikel dalam aerosol biologi terlalu besar untuk mencapai paru-paru, karena partikel-partikel ini tersaring pada daerah pernapasan atas. Sebaliknya, partikel-partikel yang sangat kecil mungkin mencapai tapak-tapak infeksi yang berpotensi. Jadi, walaupun udara tidak mendukung kehidupan mikroorganisme, kehadirannya hampir selalu dapat ditunjukkan dalam cuplikan udara (Volk & Wheeler, 1989).

Mikroba di udara bersifat sementara dan beragam. Udara bukanlah suatu medium tempat mikroorganisme tumbuh, tetap merupakan pembawa bahan partikulat debu dan tetesan cairan, yang kesemuanya ini mungkin dimuati mikroba. Untuk mengetahui atau memperkirakan secara akurat berapa jauh pengotoran udara sangat sukar karena memang sulit untuk menghitung organisme dalam suatu volume udara. Namun ada satu teknik kualitatif sederhana, menurut Volk & Wheeler (1989) yaitu mendedahkan cawan hara atau medium di udara untuk beberapa saat. Selama waktu pendedahan ini, beberapa bakteri di udara akan menetap pada cawan yang terdedah. Semakin banyak bakteri maka bakteri yang menetap pada cawan semakin banyak. Kemudian cawan tersebut diinkubasi selama

24 jam hingga 48 jam maka akan tampak koloni-koloni bakteri, khamir dan jamur yang mampu tumbuh pada medium yang digunakan.

Jumlah dan macam mikroorganisme dalam suatu volume udara bervariasi sesuai dengan lokasi, kondisi cuaca dan jumlah orang yang ada. Daerah yang berdebu hampir selalu mempunyai populasi mikroorganisme atmosfer yang tinggi. Sebaliknya hujan, salju atau hujan es akan cenderung mengurangi jumlah organisme di udara dengan membasuh partikel yang lebih berat dan mengendapkan debu. Jumlah mikroorganisme menurun secara menyolok di atas samudera, dan jumlah ini semakin berkurang pada ketinggian (altitude) yang tinggi (Volk & Wheeler, 1989).

Jumlah mikroorganisme yang mencemari udara juga ditentukan oleh sumber pencemaran di dalam lingkungan, misalnya dari saluran pernapasan manusia yang disemprotkan melalui batuk dan bersin, dan partikel-partikel debu, yang terkandung dalam tetes-tetes cairan berukuran besar dan tersuspensikan, dan dalam "inti tetesan" yang terbentuk bila titik-titik cairan berukuran kecil menguap. Organisme yang memasuki udara dapat terangkut sejauh beberapa meter atau beberapa kilometer; sebagian segera mati dalam beberapa detik, sedangkan yang lain dapat bertahan hidup selama berminggu-minggu, berbulan-bulan, bahkan lebih lama lagi. Nasib akhir mikroorganisme yang berasal dari udara diatur oleh seperangkat rumit keadaan di sekelilingnya (termasuk keadaan atmosfer, kelembaban, cahaya matahari dan suhu), ukuran partikel yang membawa mikroorganisme itu, serta ciri-ciri mikroorganismenya terutama kerentanannya terhadap keadaan fisik di atmosfer

Kelompok mikroba yang paling banyak ditemukan sebagai jasad hidup yang tidak diharapkan kehadirannya melalui udara, umumnya disebut jasad kontaminan (hal ini mengingat apabila suatu benda/substrat yang ditumbuhinya dinyatakan sebagai substrat yang terkontaminasi). Adapun kelompok mikroba yang termasuk dalam jasad kontaminan antara lain adalah:

1. Bakteri: *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Pseudomonas*, *Sarcina* dan sebagainya.
2. Jamur: *Aspergillus*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, dan sebagainya.
3. Ragi: *Candida*, *Saccharomyces*, *Paecilomyces*, dan sebagainya.

Banyak jenis dari jamur kontaminan udara yang bersifat termofilik, yaitu jamur yang tahan pada pemanasan tinggi di atas 800° C, misal selama suatu benda/substrat sedang disterilkan. Ketahanan ini umumnya kalau mereka sedang berada di dalam stadia/ fase spora. Ini terbukti bahwa walaupun suatu substrat/media sudah disterilkan, tetapi di dalamnya setelah melewati waktu tertentu kemudian tumbuh dan berkembang pula bakteri ataupun jamur tanpa diharapkan sebelumnya.

Udara tidak mempunyai flora alami, karena organisme tidak dapat hidup dan tumbuh terapung begitu saja di udara. Flora mikroorganisme udara terdiri atas organisme-organisme yang terdapat sementara mengapung di udara atau terbawa serta pada partikel debu. Setiap kegiatan manusia agaknya menimbulkan bakteri di udara, batuk, dan bersin menimbulkan aerosol biologi (yaitu kumpulan partikel di udara). Kebanyakan partikel dalam aerosol biologi terlalu besar untuk mencapai paru-paru, karena partikel-partikel ini tersaring pada daerah pernapasan atas. Sebaliknya, partikel-partikel yang sangat kecil mungkin mencapai tapak-tapak infeksi yang berpotensi. Jadi, walaupun udara tidak mendukung

kehidupan mikroorganisme, kehadirannya hampir selalu dapat ditunjukkan dalam cuplikan udara. Jumlah dan macam mikroorganisme dalam suatu volume udara akan bervariasi sesuai dengan lokasi, kondisi cuaca dan jumlah orang yang ada. Daerah yang berdebu hampir selalu mempunyai populasi mikroorganisme atmosfer yang tinggi. Sebaliknya, hujan, salju atau hujan es akan cenderung mengurangi jumlah organisme di udara dengan membasuh partikel-partikel yang lebih berat dan mengendapkan debu.

Komposisi baku udara yang kita hisap setiap saat, sudah diketahui sejak lama. Walaupun begitu sejalan dengan semakin kompleksnya masalah pencemaran udara maka komposisi tersebut banyak yang berubah, khususnya karena terdapat komponen asing/mikroorganisme. Komposisi baku udara secara kimia sebagai berikut:

Tabel 6. Komposisi udara murni tanpa cemaran mikroorganisme

Komponen	Komposisi (ppm)	
	Per Volume	Per Berat
Nitrogen	780.900	755.100
Oksigen	209.500	231.500
Argon	9.300	12.800
CO ₂	300	460
Neon	18	12,5
Helium	5,2	0,72
Metan	2,2	1,2
Kripton	1	2,9
N. Oksida	1	1,5
Hidrogen	0,5	0,08
Xenon	0,08	0,36

Kelompok mikroorganisme yang paling banyak berkeliaran di udara bebas adalah bakteri, jamur (termasuk didalamnya ragi) dan juga mikroalgae. Kehadiran jasad hidup tersebut didalam udara, ada yang didalam bentuk vegetatif (tubuh jasad) ataupun dalam bentuk generatif (umumnya spora).

Jenis mikroba yang ditemukan di udara

Selain gas, partikel debu dan uap air, udara juga mengandung mikroorganisme. Di udara terdapat sel vegetatif dan spora bakteri, jamur dan ganggang, virus dan kista protozoa. Selama udara terkena sinar matahari, udara tersebut akan bersuhu tinggi dan berkurang kelembabannya. Selain mikroba yang mempunyai mekanisme untuk dapat toleran pada kondisi ini, kebanyakan mikroba akan mati. Udara terutama merupakan media penyebaran bagi mikroorganisme. Mereka terdapat dalam jumlah yang relatif kecil bila dibandingkan dengan di air atau di tanah. Mikroba udara dapat dipelajari dalam dua bagian, yaitu mikroba di luar ruangan dan di dalam ruangan.

Pentingnya mikroorganisme udara telah dipelajari sejak 1799, di mana tahun Lazaro Spallanzani berusaha untuk menyangkal teori "generatio spontanea". Tahun 1837, Theodore Schwann, dalam percobaan untuk mendukung pandangan Spallanzani memasukkan udara segar yang telah dipanaskan ke dalam kaldu daging steril dan menunjukkan bahwa pertumbuhan mikroba tidak dapat terjadi. Louis Pasteur pada tahun 1861 merupakan orang yang pertama menunjukkan bahwa mikroorganisme tumbuh akibat kontaminasi dari udara. Dia menggunakan kapas khusus untuk menyaring udara sehingga mikroba tidak dapat masuk ke dalam kaldu daging steril. Dia secara mikroskopis menunjukkan keberadaan mikroorganisme dalam kapas. Dalam percobaan menggunakan tabung berleher angsa, ia menunjukkan bahwa pertumbuhan tidak bisa terjadi dalam media steril kecuali terdapat kontaminasi dari udara yang tidak steril.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Keberadaan Mikroba Di Udara

Sejumlah faktor intrinsik dan lingkungan mempengaruhi dan distribusi jenis mikroflora di udara. faktor intrinsik meliputi sifat dan keadaan fisiologis mikroorganisme dan juga keadaan suspensi. Spora relatif lebih banyak daripada sel vegetatif. Hal ini terutama karena sifat spora dorman yang memungkinkan mereka untuk mentolerir kondisi yang tidak menguntungkan seperti pengeringan, kurangnya nutrisi yang cukup dan radiasi ultraviolet. Demikian pula spora fungi berlimpah di udara karena spora merupakan alat penyebaran penyebaran fungi.

Ukuran mikroorganisme merupakan faktor yang menentukan jangka waktu mereka untuk tetap melayang di udara. Umumnya mikroorganisme yang lebih kecil dapat dengan mudah dibebaskan ke udara dan tetap di sana selama jangka waktu lama. Miselium fungi memiliki ukuran yang lebih besar dan karena itu tidak dapat bertahan lama di udara. Keadaan suspensi memainkan peran penting keberadaan mikroorganisme di udara. Semakin kecil suspensi, semakin besar kemungkinan mereka untuk tetap berada di udara. Biasanya mereka melekat pada partikel debu dan air liur. Mikroorganisme yang ada dalam partikel debu di udara hanya hidup untuk waktu yang singkat. Tetesan yang dibuang ke udara melalui batuk atau bersin juga hanya dapat bertahan di udara untuk waktu singkat. Namun jika ukuran suspensi menurun, mereka dapat bertahan lama di udara.

Faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi mikroba udara adalah suhu atmosfer, kelembaban, angin, ketinggian, dan lain-lain. Temperatur dan kelembaban relatif adalah dua faktor penting yang menentukan viabilitas dari mikroorganisme dalam aerosol. Studi dengan

Serratia marcescens dan *E. coli* menunjukkan bahwa kelangsungan hidup udara terkait erat dengan suhu.

Ada peningkatan yang progresif di tingkat kematian dengan peningkatan suhu dari -18° C sampai 49° C. Virus dalam aerosol menunjukkan perilaku serupa. Partikel influenza, polio dan virus vaccinia lebih mampu bertahan hidup pada temperatur rendah, 7-24° C. tingkat kelembaban relatif (RH) optimum untuk kelangsungan hidup mikroorganisme adalah antara 40 sampai 80%. Kelembaban relatif yang lebih tinggi maupun lebih rendah menyebabkan kematian mikroorganisme. Hampir semua virus mampu bertahan hidup lebih baik pada RH 17 sampai 25%. Namun, virus poliomyelitis bertahan lebih baik pada RH 80 – 81%. Kemampuan mikroba bertahan hidup lebih ditentukan oleh RH dan suhu. Pada semua temperatur, kemampuan mereka untuk bertahan hidup adalah pada RH ekstrem. Terlepas dari RH, peningkatan suhu menyebabkan penurunan waktu bertahan.

Pengaruh angin juga menentukan keberadaan mikroorganisme di udara. Pada udara yang tenang, partikel cenderung turun oleh gravitasi. Tapi sedikit aliran udara dapat menjaga mereka dalam suspensi untuk waktu yang relatif lama. Angin penting dalam penyebaran mikroorganisme karena membawa mereka lebih jauh. Arus juga memproduksi turbulensi udara yang menyebabkan distribusi vertikal mikroba udara. Pola cuaca global juga mempengaruhi penyebaran vertikal. Ketinggian membatasi distribusi mikroba di udara. Semakin tinggi dari permukaan bumi, udara semakin kering, radiasi ultraviolet semakin tinggi, dan suhu semakin rendah sampai bagian puncak troposfer. Hanya spora yang dapat bertahan dalam kondisi ini, dengan demikian, mikroba yang masih mampu bertahan pada ketinggian adalah mikroba dalam fase spora dan bentuk-bentuk resisten lainnya.

Contoh penyakit serta cara penyebarannya melalui udara

1) *Tuberculosis* atau TBC

Tuberculosis atau TBC adalah penyakit yang sangat mudah sekali dalam penularannya. Pada umumnya penularan TBC terjadi secara langsung ketika sedang berhadapan-hadapan dengan si penderita, yaitu melalui ludah dan dahak yang keluar dari batuk dan hembusan nafas penderita. Secara tidak langsung dapat juga melalui debu, Lamanya dari terkumpulnya kuman sampai timbulnya gejala penyakit dari yang berbulan-bulan sampai tahunan membuat penyakit ini digolongkan penyakit kronis

2) *Meningitis*

Meningitis adalah peradangan yang terjadi pada meninges, yaitu membrane atau selaput yang melapisi otak dan syaraf tunjang. Meningitis yang disebabkan oleh virus dapat ditularkan melalui batuk, bersin, ciuman, sharing makan 1 sendok, pemakaian sikat gigi bersama dan merokok bergantian dalam satu batangnya. Maka bagi anda yang mengetahui rekan atau disekeliling ada yang mengalami meningitis jenis ini haruslah berhati-hati. Mancuci tangan yang bersih sebelum makan dan setelah ketoilet umum, memegang hewan peliharaan.

3) Flu Burung

Avian Influenza atau flu burung adalah suatu penyakit menular yang disebabkan oleh virus influenza H5N1. Virus yang membawa penyakit ini terdapat pada unggas dan dapat menyerang manusia. Penularan virus flu burung berlangsung melalui

saluran pernapasan. Uggas yang terinfeksi virus ini akan mengeluarkan virus dalam jumlah besar di kotorannya. Manusia dapat terjangkit virus ini bila kotoran unggas bervirus ini menjadi kering, terbang bersama debu, lalu terhirup oleh saluran napas manusia.

4) Pneumonia

Pneumonia atau yang dikenal dengan nama penyakit radang paru-paru ditandai dengan gejala yang mirip dengan penderita sesma atau radang tenggorokan biasa, antara lain batuk, panas, napas cepat, napas berbunyi hingga sesak napas, dan badan terasa lemas. Penyakit ini umumnya terjadi akibat bakteri *Streptococcus pneumoniae* dan *Hemophilus influenzae* yang berterbangan di udara terhirup masuk ke dalam tubuh. Bakteri tersebut sering ditemukan pada saluran pernapasan, baik pada anak-anak maupun orang dewasa.

Pengendalian penyakit yang terbawa udara:

1) Imunisasi

Baru pemberian vaksin rubella pada anak-anak laki-laki dan perempuan sejak dini

2) Pengubahan kandungan jasad penyebab infeksi di udara artikel baru penyaringan, sterilisasi atau pengenceran. penyaringan udara yang diputar ulang artikel baru mengalirkan jumlah udara melalui penyaring artikel baru memerlukan sistem ventilasi kompleks ditambah penggunaan energi yang besar. teknik pengendalian di udara artikel baru artikel baru pengenceran melakukan penggantian udara dalam, artikel baru udara luar secara terus-menerus. terdapat juga menggunakan metoda untuk mengendalikan penyakit disebarkan melalui udara yang, yaitu:

a) menggunakan metoda sinar ultraviolet

digunakan pada ruangan yang sesak artikel baru daya tembus jelek, merusak mata sehingga sinar harus diarahkan ke langit-langit

b) menggunakan metoda aliran udara satu arah

digunakan di laboratorium industri ruang angkasa artikel baru batasan mahal untuk pemanasan atau pengaturan udara

c) menggunakan metoda sirkulasi ulang, udara tersaring

digunakan di klien untuk membuka posisi apa artikel baru saja batasan penyaring harus sering diganti.

d) menggunakan metoda pembakaran

digunakan pada ventilasi udara bahasa dari cerobong yang didalamnya terdapat biota yang menginfeksi sedang dipindahkan (volk dan wheeler, 1989).

upaya untuk membebaskan udara dalam, ruangan bahasa dari mikroba saat inisial telah banyak dijual penyejuk udara / ac artikel baru kemampuan anti mikroba. cara sterilisasi udara yang digunakan pada penyejuk udara nihil antara lain sebagai berikut:

1) mengalirkan udara melalui saringan yang mengandung leuconostoc citreum

(bahan efektif untuk menangkal avian influenza bahasa dari tumbuhan kimchii), ag-z (nano silver zeolit), houttuyina (tumbuhan obat alami bahasa dari korea), dan jumlah triclosan (pembunuh jamur, bakteri, dan kuman). keempat sas kimia itu akan bekerja secara efektif membunuh bakteri semua hormone hormon, kuman, dan virus flu burung.

- 2) mengalirkan udara melewati tetesan air yang telah dialiri arus listrik.
- 3) mengalirkan udara melewati ion perak.

3. MIKROBIOLOGI AIR

Dalam air baik yang kita anggap jernih, sampai terhadap air yang keadaannya sudah kotor atau tercemar, di dalamnya akan terkandung sejumlah kehidupan, yaitu misalnya yang berasal dari sumur biasa, sumur pompa, sumber mata air dan sebagainya, di dalamnya terdiri dari bakteri, yaitu:

1. Kelompok bakteri besi (misalnya *Crenothrix* dan *Sphaerotilus*) yang mampu mengoksidasi senyawa ferro menjadi ferri. Akibat kehadirannya, air sering berubah warna kalau disimpan lama yaitu warna kehitam-hitaman, kecoklat-coklatan, dan sebagainya.
2. Kelompok bakteri belerang (antara lain *Chromatium* dan *Thiobacillus*) yang mampu mereduksi senyawa sulfat menjadi H₂S. Akibatnya kalau air disimpan lama akan tercium bau busuk seperti bau telur busuk.
3. Kelompok mikroalga (misalnya yang termasuk mikroalga hijau, biru dan kersik), sehingga kalau air disimpan lama di dalamnya akan nampak jasad-jasad yang berwarna hijau, biru atau pun kekuning-kuningan, tergantung kepada dominasi jasad-jasad tersebut serta lingkungan yang mempengaruhinya.

Kehadiran kelompok bakteri dan mikroalga tersebut di dalam air, dapat menyebabkan terjadinya penurunan turbiditas dan hambatan aliran, karena kelompok bakteri besi dan bele-rang dapat membentuk serat atau lendir. Akibat lainnya adalah terjadinya proses korosi (pengkaratan) terhadap benda-benda logam yang berada di dalamnya, menjadi bau, berubah warna, dan sebagainya.

Tumbuhnya algae pada permukaan terjunan (cascade) dari bak koagulasi yang pengadukannya dengan mengandalkan terjunan dengan kecepatan jatuh dan pengadukan tertentu, dan dapat mengakibatkan penebalan pada permukaan terjunan sehingga memperkecil ketajaman terjunan dan kecepatan pengadukan yang direncanakan tidak tercapai. Bila kecepatan pengadukan tidak memenuhi kriteria perencanaan, maka proses pencampuran antara zat koagulan dengan air olahan tidak akan sempurna dan hal ini dapat berpengaruh terhadap pembentukan flok-flok (flokulasi), sebagai operasi tahap pengolahan berikutnya. Hal ini dapat menurunkan efektivitas koagulasi dan flokulasi, sehingga pengolahan tidak optimum.

Terhadap proses, algae dapat menyebabkan pemborosan koagulan. Algae yang terkandung dalam air olahan menyebabkan naiknya kandungan partikel halus yang harus diendapkan sehingga jumlah koagulan yang dibutuhkan juga lebih banyak.

Seperti telah diuraikan diatas bahwa beberapa jenis ganggang/algae dalam air dapat menurunkan pH air, sedangkan untuk proses koagulasi dan flokulasi dibutuhkan kondisi pH tinggi, maka diperlukan pembubuhan kapur yang tinggi untuk mendapatkan kondisi pH yang memenuhi syarat untuk pengkondisian Koagulasi dan Flokulasi. Hal ini berarti pemborosan dalam penggunaan larutan kapur.

Kelompok bakteri pencemar, misal bakteri golongan Coli, yang kehadirannya di dalam badan air dikategori-kan bahwa air tersebut terkena pencemar-fekal (kotoran manusia), karena bakteri Coli berasal dari tinja/kotoran, khususnya manusia. Coli termasuk

golongan Enterobacteriaceae. Enterobacteriaceae merupakan kelompok bakteri yang bersifat gram negative, aerob dan fakultatif anaerob, tidak berspora dan berbentuk batang, memfermentasi glukosa, mereduksi nitrat, oksidase negative serta tahan dalam garam empedu. Yang termasuk dalam kelompok ini adalah genus Salmonella, Shigella, Yersinia, Proteus, Erwinia, Serratia dan Escherichia. *Escherichia coli* adalah spesies bakteri penghuni normal dalam saluran pencernaan manusia dan hewan. Bakteri ini berbentuk batang, gram negative, bersifat anaerobik fakultatif dan mempunyai flagella peritrikat. Bakteri ini dibedakan atas sifat serologinya berdasar antigen O (somatik), K (kapsul), dan H (flagella). Pengaruh kehadiran jasad hidup terhadap kualitas air akan menyebabkan:

1. Rasa dan bau yang tidak sedap, disebabkan oleh bakteri dan mikroalga.
2. Air menjadi berlendir dan berwarna merah disebabkan oleh bakteri besi.
3. Bau yang tidak sedap sehingga dari segi estetika air tidak diterima untuk diminum disebabkan antara lain oleh cacing.

Bakteri Coli merupakan jasad indikator dalam air, bahan makanan, dan sebagainya untuk kehadiran jasad berbahaya yang memiliki persamaan sifat gram negatif, berbentuk batang, tidak membentuk spora, serta mampu memfermentasikan kaldu laktosa pada temperatur 37^o C dengan membentuk asam dan gas dalam waktu 48 jam. Escherichia sebagai salah satu contoh bakteri Coli memiliki beberapa spesies hidup dalam saluran pencernaan makanan manusia dan hewan berdarah panas. Sejak diketahui bahwa jasad tersebut tersebar pada semua individu, analisis bakteriologis terhadap air minum ditujukan kepada kehadiran jasad tersebut. Walaupun adanya jasad tersebut tidak dapat memastikan adanya jasad patogen secara langsung, dari hasil yang didapat memberikan kesimpulan bahwa Coli dalam jumlah tertentu dalam air dapat digunakan sebagai indikator adanya jasad patogen.

Kelompok bakteri pengguna, yaitu kelompok lain dari bakteri yang mampu untuk mengurai senyawa-senyawa tertentu di dalam badan air. Dikenal kemudian adanya kelompok bakteri pengguna residu pestisida, pengguna residu minyak bumi, pengguna residu deterjen, dan sebagainya.

Kualitas Air

Kualitas air yang baik sangatlah diperlukan untuk kebutuhan hidup manusia, hewan dan tumbuhan. Oleh karena itu kita perlu mengetahui ciri-ciri kualitas air yang baik untuk dikonsumsi khususnya oleh manusia.

Berikut ini kita membahas tentang kualitas air yang baik secara fisik. Kualitas air yang baik secara fisik adalah :

a. Rasa

Kualitas air bersih yang baik adalah tidak berasa. Rasa dapat ditimbulkan karena adanya zat organik atau bakteri.usur lain yang masuk kedalam air.

b. Bau

Kualitas air bersih yang baik adalah tidak berbau, karena bau ini dapat ditimbulkan oleh pembusukan zat organik seperti bakteri serta kemungkinan akibat tidak langsung dari pencemaran lingkungan, terutama sistem sanitasi.

c. Suhu

Secara umum, kenaikan suhu perairan akan mengakibatkan kenaikan aktifitas biologi sehingga akan membentuk O_2 lebih banyak lagi. Kenaikan suhu perairan secara alamiah biasanya disebabkan oleh aktifitas penebaran vegetasi di sekitar sumber air tersebut, sehingga menyebabkan banyaknya cahaya matahari yang masuk tersebut mempengaruhi akuifer yang ada secara langsung atau tidak langsung.

d. Kekeruhan

Kekeruhan air dapat ditimbulkan oleh adanya bahan-bahan organik dan anorganik, kekeruhan juga dapat mewakili warna. Sedang dari segi estetika kekeruhan air dihubungkan dengan kemungkinan hadirnya pencemaran melalui buangan sedang warna air tergantung pada warna buangan yang memasuki badan air.

e. TDS atau jumlah zat padat terlarut (total dissolved solids)

Adalah bahan padat yang tertinggal sebagai residu pada penguapan dan pengeringan pada suhu 103 C – 105 C dalam portable water kebanyakan bahan bakar terdapat dalam bentuk terlarut yang terdiri dari garam anorganik selain itu juga gas-gas yang terlarut.

Kandungan total solids pada portable water biasanya berkisaran antara 20 sampai dengan 1000 mg/l dan sebagai suatu pedoman kekerasan dari air akan meningkatnya total solids, disamping itu pada semua bahan cair jumlah koloit yang tidak terlarut dan bahan yang tersuspensi akan meningkat sesuai derajat dari pencemaran.

Zat padat selalu terdapat dalam air dan kalau jumlahnya terlalu banyak tidak baik sebagai air minum, banyaknya zat padat yang diisyaratkan untuk air minum adalah kurang dari 500 mg/l. Pengaruh yang menyangkut aspek kesehatan dari pada penyimpangan kualitas air minum dalam hal total solids ini yaitu bahwa air akan memberikan rasa tidak enak pada lidah dan rasa mual

Pengadaan air bersih untuk kepentingan rumah tangga harus memenuhi persyaratan yang sudah ditentukan sesuai peraturan Internasional (WHO dan APHA). Kualitas air bersih di Indonesia sendiri harus memenuhi persyaratan yang tertuang didalam peraturan Menteri Kesehatan RI No. 173/Men. Kes/Per/VIII/77, kualitas tersebut menyangkut:

1. Kualitas Fisik, meliputi kekeruhan, temperatur, warna, bau, dan rasa.
2. Kualitas Kimia, yaitu yang berhubungan dengan adanya ion-ion senyawa ataupun logam yang membahayakan dan pestisida
3. Kualitas Biologi yaitu berhubungan dengan kehadiran mikroba patogen (penyebab penyakit), pencemar, dan penghasil toksin.

Untuk konsumsi air minum menurut departemen kesehatan, syarat-syarat air minum adalah tidak berasa, tidak berbau, tidak berwarna, dan tidak mengandung logam berat. Walaupun air dari sumber alam dapat diminum oleh manusia, terdapat risiko bahwa air ini telah tercemar oleh bakteri (misalnya *Escherichia coli*) atau zat-zat berbahaya. Walaupun bakteri dapat dibunuh dengan memasak air hingga 100 °C, banyak zat berbahaya, terutama logam, tidak dapat dihilangkan dengan cara ini.

Ciri-ciri yang Layak Dikonsumsi

1. Jernih, tidak berbau, tidak berasa & tidak berwarna.
2. Suhunya sebaiknya sejuk dan tidak panas.
3. Bebas unsur-unsur kimia yang berbahaya seperti besi (Fe), seng (Zn), raksa (Hg) dan mangan (Mn).

4. Tidak mengandung unsur mikrobiologi yang membahayakan seperti coli tinja dan total coliforms.

4. MIKROBIOLOGI INDUSTRI

Suatu mikroorganisme dianggap layak digunakan dalam industri, bukan saja mampu menghasilkan substansi yang menarik, tetapi harus lebih dari itu. Mikroorganisme harus tersedia sebagai biakan murni, sifat genetiknya harus stabil, dan tumbuh dalam biakan berskala-besar. Biakan juga harus dapat dipelihara dalam periode waktu yang sangat panjang di laboratorium dan dalam '*plant*' industri.

Biakan tersebut lebih disukai jika dapat menghasilkan spora dan bentuk sel reproduktif lain sehingga mikroba mudah diinokulasikan ke dalam fermentor besar. Karakteristik penting yang harus dimiliki mikroorganisme industri yaitu harus tumbuh cepat dan menghasilkan produk yang diharapkan dalam waktu yang relatif singkat, karena alasan sebagai berikut:

1. Alat-alat yang digunakan pada industri berskala besar termasuk mahal, hal tersebut tidak menjadi masalah (secara ekonomi) jika produk dapat dihasilkan dengan cepat;
2. Jika mikroorganisme tumbuh dengan cepat, kontaminasi fermentor akan berkurang;
3. Jika mikroorganisme tumbuh dengan cepat, akan lebih mudah mengendalikan berbagai faktor lingkungan dalam fermentor.

Sifat penting lain yang harus dimiliki mikroorganisme industri adalah:

- a. Tidak berbahaya bagi manusia, dan secara ekonomis penting bagi hewan dan tumbuhan.
- b. Harus non-patogen dan bebas toksin, atau jika menghasilkan toksin, harus cepat dinaktifkan. Karena, ukuran populasi besar dalam fermentor industri, sebenarnya tidak memungkinkan menghindari kontaminasi dari lingkungan luar fermentor, suatu patogen yang ada akan mampu mendatangkan masalah.
- c. Mudah dipindahkan dari medium biakan. Di laboratorium, sel mikroorganisme pertamakali dipindahkan dengan sentrifugasi, tetapi sentrifugasi bersifat sulit dan mahal untuk industri skala-besar.
- d. Mikroorganisme lebih disukai jika berukuran besar, karena sel lebih mudah dipindahkan dari biakan dengan penyaringan (dengan bahan penyaring yang relatif murah). Sehingga, fungi, ragi, dan bakteri berfilamen, lebih disukai. Bakteri unisel, berukuran kecil sehingga sulit dipisahkan dari biakan cair.
- e. Terakhir, mikroorganisme industri harus dapat direkayasa secara genetik.

Dalam bioteknologi mikroorganisme tradisional peningkatan hasil diperoleh melalui mutasi dan seleksi. Mutasi akan lebih efektif untuk mikroorganisme dalam bentuk vegetatif dan haploid, dan bersel satu. Pada organisme diploid dan bersel banyak mutasi salah satu genom tidak akan menghasilkan mutan yang mudah diisolasi. Untuk fungi berfilamen, lebih disukai yang menghasilkan spora, karena filamen tidak mampu mempermudah rekayasa genetika. Organisme juga diharapkan dapat direkombinasi secara genetik, juga dengan proses seksual dan beberapa jenis proses paraseksual.

Rekombinasi genetik memungkinkan penggabungan genom tunggal sifat genetik dari beberapa organisme. Teknik yang sering digunakan untuk menciptakan hibrid, bahkan tanpa siklus seksual adalah fusi/penggabungan protoplasma, menyertai regenerasi sel vegetatif dan seleksi progeni hibrid. Bagaimanapun, beberapa strain industri sudah diperbaiki secara genetik tanpa menggunakan rekombinasi genetik.

1. Anti Biotik

Antibiotik berasal dari kata Yunani tua, yang merupakan gabungan dari kata *anti* (lawan) dan *bios* (hidup). Kalau diterjemahkan bebas menjadi "melawan sesuatu yang hidup". Antibiotika di dunia kedokteran digunakan sebagai obat untuk memerangi infeksi yang disebabkan oleh bakteri atau protozoa. Antibiotika adalah zat yang dihasilkan oleh suatu mikroba, terutama fungi/jamur, yang dapat menghambat atau dapat memusnahkan mikroba jenis lain. Banyak antibiotika saat ini dibuat secara semisintetik atau sintetik penuh. Namun dalam prakteknya antibiotika sintetik tidak diturunkan dari produk mikroba.

Antibiotika yang akan digunakan untuk memusnahkan mikroba yang menyebabkan infeksi pada manusia, harus memiliki sifat toksisitas selektif setinggi mungkin. Artinya, antibiotika tersebut haruslah bersifat sangat toksik untuk mikroba, tetapi relatif tidak toksik untuk manusia. Yang harus selalu diingat, antibiotika hanya ampuh dan efektif membunuh bakteri tetapi tidak dapat membunuh virus. Karena itu, penyakit yang dapat diobati dengan antibiotika adalah penyakit-penyakit infeksi yang disebabkan oleh bakteri. Cara kerja obat antibiotik ini dapat dibedakan menjadi tiga:

- a. bakteri akan dicegah tingkat pertumbuhannya
- b. bakteri dimusnahkan, tetapi secara materi (physical) masih ada
- c. bakteri dimusnahkan dan selnya dihancurkan (Setyaningsih, 2011)

Antibiotika merupakan produk metabolisme sekunder. Meskipun hasilnya relatif rendah dalam sebagian besar industri fermentasi, tetapi karena aktivitas terapetiknya tinggi maka menjadi memiliki nilai ekonomis tinggi, oleh karena itu antibiotika dibuat secara komersial melalui fermentasi mikroba. Beberapa antibiotika dapat disintesis secara kimia, tetapi karena kompleksitas bahan kimia antibiotika dan cenderung menjadi mahal, maka tidak memungkinkan sintesis secara kimia dapat bersaing dengan fermentasi mikroorganisme. Penggunaan antibiotika secara komersial, pertamakali dihasilkan oleh fungi berfilamen dan oleh bakteri kelompok *actinomycetes*. Daftar sebagian besar antibiotika yang dihasilkan melalui fermentasi industri berskala-besar, dapat dilihat pada Tabel 1.1. Seringkali, sejumlah senyawa kimia berhubungan dengan keberadaan antibiotika, sehingga dikenal famili antibiotik. Antibiotika dapat dikelompokkan berdasarkan struktur kimianya (Tabel 1.1). Sebagian besar antibiotika digunakan secara medis untuk mengobati penyakit bakteri, meskipun sebagian diketahui efektif menyerang penyakit fungi. Secara ekonomi dihasilkan lebih dari 100.000 ton antibiotika per tahun, dengan nilai penjualan hampir mendekati \$ 5 milyar.

2. Tahap-tahap menuju produk komersial

Suatu antibiotika yang dihasilkan secara komersial, pada awalnya harus berhasil diproduksi pada fermentor industri berskala-besar. Salah satu gugus-tugas penting adalah pengembangan efisiensi metode pemurnian. Metode elaborasi (yang terperinci) sangat penting dalam ekstraksi dan pemurnian antibiotika, karena jumlah antibiotika yang

terdapat dalam cairan fermentasi hanya sedikit (Gambar 1.1). (Sumber: Brock & Madigan, 1991 dalam Kusnadi (tanpa tahun))

Jika antibiotika larut dalam pelarut organik yang tidak dapat bercampur dengan air, maka pemurniannya relatif lebih mudah, karena memungkinkan untuk mengekstraksi antibiotika ke dalam suatu pelarut bervolume kecil, sehingga lebih mudah mengumpulkan antibiotika tersebut. Jika antibiotika tidak larut dalam pelarut, selanjutnya harus dipindahkan dari cairan fermentasi melalui adsorpsi, pertukaran ion, atau presipitasi secara kimia. Pada semua kasus, tujuannya untuk memperoleh produk kristalin yang sangat murni, meskipun sejumlah antibiotika tidak mudah terkristalisasi dan sulit dimurnikan.

Masalah yang berhubungan adalah, kultur sering menghasilkan produk akhir lain, termasuk antibiotika lain, dalam hal ini penting mengakhiri proses dengan suatu produk yang hanya terdiri dari antibiotik tunggal. Pemurnian secara kimia mungkin dibutuhkan untuk mengembangkan metode dalam rangka menghilangkan produk sampingan yang tidak diharapkan, tetapi dalam beberapa kasus hal tersebut penting untuk ahli mikrobiologi untuk menemukan strain yang tidak menghasilkan senyawa kimia dan tidak diharapkan.

3. Klasifikasi *Antibiotik*

Dalam beberapa hal mekanisme kegiatan antibiotik sukar diterangkan, karena beberapa alasan, seperti:

- a. Kesulitan menetapkan gangguan tersebut sebagai pengaruh sekunder atau primer.
- b. Kebanyakan antibiotik merupakan substansi kimia yang rumit dan sering tidak mungkin disintesis secara kimia, sehingga sulit membuat antibiotik bertanda radioaktif.
- c. Reaksi esensial yang diblokir, mungkin belum diketahui dengan jelas.
- d. Metabolisme organisme berbeda satu sama lain walaupun pada prinsipnya sama, sehingga mekanisme kegiatan pada satu organisme, mungkin bukan cara antibiotik tersebut menghambat pertumbuhan organisme lainnya.

Cara yang ditempuh oleh antibiotik dalam menekan bakteri dapat bermacam-macam, namun dengan tujuan yang sama yaitu untuk menghambat perkembangan bakteri. Oleh karena itu mekanisme kerja antibiotik dalam menghambat proses biokimia di dalam organisme dapat dijadikan dasar untuk mengklasifikasikan antibiotik sebagai berikut:

1. Antibiotik yang menghambat sintesis dinding sel bakteri. Yang termasuk ke dalam golongan ini adalah Beta-laktam, Penicillin, Polypeptida, Cephalosporin, Ampicillin, Oxasilin.
 - a) Beta-laktam menghambat pertumbuhan bakteri dengan cara berikatan pada enzim DD-transpeptidase yang memperantarai dinding peptidoglikan bakteri, sehingga dengan demikian akan melemahkan dinding sel bakteri. Hal ini mengakibatkan sitolisis karena ketidakseimbangan tekanan osmotis, serta pengaktifan hidrolase dan autolysins yang mencerna dinding peptidoglikan yang sudah terbentuk sebelumnya. Namun Beta-laktam (dan Penicillin) hanya efektif terhadap bakteri gram positif, sebab keberadaan membran terluar (*outer membran*) yang terdapat

pada bakteri gram negatif membuatnya tak mampu menembus dinding peptidoglikan.

- b) Penicillin meliputi natural Penicillin, Penicillin G dan Penicillin V, merupakan antibiotik bakterisidal yang menghambat sintesis dinding sel dan digunakan untuk penyakit-penyakit seperti sifilis, listeria, atau alergi bakteri gram positif/*Staphilococcus/Streptococcus*. Namun karena Penicillin merupakan jenis antibiotik pertama sehingga paling lama digunakan telah membawa dampak resistansi bakteri terhadap antibiotik ini. Namun demikian Penicillin tetap digunakan selain karena harganya yang murah juga produksinya yang mudah.
 - c) Polypeptida meliputi Bacitracin, Polymixin B dan Vancomycin. Ketiganya bersifat bakterisidal. Bacitracin dan Vancomycin sama-sama menghambat sintesis dinding sel. Bacitracin digunakan untuk bakteri gram positif, sedangkan Vancomycin digunakan untuk bakteri *Staphilococcus* dan *Streptococcus*. Adapun Polymixin B digunakan untuk bakteri gram negatif.
 - d) Cephalosporin (masih tergolong dengan Beta-laktam) memiliki mekanisme kerja yang hampir sama yaitu dengan menghambat sintesis peptidoglikan dinding sel bakteri. Normalnya sintesis dinding sel ini diperantarai oleh PBP (Penicillin Binding Protein) yang akan berikatan dengan D-alanin-D-alanin, terutama untuk membentuk jembatan peptidoglikan. Namun keberadaan antibiotik akan membuat PBP berikatan dengannya sehingga sintesis dinding peptidoglikan menjadi terhambat.
 - e) Ampicillin memiliki mekanisme yang sama dalam penghancuran dinding peptidoglikan, hanya saja Ampicillin mampu berpenetrasi kepada bakteri gram positif dan gram negatif. Hal ini disebabkan keberadaan gugus amino pada Ampicillin, sehingga membuatnya mampu menembus membran terluar (*outer membran*) pada bakteri gram negatif.
 - f) Penicillin jenis lain, seperti Methicillin dan Oxacillin, merupakan antibiotik bakterisidal yang digunakan untuk menghambat sintesis dinding sel bakteri. Penggunaan Methicillin dan Oxacillin biasanya untuk bakteri gram positif yang telah membentuk kekebalan (resistansi) terhadap antibiotik dari golongan Beta-laktam.
 - g) Antibiotik jenis inhibitor sintesis dinding sel lain memiliki spektrum sasaran yang lebih luas, yaitu Carbapenems, Imipenem, Meropenem. Ketiganya bersifat bakterisidal.
2. Antibiotik yang menghambat transkripsi dan replikasi. Yang termasuk ke dalam golongan ini adalah Quinolone, Rifampicin, Actinomycin D, Nalidixic acid, Lincosamides, Metronidazole.
- a) Quinolone merupakan antibiotik bakterisidal yang menghambat pertumbuhan bakteri dengan cara masuk melalui porins dan menyerang DNA girase dan topoisomerase sehingga dengan demikian akan menghambat replikasi dan transkripsi DNA. Quinolone lazim digunakan untuk infeksi traktus urinarius.
 - b) Rifampicin (Rifampin) merupakan antibiotik bakterisidal yang bekerja dengan cara berikatan dengan β -subunit dari RNA polymerase sehingga menghambat

transkripsi RNA dan pada akhirnya sintesis protein. Rifampicin umumnya menyerang bakteri spesies *Mycobacterium*.

- c) Nalidixic acid merupakan antibiotik bakterisidal yang memiliki mekanisme kerja yang sama dengan Quinolone, namun Nalidixic acid banyak digunakan untuk penyakit demam tipus.
 - d) Lincosamides merupakan antibiotik yang berikatan pada subunit 50S dan banyak digunakan untuk bakteri gram positif, anaeroba *Pseudomonas colitis*. Contoh dari golongan Lincosamides adalah Clindamycin.
 - e) Metronidazole merupakan antibiotik bakterisidal diaktifkan oleh anaeroba dan berefek menghambat sintesis DNA.
3. Antibiotik yang menghambat sintesis protein. Yang termasuk ke dalam golongan ini adalah Macrolide, Aminoglycoside, Tetracycline, Chloramphenicol, Kanamycin, Oxytetracycline.
- a) Macrolide, meliputi Erythromycin dan Azithromycin, menghambat pertumbuhan bakteri dengan cara berikatan pada subunit 50S ribosom, sehingga dengan demikian akan menghambat translokasi peptidil tRNA yang diperlukan untuk sintesis protein. Peristiwa ini bersifat bakteristatis, namun dalam konsentrasi tinggi hal ini dapat bersifat bakterisidal. Macrolide biasanya menumpuk pada leukosit dan akan diantarkan ke tempat terjadinya infeksi. Macrolide biasanya digunakan untuk *Diphtheria*, *Legionella mycoplasma*, dan *Haemophilus*.
 - b) Aminoglycoside meliputi Streptomycin, Neomycin, dan Gentamycin, merupakan antibiotik bakterisidal yang berikatan dengan subunit 30S/50S sehingga menghambat sintesis protein. Namun antibiotik jenis ini hanya berpengaruh terhadap bakteri gram negatif.
 - c) Tetracycline merupakan antibiotik bakteristatis yang berikatan dengan subunit ribosomal 16S-30S dan mencegah pengikatan aminoasil-tRNA dari situs A pada ribosom, sehingga dengan demikian akan menghambat translasi protein. Namun antibiotik jenis ini memiliki efek samping yaitu menyebabkan gigi menjadi berwarna dan dampaknya terhadap ginjal dan hati.
 - d) Chloramphenicol merupakan antibiotik bakteristatis yang menghambat sintesis protein dan biasanya digunakan pada penyakit akibat kuman *Salmonella*.
4. Antibiotik yang menghambat fungsi membran sel. Contohnya antara lain Ionimycin dan Valinomycin. Ionomycin bekerja dengan meningkatkan kadar kalsium intrasel sehingga mengganggu kesetimbangan osmosis dan menyebabkan kebocoran sel.
5. Antibiotik yang menghambat bersifat antimetabolit. Yang termasuk ke dalam golongan ini adalah Sulfa atau Sulfonamide, Trimetoprim, Azaserine.
- a) Pada bakteri, Sulfonamide bekerja dengan bertindak sebagai inhibitor kompetitif terhadap enzim dihidropteroate sintetase (DHPS). Dengan dihambatnya enzim DHPS ini menyebabkan tidak terbentuknya asam tetrahidrofolat bagi bakteri. Tetrahidrofolat merupakan bentuk aktif asam folat, di mana fungsinya adalah untuk berbagai peran biologis di antaranya dalam produksi dan pemeliharaan sel serta sintesis DNA dan protein. Biasanya Sulfonamide digunakan untuk penyakit *Neisseria meningitis*.

- b) Trimetoprim juga menghambat pembentukan DNA dan protein melalui penghambatan metabolisme, hanya mekanismenya berbeda dari Sulfonamide. Trimetoprim akan menghambat enzim dihidrofolate reduktase yang seyogyanya dibutuhkan untuk mengubah dihidrofolat (DHF) menjadi tetrahidrofolat (THF).
- c) Azaserine (O-diazo-asetyl-L-serine) merupakan antibiotik yang dikenal sebagai purin-antagonis dan analog-glutamin. Azaserin mengganggu jalannya metabolisme bakteri dengan cara berikatan dengan situs yang berhubungan sintesis glutamin, sehingga mengganggu pembentukan glutamin yang merupakan salah satu asam amino dalam protein.

4. Contoh Antibiotik

a. Penisilin

Penisilin merupakan salah satu antibiotik yang paling efektif selama empat decade ini. Peningkatan kebutuhan medis akan penisilin telah membuka peluang bagi pengembangan industri pembuatan penisilin secara komersial yang menuntut peningkatan kualitas dan kuantitas dari penisilin yang dihasilkan. Perbaikan kualitas dan kuantitas penisilin dapat tercapai apabila parameter-parameter metabolik dari proses fermentasi adalah optimum.

Penisilin merupakan campuran asam organik berstruktur kompleks yang diisolasi sebagai garam-garam natrium, kalium dan kalsium. Penisilin dihasilkan selama pertumbuhan dan metabolisme kapang *Penicillium notatum* dan *P. chrysogenum*. Kultur yang sama dapat menghasilkan beberapa macam molekul penisilin antara lain penisilin G dan penisilin V. Dewasa ini dikenal 5 jenis penisilin hasil proses fermentasi. Penisilin G merupakan penisilin yang paling banyak diproduksi secara komersial dewasa ini.

Sebagai strain penghasil antibiotika salah satunya adalah *Penicillium chrysogenum*. Ada beberapa alasan penelitian ini menggunakan antimikroba ini, antara lain adalah

- 1) Mikroorganisme ini menghasilkan antibiotik Penisilin dengan cara proses fermentasi.
- 2) Mikroorganisme ini mempunyai spektrum yang sangat luas terhadap bakteri gram positif dan gram negatif serta beberapa jamur dengan daya toksisitas yang rendah.
- 3) Antibiotik penisilin dikenal sebagai antibiotik β -laktam merupakan inhibitor spesifik terhadap sintesis dinding sel bakteri.
- 4) Situs aksi antibiotika ini adalah transpeptidase dan D-alanin karboksipeptidase, yang mengkatalis polimerisasi rantai peptidoglikan.

Penisilin diproduksi secara komersial dengan menggunakan bahan baku utama berupa glukosa, laktosa, dan cairan rendaman jagung. Mineral-mineral yang digunakan adalah NaNO_3 , Na_2SO_4 , CaCO_3 , KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, ZnSO_4 , dan MnSO_4 . Untuk meningkatkan yield dan modifikasi tipe penisilin yang akan dihasilkan, maka kedalam media fermentasi ditambahkan juga precursor, misalnya phenylacetic acid yang digunakan untuk memproduksi penisilin G. Cairan rendaman jagung adalah media fermentasi dasar yang terdiri dari asamamino, polipeptida, asam laktat dan mineral-mineral. Kualitas cairan rendaman jagung sangat bergantung pada derajat pengenceran hingga diperoleh

konsentrasi yang diinginkan, sedangkan besarnya jumlah nutrient dan alkali yang ditambahkan kedalam media dasar disesuaikan dengan jumlah media fermentasi dasar ini.

Proses fermentasi penisilin didahului oleh tahapan seleksi strain *Penicillium chrysogenum* pada media agar di laboratorium dan perbanyak pada tangki seeding. *Penicillium chrysogenum* yang dihasilkan secara teoritis dapat mencapai konversi yield maksimum sebesar 13 – 29 %. Media fermentasi diumpankan ke dalam fermentol pada suasana asam (pH 5,5). Proses fermentasi ini diawali dengan sterilisasi media fermentasi melalui pemanasan dengan steam bertekanan sebesar 15 lb (120° C) selama ½ jam. Sterilisasi ini dilanjutkan dengan proses pendinginan fermentol dengan air pendingin yang masuk ke dalam fermentol melalui coil pendingin.

Fermentol yang digunakan merupakan fessel vertikal bertekanan yang terbuat dari carbon steel dan dilengkapi dengan coil pemanas, coil pendingin, pengaduk tipe turbin dan sparger yang berfungsi untuk memasukkan udara steril.

Saat temperatur mencapai 75° F (24° C), media ini diinokulasi pada kondisi aseptik dengan mengumpankan spora-spora kapang *Penicillium chrysogenum*. Selama proses fermentasi berlangsung dilakukan pengadukan, sementara udara steril dihembuskan melalui sparger kedalam fermentol. Proses fermentasi ini akan berlangsung secara batch terumpani selama 100 – 150 jam dengan tekanan operasi 5 – 15 psig. Temperatur operasi dijaga konstan selama fermentasi penisilin berlangsung dengan cara mensirkulasikan air pendingin melalui coil. Busa-busa yang terbentuk dapat diminimalkan dengan penambahan agen anti-foam. Kapang aerobic dibiarkan tumbuh selama 5 – 6 hari saat gas CO₂ mulai terbentuk.

Ketika penisilin ini dihasilkan jumlahnya telah maksimum, maka cairan hasil fermentasi tersebut didinginkan hingga 28° F (2° C), dan diumpankan kedalam rotary vacum filter untuk memisahkan miselia dan penisilin. Miselia akan dibuang, sehingga diperoleh filtrat berupa cairan jernih yang mengandung penisilin. Untuk mendapatkan penisilin yang siap dikonsumsi, maka tahapan dilanjutkan dengan proses ekstraksi dan kristalisasi.

5. Ada beberapa hal yang mempengaruhi fermentasi penisilin, yaitu:

a. Pengaruh Faktor Lingkungan

Fermentasi penisilin sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi proses dan lingkungannya. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam proses pembuatan penisilin ini antara lain adalah : Temperatur, pH, Sistem Aerasi, Sistem Pengadukan, Penggunaan zat anti busa, dan upaya pencegahan kontaminasi pada medium.

b. Temperatur

Fermentasi untuk pembuatan penisilin akan menghasilkan produk yang maksimum apabila temperatur operasi dijaga pada 24°C. Temperatur berkaitan erat dengan pertumbuhan mikroorganisme, karena kenaikan temperatur dapat meningkatkan jumlah sel mikroorganisme baru. Apabila temperatur sistem meningkat melebihi temperatur optimumnya, maka produk yang dihasilkan akan berkurang, karena sebagian dari media fermentasi akan digunakan oleh mikroorganisme untuk mempertahankan hidupnya.

c. pH

Pengaturan pH dilakukan untuk mencegah terjadinya fluktuasi pH sistem. Menurut Moyet dan Coghill kehilangan penisilin dapat terjadi pada pH dibawah 5

atau pH diatas 7,5. PH medium dipengaruhi oleh jenis dan jumlah karbohidrat (glukosa atau laktosa) dan buffer. Karbohidrat akan difermentasi menjadi asam-asam organik. Fermentasi glukosa yang berlangsung cepat akan menurunkan pH, sedangkan laktosa terfermentasi dengan sangat lambat sehingga perubahan pH berlangsung lambat pula. Konsentrasi gula hasil fermentasi ini berfungsi mempertahankan kenaikan pH agar tetap lambat. Larutan buffer dapat digunakan untuk mempertahankan pH sistem. Kalsium karbonat merupakan senyawa yang sering digunakan untuk tujuan ini. Kalsium karbonat mempunyai kemampuan untuk meningkatkan pH sistem saat ditambahkan media fermentasi.

d. Aerasi

Aerasi yang cukup merupakan hal penting untuk memaksimalkan penisilin, sebab aerasi dapat menghasilkan oksigen yang dihasilkan oleh kapang *Penicillium chrysogenum* untuk metabolismenya. Aerasi pada fermento diberikan melalui proses pengadukan atau dengan pemberian tekanan.

e. Pengadukan

Pemilihan jenis pengaduk dan kecepatan pengadukan yang sesuai akan memperbaiki hasil penisilin ketika laju aerasi konstan. Kecepatan pengadukan proses fermentasi umumnya berkisar pada range 250 – 500 cm/detik. Pembentukan busa yang berlebihan selama proses fermentasi dapat dieliminasi dengan penambahan tributinit sutrat. Secara umum, busa akan menurunkan pH apabila konsentrasinya terus bertambah.

f. Sterilisasi

Kontaminasi dapat dihindarkan dengan cara sterilisasi sistem perpipaan, fermentol, dan peralatan lain yang kontak langsung dengan penisilin. Uap panas umumnya digunakan untuk sterilisasi media fermentasi dan peralatan tersebut. Zat anti busa dan udara untuk aerasi juga harus disterilkan terlebih dahulu sebelum diumpankan kedalam media fermentasi.

UJI PENGETAHUAN

1. Sebutkan macam-macam mekanisme aksi antibiotik pada bakteri.
2. Jelaskan bagaimana respon terapi antibiotik secara kombinasi.

6. Pakan Ternak

Teknik produksi pakan ternak adalah serangkaian aktivitas yang melibatkan sumber daya yang tersedia untuk menghasilkan pakan yang memenuhi standar yang telah ditetapkan oleh nutritionist. Bahan pakan terdiri dari bahan organik dan anorganik. Bahan organik yang terkandung dalam bahan pakan antara lain, protein, lemak, serat kasar, bahan ekstrak tanpa nitrogen, sedang bahan anorganik yang dimaksud seperti calsium, fospor,

magnesium, kalium, natrium dan lain sebagainya. Kandungan bahan organik ini dapat diketahui dengan melakukan analisis proximate dan analisis terhadap vitamin dan mineral untuk masing masing komponen vitamin dan mineral yang terkandung didalam bahan yang dilakukan di laboratorium dengan teknik dan alat yang spesifik.

Formulasi pakan ternak, biasanya disusun oleh seorang ahli nutrisi (nutrisionist) yang memiliki pengetahuan yang luas mengenai aspek-aspek teknis, zooteknis dan ekonomis. Paduan dari ketiga aspek diatas adalah terciptanya suatu susunan tiga atau lebih bahan baku pakan yang telah diperhitungkan target kandungan nutrisinya sehingga dapat direkomendasikan penggunaannya untuk ternak dan produk pakan tersebut harus marketable.

Nutrisionist adalah seorang ahli pakan ternak, persyaratan yang harus dimiliki adalah mengetahui kebutuhan hidup untuk setiap jenis dan periode hidup ternak, toleransi ternak terhadap zat-zat pakan tertentu, macam dan jenis pakan yang dapat dimanfaatkan oleh ternak, faktor penghambat (antinutrisi) yang terkandung dalam bahan pakan, pengaruh musim dan lingkungan terhadap ketersediaan bahan baku pakan, mampu menjamin kontinuitas produksi, mampu menjamin tidak menyebabkan ternak sakit serta mampu mengkalkulasi formula yang ekonomis dengan kualitas memenuhi standar.

Contoh Pakan Ternak

a. Silase

Silase adalah pakan yang telah diawetkan yang di proses dari bahan baku yang berupa tanaman hijauan, limbah industri pertanian, serta bahan pakan alami lainnya, dengan jumlah kadar / kandungan air pada tingkat tertentu kemudian di masukan dalam sebuah tempat yang tertutup rapat kedap udara , yang biasa disebut dengan Silo, selama sekitar tiga minggu. Didalam silo tersebut tersebut akan terjadi beberapa tahap proses anaerob (proses tanpa udara/oksigen), dimana "bakteri asam laktat akan mengkonsumsi zat gula yang terdapat pada bahan baku, sehingga terjadilah proses fermentasi. Silase yang terbentuk karena proses fermentasi ini dapat di simpan untuk jangka waktu yang lama tanpa banyak mengurangi kandungan nutrisi dari bahan bakunya.

b. Tujuan pembuatan Silase

Tujuan utama pembuatan silase adalah untuk memaksimalkan pengawetan kandungan nutrisi yang terdapat pada hijauan atau bahan pakan ternak lainnya, agar bisa di disimpan dalam kurun waktu yang lama, untuk kemudian di berikan sebagai pakan bagi ternak. Sehingga dapat mengatasi kesulitan dalam mendapatkan pakan hijauan pada musim kemarau. Sayangnya fermentasi yang terjadi didalam silo (tempat pembuatan silase), sangat tidak terkontrol prosesnya, akibatnya kandungan nutrisi pada bahan yang di awetkan menjadi berkurang jumlahnya.. Maka untuk memperbaiki berkurangnya nutrisi tersbut, beberapa jenis zat tambahan (additive) harus di gunakan agar kandungan nutrisi dalam silase tidak berkurang secara drastis, bahkan bisa meningkatkan pemenuhan kebutuhan nutrisi bagi ternak yang memakannya.

c. Prinsip Dasar Fermentasi Silase

Prinsip dasar dari pengawetan dengan cara silase fermentasi adalah sebagai berikut:

1) Respirasi

Sebelum sel-sel di dalam tumbuhan mati atau tidak mendapatkan oksigen, maka mereka melakukan respirasi untuk membentuk energi yang di butuhkan dalam aktivitas normalnya. Respirasi ini merupakan konversi karbohidrat menjadi energi. Respirasi ini bermanfaat untuk menghabiskan oksigen yang terkandung, beberapa saat setelah bahan di masukan dalam silo. Namun respirasi ini mengkonsumsi karbohidrat dan menimbulkan panas, sehingga waktunya harus sangat di batasi. Respirasi yang berkelebihan di dalam bahan baku silase, dapat mengurangi kadar karbohidrat, yang pada akhirnya bisa menggagalkan proses fermentasi. Pengurangan kadar oksigen yang berada di dalam bahan baku silase, saat berada pada ruang yang kedap udara yg disebut dengan Silo, adalah cara terbaik meminimumkan masa respirasi ini.

2) Fermentasi.

Setelah kadar oksigen habis , maka proses fermentasi di mulai. Fermentasi adalah menurunkan kadar pH di dalam bahan baku silase. Sampai dengan kadar pH dimana tidak ada lagi organisme yang dapat hidup dan berfungsi di dalam silo. Penurunan kadar pH ini dilakukan oleh lactic acid yang di hasilkan oleh bakteri *Lactobacillus*. *Lactobacillus* itu sendiri sudah berada didalam bahan baku silase, dan dia akan tumbuh dan berkembang dengan cepat sampai bahan baku terfermentasi. Bakteri ini akan mengkonsumsi karbohidrat untuk kebutuhan energinya dan mengeluarkan lactic acid.

Bakteri ini akan terus memproduksi lactic acid dan menurunkan kadar pH di dalam bahan baku silase. Sampai pada tahap kadar pH yang rendah, dimana tidak lagi memungkinkan bakteri ini beraktivitas. Sehingga silo berada pada keadaan stagnant, atau tidak ada lagi perubahan yang terjadi, sehingga bahan baku silase berada pada keadaan yang tetap. Keadaan inilah yang di sebut keadaan terfermentasi, dimana bahan baku berada dalam keadaan tetap , yang disebut dengan menjadi awet. Pada keadaan ini maka silase dapat di simpan bertahun-tahun selama tidak ada oksigen yang menyentuhnya.

3) Bakteri *Clostridia*

Bakteri ini juga sudah berada pada hijauan atau bahan baku silase lainnya, saat mereka di masukan kedalam silo. Bakteri ini mengkonsumsi karbohidrat, protein dan lactic acid sebagai sumber energi mereka kemudian mengeluarkan Butyric acid, dimana Butyric acid bisa diasosiasikan dengan pembusukan silase. Keadaan yang menyuburkan tumbuhnya bakteri *clostridia* adalah kurangnya kadar karbohidrat untuk proses fermentasi , yang biasanya di sebabkan oleh kehujanan pada saat pencacahan bahan baku silase, proses respirasi yang terlalu lama, terlalu banyaknya kadar air di dalam bahan baku. Dan juga kekurangan jumlah bakteri *Lactobacillus* . Itulah sebabnya kadang di perlukan penggunaan bahan tambahan atau aditive.

4) Tahapan atau Phase yang terjadi pada proses fermentasi Silase

Proses fermentasi ini (yang biasa di sebut dengan Ensiling), berjalan dalam yaitu:

(1) Phase I

Saat pertama kali hijauan di panen, pada seluruh permukaan hijauan tersebut terdapat organisme aerobik, atau sering disebut sebagai bakteri aerobik, yaitu bakteri

yang membutuhkan udara / oksigen. Sehingga pada saat pertamakali hijauan sebagai bahan pembuatan silase di masukan ke dalam silo, bakteri tersebut akan mengkonsumsi udara/oksigen yang terperangkap di dalam ruang silo tersebut. Kejadian ini merupakan sesuatu yang tidak di inginkan untuk terjadi saat ensiling, karena pada saat yang sama bakteri aerobik tersebut juga akan mengkonsumsi karbohidrat yang sebetulnya di perlukan bagi bakteri lactic acid

Walaupun kejadian ini nampak menguntungkan dalam mengurangi jumlah oksigen di dalam silo, sehingga menciptakan lingkungan anaerob seperti yang kita kehendaki dalam ensiling, namun kejadian tersebut juga menghasilkan air dan peningkatan suhu / panas. Peningkatan panas yang berlebihan akan mengurangi digestibility kandungan nutrisi, seperti misalnya protein. Proses perubahan kimiawi yang terjadi pada phase awal ini adalah terurainya protein tumbuhan, yang akan terurai menjadi amino acid, kemudian menjadi amonia dan amines. Lebih dari 50% protein yang terkandung di dalam bahan baku akan terurai. Laju kecepatan penguraian protein ini (proteolysis), sangat tergantung dari laju berkurangnya kadar pH. Ruang lingkup silo yang menjadi acid, akan mengurangi aktivitas enzyim yang juga akan menguraikan protein.

Lama terjadinya proses dalam tahap ini tergantung pada kekedapan udara dalam silo, dalam kekedapan udara yang baik maka phase ini hanya akan bejalan beberapa jam saja. Dengan teknik penanganan yang kurang memadai maka phase ini akan berlangsung sampai beberapa hari bahkan beberapa minggu. Untuk itu maka tujuan utama yang harus di capai pada phase ensiling ini adalah, semaksimal mungkin di lakukan pencegahan masuknya udara/oksigen, sehingga keadaan anaerobic dapat secepatnya tercapai.

Kunci sukses pada phase ini adalah:

- (a) Kematangan bahan
- (b) Kelembaban bahan
- (c) Panjangnya pemotongan yang akan menentukan kepadatan dalam silo
- (d) Kecepatan memasukan bahan dalam silo
- (e) Kekedapan serta kerapatan silo

(2) Phase II

Setelah oksigen habis di konsumsi bakteri aerobic, maka phase dua ini di mulai, disinilah proses fermentasi dimulai, dengan dimulainya tumbuh dan berkembangnya bakteri acetic – acid. Bakteri tersebut akan menyerap karbohidrat dan menghasilkan acetic acid sebagai hasil ahirnya. Pertumbuhan acetic acid ini sangat diharapkan, karena disamping bermanfaat untk ternak ruminansia juga menurunkan kadar pH yang sangat di perlukan pada phase berikutnya. Penurunan kadar pH di dalam silo di bawah 5.0, perkembangan bakteri acetic acid akan menurun dan ahirnya berhenti dan itu merupakan tanda berakhirnya phase-2. Dalam fermentasi hijauan phase-2 ini berlangsung antara 24 s/d 72 jam.

(3) Phase III

Makin menurunnya kadar pH akan merangsang pertumbuhan dan perkembangan bakteri anaerob lainnya yang memproduksi latic acid. Maka pada phase ini latic acid akan bertambah terus.

(4) Phase IV

Dengan bertambahnya jumlah bakteri pada phase 3, maka karbohidrat yang akan terurai menjadi lactic acid juga makin bertambah. Lactic acid ini sangat dibutuhkan dan memegang peranan paling penting dalam proses fermentasi. Untuk pengawetan yang efisien, produksinya harus mencapai 60% dari total organic acid dalam silase. Saat silase di konsumsi oleh ternak, lactic acid akan di manfaatkan sebagai sumber energi ternak tersebut. Phase 4 ini adalah phase yang paling lama saat ensiling, proses ini berjalan terus sampai kadar pH dari bahan hijauan yang di pergunakan turun terus, hingga mencapai kadar yang bisa menghentikan pertumbuhan segala macam bakteri, dan hijauan atau bahan baku lainnya mulai terawetkan. Tidak akan ada lagi proses penguraian selama tidak ada udara/oksigen yang masuk atau di masukan.

(5) Phase V

Pencapaian final kadar pH tergantung dari jenis bahan baku yang di awetkan, dan juga kondisi saat di masukan dalam silo. Hijauan pada umumnya akan mencapai kadar pH 4,5, jagung 4.0. Kadar pH saja tidaklah merupakan indikasi dari baik buruknya proses fermentasi ini.

Hijauan yang mengandung kadar air di atas 70% akan mengalami proses yang berlainan pada phase 5 ini. Bukan bakteri yang memproduksi lactic acid yang tumbuh dan berkembang, namun bakteri clostridia yang akan tumbuh dan berkembang. Bakteri anaerobic ini akan memproduksi butyric acid dan bukan lactic acid, yang akan menyebabkan silase berasa asam. Kejadian ini berlangsung karena pH masih di atas 5.0.

(6) Phase VI

Phase ini merupakan phase pengangkatan silage dari tempatnya /silo.

Tabel 7. Proses yang terjadi dalam 6 phase

	Phase I	Phase II	Phase III	Phase IV	Phase V	Phase VI
Umur Silase	0-2 hari	2-3 days	3-4 days	4-21 days	21 days-	
Lactic	Respirasi sel; menghasilkan CO ₂ , panas dan air	Produksi acetic acid dan lactic acid	Pembentukan acid	Pembentukan Lactic acid	Penyimpanan Material	Pembusukan Aerobic re-exposure dengan oxygen
Perubahan suhu **	69-90 F	90-84 F	84 F	84 F	84 F	84 F
Perubahan pH	6.5-6.0	6.0-5.0	5.0-4.0	4.0	4.0	4.0-7.0
Produksi yg di hasilkan		Acetic acid dan lactic acid bacteria	Lactic acid bacteria	Lactic acid bacteria		pembusukan

** Suhu atau temperatur sangat tergantung suhu ruangan.

5) Pengolahan Jerami Padi dengan Memanfaatkan Mikroba

Kemajuan bioteknologi dengan memanfaatkan mikroba merupakan alternatif cara optimalisasi daur ulang limbah pertanian, dan teknologi starbio adalah salah satu produk bioteknologi tersebut. Starter mikroba atau starbio adalah probiotik hasil bioteknologi yang dibuat dari koloni alami mikroba rumen sapi dicampur tanah, akar rerumputan, daun

serta dahan pohon tertentu. Koloni tersebut memiliki mikroba yang spesifik dengan fungsi yang berbeda-beda seperti mikroba lignolitik, selulolitik, proteolitik.

Untuk meningkatkan kualitas limbah pertanian seperti jerami padi sebagai pakan ternak ruminansia dapat digunakan starbio ternak yang dapat meningkatkan derajat fermentasi bahan organik terutama komponen serat sehingga menyediakan sumber energi yang lebih baik. Dengan fermentasi jerami padi dengan starbio menunjukkan peningkatan kualitas dibanding jerami padi yang tidak difermentasi, dimana kadar protein kasar mengalami peningkatan dan diikuti dengan penurunan kadar serat kasar.

Penggunaan starbio dalam fermentasi dapat menurunkan kadar dinding sel jerami padi. Hal ini memberikan indikasi bahwa selama fermentasi terjadi pemutusan ikatan lignoselulosa dan hemiselulosa jerami padi. Mikroba lignolitik dalam starbio membantu perombakan ikatan lignoselulosa sehingga selulosa dan lignin dapat terlepas dari ikatan tersebut oleh enzim lignase. Fenomena ini terlihat dengan menurunnya kandungan selulosa dan lignin jerami padi yang difermentasi.

Menurunnya kadar lignin menunjukkan selama fermentasi terjadi penguraian ikatan lignin dan hemiselulosa. Lignin merupakan benteng pelindung fisik yang menghambat daya cerna enzim terhadap jaringan tanaman dan lignin berikatan erat dengan hemiselulosa. Disamping itu fermentasi jerami padi dengan starbio dapat melarutkan sebagian zat-zat makanan atau mineral-mineral yang sukar larut sehingga mengakibatkan meningkatnya pencernaan bahan kering dibanding jerami padi tanpa fermentasi.

Hal yang samakecernaan bahan organik juga mengalami peningkatan pada jerami padi yang difermentasi. Fenomena ini memberi indikasi bahwa probiotik starbio dalam proses fermentasi mampu mencerna lignin dan zat-zat yang sukar larut yang terdapat dalam bahan organik.

Pelaksanaan fermentasi jerami padi dengan menggunakan starbio dan penambahan urea, terlebih dahulu dipersiapkan tempat fermentasi berupa naungan/tempat fermentasi (misalnya tiang dari bambu dan atap dari daun nipah). Prosedur pelaksanaan pengolahan jerami padi adalah

- a. Jerami padi ditumpuk 30 cm, kalau perlu diinjak-injak lalu ditaburi urea dan starbio masing-masing 0.6 %/berat jerami padi dan kemudian disiram air secukupnya mencapai kadar air 60%, dengan tanda-tanda jerami padi diremas, apabila air tidak menetes tetapi tangan basah berarti kadar air mendekati 60%.
- b. Tahapan point pertama diulangi hingga ketinggian mencapai ketinggian tertentu (misalnya dua meter).
- c. Tumpukan jerami padi dibiarkan selama 21 hari dan tidak perlu dibolak-balik,
- d. Setelah 21 hari jerami padi dibongkar lalu diangin-anginkan atau dikeringkan, dan
- e. Jerami padi diberikan pada ternak sapi atau dapat disimpan sebagai stok pakan.

UJI PENGETAHUAN

1. Apa yang kalian ketahui mengenai pembuatan silase dari limbah ikan, Jelaskan !

PENGAPLIKASIAN ISOLASI MIKROORGANISME DALAM PROSES PEMBUATAN ENZIM

A. Pengertian Enzim

Enzim adalah senyawa protein yang dapat mengatalisi reaksi-reaksi kimia dalam sel dan jaringan makhluk hidup. Enzim merupakan biokatalisator artinya senyawa organik yang mempercepat reaksi kimia. Hampir semua enzim merupakan protein. Pada reaksi yang dikatalisasi oleh enzim, molekul awal reaksi disebut sebagai substrat, dan enzim mengubah molekul tersebut menjadi molekul-molekul yang berbeda, disebut produk. Hampir semua proses biologis sel memerlukan enzim agar dapat berlangsung dengan cukup cepat.

Enzim bekerja dengan cara menempel pada permukaan molekul zat-zat yang bereaksi dan dengan demikian mempercepat proses reaksi. Percepatan terjadi karena enzim menurunkan energi pengaktifan yang dengan sendirinya akan mempermudah terjadinya reaksi. Sebagian besar enzim bekerja secara khas, yang artinya setiap jenis enzim hanya dapat bekerja pada satu macam senyawa atau reaksi kimia. Hal ini disebabkan perbedaan struktur kimia tiap enzim yang bersifat tetap. Sebagai contoh, enzim amilase hanya dapat digunakan pada proses perombakan pati menjadi glukosa.

Hal-hal yang berkaitan dengan enzim dipelajari dalam enzimologi. Dalam dunia pendidikan tinggi, enzimologi tidak dipelajari tersendiri sebagai satu jurusan tersendiri tetapi sejumlah program studi memberikan mata kuliah ini. Enzimologi terutama dipelajari dalam kedokteran, ilmu pangan, teknologi pengolahan pangan, dan cabang-cabang ilmu pertanian.

Kerja enzim dipengaruhi oleh beberapa faktor, terutama adalah substrat, suhu, keasaman, kofaktor dan inhibitor. Tiap enzim memerlukan suhu dan pH (tingkat keasaman) optimum yang berbeda-beda karena enzim adalah protein, yang dapat mengalami perubahan bentuk jika suhu dan keasaman berubah. Di luar suhu atau pH yang sesuai, enzim tidak dapat bekerja secara optimal atau strukturnya akan mengalami kerusakan. Hal ini akan menyebabkan enzim kehilangan fungsinya sama sekali. Kerja enzim juga dipengaruhi oleh molekul lain. Inhibitor adalah molekul yang menurunkan aktivitas enzim, sedangkan aktivator adalah yang meningkatkan aktivitas enzim. Banyak obat dan racun adalah inhibitor enzim.

Sifat Enzim:

1. Merupakan protein
2. Merupakan biokatalisator.
3. Mempercepat reaksi kimia dengan jalan menurunkan energi aktivasi yaitu energy awal yang diperlukan untuk memulai reaksi kimia.
4. Enzim bekerja spesifik artinya untuk mengubah atau mereaksikan suatu zat tertentu memerlukan zat tertentu pula.
5. Bekerja sangat cepat
6. Tidak ikut bereaksi (tidak mengalami perubahan).
7. Tidak mengubah keseimbangan reaksi
8. Memiliki sifat aktif atau sisi katalitik yaitu bagian enzim tempat substrat berkombinasi.
9. Substrat asing yang berfungsi menghambat reaksi disebut inhibitor dan yang berfungsi mempercepat reaksi disebut activator.

Enzim dapat diperoleh dari sel-sel hidup dan dapat bekerja baik untuk reaksi-reaksi yang terjadi di dalam sel maupun di luar sel. Pemanfaatan enzim untuk reaksi-reaksi yang terjadi di luar sel Sekarang banyak diaplikasikan dalam dunia industri seperti industri makanan, detergen, penyamakan kulit, kosmetik, dll. Pemanfaatan enzim dapat dilakukan secara langsung menggunakan enzim hasil isolasi maupun dengan cara pemanfaatan mikroorganisme yang dapat menghasilkan enzim yang diinginkan

Enzim yang diisolasi dari mikroorganisme dapat diaplikasikan pada berbagai macam industry. Misalnya enzim protease yang diisolasi dari *Bacillus licheniformis*, digunakan pada berbagai macam detergen sebagai bahan pembersih. Protease merusak dan melarutkan protein yang mengotori pakaian. Enzim yang dihasilkan untuk proses-proses industri meliputi protease, amilase, glukosa oksidase, glukosa isomerasi, rennin, pektinase, dan lipase. Empat macam enzim yang secara luas diproduksi oleh mikroorganisme adalah **protease, glukamilase, α -amilase dan glukosa isomerase.**

Protease adalah enzim yang menyerang ikatan peptide molekul protein dan membentuk fragmen-fragmen kecil peptide. Strain rekombinan *Bacillus sp.* GX6644 mensekresikan alkanin protease yang sangat aktif terhadap protein kasein susu, dengan aktivitas tertinggi pada pH 11 dan temperatur 40-55°C. Strain rekombinan yang lain yaitu *Basillus sp.* GX6638 mensekresi beberapa alkanin protease yang aktif pada kisaran pH yang cukup luas (8-12). Fungi yang memproduksi protease adalah spesies *Aspergillus*. Protease yang dihasilkan oleh fungi memiliki kisaran pH yang lebih luas dibandingkan protease yang diproduksi oleh bakteri.

Amilase digunakan dalam detergen dan dalam industri pembuatan bir. Ada beberapa tipe amilase, termasuk **α -amilase** yang digunakan untuk mengubah pati menjadi oligosakarida dan maltosa, **β -amilase** yang digunakan untuk mengubah pati menjadi maltose dan dekstrin, serta **glukamilase** yang mengubah pati menjadi glukosa. Ketiga enzim di atas digunakan untuk memproduksi sirup dan dekstrosa dari pati. Produksi amilase menggunakan fungi *Aspergillus sp.* *Aspergillus oryzae* digunakan untuk memproduksi amilase dari gandum pada kultur stasioner. *Basillus subtilis* dan *Basillus diataticus* digunakan untuk memproduksi amilase bakteri.

Glukosa isomerase mengubah glukosa ,menjadi fruktosa yang dua kali lebih manis dibandingkan sukrosa dan 1,5 kali lebih manis dibandingkan glukosa, sehingga fruktosa merupakan bahan pemanis yang sangat penting pada industri makanan dan minuman. Enzim ini diproduksi oleh *Basillus coagulans*, *Streptomyces sp* dan *Nocardia sp.* **Renin** merupakan enzim penggumpal susu yang mengkatalisis koagulasi susu dalam industri pembuatan keju. Enzim ini diproduksi oleh *Mucor pussilus* atau *Mucor meihei*.

Enzim mikroorganisme juga digunakan dalam produksi polimer sintetik. Misalnya, industri plastic saat ini menggunakan metode kimia untuk memproduksi *alkene oxide* yang digunakan untuk memproduksi plastik. Produksi *alkene oxide* dari mikroorganisme melibatkan aksi tiga enzim yaitu piranose-2-oksidadase dari fungi *Oudmansielia mucida*, enzim haloperoksidase dari fungi *Caldariomyces sp* dan enzim epoxidase dari *Falvobacterium sp.*

Pada produksi enzim yang stabil terhadap panas, DNA polimerasi sangat penting dalam proses amplifikasi DNA. **Reaksi polimerasi** (*polymerase chain reaction*, **PCR**) sangat penting bagi diagnosis kesehatan, forensik dan penelitian biologi molecular. Kultur *Thermos*

aquaticus dan mikroorganisme termofilik lainnya digunakan untuk memproduksi DNA polimerase. Strain *Escherichia coli* yang direkayasa secara genetis mengandung gen untuk taq DNA polimerase dari *thermus aquaticus*, digunakan untuk membuat DNA polimerase rekombinan yang stabil terhadap panas yang disebut amplitaq. Sumber lain juga mengatakan bahwa Aplikasi Enzim dalam Industri makanan dan Minuman sebagai berikut penjelasannya:

Dalam bidang bioteknologi enzim merupakan salah satu produk yang banyak digunakan atau diaplikasikan untuk keperluan industri seperti industri makanan, minuman, farmasi, kosmetik dan lain sebagainya. Dalam industri makanan atau minuman enzim banyak digunakan untuk menghasilkan atau meningkatkan kualitas dan keanekaragaman produk. Beberapa contoh produk yang memanfaatkan enzim seperti keju, yoghurt, dan lain sebagainya. Beberapa contoh jenis enzim yang umum dan banyak digunakan dalam industri makanan dan minuman antara lain :

a. Rennet

Rennet adalah enzim yang digunakan dalam proses pembuatan keju (cheese) yang terbuat dari bahan dasar susu. Susu adalah cairan yang tersusun atas protein yang terutama kasein yang dapat mempertahankan bentuk cairnya. Rennet merupakan kelompok enzim protease yang ditambahkan pada susu pada saat proses pembuatan keju. Rennet berperan untuk menghidrolisis kasein terutama kappa kasein yang berfungsi mempertahankan susu dari pembekuan. Enzim yang paling umum yang diisolasi dari rennet adalah chymosin. Chymosin dapat diisolasi dari beberapa jenis binatang, mikroba atau sayuran, akan chymosin yang berasal dari mikroorganisme lokal atau asli yang belum mendapat rekayasa genetik kadang aplikasinya dalam pembuatan keju atau cheddar menjadi kurang efektif.

b. Laktase

Lactase adalah enzim likosida hidrolase yang berfungsi untuk memecah laktosa menjadi gula penyusunnya yaitu glukosa dan galaktosa. Tanpa suplai atau produksi enzim laktase yang cukup dalam usus halus, akan menyebabkan terjadinya lactose intolerant yang mengakibatkan rasa tidak nyaman diperut seperti kram, banyak buang gas, atau diare) dalam saluran cerna selama proses pencernaan produk-produk susu. Secara komersial laktase digunakan untuk menyiapkan produk-produk bebas laktosa seperti susu. Ini juga dapat digunakan untuk membuat es krim untuk membuat cream dan rasa produk yang lebih manis. Laktase biasanya diisolasi dari yeast (*Kluyveromyces sp.*) dan fungi (*Aspergillus sp.*)

c. Katalase

Katalase adalah enzim yang dapat diperoleh dari hati sapi (bovine livers) atau sumber microbial. Dan digunakan untuk mengubah hydrogen peroksida menjadi air dan molekul oksigen. Enzim ini digunakan secara terbatas pada proses produksi keju.

d. Lipase

Lipase digunakan untuk memecah atau menghidrolisis lemak susu dan memberikan flavour keju yang khas. Flavour dihasilkan oleh karena adanya asam lemak bebas yang diproduksi ketika lemak susu dihidrolisis. Selain pada industri pengolahan susu juga pada industri lainnya.

e. Protease

Protease adalah enzim yang berfungsi untuk menghidrolisis ikatan peptida dari senyawa-senyawa protein dan diurai menjadi senyawa lain yang lebih sederhana (asam amino). Contoh protease yang dapat dimanfaatkan adalah bromelin dan papain sebagai bahan pengempuk daging.

f. Amilase

Amilase merupakan enzim yang berfungsi untuk menghidrolisis amilum (pati) menjadi gula-gula sederhana seperti dekstrin dan glukosa. Enzim amilase dapat digunakan dalam proses pembuatan biskuit, minuman beralkohol, dan pembuatan sirup glukosa.

5. MIKROBIOLOGI PANGAN

Mikrobiologi pangan adalah suatu ilmu yang mempelajari makhluk hidup yang sangat kecil yang hanya dapat dilihat dengan menggunakan lensa pembesar atau mikroskop. Makhluk yang sangat kecil tersebut disebut mikroorganisme atau mikroba, dan ilmu yang mempelajari tentang mikroba yang sering ditemukan pada pangan disebut mikrobiologi pangan. Yang dimaksud dengan pangan disini mencakup semua makanan, baik bahan baku pangan maupun yang sudah diolah.

Pertumbuhan mikroba pada pangan dapat menimbulkan berbagai perubahan, baik yang merugikan maupun yang menguntungkan. Mikroba yang merugikan misalnya yang menyebabkan kerusakan atau kebusukan pangan, dan yang sering menimbulkan penyakit atau keracunan pangan. Sedangkan mikroba yang menguntungkan adalah yang berperan dalam proses fermentasi pangan, misalnya dalam pembuatan tempe, oncom, kecap, tauco, tape dll. Oleh sebab itu dengan mengetahui sifat-sifat mikroba pada pangan kita dapat mengatur kondisi sedemikian rupa sehingga pertumbuhan mikroba yang merugikan dapat dicegah, sedangkan mikroba yang menguntungkan dirangsang pertumbuhannya.

Mikroba terdapat dimana-mana, misalnya di dalam air, tanah, udara, tanaman, hewan, dan manusia. Oleh karena itu mikroba dapat masuk ke dalam pangan melalui berbagai cara, misalnya melalui air yang digunakan untuk menyiram tanaman pangan atau mencuci bahan baku pangan, terutama bila air tersebut tercemar oleh kotoran hewan atau manusia. Mikroba juga dapat masuk ke dalam pangan melalui tanah selama penanaman atau pemanenan sayuran, melalui debu dan udara, melalui hewan dan manusia, dan pencemaran selama tahap-tahap penanganan dan pengolahan pangan. Dengan mengetahui berbagai sumber pencemaran mikroba, kita dapat melakukan tindakan untuk mencegah masuknya mikroba pada pangan.

Pangan yang berasal dari tanaman membawa mikroba pada permukaannya dari sejak ditanam, ditambah dengan pencemaran dari sumber-sumber lainnya seperti air dan tanah. Air merupakan sumber pencemaran bakteri yang berasal dari kotoran hewan dan manusia, termasuk di antaranya bakteri-bakteri penyebab penyakit saluran pencernaan. Tanah merupakan sumber pencemaran bakteri-bakteri yang berasal dari tanah, terutama bakteri pembentuk spora yang sangat tahan terhadap keadaan kering. Pada pangan yang berasal dari hewan, mikroba mungkin berasal dari kulit dan bulu hewan tersebut dan dari saluran pencernaan, ditambah dengan pencemaran dari lingkungan di sekitarnya.

Pangan yang berasal dari tanaman dan hewan yang terkena penyakit dengan sendirinya juga membawa mikroba patogen yang menyebabkan penyakit tersebut. Tangan manusia merupakan sumber pencemaran bakteri yang berasal dari luka atau infeksi kulit, dan salah satu bakteri yang berasal dari tangan manusia, yaitu *Staphylococcus*, dapat menyebabkan keracunan pangan. Selain itu orang yang sedang menderita atau baru sembuh dari penyakit infeksi saluran pencernaan seperti tifus, kolera dan disentri, juga merupakan pembawa bakteri penyebab penyakit tersebut sampai beberapa hari atau beberapa minggu setelah sembuh. Oleh karena itu orang tersebut dapat menjadi sumber pencemaran pangan jika ditugaskan menangani atau mengolah pangan

1. Klasifikasi Mikroba Pangan

Organisme yang sering ditemukan pada pangan dibedakan atas empat golongan, yaitu:

- a. Bakteri
- b. Kapang
- c. Jamur
- d. Virus

1) Bakteri

Bakteri merupakan makhluk bersel tunggal yang berkembang biak dengan cara membelah diri dari satu sel menjadi dua sel. Pada kondisi yang sangat baik, kebanyakan sel bakteri dapat membelah dan berkembang biak dalam waktu kurang lebih 20 menit. Pada kecepatan yang tinggi ini satu sel bakteri dapat memperbanyak diri menjadi lebih dari 16 juta sel baru dalam waktu 8 jam. Berdasarkan bentuk selnya, bakteri dapat dibedakan atas empat golongan yaitu:

- a. Koki (bentuk bulat)
Koki mungkin terdapat dalam bentuk tunggal (terpisah), berpasangan (diplokoki), berempat (tetra koki atau tetrad), bergerombol (stapilokoki), dan membentuk rantai (streptokoki).
- b. Basili (bentuk batang) Basil mungkin terdapat dalam bentuk tunggal (terpisah) atau membentuk rantai.
- c. Spirillum (bentuk spiral)
- d. Vibrio (bentuk koma)

Bakteri ditemukan dimana-mana. Banyak bakteri yang sebenarnya tidak berbahaya bagi kesehatan, tetapi jika tumbuh dan berkembang biak pada pangan sampai mencapai jumlah yang sangat tinggi dapat mengakibatkan kerusakan makanan, yaitu menimbulkan bau busuk, lendir, asam, perubahan warna, pembentukan gas, dan perubahan-perubahan lain yang tidak diinginkan. Bakteri semacam ini digolongkan ke dalam bakteri perusak pangan.

Bakteri perusak pangan sering tumbuh dan menyebabkan kerusakan pada bahan pangan yang mempunyai kandungan protein tinggi seperti ikan, susu, daging, telur dan sayuran. Bakteri yang menyebabkan gejala sakit atau keracunan disebut bakteri patogenik atau patogen. Gejala penyakit yang disebabkan oleh patogen timbul karena bakteri tersebut masuk ke dalam tubuh melalui pangan dan dapat berkembang biak di dalam saluran pencernaan dan menimbulkan gejala sakit perut, diare, muntah, mual, dan gejala

lain. Patogen semacam ini misalnya yang tergolong bakteri koli (*Escherichia coli* patogenik), *Salmonella* dan *Shigella*.

Bakteri patogenik di dalam pangan juga dapat menyebabkan gejala lain yang disebut keracunan pangan. Gejala semacam ini disebabkan oleh tertelannya racun (toksin) yang diproduksi oleh bakteri selama tumbuh pada pangan. Gejala keracunan pangan oleh racun bakteri dapat berupa sakit perut, diare, mual, muntah, atau kelumpuhan. Bakteri yang tergolong ke dalam bakteri penyebab keracunan misalnya *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, dan *Bacillus cereus* yang memproduksi racun yang menyerang saluran pencernaan dan disebut enterotoksin, dan *Clostridium botulinum* yang memproduksi racun yang menyerang syaraf serta dapat menyebabkan kelumpuhan saluran tenggorokan dan disebut neurotoksin atau racun botulinum.

Selain pengaruh yang merugikan, beberapa bakteri juga mempunyai pengaruh yang menguntungkan dan yang digunakan atau berperan. dalam pembuatan berbagai makanan fermentasi, misalnya sayur asin, ikan peda, terasi, keju, susu fermentasi (yogurt, yakult), sosis, dan lain-lain. Bakteri semacam ini memproduksi senyawa-senyawa yang menimbulkan cita-rasa yang khas untuk masing-masing produk, dan beberapa juga memproduksi asam yang dapat mengawetkan makanan.

2) Kapang

Kapang merupakan mikroba dalam kelompok Fungi yang berbentuk filamen, yaitu strukturnya terdiri dari benang-benang halus yang disebut hifa. Kumpulan dari banyak hifa membentuk kumpulan massa yang disebut miselium dan lebih mudah dilihat oleh mata tanpa menggunakan mikroskop. Contoh miselium adalah serat putih seperti kapas yang tumbuh pada tempe.

Kapang juga mempunyai struktur yang disebut spora yang pada umumnya terletak pada ujung-ujung dari hifa, dan merupakan struktur yang sangat ringan dan mudah menyebar kemana-mana. Spora merupakan alat perkembangbiakan kapang, karena pada kondisi substrat dan lingkungan yang baik spora dapat bergerminasi dan tumbuh menjadi struktur kapang yang lengkap. Dari satu struktur kapang dapat dihasilkan beratus-ratus spora yang mudah menyebar dan mencemari pangan, kemudian tumbuh menjadi bentuk kapang yang lengkap.

Jika dilihat di bawah mikroskop, berbagai jenis kapang mempunyai struktur hifa dan spora yang berbeda-beda, dan karakteristik struktur tersebut digunakan untuk mengidentifikasi kapang. Spora kapang pada umumnya mempunyai warna tertentu tergantung dari jenis kapangnya. Oleh karena itu pertumbuhan kapang pada pangan mudah dilihat dengan mata, yaitu ditandai dengan perubahan warna yang menunjukkan adanya spora kapang dan sering disebut sebagai bulukan.

Selain dapat menyebabkan kerusakan pangan, beberapa kapang tertentu juga bermanfaat karena digunakan dalam proses fermentasi pangan. Tabel 1 menyajikan berbagai jenis kapang yang sering tumbuh pada pangan, serta jenis pangan yang dirusak dan kegunaannya dalam proses fermentasi pangan.

Tabel 8. Beberapa Jenis Kapang untuk Fermentasi dan Perusak Bahan Pangan

Jenis Kapang	Warna Spora	Pangan yang Dirusak	Makanan yang Difermentasi
<i>Aspergillus</i>	Hitam, hijau	Roti, sereal, kacang-kacangan	Kecap, tauco (<i>A. oryzae</i>)
<i>Penicillium</i>	Biru-hijau	Buah-buahan, citrus, keju	Keju (<i>P. roqueforti</i>)
<i>Rhizopus</i>	Hitam di atas hifa berwarna putih	Roti, sayuran, buah-buahan	Tempe, oncom hitam (<i>R. oryzae</i> , <i>R. oligosporus</i>)
<i>Neurospora (Monilia)</i>	Oranye-merah	Nasi	Oncom merah

Beberapa kapang jika tumbuh pada pangan dapat memproduksi racun yang berbahaya yang disebut toksin (racun) kapang atau mikotoksin. Spesies kapang yang memproduksi mikotoksin terutama adalah dari jenis *Aspergillus*, *Penicillium* dan *Fusarium*. Beberapa contoh mikotoksin yang sering ditemukan pada pangan misalnya aflatoksin yang diproduksi oleh *Aspergillus flavus* dan okratoksin yang diproduksi oleh *Aspergillus ochraceus*.

3) Kamir

Kamir merupakan organisme bersel tunggal yang termasuk dalam kelompok Fungi. Jika tumbuh pada pangan, kamir dapat menyebabkan kerusakan, tetapi sebaliknya beberapa kamir juga digunakan dalam pembuatan makanan fermentasi. Kerusakan yang disebabkan oleh pertumbuhan kamir ditandai dengan terbentuknya bau asam dan bau alkohol, serta terbentuknya lapisan pada permukaan, misalnya kerusakan pada sari buah. Beberapa contoh kamir yang digunakan dalam proses fermentasi misalnya *Saccharomyces cerevisiae* untuk membuat roti, bir dan minuman anggur, dan (*Candida utilis*) untuk membuat protein mikroba yang disebut protein sel tunggal.

Pada umumnya kamir berkembang biak dengan cara membentuk tunas, meskipun beberapa jenis berkembang biak dengan cara membelah. Tunas yang timbul pada salah satu sisi sel kamir akan membesar dan jika ukurannya hampir menyamai induk selnya, maka tunas akan melepaskan diri menjadi sel yang baru. Pada beberapa spesies, tunas tidak melepaskan diri dari induknya sehingga semakin lama akan membentuk struktur yang terdiri dari kumpulan sel berbentuk cabang-cabang seperti pohon kaktus yang disebut pseudomiselium.

Perkembangbiakan sel kamir semacam ini disebut reproduksi aseksual. Selain dengan pertunasan, kamir juga berkembang biak dengan cara reproduksi seksual, yaitu dengan membentuk askospora. Dalam 1 sel dapat terbentuk 4-6 askospora. Askospora yang telah masak dapat mengalami germinasi membentuk sel kamir, yang kemudian dapat berkembang biak secara aseksual dengan pertunasan.

4) Virus

Virus merupakan organisme dengan ukuran yang paling kecil dibandingkan dengan organisme lainnya. Virus merupakan organisme yang tidak dapat berkembang biak sendiri melainkan harus berada pada sel organisme lainnya, oleh karena itu digolongkan ke dalam parasit. Virus sering mencemari pangan tertentu seperti susu, pangan hasil laut, dan sayur-sayuran serta air. Salah satu virus yang sering mencemari pangan yaitu virus hepatitis A, serta virus polio yang sering mencemari susu sapi mentah.

Pertumbuhan mikroba pada pangan dipengaruhi oleh berbagai faktor, dan setiap mikroba membutuhkan kondisi pertumbuhan yang berbeda. Oleh karena itu jenis dan jumlah

mikroba yang dapat tumbuh kemudian menjadi dominan pada setiap pangan juga berbeda, tergantung dari jenis pangan tersebut. Pada kondisi yang optimum untuk masing-masing mikroba, bakteri akan tumbuh lebih cepat dibandingkan dengan kapang dan kamir. Hal ini disebabkan bakteri mempunyai struktur sel yang lebih sederhana, sehingga pada kebanyakan bakteri hanya membutuhkan waktu 20 menit untuk membelah. Struktur sel kapang dan kamir lebih kompleks daripada bakteri dan membutuhkan waktu lebih lama untuk membentuk sel baru, yaitu sekitar 2 jam atau lebih.

Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroba pada pangan dibedakan atas dua kelompok, yaitu:

1. Karakteristik pangan:
 - a. Aktivitas air (a_w)
 - b. Nilai pH (keasaman)
 - c. Kandungan gizi
 - d. Senyawa antimikroba
2. Kondisi lingkungan:
 - a. Suhu
 - b. Oksigen
 - c. Kelembaban

a. Aktivitas Air

Aktivitas air (a_w) menunjukkan jumlah air bebas di dalam pangan yang dapat digunakan oleh mikroba untuk pertumbuhannya. Nilai a_w pangan dapat dihitung dengan membagi tekanan uap air pangan dengan tekanan uap air murni. Jadi air murni mempunyai nilai a_w sama dengan 1. Nilai a_w secara praktis dapat diperoleh dengan cara membagi %RH pada saat pangan mengalami keseimbangan kadar air dibagi dengan 100. Sebagai contoh, jika suatu jenis pangan mempunyai $a_w = 0,70$, maka pangan tersebut mempunyai keseimbangan kadar air pada RE 70%, atau dengan perkataan lain pada RE 70% kadar air pangan tetap (yang menguap sama dengan yang terserap).

Mikroba mempunyai kebutuhan a_w minimal yang berbeda-beda untuk pertumbuhannya. Di bawah a_w minimal tersebut mikroba tidak dapat tumbuh atau berkembang biak. Oleh karena itu salah satu cara untuk mengawetkan pangan adalah dengan menurunkan a_w bahan tersebut. Beberapa cara pengawetan pangan yang menggunakan prinsip penurunan a_w bahan misalnya pengeringan dan penambahan bahan pengikat air seperti gula, garam, pati serta gliserol. Kebutuhan a_w untuk pertumbuhan mikroba umumnya adalah sebagai berikut:

- a. Bakteri pada umumnya membutuhkan a_w sekitar 0,91 atau lebih untuk pertumbuhannya. Akan tetapi beberapa bakteri tertentu dapat tumbuh sampai a_w 0,75.
- b. Kebanyakan kamir tumbuh pada a_w sekitar 0,88, dan beberapa dapat tumbuh pada a_w sampai 0,6.
- c. Kebanyakan kapang tumbuh pada minimal 0,8.

Bahan makanan yang belum diolah seperti ikan, daging, telur dan susu mempunyai a_w di atas 0,95, oleh karena itu mikroba yang dominan tumbuh dan menyebabkan kebusukan terutama adalah bakteri. Bahan pangan kering seperti biji-bijian dan kacang-

kacangan kering, tepung, dan buah-buahan kering pada umumnya lebih awet karena nilai a_w -nya 0,60 – 0,85, yaitu cukup rendah untuk menghambat pertumbuhan kebanyakan mikroba. Pada bahan kering semacam ini mikroba perusak yang sering tumbuh terutama adalah kapang yang menyebabkan bulukan.

Seperti telah dijelaskan di atas, konsentrasi garam dan gula yang tinggi juga dapat mengikat air dan menurunkan a_w sehingga menghambat pertumbuhan mikroba. Makanan yang mengandung kadar garam dan atau gula yang tinggi seperti ikan asin, dendeng, madu, kecap manis, sirup, dan permen, biasanya mempunyai a_w di bawah 0,60 dan sangat tahan terhadap kerusakan oleh mikroba. Makanan semacam ini dapat disimpan pada suhu kamar dalam waktu yang lama tanpa mengalami kerusakan.

b. Nilai pH

Salah satu faktor pada pangan yang mempengaruhi pertumbuhan mikroba adalah pH, yaitu suatu nilai yang menunjukkan keasaman atau kebasaan. Dengan menggunakan pH-meter, nilai pH suatu bahan dapat diukur, umumnya berkisar antara 0 sampai 14. Nilai pH 7 menunjukkan bahan yang netral, nilai pH kurang dari 7 menunjukkan bahan bersifat lebih asam, sedangkan nilai pH lebih dari 7 menunjukkan bahan lebih bersifat basa. Kebanyakan mikroba tumbuh baik pada pH sekitar netral, dan pH 4,6 – 7,0 merupakan kondisi optimum untuk pertumbuhan bakteri, sedangkan kapang dan jamur dapat tumbuh pada pH yang lebih rendah. Pengelompokan pangan berdasarkan nilai pH-nya adalah sebagai berikut:

1. Pangan berasam rendah, adalah pangan yang mempunyai nilai pH 4,6 atau lebih, misalnya daging, ikan, susu, telur dan kebanyakan sayuran. Pangan semacam ini harus mendapatkan perlakuan pengawetan secara hati-hati karena mudah mengalami kerusakan oleh bakteri, termasuk bakteri patogen yang berbahaya.
2. Pangan asam, adalah pangan yang mempunyai pH 3,7 – 4 misalnya beberapa sayuran dan buah-buahan.
3. Pangan berasam tinggi, adalah pangan yang mempunyai pH di bawah 3,7, misalnya sayur asin, acar, dan lain-lain. Penurunan pH merupakan salah satu prinsip pengawetan pangan untuk mencegah pertumbuhan kebanyakan mikroba. Prinsip ini dapat dilakukan dengan cara menambahkan asam ke dalam makanan seperti dalam pembuatan acar atau asinan. Cara lain adalah fermentasi agar terbentuk asam oleh mikroba seperti dalam pembuatan sayur asin.

c. Kandungan Gizi

Seperti halnya makhluk hidup lainnya, mikroba membutuhkan zat gizi untuk pertumbuhannya. Bahan makanan pada umumnya mengandung berbagai zat gizi yang baik untuk pertumbuhan mikroba, yaitu protein, karbohidrat, lemak, vitamin, dan mineral. Akan tetapi ada beberapa bahan makanan yang selain kandungan gizinya sangat baik juga kondisi lingkungannya mendukung, termasuk nilai a_w dan pH-nya sangat baik untuk pertumbuhan mikroba. Contoh bahan makanan semacam ini adalah bahan yang mengandung protein tinggi, mempunyai pH sekitar netral dan mempunyai a_w di atas 0,95, misalnya daging, susu, telur, dan ikan. Karena kondisinya yang optimum untuk pertumbuhan mikroba, maka pada bahan-bahan pangan seperti itu bakteri akan tumbuh dengan cepat sehingga bahan pangan menjadi mudah rusak dan busuk.

d. Senyawa Antimikroba

Pertumbuhan mikroba pada pangan juga dipengaruhi oleh adanya bahan pengawet yang terkandung di dalamnya, yaitu senyawa yang dapat menghambat pertumbuhan mikroba. Bahan pengawet atau disebut juga senyawa antimikroba pada pangan dibedakan atas tiga golongan berdasarkan sumbernya, yaitu:

1. Senyawa antimikroba yang terdapat secara alami di dalam bahan pangan, misalnya asam pada buah-buahan, dan beberapa senyawa pada rempah-rempah.
2. Bahan pengawet yang ditambahkan dengan sengaja ke dalam pangan atau pangan olahan, misalnya:
 - a. Nitrit untuk menghambat bakteri pada kornet sapi dan sosis
 - b. Garam natrium klorida untuk menghambat mikroba pada ikan asin
 - c. Asam benzoat untuk menghambat kapang dan kamir pada selai dan sari buah
 - d. Asam cuka (asam asetat) untuk menghambat mikroba pada asinan
 - e. Asam propionat untuk menghambat kapang pada roti dan keju
 - f. Sulfit untuk menghambat kapang dan kamir pada buah-buahan kering dan anggur.
3. Senyawa antimikroba yang terbentuk oleh mikroba selama proses fermentasi pangan. Asam laktat, hidrogen peroksida (H_2O_2), dan bakteriosin adalah senyawa antimikroba yang dibentuk oleh bakteri asam laktat selama pembuatan produk-produk susu fermentasi seperti yogurt, yakult, susu asidofilus, dan lain-lain, serta dalam pembuatan pikel dari sayur-sayuran seperti sayur asin.

e. Suhu

Suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroba. Setiap mikroba mempunyai kisaran suhu dan suhu optimum tertentu untuk pertumbuhannya. Berdasarkan kisaran suhu pertumbuhan, mikroba dibedakan atas tiga kelompok sebagai berikut:

1. Psikrofil, yaitu mikroba yang mempunyai kisaran suhu pertumbuhan $0 - 20^{\circ}C$.
2. Mesofil, yaitu mikroba yang mempunyai kisaran suhu pertumbuhan $20 - 45^{\circ}C$.
3. Termofil, yaitu mikroba yang mempunyai suhu pertumbuhannya di atas $45^{\circ}C$.

Kebanyakan mikroba perusak pangan merupakan mikroba mesofil, yaitu tumbuh baik pada suhu ruangan atau suhu kamar. Bakteri patogen umumnya mempunyai suhu optimum pertumbuhan sekitar $37^{\circ}C$, yang juga adalah suhu tubuh manusia. Oleh karena itu suhu tubuh manusia merupakan suhu yang baik untuk pertumbuhan beberapa bakteri patogen.

Mikroba perusak dan patogen umumnya dapat tumbuh pada kisaran suhu $4-66^{\circ}C$. Oleh karena kisaran suhu tersebut merupakan suhu yang kritis untuk penyimpanan pangan, maka pangan tidak boleh disimpan terlalu lama pada kisaran suhu tersebut. Pangan harus disimpan pada suhu di bawah $4^{\circ}C$ atau di atas $66^{\circ}C$. Pada suhu di bawah $4^{\circ}C$, mikroba tidak akan mati tetapi kebanyakan mikroba akan terhambat pertumbuhannya, kecuali mikroba yang tergolong psikrofil. Pada suhu di atas $66^{\circ}C$, kebanyakan mikroba juga terhambat pertumbuhannya meskipun beberapa bakteri yang tergolong termofil mungkin tidak mati.

f. Oksigen

Mikroba mempunyai kebutuhan oksigen yang berbeda-beda untuk pertumbuhannya. Berdasarkan kebutuhannya akan oksigen, mikroba dibedakan atas 4 kelompok sebagai berikut:

1. Aerob, yaitu mikroba yang membutuhkan oksigen untuk pertumbuhannya.
2. Anaerob, yaitu mikroba yang tumbuh tanpa membutuhkan oksigen.
3. Anaerob fakultatif, yaitu mikroba yang dapat tumbuh dengan atau tanpa adanya oksigen.
4. Mikroaerofil, yaitu mikroba yang membutuhkan oksigen pada konsentrasi yang lebih rendah daripada konsentrasi oksigen yang normal di udara.

Mikroba perusak pangan sebagian besar tergolong aerob, yaitu membutuhkan oksigen untuk pertumbuhannya, kecuali bakteri yang dapat tumbuh pada saluran pencernaan manusia yang tergolong anaerob fakultatif, dan beberapa bakteri yang tergolong anaerob yang sering menyebabkan kerusakan makanan kaleng.

Karena kebanyakan mikroba perusak tergolong aerob maka dengan pengemasan pangan secara vakum, yaitu pengemasan dengan menghilangkan udara dari dalam kemasan, sebagian besar mikroba perusak tidak dapat tumbuh.

Kerusakan pada pangan yang dikemas secara vakum terutama disebabkan oleh mikroba yang tergolong anaerob atau anaerob fakultatif. Kebanyakan bakteri patogen yang dapat hidup dalam saluran pencernaan bersifat anaerob fakultatif, misalnya *Salmonella* dan *Shigella*. Oleh karena itu pengemasan vakum tidak menjamin pangan bebas dari bakteri patogen. Selain itu salah satu bakteri patogen pembentuk racun yang berbahaya, yaitu *Clostridium botulinum*, bersifat anaerob dan sering ditemukan tumbuh pada makanan yang dikemas secara vakum terutama makanan kaleng.

g. Kelembaban

Pangan yang disimpan di dalam ruangan yang lembab (RH tinggi) akan mudah menyerap air sehingga nilai aktivitas air (a_w) meningkat. Kenaikan a_w akan mengakibatkan mikroba mudah tumbuh dan menyebabkan kerusakan pangan.

Sebaliknya pangan yang disimpan di dalam ruangan yang mempunyai a_w rendah akan kehilangan air sehingga menjadi kering pada permukaannya, oleh karena itu salah satu cara penyimpanan yang baik, terutama untuk produk-produk kering (a_w rendah), adalah dengan menyimpan di dalam ruangan yang kering (RH rendah) atau membungkusnya di dalam kemasan yang kedap uap air.

a) Tanda-Tanda Kerusakan Mikrobiologi Pada Pangan

Kerusakan mikrobiologi pada pangan dipengaruhi oleh berbagai faktor, yaitu:

- (1) Tingkat pencemaran mikroba pada pangan, yaitu semakin tinggi tingkat pencemaran mikroba maka pangan akan semakin mudah rusak.
- (2) Kecepatan pertumbuhan mikroba yang dipengaruhi oleh faktor-faktor yang telah dijelaskan di atas, yaitu a_w , pH, kandungan gizi, senyawa antimikroba, suhu, oksigen, dan kelembaban.
- (3) Proses pengolahan yang telah diterapkan pada pangan, misalnya pencucian, pemanasan, pendinginan, pengeringan, dan lain-lain.

Berdasarkan faktor-faktor tersebut di atas, maka pangan secara umum dapat dibedakan atas tiga kelompok berdasarkan mudah tidaknya mengalami kerusakan, yaitu:

- (1) **Pangan yang mudah rusak**, terutama pangan yang berasal dari hewan seperti daging sapi, daging ayam, ikan, susu, dan telur.
- (2) **Pangan yang agak mudah rusak** seperti sayuran dan buah-buahan, roti, dan kue-kue.
- (3) **Pangan yang awet**, terutama pangan yang telah dikeringkan seperti biji-bijian dan kacang-kacangan kering, gula, dan lain-lain.

Pangan yang mengalami kerusakan akan mengalami perubahan-perubahan seperti perubahan warna, bau, rasa, tekstur, kekentalan, dan lain-lain. Perubahan-perubahan tersebut mungkin disebabkan oleh benturan fisik, reaksi kimia, atau aktivitas organisme seperti tikus, parasit, serangga, mikroba, dan lain-lain. Berikut ini dijelaskan tanda-tanda kerusakan, terutama kerusakan mikrobiologi, yang sering terjadi pada pangan.

b) Sayuran, Buah-Buahan dan Produknya

Kerusakan sayuran dan buah-buahan sering terjadi akibat benturan fisik, kehilangan air sehingga layu, serangan serangga, dan serangan mikroba. Sayur-sayuran yang mudah rusak misalnya adalah kubis, tomat, wortel, dan lain-lain.

Tanda-tanda kerusakan mikrobiologi pada sayuran dan buah-buahan antara lain adalah:

- a. Busuk air pada sayuran yang disebabkan oleh pertumbuhan beberapa bakteri, ditandai dengan tekstur yang lunak (berair).
- b. Perubahan warna yang disebabkan oleh pertumbuhan kapang yang membentuk spora berwarna hitam, hijau, abu-abu, biru, merah jambu, dan lain-lain.
- c. Bau alkohol, rasa asam, disebabkan oleh pertumbuhan jamur atau bakteri asam laktat, misalnya pada sari buah.

c) Daging dan Produk Daging

Daging mudah sekali mengalami kerusakan mikrobiologi karena kandungan gizi dan kadar airnya yang tinggi, serta banyak mengandung vitamin dan mineral. Kerusakan pada daging ditandai dengan perubahan bau dan timbulnya lendir. Biasanya kerusakan ini terjadi jika jumlah mikroba menjadi jutaan atau ratusan juta ($10^6 - 10^8$) sel atau lebih per 1 cm^2 luas permukaan daging.

Kerusakan mikrobiologi pada daging terutama disebabkan oleh pertumbuhan bakteri pembusuk dengan tanda-tanda sebagai berikut:

- a. Pembentukan lendir
- b. Perubahan warna
- c. Perubahan bau menjadi busuk karena pemecahan protein dan terbentuknya senyawa-senyawa berbau busuk seperti amonia, H_2S , dan senyawa lain-lain.
- d. Perubahan rasa menjadi asam karena pertumbuhan bakteri pembentuk asam.
- e. Ketengikan yang disebabkan pemecahan atau oksidasi lemak daging.

Pada daging yang telah dikeringkan sehingga nilai a_w -nya rendah, misalnya daging asap atau dendeng, kerusakan terutama disebabkan oleh pertumbuhan kapang pada permukaan. Pada daging yang dikalengkan, kerusakan dapat disebabkan oleh bakteri pembentuk spora yang kadang-kadang membentuk gas sehingga kaleng menjadi kembung.

d) Ikan dan Produk Ikan

Kerusakan pada ikan dan produk-produk ikan terutama disebabkan oleh pertumbuhan bakteri pembusuk. Tanda-tanda kerusakan yang disebabkan oleh pertumbuhan bakteri pada ikan yang belum diolah adalah:

- a. Pembentukan lendir pada permukaan ikan.
- b. Bau busuk karena terbentuknya amonia, H₂S dan senyawa-senyawa berbau busuk lainnya. Perubahan bau busuk (anyir) ini lebih cepat terjadi pada ikan laut dibandingkan dengan ikan air tawar.
- c. Perubahan warna, yaitu warna kulit dan daging ikan menjadi kusam atau pucat.
- d. Perubahan tekstur, yaitu daging ikan akan berkurang kekenyalannya.
- e. Ketengikan karena terjadi pemecahan dan oksidasi lemak ikan.

Pada ikan asin yang telah diolah dengan pengeringan dan penggaraman sehingga a_w ikan menjadi rendah, kerusakan disebabkan oleh pertumbuhan kapang. Pada ikan asin dan ikan peda yang mengandung garam sangat tinggi (sekitar 20%), kerusakan dapat disebabkan oleh bakteri yang tahan garam yang disebut bakteri halofilik.

e) Susu dan Produk Susu

Susu merupakan salah bahan pangan yang sangat mudah rusak, karena merupakan media yang baik untuk pertumbuhan bakteri.

Tanda-tanda kerusakan mikrobiologi pada susu adalah sebagai berikut:

- a. Perubahan rasa menjadi asam, disebabkan oleh pertumbuhan bakteri pembentuk asam, terutama bakteri asam laktat dan bakteri koli.
- b. Penggumpalan susu, disebabkan oleh pemecahan protein susu oleh bakteri pemecah protein. Pemecahan protein mungkin disertai oleh terbentuknya asam atau tanpa asam.
- c. Pembentukan lendir, disebabkan oleh pertumbuhan bakteri pembentuk lendir.
- d. Pembentukan gas, disebabkan oleh pertumbuhan dua kelompok mikroba, yaitu bakteri yang membentuk gas H₂ (Hidrogen) dan CO₂ (karbon dioksida) seperti bakteri koli dan bakteri pembentuk spora, dan bakteri yang hanya membentuk CO₂ seperti bakteri asam laktat tertentu dan kamir.
- e. Ketengikan, disebabkan pemecahan lemak oleh bakteri tertentu.
- f. Bau busuk, disebabkan oleh pertumbuhan bakteri pemecah protein menjadi senyawa-senyawa berbau busuk.

f) Telur dan Produk Telur

Telur meskipun masih utuh dapat mengalami kerusakan, baik kerusakan fisik maupun kerusakan yang disebabkan oleh pertumbuhan mikroba. Mikroba dari air, udara maupun kotoran ayam dapat masuk ke dalam telur melalui pori-pori yang terdapat pada kulit telur. Telur yang telah dipecah akan mengalami kontak langsung dengan lingkungan, sehingga lebih mudah rusak dibandingkan dengan telur yang masih utuh.

Tanda-tanda kerusakan yang sering terjadi pada telur adalah sebagai berikut:

- a. Perubahan fisik, yaitu penurunan berat, pembesaran kantung udara di dalam telur, pengenceran putih dan kuning telur.
- b. Timbulnya bau busuk karena pertumbuhan bakteri pembusuk.

- c. Timbulnya bintik-bintik berwarna karena pertumbuhan bakteri pembentuk warna, yaitu bintik-bintik hijau, hitam, dan merah.
- d. Bulukan, disebabkan oleh pertumbuhan kapang perusak telur.

Pencucian telur dengan air tidak menjamin telur menjadi lebih awet, karena jika air pencuci yang digunakan tidak bersih dan tercemar oleh bakteri, maka akan mempercepat terjadinya kebusukan pada telur. Oleh karena itu dianjurkan untuk mencuci telur yang tercemar oleh kotoran ayam menggunakan air bersih yang hangat.

g) Biji-Bijian dan Umbi-Umbian

Kandungan utama pada biji-bijian (sereal dan kacang-kacangan) serta umbi-umbian adalah karbohidrat, oleh karena itu kerusakan pada biji-bijian dan umbi-umbian sering disebabkan oleh pertumbuhan kapang yaitu bulukan. Biji-bijian dan umbi-umbian umumnya diawetkan dengan cara pengeringan, tetapi jika proses pengeringannya kurang baik sehingga a_w bahan kurang rendah, maka sering tumbuh berbagai kapang perusak pangan.

h) Makanan Kaleng

Kerusakan makanan kaleng dapat dibedakan atas kerusakan fisik, kimia dan mikrobiologi. Kerusakan fisik pada umumnya tidak membahayakan konsumen, misalnya terjadinya penyok-penyok karena benturan yang keras. Kerusakan kimia dapat berupa kerusakan zat-zat gizi, atau penggunaan jenis wadah kaleng yang tidak sesuai untuk jenis makanan tertentu sehingga terjadi reaksi kimia antara kaleng dengan makanan didalamnya. Beberapa kerusakan kimia yang sering terjadi pada makanan kaleng misalnya kaleng menjadi kembung karena terbentuknya gas hidrogen, terbentuknya warna hitam, pemudaran warna, atau terjadi pengaratkan kaleng.

Kerusakan mikrobiologi makanan kaleng dapat dibedakan atas dua kelompok, yaitu:

- 2. Tidak terbentuk gas sehingga kaleng tetap terlihat normal yaitu tidak kembung. Beberapa contoh kerusakan semacam ini adalah:
 - a. Busuk asam, yang disebabkan oleh pembentukan asam oleh beberapa bakteri-pembentuk spora yang tergolong *Bacillus*.
 - b. Busuk sulfida, yang disebabkan oleh pertumbuhan bakteri pembentuk spora yang memecah protein dan menghasilkan hidrogen sulfida (H_2S) sehingga makanan kaleng menjadi busuk dan berwarna hitam karena reaksi antara sulfida dengan besi.
- 3. Pembentukan gas, terutama hidrogen (H_2) dan karbon dioksida (CO_2) sehingga kaleng menjadi kembung, yaitu disebabkan oleh pertumbuhan berbagai spesies bakteri pembentuk spora yang bersifat anaerobik yang tergolong *Clostridium*, termasuk *C. botulinum* yang memproduksi racun yang sangat mematikan.

Penampakan kaleng yang kembung dapat dibedakan atas beberapa jenis sebagai berikut:

- a. Flipper, yaitu kaleng terlihat nonnal, tetapi bila salah satu tutupnya ditekan dengan jari, tutup lainnya akan mengembang.
- b. Kembung sebelah atau springer, yaitu salah satu tutup kaleng terlihat normal, sedangkan tutup lainnya kembung. Tetapi jika bagian yang kembung ditekan akan masuk ke dalam, sedangkan tutup lainnya yang tadinya normal akan menjadi kembung.

- c. Kembang lunak, yaitu kedua tutup kaleng kembang tetapi tidak keras dan masih dapat ditekan dengan ibu jari.
- d. Kembang keras, yaitu kedua tutup kaleng kembang dan keras sehingga tidak dapat ditekan dengan ibu jari. Pada kerusakan yang sudah lanjut dimana gas yang terbentuk sudah sangat banyak, kaleng dapat meledak karena sambungan kaleng tidak dapat menahan tekanan gas dari dalam.

6. MIKROBIOLOGI LINGKUNGAN

Biodegradasi dan Bioremediasi

Aktivitas metabolik mikroorganisme dapat dimanfaatkan di dalam lingkungan alam yang kompleks seperti di dalam air, tanah, atau kompos dengan kandungan organik tinggi dimana kondisi fisik dan nutrisi untuk pertumbuhan mikroba tidak bisa dikontrol secara teratur.

a) Biodegradasi

Biodegradasi adalah pemecahan cemaran organik oleh aktivitas mikroba yang melibatkan serangkaian reaksi enzimatik. Umumnya terjadi karena senyawa tersebut dimanfaatkan sebagai sumber makanan (substrat). Biodegradasi yang lengkap disebut juga sebagai mineralisasi, dengan produk akhirnya berupa karbondioksida dan air. Proses ini dipakai dalam pengolahan limbah untuk menjadi CO₂ dan air. Ko-metabolisma (*co-metabolism*) yaitu kemampuan mikroba dalam mengoksidasi atau metabolisasi suatu senyawa tetapi energi yang dihasilkan tidak dapat digunakan sebagai sumber energi untuk pertumbuhan. Terjadi jika mikroba secara kebetulan menghasilkan suatu enzim yang mampu mendegradasi senyawa tertentu, sehingga dikatakan enzim tersebut tidak spesifik.

Penambahan N dan P pada lingkungan yang tercemar hidrokarbon pada rasio C:N:P = 100:10:1. Hal ini merupakan nilai N P ratio yang digunakan mikroorganisme untuk melakukan metabolisme. Apabila kandungan N yang ada terdapat pada sumber lain maka ratio N P mungkin saja tidak sama.

Degradasi pada komponen yang kompleks membutuhkan beberapa tahapan yang berbeda, berkaitan dengan jenis mikroba. Biodegradasi dapat dipakai untuk menjelaskan tiga jenis utama pada perubahan molekul, yaitu : 1) perubahan minor di dalam sebuah senyawa organik seperti substitusi pada golongan hidrosil pada kelompok klorin, 2) fragmentasi pada senyawa organik kompleks menjadi fragmen organik untuk dapat disusun kembali menjadi molekul semula, 3) degradasi lengkap senyawa organik pada mineral.

Biodegradabilitas (penguraian secara biologik/mikrobiologik) suatu senyawa bergantung pada sifat dan susunan bahan atau senyawa yang diurai, umumnya senyawa organik mempunyai sifat yang tinggi (cepat) sedangkan senyawa anorganik mempunyai sifat yang rendah (lambat atau sangat lambat) tetapi dalam kenyataannya khususnya di lingkungan alami, biodegradabilitas ditentukan oleh beberapa faktor, baik faktor biotik (bentuk dan sifat organism pengurai) dan faktor abiotik (bentuk, kadar air, suhu, sumber energi, sumber nutrisi, pH bahan yang akan diurai).

b) Bioremediasi

Bioremediasi berasal dari dua kata yaitu bio dan remediasi yang dapat diartikan sebagai proses dalam menyelesaikan masalah. Bioremediasi merupakan pengembangan

dari bidang bioteknologi lingkungan dengan memanfaatkan proses biologi dalam mengendalikan pencemaran. Bioremediasi mempunyai potensi untuk menjadi salah satu teknologi lingkungan yang bersih, alami, dan paling murah untuk mengantisipasi masalah-masalah lingkungan. Sehingga dapat disimpulkan, bioremediasi adalah salah satu teknologi untuk mengatasi masalah lingkungan dengan memanfaatkan bantuan mikroorganisme. Mikroorganisme yang dimaksud adalah khamir, fungi, dan bakteri yang berfungsi sebagai agen bioremediator.

Sejumlah senyawa kimia berbahaya (kontaminan pencemaran) dan kelompok bahan buangan sudah diperbaiki melalui bioremediasi. Bioremediasi merupakan proses perbaikan bahan buangan atau limbah dengan melibatkan mikroorganisme. Terdapatnya senyawa berbahaya dalam lingkungan karena , kondisi lingkungan tersebut tidak memungkinkan aktivitas mikroba untuk melakukan degradasi secara biokimia.

Teknik pertama yang digunakan adalah mengevaluasi, menentukan batas kondisi lingkungan pada daerah yang tercemar bahan tertentu. Rancangan akhir harus menyediakan control untuk memanipulasi keadaan lingkungan tersebut dalam rangka meningkatkan biodegradasi senyawa target. Senyawa target merupakan senyawa kimia berbahaya yang akan diremediasi. Limbah domestic (umumnya banyak mengandung bahan organik) dan limbah non domestic (umumnya banyak mengandung bahan anorganik) memiliki kandungan senyawa yang berbeda serta perbedaan biodegradabilitas.

Terdapat sedikit perbedaan antara rancangan prinsip proses biologic/ biodegradasi air limbah dengan bioremediasi senyawa kimia berbahaya. Proses biologic merupakan proses katalis senyawa kimia oleh mikroorganisme yang terjadi secara alami. Pada bioremediasi menggunakan teknik kimia dan teknik lingkungan. Bioremediasi lebih rumit karena menggunakan katalis / enzim yang disuplai oleh mikroorganisme yang mengkatalisis penghancuran senyawa berbahaya spesifik (senyawa target).

Keberhasilan proses bioremediasi dikontrol oleh sumber energi, sistem donor-akseptor electron, dan nutrient. Pelaksanaan bioremediasi membutuhkan pemahaman mengenai hubungan timbal balik dari fungsi-fungsi mikroorganisme tersebut. Rancangan suatu proses bioremediasi melibatkan optimalisasi dan pengendalian bagian tertentu dari siklus kimia.

Proses pengolahan limbah cair oleh mikroba dalam mendegradasi senyawa kimia yang berbahaya di lingkungan sangat penting. Dalam proses degradasinya, mikroba menggunakan senyawa kimia tersebut untuk pertumbuhan dan reproduksinya melalui berbagai proses oksidasi. Misalnya mengubah bahan kimia menjadi air dan gas yang tidak berbahaya misalnya CO₂.

Saat terjadinya bioremediasi, enzim-enzim yang diproduksi oleh mikroba memodifikasi senyawa kimia berbahaya dengan mengubah struktur kimianya biasa disebut biotransformasi. Pada banyak kasus, biotransformasi berujung pada biodegradasi, di mana senyawa kimia terdegradasi, strukturnya tidak kompleks dan akhirnya menjadi metabolit yang tidak berbahaya dan tidak beracun.

Proses Bioremediasi

Mikroba dalam mengolah senyawa kimia berbahaya dapat berlangsung apabila adanya mikroba yang sesuai dan tersedia kondisi lingkungan yang ideal tempat tumbuh

mikroba seperti suhu, pH, nutrient, dan jumlah oksigen. Aplikasi bioremediasi di Indonesia mengacu pada keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 128 Tahun 2003 mengatur tentang tatacara dan persyaratan teknis pengolahan limbah dan tanah terkontaminasi oleh minyak bumi secara biologis. Bioremediasi dapat dilakukan dengan menggunakan mikroba lokal. Pada umumnya, di daerah yang tercemar jumlah mikroba yang ada tidak mencukupi untuk terjadinya bioproses secara alamiah.

Teknologi bioremediasi dalam menstimulasi pertumbuhan mikroba dilakukan dengan dua cara yaitu

1. Biostimulasi adalah memperbanyak dan mempercepat pertumbuhan mikroba yang sudah ada di daerah tercemar dengan cara memberikan lingkungan pertumbuhan yang diperlukan, yaitu penambahan nutrien dan oksigen. Jika jumlah mikroba yang ada dalam jumlah sedikit, maka harus ditambahkan mikroba dalam konsentrasi yang tinggi sehingga bioproses dapat terjadi. Mikroba yang ditambahkan adalah mikroba yang sebelumnya diisolasi dari lahan tercemar kemudian setelah melalui proses penyesuaian di laboratorium di perbanyak dan dikembalikan ke tempat asalnya untuk memulai bioproses. Namun sebaliknya, jika kondisi yang dibutuhkan tidak terpenuhi, mikroba akan tumbuh dengan lambat atau mati. Secara umum kondisi yang diperlukan ini tidak dapat ditemukan di area yang tercemar.
2. Bioaugmentasi merupakan penambahan produk mikroba komersial ke dalam limbah cair untuk meningkatkan efisiensi dalam pengolahan limbah secara biologi. Hambatan mekanisme ini yaitu sulit untuk mengontrol kondisi situs yang tercemar agar mikroba dapat berkembang dengan optimal. Selain itu mikroba perlu beradaptasi dengan lingkungan tersebut. Dalam beberapa hal, teknik bioaugmentasi juga diikuti dengan penambahan nutrien tertentu.
3. Bioremediasi intrinsik terjadi secara alami di dalam air atau tanah yang tercemar.

Keuntungan Bioremediasi

1. Bioremediasi sangat aman digunakan karena menggunakan mikroba yang secara alamiah sudah ada di lingkungan (tanah).
2. Bioremediasi tidak menggunakan/menambahkan bahan kimia berbahaya.
3. Tidak melakukan proses pengangkatan polutan.
4. Teknik pengolahannya mudah diterapkan dan murah biaya.

Waktu yang digunakan untuk menyelesaikan pengolahan tergantung pada faktor jenis dan jumlah senyawa kimia yang berbahaya yang akan diolah, ukuran dan kedalaman area yang tercemar, jenis tanah dan kondisi setempat dan teknik yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cotty, Peter J. Ramon Jaime Gracia. 2007. *Influences of climate on aflatoxin producing fungi and aflatoxin contamination. USA*
- Hamdiyati, Yanti. Tanpa tahun. *Mikrobiologi Lingkungan (Mikrobiologi Tanah dan Mikrobiologi Air)*.
- Jawetz. 2001. *Mikrobiologi Kedokteran*. Salemba Medika. Jakarta
- Kusnadi. Peristiwa. Ammi Syulasmis. Widi Purwianingsih. Diana Rochintaniawati. 2003. *Common Text Book (Edisi Revisi) Mikrobiologi*. JICA: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Palczar, Michael J. 2008. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Universitas Indonesia: Jakarta
- Pratiwi T.S. 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Erlangga: Jakarta
- Schlegel, Hans. 1994. *Mikrobiologi Umum Edisi Keenam*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Waluyo, Lud. 2005. *Mikrobiologi Umum*. Universitas Muhammadiyah Malang Press. Malang.
- Willey, Joanne M., Linda M. Sherwood, Christopher J. Woolverton. 2008. *Microbiology*. 7th ed. New York. McGraw Hill

Tentang Penulis

Endah Rita Sulistya Dewi lahir di Salatiga, 23 Agustus 1970. Ia mendapat gelar sarjana Biologi Lingkungan dari Departemen Biologi pada tahun 1993 dan gelar master bidang Ilmu Ternak di Universitas Diponegoro Semarang. Doktor Ilmu Lingkungan UPGRI ini sekarang aktif sebagai dosen diberbagai bidang ilmu yang terkait dengan mikrobiologi, bioteknologi, dan Ilmu Lingkungan di Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas PGRI Semarang. Ia aktif melakukan berbagai penelitian terkait pemanfaatan limbah cair non dairy creamer sebagai media pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* dan fungsi remediasi. **Selain itu juga hasil penelitiannya juga dimuat dalam jurnal-jurnal ilmiah, diantaranya** Jurnal International dan Jurnal National.



Atip Nurwahyunani lahir di Blora, 15 Mei 1983. Ia mendapat gelar sarjana sains dari Jurusan Biologi pada tahun 2006, gelar sarjana pendidikan Biologi tahun 2008, dan gelar master bidang pendidikan IPA konsentrasi Biologi 2010 di Universitas Negeri Semarang. Saat ini ia aktif sebagai dosen diberbagai bidang ilmu yang terkait dengan Pembelajaran Biologi, mikrobiologi, dan Perikanan, di Fakultas Program Studi Pendidikan Biologi Universitas PGRI Semarang. Ia aktif melakukan berbagai penelitian dibidang biologi yang dipublikasikan dalam jurnal Nasional dan international