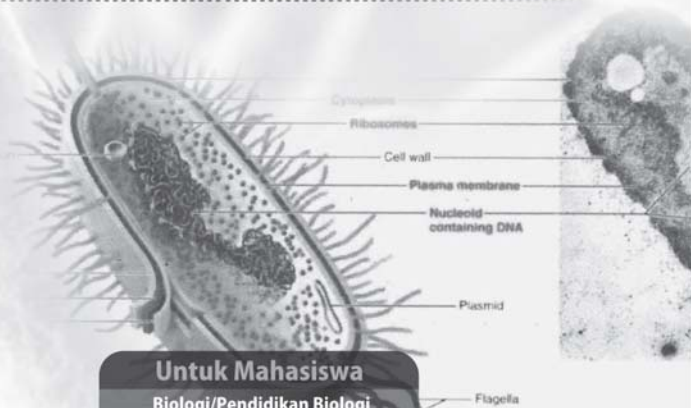


Dr. Didimus Tanah Boleng, M.Kes

Bakteriologi

KONSEP-KONSEP DASAR



Untuk Mahasiswa

Biologi/Pendidikan Biologi

Kedokteran Umum

Kedokteran Hewan

Kedokteran Gigi

Kesehatan Masyarakat

Farmasi

Keperawatan dan Kebidanan

Teknologi Pertanian



UMM PRESS

BAKTERIOLOGI

Konsep-Konsep Dasar

xiv, 137 hlm, Tab, 15.5 cm

Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Hak Cipta © Didimus Tanah Boleng, 2015

Hak Terbit pada UMM Press

Penerbitan Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Raya Tlogomas No. 246 Malang 65144
Telepon (0341) 464318 Psw. 140, (0341) 7059981
Fax. (0341) 460435
E-mail: ummpress@gmail.com
<http://ummpress.umm.ac.id>

Cetakan Pertama Februari 2015

ISBN : 978-979-796-329-3

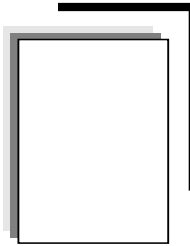
Setting Layout: Septian R.

Cover: Ridlo S.

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun, termasuk fotokopi, tanpa izin tertulis dari penerbit. Pengutipan harap menyebutkan sumbernya.

Sanksi Pelanggaran pasal 72: Undang-undang No. 19 Tahun 2002, Tentang Hak Cipta:

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (Satu Juta Rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (Lima Miliar Rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami haturkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, karena atas bantuan-Nyalah, maka seluruh proses penyusunan buku yang berjudul **BAKTERIOLOGI Konsep-Konsep Dasar**, ini dapat terselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai upaya memenuhi kebutuhan berbagai kalangan, terutama untuk mahasiswa-mahasiswa yang menempuh mata kuliah: Bakteriologi, Bakteriologi Kedokteran, Mikrobiologi, Mikrobiologi Pangan, Mikrobiologi Kedokteran, Mikrobiologi dan Parasitologi, Zoonosis, pada berbagai program studi di perguruan tinggi.

Buku ini memuat materi-materi yang disusun untuk memenuhi kebutuhan mahasiswa sesuai dengan silabus mata kuliah seperti yang disebutkan di atas. Namun demikian, jika materi-materi-materi yang tersaji dalam buku ini, masih belum memenuhi kebutuhan mahasiswa sesuai isi silabus pada mata kuliah-mata kuliahnya, maka disarankan untuk mencari materi-materi tersebut pada buku-buku atau sumber-sumber lain. Materi-materi yang dibahas di dalam buku ini adalah: Sejarah Perkembangan Mikrobiologi, Sel Prokariotik dan Eukariotik, Mikroskop dan Penggunaannya, Morfologi dan Struktur Halus (*Ultrastructure*) Sel Bakteri, Metabolisme Bakteri, Reproduksi dan Pertumbuhan Sel Bakteri, Sterilisasi dan Disinfeksi, Kultivasi Bakteri, Genetika Bakteri, Klasifikasi dan Identifikasi Bakteri.

Dalam proses penyusunan buku ini, penulis menerima banyak bantuan baik materil maupun non materil dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya berbagai

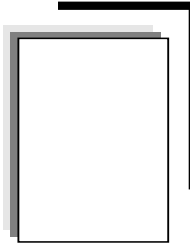
pihak yang telah membantu penyusunan buku ini. Semoga seluruh amal baik Bapak/Ibu/Saudara/Saudari sekalian, mendapat berkat berlimpah dari Tuhan Yang Maha Pemurah.

Isi buku ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif dari para pembaca, untuk perbaikan isi buku ini dalam tulisan-tulisan berikutnya.

Penyusun berharap, isi buku yang sederhana ini dapat memenuhi kebutuhan berbagai pihak, terutama para mahasiswa yang memerlukannya. Semoga...

Samarinda, Oktober 2014

Penyusun



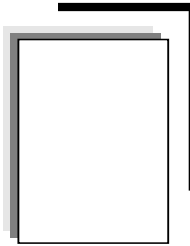
DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
A. Ruang Lingkup Bakteriologi	1
B. Peranan Bakteriologi	3
C. Ringkasan.....	5
D. Pertanyaan-Pertanyaan	6
BAB 2 SEJARAH PERKEMBANGAN MIKROBIOLOGI	7
A. Teori Abiogenesis	8
B. Teori Biogenesis	8
C. Ringkasan.....	10
D. Pertanyaan-Pertanyaan	11
BAB 3 SEL PROKARIOTIK DAN SEL EUKARIOTIK.....	13
A. Perbedaan Sel Prokariotik dengan Eukariotik.....	13
B. Sel Mikroorganisme yang Termasuk dalam Prokariotik	15
C. Sel Mikroorganisme yang Termasuk dalam Eukariotik	16

D.	Ringkasan.....	16
E.	Pertanyaan-Pertanyaan	16
BAB 4	MIKROSKOP DAN PENGGUNAANNYA	17
A.	Lensa dan Perbesaran	18
B.	Iluminasi.....	19
C.	Mikroskop Kontras	20
D.	Mikroskop Medan Gelap	21
E.	Mikroskop Ultraviolet	21
F.	Mikroskop Fluoresen	22
G.	Mikroskop Elektron	22
H.	Ringkasan.....	24
I.	Pertanyaan-Pertanyaan	25
BAB 5	MORFOLOGI DAN STRUKTUR HALUS (<i>ULTRASTRUCTURE</i>) SEL BAKTERI	27
A.	Morfologi Sel Bakteri.....	27
B.	Struktur Halus (<i>Ultrastructure</i>) Sel bakteri	30
C.	Dinding Sel	33
D.	Protoplas dan Sferoplas	35
E.	Ringkasan.....	41
F.	Pertanyaan-Pertanyaan	42
BAB 6	METABOLISME BAKTERI	43
A.	Katabolisme Karbohidrat.....	43
B.	Produksi Energi Melalui Proses Anaerobik	44
C.	Proses Produksi Energi dalam Respirasi (Katabolisme) Secara Aerobik	46
D.	Anabolisme	49
E.	Ringkasan.....	50
F.	Pertanyaan-Pertanyaan	51

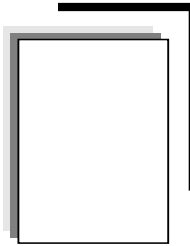
BAB 7	REPRODUKSI DAN PERTUMBUHAN BAKTERI	53
A.	Reproduksi Sel Bakteri	53
B.	Waktu Generasi (<i>Generation Time</i>)	55
C.	Pertumbuhan Sel Bakteri	55
D.	Ringkasan	62
E.	Pertanyaan-Pertanyaan	63
BAB 8	STERILISASI DAN DISINFEKSI	65
A.	Pengertian	66
B.	Cara-cara Sterilisasi	67
C.	Mekanisme Aktivitas Antimikrobia	72
D.	Ringkasan	76
E.	Pertanyaan-Pertanyaan	77
BAB 9	NUTRISI DAN KULTIVASI SEL BAKTERI	79
A.	Nutrisi untuk Pertumbuhan Sel Bakteri	79
B.	Media Pertumbuhan Bakteri	80
C.	Bentuk Media	81
D.	Metode Kultivasi Bakteri	83
E.	Gambaran Koloni Kuman	85
F.	Ringkasan	86
G.	Pertanyaan-Pertanyaan	87
BAB 10	GENETIKA BAKTERI	89
A.	Kromosom	89
B.	Struktur Asam Amino	91
C.	Variasi Genotif dan Fenotif	94
D.	Mutasi	94
E.	Pemindahan Materi Genetik	96
F.	Ringkasan	99
G.	Pertanyaan-Pertanyaan	99

BAB 11	KLASIFIKASI DAN IDENTIFIKASI BAKTERI.....	101
A.	Klasifikasi Bakteri.....	102
B.	Bakteri Anaerobik yang Tidak Membentuk Spora ...	104
C.	Bakteri Pembentuk Spora.....	105
D.	Bakteri Basil dan Koki Gram Negatif	106
E.	Bakteri Basil Gram Negatif, Anaerobik Fakultatif...	107
F.	Bakteri Basil Gram Negatif, Anaerobik	109
G.	Bakteri Basil dan Kokobasil, Gram Negatif	109
H.	Bakteri Koki Gram Positif.....	109
I.	Identifikasi Bakteri	111
J.	Ringkasan.....	113
K.	Pertanyaan-Pertanyaan	114
	DAFTAR RUJUKAN.....	115
	GLOSARIUM	117
	INDEKS BAKTERI.....	129
	INDEKS SUBJEK	133



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Perbedaan ciri sel prokariotik dan sel eukariotik..	14
Tabel 5.1 Perbedaan ciri sel bakteri Gram positif dengan sel bakteri Gram negatif	35



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Sel prokariotik dan sel eukariotik	15
Gambar 4.1	Mikroskop dengan bagian-bagiannya	18
Gambar 4.2	Perbedaan jalannya sinar pada mikroskop	21
Gambar 4.3	Mikroskop elektron transmisi (MET) <i>Escherichia coli</i> (X 108.000)	23
Gambar 5.1	Bentuk dasar sel bakteri.....	29
Gambar 5.2	Struktur halus sel bakteri	30
Gambar 5.3	Macam-macam penataan-penataan flagelia pada sel bakteri	31
Gambar 5.4	Sel bakteri dengan struktur halus pili dan fimbriae.....	32
Gambar 5.5	Perbandingan struktur dinding sel bakteri Gram positif dengan sel bakteri Gram negatif	34
Gambar 5.6	Posisi spora di dalam sel beberapa spesies <i>Bacillus</i> , dan <i>Clostridium</i>	39
Gambar 5.7	Perubahan-perubahan struktural selama sporulasi bakteri	41
Gambar 6.1	Langkah reaksi pada jalur reaksi glikolisis	45
Gambar 6.2	Rantai angkutan elektron	47
Gambar 6.3	Siklus asam trikarboksilat	48

Gambar 7.1	Pembelahan biner melintang pada sel bakteri .	54
Gambar 7.2	Kurva pertumbuhan sel bakteri	56
Gambar 7.3	Mekanisme-mekanisme pengangkutan nutrisi ke dalam sel	60
Gambar 8.1	Penangas vaksin	69
Gambar 8.2	Otoklaf	70
Gambar 9.1	Cara menyebarkan bakteri dengan metode goresan	84
Gambar 9.2	Penonjolan koloni	86
Gambar 10.1	Struktur dari elemen dasar DNA dan RNA	92
Gambar 10.2	Tipe mutasi pergeseran kerangka	95

BAB 1

PENDAHULUAN

*B*akteriologi adalah ilmu yang mempelajari tentang perikehidupan bakteri. Bakteri merupakan makhluk hidup mikroskopis bersel tunggal (*uniseluler*). Bakteriologi merupakan bagian dari mikrobiologi. Mikrobiologi merupakan ilmu yang mempelajari perikehidupan makhluk-makhluk hidup yang berukuran mikroskopis (mikroorganisme). Mikrobiologi mengkaji selain bakteri, juga mengkaji tentang virus, fungi, protozoa, dan alga.

Bakteri merupakan organisme yang memiliki dinding sel. Oleh karena itu, jika dikaji dari struktur selnya (kandungan dinding sel), maka bakteri dikelompokkan ke dalam tumbuhan. Jika dikaji dari kemampuan beberapa sel bakteri yang bergerak pindah tempat, maka bakteri dikelompokkan ke dalam hewan. Namun demikian, dalam klasifikasi makhluk hidup dengan sistem 5 (lima) dunia menurut Whittaker pada tahun 1969, bakteri dikelompokkan ke dalam dunia monera (Pelczar., dkk., 1988).

A. Ruang Lingkup Bakteriologi

Bakteriologi mencakup tentang sel bakteri, pengendalian bakteri, peranan bakteri. Pembahasan berbagai aspek dalam ruang lingkup bakteriologi, diarahkan pada memahami sel bakteri yang mencakup bentuk dan struktur halus (*ultrastructure*) sel bakteri, nutrisi dan kultivasi bakteri, identifikasi dan klasifikasi, reproduksi dan pertumbuhan sel bakteri, genetika bakteri.

Sel bakteri meliputi struktur halus (*ultrastructure*) sel bakteri. Struktur halus sel bakteri mencakup struktur yang ada pada bagian luar maupun dalam sel bakteri, seperti: flagellum, pilus, fimbriae, kapsul, dinding sel, membran sel, mesosom, ribosom, nukleoid, dan spora.

Bakteri-bakteri yang tidak menguntungkan atau tidak dikehendaki keberadaannya pada suatu media atau lingkungan tertentu, harus dihambat pertumbuhannya atau dibunuh. Pengendalian bakteri merupakan upaya untuk menghambat pertumbuhan atau membunuh bakteri. Tujuan pengendalian bakteri adalah meniadakan bakteri-bakteri yang patogen (bakteri yang dapat menimbulkan penyakit), atau meniadakan bakteri yang tidak dikehendaki pertumbuhannya pada suatu media pertumbuhan tertentu. Pengendalian bakteri mencakup upaya sterilisasi, disinfeksi, dan penggunaan antibakteri (termasuk antibiotik).

Sel bakteri dapat ditumbuhkan pada suasana seperti suasana alami bakteri tertentu. Proses penanaman sel bakteri di laboratorium, perlu diperhatikan nutrisi dalam media pertumbuhannya, sehingga kebutuhan bakteri akan nutrisi tertentu terpenuhi, dan sel bakteri dapat tumbuh dengan maksimal. Dalam penyiapan media pertumbuhan, nutrisi dan faktor-faktor pertumbuhan lainnya harus diperhatikan dengan baik, sehingga sel bakteri yang dikehendaki keberadaannya, dapat tumbuh dengan baik di dalam media tersebut.

Bakteri-bakteri yang ditumbuhkan di laboratorium, jika semua kebutuhan hidupnya terpenuhi, maka selnya akan mengalami pertumbuhan. Perbanyakkan sel bakteri dapat terjadi, jika proses reproduksi selnya berlangsung dalam suasana yang optimal. Sel bakteri dikatakan tumbuh, jika terjadi peningkatan jumlah selnya. Jadi, pertambahan jumlah sel pada sel bakteri, berarti pertumbuhan sel bakteri telah terjadi. Hal ini juga berarti bahwa jumlah individu sel bakteri tersebut juga bertambah.

Ada cukup banyak jenis bakteri yang ada di alam. Oleh karena itu, diperlukan proses identifikasi untuk selanjutnya dilakukan klasifikasi bakteri. Proses identifikasi dilakukan dengan melakukan serangkaian uji terhadap sel bakteri yang ditumbuhkan di laboratorium. Dengan mengetahui kesamaan dan perbedaan pada berbagai sel bakteri, dapat dilakukan klasifikasi bakteri untuk mengelompokkan bakteri ke dalam kelompok atau kelas-kelas sesuai kesamaan ciri masing-masing sel bakteri.

Proses klasifikasi bakteri, tidak hanya dilakukan dengan melihat morfologi sel bakteri. Informasi genetika bakteri, akan memberikan gambaran yang cukup akurat tentang kesamaan dan perbedaan pada berbagai sel bakteri. Genetika bakteri, memberikan gambaran tentang struktur *Deoxyribonucleic Acid* (DNA), *Ribonucleic Acid* (RNA) bakteri. Selain itu, di dalam genetika bakteri, dikaji juga tentang transfer bahan genetika, dan mutasi. Dengan demikian, tidak hanya informasi morfologi dan fisiologi sel bakteri yang diperlukan untuk memahami karakter sel bakteri tertentu, tetapi aspek genetika sel bakteri juga menjadi rujukan dalam memahami karakter bakteri tersebut.

B. Peranan Bakteriologi

Bakteriologi memiliki peranan yang cukup besar dalam berbagai kehidupan makhluk hidup lain. Dengan mempelajari perikehidupan bakteri, dapat dipergunakan dalam berbagai bidang kehidupan antara lain: kesehatan, makanan, pertanian, lingkungan, bioteknologi. Oleh karena itu, ilmu bakteriologi dasar merupakan pijakan dalam menerapkannya dalam berbagai bidang kehidupan tersebut.

Beberapa bakteri dapat menguntungkan, dan ada juga beberapa bakteri yang merugikan bagi makhluk hidup lain. Oleh karena itu, dalam kehidupan sehari-hari, kita perlu memperhatikan untuk menghindari keberadaan bakteri yang tidak menguntungkan, dan mempertahankan keberadaan bakteri-bakteri yang menguntungkan dalam perikehidupan manusia dan makhluk hidup lain.

Bakteri yang menguntungkan, dapat dipergunakan untuk mensejahterakan kehidupan makhluk hidup lain. Dalam bidang pangan, misalnya bakteri dipergunakan dalam industri makanan (misalnya pembuatan *nata de coco*). Bakteri juga berperan dalam bidang kesehatan, yaitu sebagai pengurai sisa-sisa pencernaan makanan di usus besar manusia, agar feces lebih mudah dikeluarkan ke luar tubuh. Dalam bidang lingkungan, bakteri dapat berperan sebagai pengurai berbagai senyawa organik yang berada di lingkungan, sehingga memperlancar siklus materi dan energi. Ada juga beberapa bakteri yang dapat dipergunakan dalam bioteknologi bakteri, misalnya dalam memproduksi insulin rekombinan pada bakteri.

Selain peranan beberapa bakteri yang menguntungkan, ada beberapa bakteri yang merugikan bagi makhluk hidup lain. Ada beberapa bakteri yang tergolong ke dalam bakteri patogen, yaitu bakteri yang dapat menimbulkan penyakit pada manusia dan hewan. Berbagai macam penyakit infeksi pada manusia disebabkan oleh bakteri, baik bakteri Gram positif maupun bakteri Gram negatif; dan baik bakteri yang berbentuk kokus, basil, maupun spiral. Beberapa bakteri dapat merusak bahan pangan, sehingga masa simpan bahan pangan tersebut menjadi tidak lama.

Bakteriologi dapat dipelajari sebagai ilmu murni (bakteriologi murni). Selain itu, bakteriologi dapat dipelajari sebagai ilmu terapan (bakteriologi kedokteran, bakteriologi pangan, bakteriologi pertanian, bakteriologi industri, bakteriologi lingkungan, dan sebagainya). Kedua kelompok bakteriologi ini, dapat saling mengisi. Bakteriologi murni, dapat berkontribusi dalam pengkajian dan penerapan bakteriologi terapan. Sebaliknya, bakteriologi terapan, dapat berkontribusi dalam upaya penemuan hal-hal baru untuk perkembangan bakteriologi murni.

Aspek-aspek yang dikaji dalam buku ini adalah.

1. Sejarah perkembangan mikrobiologi yang membahas tentang perkembangan penemuan teori abiogenesis dan biogenesis berbasis pengamatan keberadaan mikroorganisme dalam suatu media pertumbuhan.
2. Sel prokariotik dan eukariotik yang membahas ciri-ciri sel prokariotik dan eukariotik, serta kedudukan bakteri dalam sel prokariotik dan eukariotik.
3. Mikroskop, yang membahas tentang mikroskop dan komponen-komponen, manfaat mikroskop dalam pengkajian bakteriologi, dan teknis pengoperasian mikroskop.
4. Morfologi dan struktur halus (*ultrastructure*) sel bakteri.
5. Metabolisme sel bakteri, membahas tentang sumber dan penggunaan energi pada sel bakteri.
6. Reproduksi dan pertumbuhan sel bakteri, yang membahas tentang cara dan proses reproduksi sel bakteri; dan pertumbuhan serta faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan sel bakteri.
7. Sterilisasi dan disinfeksi, membahas tentang proses dan cara-cara sterilisasi; beberapa disinfektan.

8. Nutrisi dan kultivasi sel bakteri, yang membahas tentang cara-cara kultivasi sel bakteri, media-media yang dipergunakan dalam menumbuhkan sel bakteri.
9. Genetika bakteri, yang membahas tentang struktur dan replikasi DNA, RNA, variasi dan perubahan genetik, rekombinasi genetik bakteri.
10. Klasifikasi dan identifikasi bakteri, yang membahas tentang sistem klasifikasi dan proses indentifikasi bakteri.

C. Ringkasan

Bakteriologi adalah ilmu yang mempelajari perikehidupan bakteri. Bakteri merupakan mikroorganisme bersel satu/tunggal (*uniseluler*). Struktur sel bakteri yang antara lain tersusun atas dinding sel, sehingga cirinya menyerupai tumbuhan. Namun demikian, ada beberapa sel bakteri yang dapat bergerak pindah tempat, oleh karena itu bakteri dapat dikelompokkan ke dalam hewan.

Bakteriologi mencakup pemahaman akan struktur halus (*ultrastructure*) sel bakteri, reproduksi sel bakteri, genetika bakteri. Selain itu, bakteriologi juga mencakup nutrisi dan kultivasi sel bakteri, serta identifikasi dan klasifikasi bakteri.

Peranan bakteri, ada yang menguntungkan dan ada yang merugikan. Peranan bakteri yang menguntungkan antara lain dalam bidang industri, kesehatan, lingkungan, dan bioteknologi. Selain itu, ada juga peranan bakteri yang merugikan, antara lain dalam bidang: kesehatan (bakteri patogen), pangan (bakteri perusak bahan makanan).

Aspek-aspek yang dikaji dalam buku adalah: sejarah perkembangan mikrobiologi, sel prokariotik dan eukariotik, mikroskop, struktur halus (*ultrastructure*) sel bakteri, metabolisme sel bakteri, reproduksi dan pertumbuhan sel bakteri, nutrisi dan kultivasi sel bakteri, genetika bakteri, identifikasi dan klasifikasi bakteri.

D. Pertanyaan-pertanyaan

1. Jelaskan, apa yang dikaji dalam bakteriologi?
2. Jelaskan keterkaitan antara bakteriologi dan mikrobiologi!
3. Jelaskan ruang lingkup bakteriologi!
4. Jelaskan peranan bakteriologi dalam bidang makanan, kesehatan, bioteknologi, dan lingkungan!

BAB 2

SEJARAH PERKEMBANGAN MIKROBIOLOGI

*M*ikrobiologi berasal dari kata: mikro yang berarti kecil, bios yang berarti hidup, dan logos berarti ilmu. Dengan demikian, mikrobiologi adalah ilmu yang mengkaji perikehidupan makhluk hidup yang berukuran kecil (mikroorganisme). Telaah mikroorganisme, terdiri atas lima kelompok makhluk hidup yaitu bakteri (bakteriologi), fungi mikroskopis (mikologi), virus (virologi), alga (fikologi), dan protozoa (protozoologi) (Pelczar, dkk., 1988).

Sejarah mikrobiologi dimulai tahun 1674, ketika Antonie Van Leeuwenhoek (1632-1723), dengan menggunakan lensa gelas (mikroskop), ia menemukan adanya kehidupan di dalam air danau. Ia adalah yang pertama kali mengamati mikroorganisme (jasad renik) ini dengan menggunakan berbagai jenis mikroskop buatannya. Menurut Pelczar dkk. (1988) bahwa Leeuwenhoek mengamati makhluk hidup ini dalam suspensi yang dikoreknya dari sela-sela giginya. Menurut Fardiaz (1992) bahwa Leeuwenhoek juga mengamati adanya kehidupan di dalam setetes air danau dengan menggunakan lensa gelas. Benda-benda hidup yang diamatinya, disebut dengan *animalcules*. *Animalculus* diamati dalam berbagai bentuk (bola/kokus, batang/basilus, spiral/spirillum), ukuran, dan warna. Pertanyaan yang muncul adalah, darimanakah asal *animalcules* itu?

A. Teori Abiogenesis

Ada yang menduga bahwa, jasad renik (*animalculus*) itu muncul sebagai akibat pembusukan (*dekomposisi*) jaringan tumbuhan atau hewan yang mati. Mereka mengira bahwa organisme hidup berasal dari bahan mati yang mengalami penghancuran. Konsep ini, yaitu bahwa kehidupan berasal dari bahan mati, dikenal sebagai: generasi spontan (*generatio spontanea*) atau abiogenesis (a = tidak, bios = hidup, genesis = asal).

Pada tahun 1949, John Needham (1713-1781), penganut teori abiogenesis, melakukan percobaan dengan daging yang dimasak, dan mengamatnya bahwa meskipun air rebusan daging tersebut disimpannya rapat-rapat dalam botol tertutup, namun timbulah mikroorganisme. Ia berkesimpulan bahwa mikroorganisme tersebut berasal dari daging tersebut.

Dari teori abiogenesis ini, kemudian muncul berbagai tanggapan dan reaksi yang menentanginya. Teori lain yang muncul adalah teori biogenesis.

B. Teori Biogenesis

Ada beberapa ilmuwan yang tidak sejalan dengan teori abiogenesis di atas. Mereka kemudian melakukan berbagai percobaan untuk membuktikan ketidakbenaran teori abiogenesis.

Francisco Redi (1626-1797) mengadakan percobaan dengan menutup daging dengan kasa halus untuk mencegah hinggapnya lalat yang bertelur di atasnya, dan daging lain dibiarkan terbuka (daging mengadakan kontak dengan udara luar). Hasil pengamatannya adalah bahwa pada daging yang tidak ditutup (terbuka), ditemukan banyak ulat yang berasal dari lalat. Sedangkan daging yang ditutup, tidak ditemukannya adanya ulat.

Lazzaro Spallanzani (1729-1799), mengadakan percobaan dengan membuat suspensi bahan organik di dalam tabung gelas, selanjutnya mendidihkannya. Kemudian suspensi bahan organik tersebut ditutup rapat-rapat. Hasil pengamatannya adalah bahwa pada suspensi yang ditutup, tidak ditemukan adanya mikroorganisme. Tetapi jika gelas dibuka, cairan mengadakan kontak dengan udara luar, terjadi pertumbuhan mikroorganisme.

Teori Spallanzani ini dibantah oleh Needham, yang mengatakan bahwa organisme sangat membutuhkan udara untuk pertumbuhannya. Selanjutnya, Needham mengatakan bahwa karena ke dalam gelas tersebut tidak dimasukkan udara maka tidak mungkin terjadi pertumbuhan mikroorganisme di dalam gelas tersebut.

Pada tahun 1836, Franz Schultze (1815-1873), berusaha menyempurnakan percobaan Redi-Spallanzani. Caranya adalah dengan mengalirkan udara lewat suatu asam atau basa yang keras (pekat) ke dalam labu yang berisi kaldu daging yang dididihkan.

Kemudian Theodor Schwann (1810-1882) pada tahun 1837, mengadakan percobaan dengan melalukan udara melalui tabung yang dipanaskan (membara) ke dalam labu yang berisi daging yang dididihkan.

Dari percobaan tersebut, baik Schultze maupun Schwann, tidak menemukan adanya mikroorganisme dalam kaldu tersebut.

Louis Pasteur (1822-1895) mengadakan percobaan, dengan menggunakan gelas yang berbentuk bulat berisi ekstrak bahan organik. Ujung leher labu dibuat membentuk huruf "U" atau seperti leher angsa. Kemudian labu tersebut dipanaskan. Setelah beberapa waktu dengan dibiarkannya udara keluar masuk melalui ujung leher labu membentuk huruf "U" tersebut, tidak terlihat adanya mikroorganisme. Hal ini disebabkan udara yang mengandung mikroba akan tertahan pada dinding leher labu tersebut, dan tidak sampai ke dalam ekstrak bahan organik tersebut.

Louis Pasteur kemudian menyimpulkan percobaannya dengan pernyataan *omne vivum ex ovo, omne ovum ex vivo* (semua kehidupan berasal dari telur, dan semua telur berasal dari kehidupan sebelumnya). Dengan demikian runtuhlah teori abiogenesis, dan diterimalah teori biogenesis.

John Tyndal, pada tahun 1876, menyempurnakan percobaan Pasteur. Ia mengatakan bahwa pemanasan yang dilakukan Pasteur tidak menjamin sterilisasi, karena ada beberapa mikroorganismenya yang tahan terhadap pemanasan, karena mikroorganismenya tersebut memiliki endospora. Ia kemudian menyebutkan konsep untuk mensterilkan suatu bahan (termasuk kuman berspora). Caranya adalah pemanasan bahan yang mengandung endospora secara tidak sinambung. Dengan cara ini, setelah pemanasan bahan didiamkan, sehingga spora bergerminasi menjadi sel vegetatif,

kemudian dipanaskan lagi untuk membubuh sel vegetatif yang tidak tahan panas tersebut; didiamkan lagi, dipanaskan lagi, dan seterusnya, sehingga endospora terbunuh. Proses ini disebut *Tyndalisasi*.

Robert Koch (1843-1910) menemukan pemakaian medium padat (Agar) untuk mengisolasi suatu jenis jasad renik dari suatu campuran mikrororganisme. Medium padat biasanya digunakan untuk menanam bakteri, yang mana bakteri itu diharapkan dapat tumbuh dan membentuk koloni yang dapat dilihat dengan mata telanjang. Adanya koloni bakteri yang tumbuh pada media Agar, memungkinkan untuk dilakukan perhitungan koloni, identifikasi bakteri, dan proses isolasi dan membuat kultur murni. Joklik, *et al.* (1988) mengatakan bahwa Koch menyimpulkan hasil penelitiannya dalam bentuk teori-teori dan dikenal sebagai *postulat Koch*, yaitu:

1. Jasad renik dapat ditemukan sebagai penyebab gejala penyakit tertentu.
2. Jasad-jasad renik tersebut dapat diisolasi di laboratorium sebagai kultur murni.
3. Kultur murni tersebut dapat menimbulkan penyakit, dengan gejala spesifik, bila diinokulasi pada hewan sehat yang sensitif atau rentan (*susceptible*).
4. Dari hewan yang dibuat sakit tersebut, jasad renik tersebut dapat diisolasi kembali dengan sifat-sifat seperti sifat jasad renik semula.

C. Ringkasan

Mikrobiologi adalah ilmu yang mempelajari makhluk hidup yang berukuran kecil (mikroorganisme). Mikroorganisme mencakup bakteri (bakteriologi), virus (virologi), fungi atau cendawan (mikologi), alga (fikologi), dan protozoa (protozoologi).

Sejarah mikrobiologi dimulai dengan penemuan adanya kehidupan di air sampel (air danau) oleh Antonie Van Leeuwenhoek dengan menggunakan mikroskop buatannya. Makhluk hidup yang ditemukan dalam air sampel tersebut, dinamakan *animalcules*.

Teori abiogenesis, beranggapan bahwa makhluk hidup (*animalcules*) berasal dari pembusukan atau dekomposisi jaringan tumbuhan atau hewan yang mati. Teori ini didukung antara lain oleh: John Needham.

Teori biogenesis, membantah pernyataan teori abiogenesis. Teori biogenesis beranggapan bahwa makhluk hidup (*animalcules*) berasal dari makhluk hidup sebelumnya; bukan berasal dari dekomposisi jaringan tumbuhan atau hewan yang mati. Pendukung teori ini adalah: Francisco Redi, Lazzaro Spallansani, Franz Schultze, Theodor Scwann, Louis Pasteur. Louis Pasteur setelah melakukan percobaannya, kemudian ia mengemukakan pernyataannya sebagai berikut: *Omne vivum ex ovo, omne ovum ex vivo* (semua kehidupan berasal dari telur, dan semua telur berasal dari kehidupan sebelumnya). Teori abiogenesis akhirnya runtuh, dan diterimalah teori biogenesis. Teori biogenesis diterima sampai sekarang.

D. Pertanyaan-pertanyaan

1. Jelaskan tentang siapakah Antonie Van Leeuwenhoek terkait dengan sejarah perkembangan mikrobiologi?
2. Jelaskan pemahaman teori abiogenesis!
3. Jelaskan pemahaman teori biogenesis!
4. Jelaskan pemahaman tentang pernyataan Louis Pasteur: *omne vivum ex ovo, omne ovum ex vivo*!
5. Jelaskan *postulat Koch*!

BAB 3

SEL PROKARIOTIK DAN SEL EUKARIOTIK

Makhluk hidup disusun atas sel. Makhluk hidup uniseluler, disusun atas satu sel saja (*uniseluler*). Makhluk hidup bersel banyak disusun atas banyak sel (*multiseluler*). Oleh karena itu, organisme uniseluler tidak dapat membentuk jaringan pada tubuhnya, sedangkan organisme multiseluler, dapat membentuk jaringan pada tubuhnya.

Sel makhluk hidup memiliki inti sel (*nukleus*). Inti sel ada yang belum memiliki membran inti, ada sel yang sudah memiliki membran inti. Sel yang memiliki inti yang belum ada membran intinya, disebut sel prokariotik. Sedangkan sel yang memiliki inti yang sudah ada membran intinya, disebut sel eukariotik.

A. Perbedaan Sel Prokariotik dengan Sel Eukariotik

Sel prokariotik merupakan sel yang tidak memiliki membran inti (*nukleus*), sehingga nukleusnya bercampur atau mengadakan hubungan langsung dengan sitoplasma. Daerah nukleus yang mengandung materi genetik disebut *nukleoid*. Sedangkan sel eukariotik merupakan sel yang sudah memiliki membran inti.

Terkait dengan perbedaan sel prokariotik dan eukariotik, Sapp (2006) menjelaskan bahwa sel eukariotik memiliki inti yang terbungkus membran yang pembelahannya dengan cara mitosis, sitoskeleton, sistem membran internal yang rumit, mitokondria yang melakukan respirasi, dan, dalam kasus tanaman, terdapat kloroplas. Bakteri (*prokariotik*) yang lebih kecil; tidak memiliki

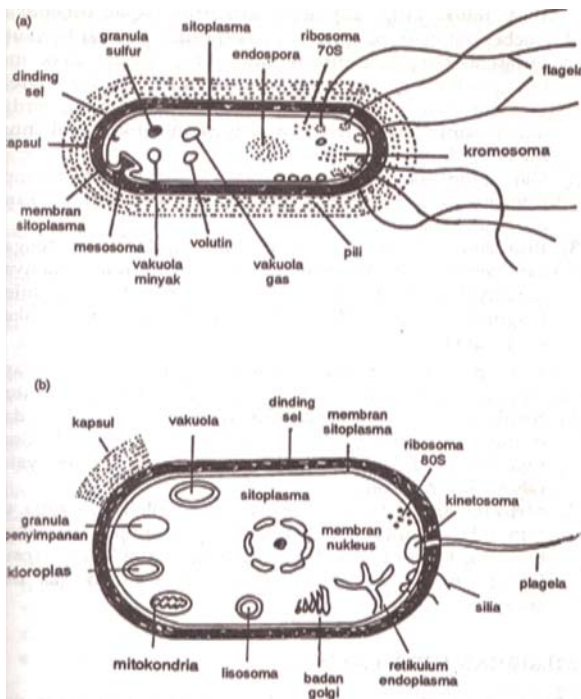
semua struktur ini, dan inti bakteri membelah secara fisi (*amitotik*). Ciri prinsip pada sel prokariotik adalah: (1) ketiadaan membran internal yang memisahkan inti dengan sitoplasma, (2) pembagian inti secara fisi bukan secara mitosis, (3) kehadiran dinding sel mengandung mukopeptide tertentu sebagai penguatan elemennya. Secara lebih rinci perbedaan-perbedaan ciri sel prokariotik dan sel eukariotik, dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1. Perbedaan ciri sel prokariotik dan sel eukariotik

Ciri-ciri	Sel Prokariotik (Bakteri, Cyanobakteri)	Sel Eukariotik (Alga, Cendawan, Protozoa, Tumbuhan, Hewan)
Ukuran sel	0,2 - 5 μm	2 - 100 μm
● Diameter		
Struktur genetik	-	+
● Membran inti yang mengelilingi nukleoplasma		
● Jumlah kromosom	1	1
● Nukleolus (anak inti sel)	-	+
● Protein (histon) terikat pada kromosom	-	+
Struktur sitoplasma		
● Retikulum endoplasma	-	+
● Mitokondria	-	+
● Badan Golgi	-	+
● Lisosom	-	+
● Ribosom		
- Sitoplasma	70 Svedberg	80 Svedberg
- Membran (organel)	-	70 Svedberg
● Gerakan sitoplasma	-	+
● Dinding sel mengandung peptidoglikan	+	-
Sentriol	-	Hanya ada pada sel hewan
Alat gerak	Flagelum sederhana	Silia/flagellum yang kompleks
Pembelahan sel	Amitosis	Mitosis
Nutrisi	Absorpsi	Absorpsi, endositosis, fotosintesis

B. Sel Mikroorganismen yang Termasuk dalam Prokariotik

Beberapa contoh mikroorganismen yang memiliki sel yang termasuk dalam sel prokariotik adalah: bakteri, rickettsia, mycoplasma, dan cyanobakteri. Gambar 3.1 menunjukkan sel prokariotik dan sel eukariotik. Beberapa ciri sel bakteri adalah: memiliki dinding sel, reproduksinya dengan membelah diri, ada sel yang dapat bergerak dan ada sel yang tidak dapat bergerak. Ciri-ciri rickettsia adalah: pleomorfik, tidak memiliki dinding sel, bersifat parasit, dan tahan terhadap penisilin. Terkait dengan rickettsia, Muliawan (2009) menjelaskan bahwa rickettsia mula-mula dianggap sebagai virus, karena ukurannya yang kecil, sukar diwarnai dengan pewarnaan Gram, dan hanya tumbuh di dalam sitoplasma sel eukariotik. Namun ternyata mikroorganismen ini memiliki ciri-ciri bakteri, yaitu: secara struktural serupa dengan bakteri batang Gram negatif, mengandung DNA, RNA, enzim untuk siklus Krebs dan ribosom untuk sintesis protein, berkembang biak dengan pembelahan biner, dihambat oleh antibiotika misal tetrasiklin dan kloramfenikol. Sedangkan beberapa ciri cyanobakteri adalah: uniseluler, memiliki dinding sel, dapat mengadakan endositosis, dan reproduksinya dengan membelah diri.



Gambar 3.1 Sel prokariotik dan sel eukariotik (Fardiaz, 1992)
(a) Sel prokariotik, (b) Sel eukariotik

C. Sel Mikroorganismen yang Termasuk dalam Eukariotik

Mikroorganismen eukariotik terdiri atas: fungi, protozoa, dan alga. Ciri-ciri fungi adalah: tubuhnya terdiri atas hifa (kumpulan hifa membentuk miselium), memiliki nukleus yang bermembran, tidak dapat berfotosintesis, cara reproduksinya adalah dengan menggunakan spora; spora aseksual (konidiospora, sporangiospora, arthrospora, klamidospora); spora seksual (askospora, basidiospora, zigospora, oospora). Ciri-ciri protozoa adalah: tidak memiliki dinding sel, umumnya uniseluler, sebagian besar tidak dapat berfotosintesis. Sedangkan sifat dari alga adalah: dapat berfotosintesis, memiliki dinding sel.

D. Ringkasan

Tubuh makhluk hidup ada yang terdiri atas satu sel (*uniseluler*), dan ada yang disusun oleh banyak sel (*multiseluler*). Sel prokariotik adalah sel yang memiliki inti sel yang belum ada membran inti. Sedangkan sel yang memiliki inti sel yang sudah ada membran intinya disebut sel eukariotik.

Ciri sel prokariotik adalah: ukurannya kecil (1 - 10 μm), nukleoid tidak terbungkus oleh membran, pembelahan sel secara amitosis, pengambilan nutrisi secara absorpsi. Sedangkan ciri-ciri sel eukariotik adalah: ukurannya 10 - 100 μm ; nukleus terbungkus oleh membran; pembelahan sel secara mitosis; pengambilan nutrisi secara absorpsi, endositosis, dan fotosintesis.

Mikroorganismen yang selnya termasuk dalam sel prokariotik adalah: bakteri, rickettsia, mycoplasma, dan cyanobakteri. Sedangkan mikroorganismen yang selnya termasuk sel eukariotik adalah: fungi, protozoa, dan alga.

E. Pertanyaan-pertanyaan

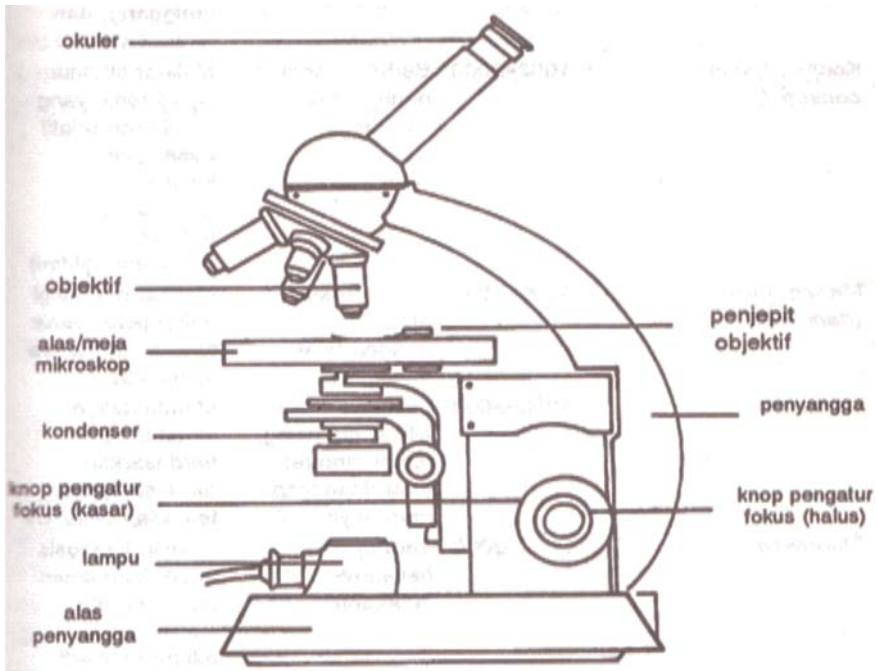
1. Jelaskan ciri-ciri sel prokariotik!
2. Jelaskan ciri-ciri sel eukariotik!
3. Jelaskan perbedaan sel prokariotik dan sel eukariotik!
4. Sebutkan mikroorganismen-mikroorganismen yang selnya termasuk sel prokariotik!
5. Sebutkan mikroorganismen-mikroorganismen yang selnya termasuk sel eukariotik!

BAB 4

MIKROSKOP DAN PENGGUNAANNYA

*B*akteri sebagai makhluk *uniseluler*, yang memiliki ukuran yang mikroskopis. Makhluk hidup mikroskopis, termasuk bakteri, tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Pengamatan bakteri, diperlukan alat bantu untuk dapat mengamati morfologi dan struktur halus yang ada pada selnya. Alat bantu yang diperlukan untuk mengamati sel bakteri adalah mikroskop. Gambar 4.1 menunjukkan sebuah mikroskop dengan bagian-bagiannya.

Antony Van Leeuwenhoek, merupakan orang yang pertama kali melaporkan hasil pengamatannya dengan dilengkapi gambar-gambar bakteri dan mikroba lainnya, dengan menggunakan mikroskop buaatannya. Walaupun sederhana, namun dengan bantuan mikroskop sederhana yang dibuat oleh Leeuwenhoek, mampu membantu Leeuwenhoek dalam mengamati sel-sel mikroba termasuk bakteri. Dengan bantuan mikroskop, maka diperoleh informasi-informasi tentang mikroba termasuk bakteri, terutama menyangkut morfologi dan struktur halus pada selnya.



Gambar 4.1 Mikroskop dengan bagian-bagiannya (Fardiaz, 1992)

A. Lensa dan Perbesaran

Mikroskop yang dibuat Leeuwenhoek, merupakan mikroskop yang sangat sederhana, hanya memiliki satu lensa yang ditempatkan antara objek dengan mata. Sejalan dengan kemajuan teknologi, mikroskop semakin disempurnakan, sehingga bisa digunakan untuk melihat objek dengan lebih jelas.

Saat ini, mikroskop memiliki dua buah jenis lensa, yaitu lensa objektif dan lensa okuler. Lensa objektif diletakkan di dekat objek atau sediaan (*preparat*) yang akan diamati. Sedangkan lensa okuler diletakkan di atas di dekat mata, saat kita mengoperasikan mikroskop.

Banyak mikroskop modern memiliki dua lensa okuler. Mikroskop yang memiliki dua lensa okuler disebut mikroskop binokular. Sedangkan mikroskop yang memiliki satu lensa okuler disebut monokular.

Lensa objektif bekerja mengatur fokus sinar lampu pada objek yang ditempatkan di belakang titik fokal F_1 dan memperbesar

objek sehingga menghasilkan bayangan nyata yang diproyeksikan pada bidang fokal dari lensa okuler. Bayangan nyata yang terletak di depan titik fokal F_1 dari lensa okuler, diperbesar oleh lensa okuler sehingga membentuk bayangan maya (bayangan semu) yang dapat dilihat oleh mata. Dengan demikian, total perbesaran merupakan hasil dari perbesaran lensa objektif dan lensa okuler.

Terkait dengan kekuatan perbesaran lensa objektif, Fardiaz (1992) mengatakan bahwa untuk memperoleh berbagai tingkat perbesaran, setiap mikroskop pada umumnya dilengkapi dengan tiga kelompok lensa objektif, yang dipasang pada *nosepiece* yang dapat diputar, yaitu terdiri dari: lensa objektif berkekuatan rendah, lensa objektif berkekuatan tinggi, lensa objektif minyak imersi. Masing-masing lensa objektif tersebut, akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Lensa objektif berkekuatan rendah (*low power*, 16 mm), yang ditandai dengan angka 10X pada bagian luarnya, dan mempunyai jarak kerja 5 - 8,3 mm.
2. Lensa objektif berkekuatan tinggi (*high dry*, 4 mm), yang ditandai dengan angka 40X, 43X, 44X, atau 45X, dan mempunyai jarak kerja 0,46 - 0,72 mm.
3. Lensa objektif minyak imersi (*immersion oil*, 1,8 mm), yang ditandai dengan angka 95X, 97X, atau 100X, dan mempunyai jarak kerja 0,13 - 0,14 mm.

Angka 16 mm, 4 mm, dan 1,8 mm, menunjukkan panjang fokal pada masing-masing lensa, yaitu jarak antara lensa dengan titik fokal lensa (F_1 dan F_2). Jika lensa okuler mempunyai perbesaran 10X, maka total perbesaran harus dikalikan 10X (untuk lensa objektif berkekuatan 10X), sehingga total perbesaran menggunakan lensa berkekuatan rendah menjadi 100X. Demikian juga untuk perhitungan perbesaran total, pada penggunaan lensa objektif berkekuatan tinggi.

B. Iluminasi

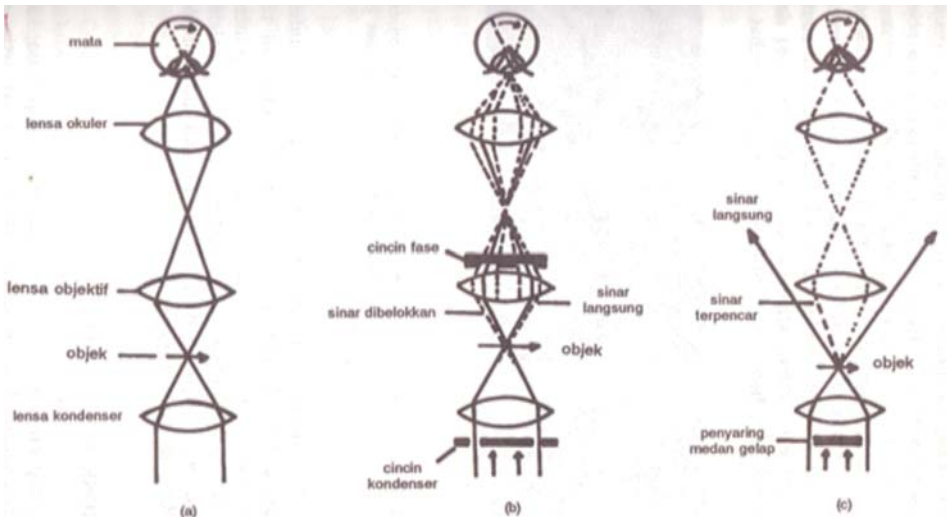
Selain lensa objektif dan okuler, dua elemen lain yang penting dalam mikroskop adalah lampu dan kondenser. Adanya lampu dan kondenser, akan mengatur iluminasi dari objek secara tepat. Besarnya sinar yang melalui lensa objektif berbeda untuk setiap jenis lensa.

Jika perbesaran lensa objektif naik, jarak kerja lensa menurun, dan sudut apertur objektif bertambah. Oleh karena itu, dengan bertambahnya perbesaran, bertambah banyak sinar yang harus masuk ke lensa objektif. Besarnya sinar yang masuk, diatur oleh diafragma iris yang terletak di antara lensa dan kondenser. Dengan lensa objektif berkekuatan rendah dan tinggi, diafragma iris tidak terbuka penuh, karena pada perbesaran ini objek akan terlihat jelas jika sinar tidak terlalu pekat. Namun, jika digunakan lensa objektif minyak imersi yang mempunyai perbesaran 95X atau lebih, maka jarak kerja adalah yang terpendek, dan diafragma iris akan lebih terbuka.

C. Mikroskop Kontras

Mikroskop kontras dibuat pertama kali oleh Fritz Zernike. Mikroskop ini digunakan untuk melihat sel-sel berukuran kecil tanpa diberi pewarnaan. Gambar 4.2 (b) menunjukkan jalannya sinar pada mikroskop kontras, dibandingkan dengan mikroskop medan terang dan mikroskop medan gelap.

Pada mikroskop kontras, sumber iluminasi berupa seberkas sinar yang datang melalui suatu cincin di dalam lensa kondenser. Pada lensa objektif dipasang suatu cincin fase yang akan mengubah fase sinar yang melaluinya sebanyak seperempat dari panjang gelombangnya. Sinar yang telah melewati objek dan tidak dibelokkan akan menembus cincin fase dan terlihat oleh mata sebagai sinar putih yang normal. Sinar yang melewati objek dengan indeks refraksi berbeda dengan medium di sekelilingnya, akan dibelokkan dan mempunyai berkas sinar yang lebih panjang. Oleh karena itu, akan tiba pada okuler di luar fase. Karena perbedaan indeks refraksi antara sel dengan medium di sekelilingnya, maka bayangan dapat terlihat secara lebih kontras. Pada kebanyakan mikroskop kontras, bayangan terlihat gelap dengan latar belakang terang.



Gambar 4.2 Perbedaan jalannya sinar pada mikroskop: (a) medan terang, (b) kontras, (c) medan gelap (Fardiaz, 1992)

D. Mikroskop Medan Gelap

Mikroskop medan gelap adalah suatu mikroskop dengan sistem kondensernya diubah sedemikian rupa supaya sinar yang datang dapat mencapai objek dari samping, sehingga sinar yang dibelokkan secara refleksi dan refraksi oleh objek yang akan terlihat. Gambar 4.2 (c) memperlihatkan jalan masuk sinar pada mikroskop medan gelap. Sinar yang menyebar tersebut akan melalui lensa objektif, sehingga objek akan terlihat terang dengan latar belakang gelap.

Penggunaan mikroskop medan gelap memungkinkan untuk melihat partikel atau sel yang ukuran di luar batas resolusi mikroskop sederhana, misalnya dalam mengamati *Treponema pallidum*.

E. Mikroskop Ultraviolet

Mikroskop ultraviolet (mikroskop UV) dapat menghasilkan resolusi dan perbesaran yang lebih tinggi dibandingkan mikroskop biasa. Hal ini disebabkan mikroskop UV mempunyai panjang gelombang yang lebih pendek, yaitu 180 - 400 nm (biasanya digunakan 230 - 350 nm), sehingga akan menghasilkan resolusi sekitar dua kali lebih tinggi daripada mikroskop biasa.

Karena sinar UV merupakan sinar tidak tampak, maka bayangan baru dapat dilihat dengan mencatatnya pada suatu lempeng fotografik. Pencatatan bayangan pada lempeng fotografik menggunakan tabung pengubah bayangan, atau dengan memperlihatkan pada layar televisi setelah ditangkap oleh suatu tabung foto atau kamera televisi yang sensitif terhadap sinar UV.

F. Mikroskop Fluoresen

Beberapa senyawa kimia dapat menyerap energi dari gelombang ultraviolet dan mengeluarkannya sebagai gelombang tampak dengan panjang gelombang yang lebih tinggi. Senyawa yang mempunyai sifat demikian disebut bersifat fluoresen. Mikroskop fluoresen dapat melihat suatu objek yang bersifat fluoresen yang disebabkan adanya senyawa fluoresen alami, atau objek tersebut telah diberi perlakuan dengan zat warna fluoresen. Menurut Pelczar, *et al.* (1986) bahwa mikroskop fluoresensi digunakan untuk melihat spesimen yang telah diwarnai dengan zat pewarna fluorokrom, sehingga memungkinkan identifikasi mikroorganisme dengan cepat.

Pada mikroskop fluoresen, sinar yang dikeluarkan oleh objek dilewatkan melalui suatu penyaring yang ditempatkan di antara lensa objektif dan okuler, sehingga hanya sinar fluoresen yang akan terlihat. Teknik mikroskop fluoresen sering digunakan untuk mengamati bakteri tuberkulosa dengan menggunakan zat warna fluoresen auramin O. bakteri tuberkulosa akan mengikat zat warna tersebut dan terlihat terang dengan latar belakang gelap. Kebanyakan bakteri lainnya tidak dapat mengikat zat warna auramin O.

G. Mikroskop Elektron

Mikroskop elektron mempunyai resolusi yang sangat tinggi di mana objek yang dapat terlihat mencapai ukuran 0,001 mikron atau 1 mm. Mikroskop elektron memberikan perbesaran berguna yang jauh lebih besar daripada yang mungkin diperoleh dengan mikroskop cahaya. Hal ini dimungkinkan oleh daya pisah yang lebih besar yang diperoleh karena berkas-berkas elektron yang digunakan untuk

perbesaran mempunyai panjang gelombang yang sangat pendek dibandingkan dengan cahaya. Berkas elektron yang dipakai dalam mikroskop elektron mempunyai panjang gelombang yang berkisar antara 0,005 sampai 0,0003 nm, sangat pendek jika dibandingkan dengan panjang gelombang cahaya kasat mata yang digunakan dalam mikroskop cahaya. Dengan menggunakan mikroskop elektron ini memungkinkan untuk memisah-misah objek dalam kisaran 0,0003 μm . Perbesaran akhir yang mendekati 1.000.000 kali dapat diperoleh bila bayangan terpotret itu dibesarkan. Perbandingan antara suatu fotomikrograf mikroskopi cahaya dan mikrograf elektron, ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Untuk mikroskop elektron, spesimen yang harus diperiksa disiapkan sebagai suatu lapisan kering yang teramat tipis pada layar kecil, dan dimasukkan ke dalam alat itu pada titik di antara kondenser magnetik dan objektif, yang sebanding dengan kondenser dan objektif pada mikroskop cahaya. Bayangan yang diperbesar tampak pada layar fluoresen atau terekam pada fotografik oleh kamera yang terpasang pada instrumen tersebut.



Gambar 4.3 Mikroskop elektron transmisi (MET) *Escherichia coli* (X 108.000). (Pelczar, et al., 1986)

(Pada insert ialah fotomikrograf organisme yang sama)

Ada metode pewarnaan yang diterapkan dalam mikroskop elektron. Dalam metode ini, sel-sel mikroba diiris menjadi irisan-irisan tipis mikroskopis untuk pemeriksaan dan teknik radioaktif. Semua prosedur diterapkan untuk Mikroskopi Elektron Transmisi (MET). Dalam mikroskop ini, berkas elektron melewati spesimen dan hamburan elektron ini menghasilkan bayangan.

Jika objek yang akan diamati adalah bagian luar suatu sel, maka tidak perlu dilakukan pengirisan. Untuk mempertinggi kontras terhadap sel utuh, biasanya dilakukan teknik pembayangan (*shadowing*), yaitu dengan cara melapisi sel dengan lapisan tipis logam seperti palladium, chromium, atau emas. Metal tersebut akan mengendap pada objek dari satu arah, sehingga terbentuk bayangan. Dengan cara ini maka bentuk dan ketebalan objek akan terlihat jelas.

H. Ringkasan

Bakteri merupakan makhluk hidup *uniseluler* yang berukuran kecil (mikroskopis). Untuk melihat sel bakteri, diperlukan alat bantu yaitu mikroskop. Dengan menggunakan mikroskop, maka sel bakteri dapat dilihat dengan lebih jelas.

Mikroskop memiliki dua jenis lensa, yaitu lensa objektif yang terpasang di dekat sediaan (*preparat*), dan lensa okuler yang terpasang di dekat mata saat mikroskop dioperasikan. Lensa objektif terdiri atas tiga kelompok lensa, sedangkan lensa okuler ada yang hanya satu buah (pada mikroskop monokuler), dan ada yang terdiri atas dua buah (pada mikroskop binokuler).

Cara menghitung perbesaran objek yang terlihat dengan menggunakan mikroskop yaitu dengan mengalikan perbesaran lensa objektif yang digunakan dengan perbesaran lensa okuler. Jadi, jika perbesaran lensa objektif yang digunakan adalah 10X, dan perbesaran lensa okuler yang digunakan adalah 10X, maka perbesaran total objek yang diamati ialah $10 \times 10 = 100X$. Demikian juga untuk menghitung perbesaran total objek yang diamati jika digunakan lensa objektif dengan perbesaran yang lebih tinggi.

Ada beberapa macam mikroskop yaitu: mikroskop kontras, mikroskop medan gelap, mikroskop ultraviolet, mikroskop fluoresen, dan mikroskop elektron. Jenis-jenis mikroskop ini memiliki cara kerja

yang berbeda-beda antara satu dengan lain. Mikroskop elektron memberikan perbesaran yang jauh lebih besar jika dibandingkan dengan menggunakan mikroskop cahaya.

I. Pertanyaan-Pertanyaan

1. Jelaskan peranan mikroskop dalam mempelajari bakteri!
2. Gambarkan sebuah mikroskop cahaya, dan sebutkan bagian-bagiannya!
3. Jelaskan dua macam lensa pada mikroskop!
4. Jelaskan kelebihan mikroskop elektron jika dibandingkan dengan mikroskop cahaya!

BAB 5

MORFOLOGI DAN STRUKTUR HALUS (*ULTRASTRUCUTURE*) SEL BAKTERI

*U*kuran sel bakteri sangat kecil (mikroskopis). Ukuran sel bakteri yang mikroskopis, dapat terlihat dengan jelas dengan menggunakan mikroskop. Dengan bantuan mikroskop, dapat dilihat morfologi sel bakteri dengan jelas; bahkan dengan menggunakan mikroskop elektron, dapat dilihat berbagai struktur halus yang ada baik di luar maupun di dalam sel bakteri dengan lebih jelas.

Dengan bantuan mikroskop, dapat diamati bentuk-bentuk sel bakteri. Bentuk-bentuk sel bakteri terdiri atas berbagai macam. Namun demikian, dapat dikelompokkan dalam bentuk-bentuk dasar sel bakteri. Bentuk sel bakteri, tidak akan berubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain, selama struktur dinding selnya tidak rusak atau hilang. Dinding sel bakteri dapat rusak oleh berbagai faktor antara lain karena pengaruh senyawa kimia antimikroba atau antibiotik. Kerusakan dinding sel bakteri, ada yang masih menyisakan struktur dinding sel, namun ada juga sel bakteri yang seluruh struktur dinding selnya hilang.

A. Morfologi Sel Bakteri

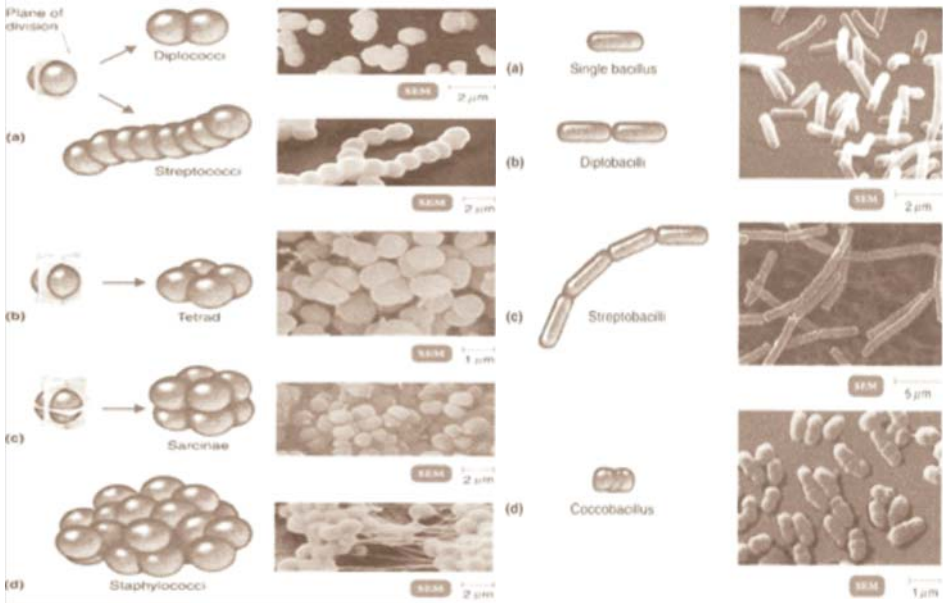
Menurut Hastuti (2012) bahwa pengukuran yang tepat terhadap sel bakteri dapat dilakukan dengan menggunakan mikrometer okuler. Namun demikian, sebelum digunakan mikrometer okuler harus ditera lebih dahulu harga skalanya dengan memakai mikrometer objektif yang telah memiliki harga skala yang pasti. Ukuran sel bakteri, umumnya dinyatakan dalam satuan mikrometer (μm). Fardiaz

(1992) menjelaskan bahwa sel bakteri umumnya mempunyai ukuran 0,5 - 1,0 μm kali 2,0 - 5,0 μm . Selanjutnya Tortora, *et al.* (2010) mengatakan bahwa rentang ukuran diameter sel bakteri adalah 0,2 - 2,0 μm , dan panjang selnya berkisar antara 2 - 8 μm . Terkait dengan ukuran sel bakteri patogenik, Zinsser, *et al.* (1988) mengatakan bahwa spesies bakteri patogenik memiliki ukuran antara 0,4 - 2 μm , dan nampak di bawah mikroskop cahaya dan mikroskop elektron. Bila dibandingkan dengan partikel virus, sel bakteri mempunyai ukuran lebih besar.

Terkait dengan bentuk sel bakteri, terdapat tiga bentuk dasar, yaitu:

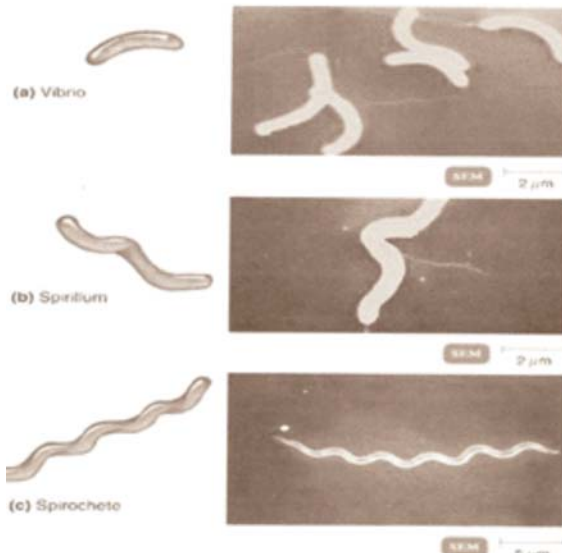
1. Sel bakteri berbentuk bola atau kokus, jamak = koki (*Coccus*).
Berdasarkan atas pengelompokkan selnya, bentuk kokus ini kemudian dikelompokkan menjadi.
 - a. *Dilokokus*, yaitu penataan sel bakteri kokus dalam kelompok dua-dua sel.
 - b. *Streptokokus*, yaitu rangkaian sel bakteri kokus membentuk rantai panjang atau pendek.
 - c. *Tertrad*, yaitu penataan sel bakteri kokus dalam kelompok empat-empat sel, membentuk persegi empat.
 - d. *Stafilokokus*, yaitu kumpulan sel-sel bakteri kokus yang tidak beraturan (bergerombol) membentuk seperti penataan buah anggur.
 - e. *Sarcina*, yaitu kumpulan sel-sel bakteri kokus membentuk kubus, yang terdiri dari delapan sel atau lebih.
2. Sel bakteri berbentuk batang atau basil (*Bacillus*).
Bentuk bakteri basil, akan membentuk beberapa macam pengelompokkan selnya, yaitu.
 - a. *Diplobasil*, yaitu penataan sel bakteri basil yang berkelompok dua-dua sel, atau berpasangan (dua-dua sel).
 - b. *Streptobasil*, yaitu penataan sel bakteri basil yang membentuk rantai.
3. Sel bakteri berbentuk spiral, tunggal = spirillum, jamak = spirilia.
Bakteri yang berbentuk spiral, tidak membentuk pengelompokkan atau saling menempelkan dinding selnya dengan dinding sel bakteri lain. Bakteri spiral selalu berada secara terpisah-pisah (tunggal). Masing-masing spesies berbeda dalam panjang sel, serta ketegaran dinding selnya.

Bakteri yang ukurannya pendek dengan spiral yang tidak lengkap, dikelompokkan ke dalam bakteri berbentuk koma atau vibrio. Gambar 5.1 berikut menunjukkan bentuk dasar sel bakteri.



(a)

(b)



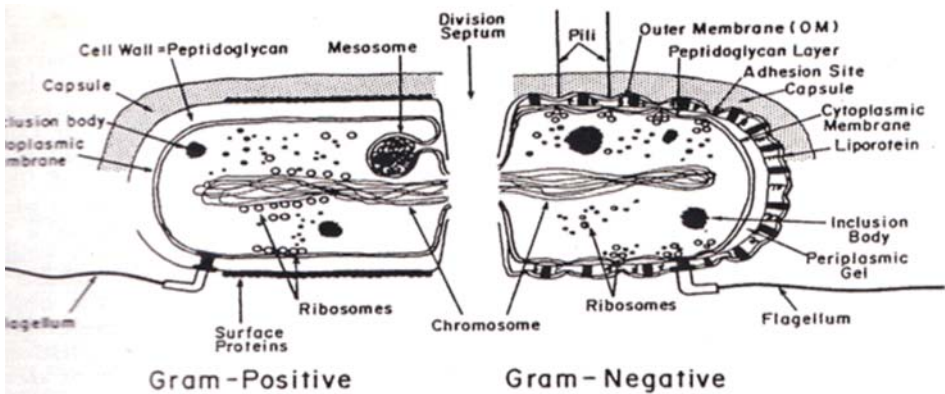
(c)

Gambar 5.1 Bentuk dasar sel bakteri (Tortora, 2010)

- (a) Penataan sel kokus: pembelahan dalam satu bidang, menghasilkan diplokokus dan streptokokus; pembelahan dalam dua bidang, menghasilkan tetrad; pembelahan dalam tiga bidang, menghasilkan sarcina; pembelahan dalam banyak bidang, menghasilkan stafilokokus.
- (b) Penataan sel basil.
- (c) Penataan sel spiral.

B. Struktur Halus (*Ultrastructure*) Sel Bakteri

Beberapa struktur halus (*ultrastructure*) dapat ditemukan baik pada permukaan luar sel bakteri (di luar dinding sel bakteri), maupun di dalam dinding sel bakteri. Struktur halus sel bakteri ini, secara lebih jelas dapat diamati dengan menggunakan mikroskop elektron (ME). Gambar 5.2 berikut menunjukkan struktur halus sebuah sel bakteri.



Gambar 5.2 Struktur halus sel bakteri (Joklik, et al., 1988)

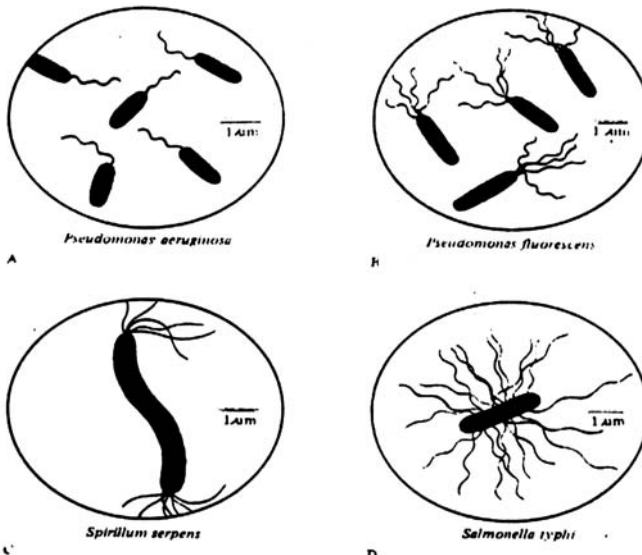
1. Flagellum

Struktur ini merupakan embel-embel seperti rambut. Struktur ini amat tipis (satunya pengukurannya adalah nano meter). *Flagellum* tumbuh dari suatu tubuh dasar struktur granular tepat di bawah membran sel di dalam sitoplasma, kemudian menembus dinding sel. Flagellum sering dijumpai pada sel bakteri yang berbentuk basil, dan jarang dijumpai pada sel bakteri yang berbentuk kokus.

Flagellum memungkinkan motilitas (pergerakan) sel bakteri. Terkait dengan pergerakan flagella bakteri, Nishiyama, *et al.*, (2012) mengatakan bahwa mesin flagellar bakteri adalah mesin molekul reversibel yang mengubah pengaliran ion khusus untuk rotasi flagel. Pergerakan rotasi reguler terdiri dari 26 langkah per satu putaran. Ion perangkai berbeda sesuai dengan jenis pergerakan dan atau spesies bakteri. Kecepatan rotasi dipengaruhi oleh kondisi fisik dan kimia, seperti beban kekentalan, tempertur, dan pH.

Penataan plagella pada sel bakteri tertentu berbeda dengan pada sel bakteri lainnya. Ada beberapa macam penataan flagella pada sel bakteri, yaitu.

- Flagellum monotrik*, yaitu hanya terdapat satu *flagellum* pada sel bakteri dan letaknya pada salah satu ujung selnya (polar).
- Flagella lopotrik* (*lopho* = sekumpulan, *trichus* = rambut), yaitu terdapat sekumpulan *flagella* (rambut) yang terdiri dari dua atau lebih flagella dan terletak pada salah satu ujung sel bakteri (polar).
- Flagella amphitrik*, yaitu terdapat satu flagellum atau sekumpulan flagella, yang masing-masing terletak di kedua ujung selnya.
- Flagella peritrik*, yaitu terdapat banyak flagella yang tumbuh pada seluruh permukaan sel bakteri (sel bakteri dikelilingi oleh flagella). Gambar 5.3 menunjukkan macam-macam penataan flagella pada sel bakteri.

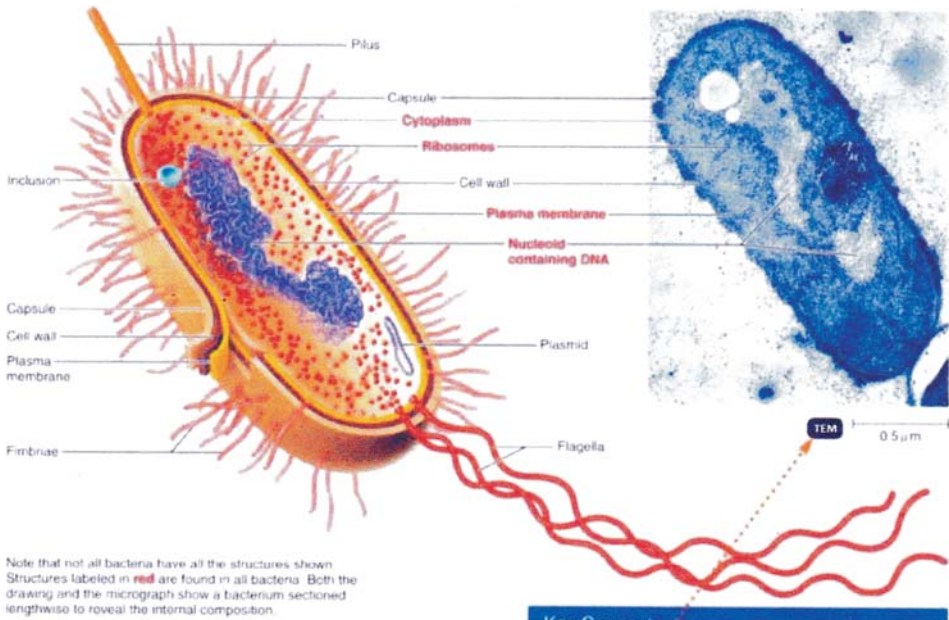


Gambar 5.3 Macam-macam penataan-penataan flagella pada sel bakteri (Fardiaz, 1992) (A) Monotrik, (B) Lopotrik, (C) Amphitrik, (D) Peritrik

2. Pili dan fimbriae

Banyak bakteri Gram negatif, memiliki appendiks mirip rambut, yang lebih pendek, lebih lurus dari flagella, dan digunakan untuk perlekatan dan *transfer Deoxyribonucleic Acid* (DNA) daripada untuk motilitas. Struktur ini mencakup protein, yang disebut *pilin*. Struktur *pilin* terdiri atas dua tipe yaitu pili dan fimbriae (Tortora, et al., 2010).

Selanjutnya Tortora, et al. (2010) menjelaskan bahwa **fimbriae** (tunggal = fimbria) dapat terjadi pada kutub sel bakteri atau dapat secara merata terdistribusi pada permukaan sel bakteri. Fimbriae berjumlah sedikit sampai beberapa ratus buah persel bakteri. *Fimbriae* berperan lebih ke perlekatan antara satu sel dengan sel bakteri lain, dan ke suatu permukaan. Sedangkan Pili (tunggal = pilus) biasanya lebih panjang dari fimbriae dan jumlahnya hanya satu atau dua buah per sel bakteri. Pili dilibatkan dalam hal motilitas dan transfer *DNA* pada sel bakteri. Beberapa pili digunakan untuk membawa bakteri bersama-sama yang memungkinkan transfer *DNA* dari satu sel ke sel lain, yang mana proses ini dinamakan konjugasi. Pili yang terlibat dalam proses konjugasi dinamakan pili (seks) konjugasi. Gambar 5.4 menunjukkan sebuah sel bakteri dengan struktur halus pili dan fimbriae.



Gambar 5.4 Sel bakteri dengan struktur halus pili dan fimbriae (Tortora, et al., 2010)

3. Kapsul

Beberapa sel bakteri, dikelilingi oleh suatu bahan kental yang disebut kapsul atau lapisan lendir. Kapsul ini dapat dilihat di bawah mikroskop setelah sel bakteri tersebut diwarnai dengan pewarna negatif.

Kapsul sel bakteri penting sebagai bahan pelindung sel bakteri. Selain itu juga, kapsul berfungsi sebagai gudang makanan cadangan bagi sel bakteri.

Bagi bakteri penyebab penyakit tertentu, kapsul menambah kemampuan bakteri tersebut untuk menginfeksi makhluk hidup lain. Bila bakteri tersebut kehilangan kapsulnya, maka akan kehilangan juga virulensinya (kemampuan menginfeksi).

C. Dinding Sel Bakteri

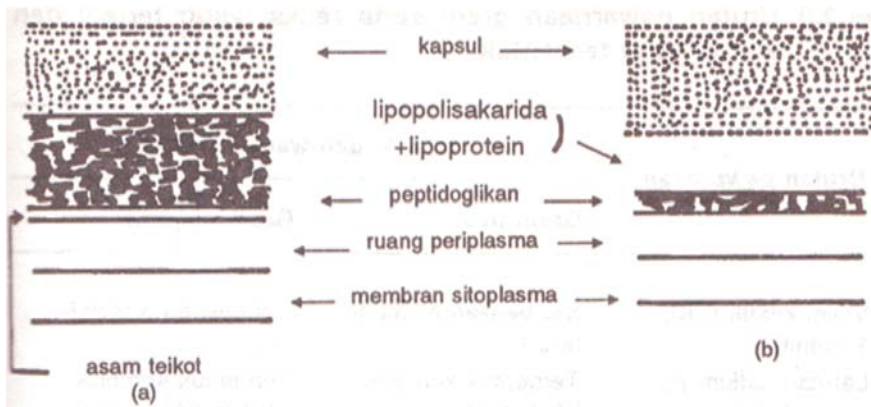
Dinding sel bakteri terletak di antara struktur kapsul atau lapisan lendir dan membran sitoplasma. Ketebalan dinding sel bakteri berkisar antara 10 - 35 nm. Dinding sel bakteri penting dalam pembelahan dan pertumbuhan sel bakteri. Kecuali mikoplasma, semua sel bakteri memiliki dinding sel. Dinding sel bakteri memberi bentuk yang khas pada setiap sel bakteri. Jika dinding sel bakteri hilang (mungkin karena pengaruh bahan antibakteri/antibiotik tertentu seperti penisilin), maka memungkinkan bentuk sel bakteri tersebut berubah.

Kokohnya dinding sel bakteri, disebabkan oleh adanya lapisan peptidoglikan yang ada pada struktur dinding sel tersebut. Polimer yang sangat besar ini, terdiri atas tiga macam bahan pembangun, yaitu: *N-asetilglukosamin* (AGA), *asam N-asetilmuramat* (AAM), dan suatu peptide yang terdiri atas empat/lima asam amino, yaitu *L-alanin*, *D-alanin*, *asam D-glutamant*, dan *lisin* atau *asam diaminopimelat*. Dinding sel bakteri Gram positif memiliki lapisan peptidoglikan yang lebih besar daripada sel bakteri Gram negatif.

Cara menggambarkan peptidoglikan ialah sebagai rantai tulang punggung polisakarida yang terdiri dari unit-unit AGA dan AAM yang selang-seling dengan rantai peptide pendek yang menonjol dari unit-unit AAM. Banyak dari unit-unit peptide terikat silang dengan sesamanya, sehingga memberikan sifat kaku secara

keseluruhan. Peptidoglikan bersama-sama kedua komponen dinding sel lain, yaitu asam diaminopimelat dan asam teikoat, hanya dijumpai pada prokariota.

Komponen dan ketebalan lapisan-lapisan pada dinding sel untuk bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif berbeda. Ada perbedaan lain selain sifat dinding sel antara sel bakteri Gram positif dengan sel bakteri Gram negatif. Perbandingan dinding sel bakteri Gram positif dengan bakteri Gram negatif, ditunjukkan pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Perbandingan struktur dinding sel bakteri Gram positif dengan sel bakteri Gram negatif (Fardiaz, 1992) (a) Bakteri Gram positif, (b) bakteri Gram negatif

Sel bakteri Gram positif dan sel bakteri Gram negatif memiliki ciri-ciri khasnya masing-masing. Ciri-ciri khas bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif tersebut mencakup: struktur dan komposisi dinding sel, kerentanan terhadap penisilin, pengaruh zat warna terhadap pertumbuhan selnya, persyaratan nutrisi, dan gangguan fisik. Tabel 5.1 memuat perbedaan ciri sel bakteri Gram positif dan sel bakteri Gram negatif.

Tabel 5.1 Perbedaan ciri sel bakteri Gram positif dengan sel bakteri Gram negatif

No.	Aspek perbedaan	Sel bakteri Gram positif	Sel bakteri Gram negatif
1.	Struktur dinding sel	<ul style="list-style-type: none"> ● Tebal (15 - 80 nm) ● Berlapis tunggal 	<ul style="list-style-type: none"> ● Tipis (10 - 15 nm) ● Berlapis tiga
2.	Komposisi dinding sel	<ul style="list-style-type: none"> ● Kandungan lipid rendah (1- 4%) ● Peptidoglikan sebagai lapisan tunggal. Komposisi utama merupakan lebih dari 50% berat kering sel bakteri ● Ada asam teikoat 	<ul style="list-style-type: none"> ● Kandungan lipid tinggi (11 - 22%) ● Peptidoglikan ada dalam lapisan kaku sebelah dalam. Jumlahnya sedikit, 10% berat kering ● Tidak ada asam teikoat
3.	Kerentanan terhadap penisilin	<ul style="list-style-type: none"> ● Lebih rentan 	<ul style="list-style-type: none"> ● Kurang rentan
4.	Pertumbuhan dihambat oleh zat warna dasar, misalnya ungu kristal	<ul style="list-style-type: none"> ● Dihambat dengan nyata 	<ul style="list-style-type: none"> ● Tidak dihambat dengan nyata
5.	Persyaratan nutrisi	<ul style="list-style-type: none"> ● Lebih rumit 	<ul style="list-style-type: none"> ● Kurang rumit
6.	Gangguan fisik	<ul style="list-style-type: none"> ● Lebih resisten (kurang rentan) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Kurang resisten (lebih rentan)

D. Protoplas dan Sferoplas

Struktur sel bakteri di mana dinding selnya sudah hilang dan yang tersisa adalah isi sitoplasma yang dikelilingi oleh membran plasma, disebut *protoplas*. Bentuk sel menyerupai bola.

Ciri-ciri protoplas adalah sebagai berikut:

- Sel bakteri sama sekali tidak memiliki dinding sel
- Sel bakteri tidak bergerak
- Bentuk selnya adalah seperti bola
- Sel bakteri tidak mampu membelah diri
- Sel bakteri rentan terhadap infeksi oleh bakteriofage

Pada sel bakteri Gram negatif, pembuangan dinding sel mungkin masih menyisakan sebagian bahan lapisan luar yang tetap melekat pada membran *sitoplasma*. Struktur ini disebut sferoplas. Struktur sferoplasma maupun protoplas, bila sanggup tumbuh dan membelah diri, sel ini dinamakan bentuk L (*L-form*). Beberapa bentuk *L-form*, dapat kembali ke bentuk normal. Hal ini dapat terjadi, kalau faktor penyebabnya dihilangkan. Agar dapat kembali ke bentuk normal, sel bakteri tersebut harus masih memiliki peptidoglikan sisa sebagai pemula biosintesis dinding selnya.

Pada bagian dalam dinding sel bakteri terdiri atas struktur halus. Struktur-struktur halus sel bakteri tersebut antara lain:

1. Membran Sitoplasma

Struktur membran sitoplasma berada di sebelah dalam dari dinding sel. Oleh karena itu, jika dilihat dari struktur lapisan pada sel sel bakteri, membran plasma dilindungi oleh dinding sel bakteri, yang mana sifat dinding sel bakteri yang lebih kaku jika dibandingkan dengan membran sitoplasma.

Membran sitoplasma penting untuk mengendalikan lalu lintas substansi kimiawi dalam larutan, masuk ke dalam dan keluar sel. Substansi-substansi (*solut*) dapat melewati membran sitoplasma, dapat dengan cara sebagai berikut.

- Difusi pasif

Proses difusi pasif, tidak bersifat spesifik untuk setiap solut, tetapi akan terjadi jika terdapat perbedaan konsentrasi solut di luar sel dengan di dalam sel bakteri. Pada proses ini, terjadi pergerakan substansi kimia (*solut*) yang melintasi membran sitoplasma, dari area yang berkonsentrasi tinggi ke area yang berkonsentrasi yang lebih rendah. Difusi pasif, berfungsi untuk menyamakan konsentrasi solut di kedua sisi membran sitoplasma.

- Angkutan aktif

Proses angkutan aktif bersifat sangat spesifik (memperlakukan solut secara spesifik). Angkutan aktif berfungsi untuk menumpuk solut di dalam sel dengan konsentrasi yang lebih tinggi daripada di luar sel.

Membran atau selaput sitoplasma, memiliki beberapa fungsi antara lain:

- Permeabilitas selektif dan pengangkutan larutan
- Pengangkutan elektron dan fosforilasi oksidatif

- Pengangkutan eksoenzim hidrolitik
- Berlaku sebagai tempat enzim dan molekul pembawa yang berfungsi dalam biosintesis DNA, polimer dinding sel dan lipid selaput.
- Mengandung reseptor dan protein lain dari sistem kemotaksis

2. Mesosom

Mesosom merupakan struktur di mana membran sitoplasma yang melipat ke dalam (invaginasi) sitoplasma. Struktur ini berbelit-belit, yang dinamakan mesosom. Menurut Pelczar, *et al.* (1988) bahwa struktur mesosom selalu sinambung dengan membran sitoplasma. Mesosom berfungsi dalam sintesis dinding sel, dan pembelahan nukleus sel bakteri.

3. Ribosom

Partikel Ribonucleic Acid (RNA-protein) yang disebut *ribosom* terkemas padat di seluruh daerah sitoplasma. Ribosom merupakan tempat biosintesis protein. Ribosom terdapat baik pada sel prokariotik maupun sel eukariotik, yang berfungsi sebagai tempat sintesis protein.

Menurut Tortora, *et al.* (2010) bahwa *ribosom* disusun oleh dua subunit, setiap subunit mengandung protein dan sebuah tipe dari RNA disebut *ribosomal RNA (rRNA)*. *Ribosom prokariotik* berbeda dari ribosom eukariotik dalam kandungan jumlah protein dan molekul rRNA, *ribosom prokariotik* juga lebih kecil dan kurang padat jika dibandingkan dengan *ribosom sel eukariotik*. *Ribosom sel prokariotik* (termasuk sel bakteri) disebut ribosom 70S, dan sel eukariotik dikenal sebagai ribosom 80S. Selanjutnya Zinsser, *et al.* (1988) menguraikan bahwa ribosom bakteri 70S, dari kira-kira 800.000 dalton, dipisahkan ke dalam subunit 30S dan 50S. Subunit 30S mengandung RNA 16S, sebaliknya subunit 50S mengandung keduanya RNA 23S dan 5S. Huruf S menunjukkan unit *Svedberg*, yang menunjukkan laju relatif sedimentasi (pengendapan) selama sentrifuge kecepatan tinggi.

4. Daerah Nukleus

Sel bakteri tidak memiliki kromosom yang diskrit (tersendiri), alat mitosis untuk pembelahan sel, nukleolus, dan membran nukleus.

Bahan nukleus (DNA) terikat pada sistem mesosom sitoplasma. Bahan nukleus sel bakteri disebut kromosom bakteri atau *nukleoid*.

5. Inklusi Sitoplasma

Substansi kimia menumpuk dan membentuk granul serta globul di dalam sitoplasma. Struktur ini disebut *tubuh inklusi*.

6. Spora

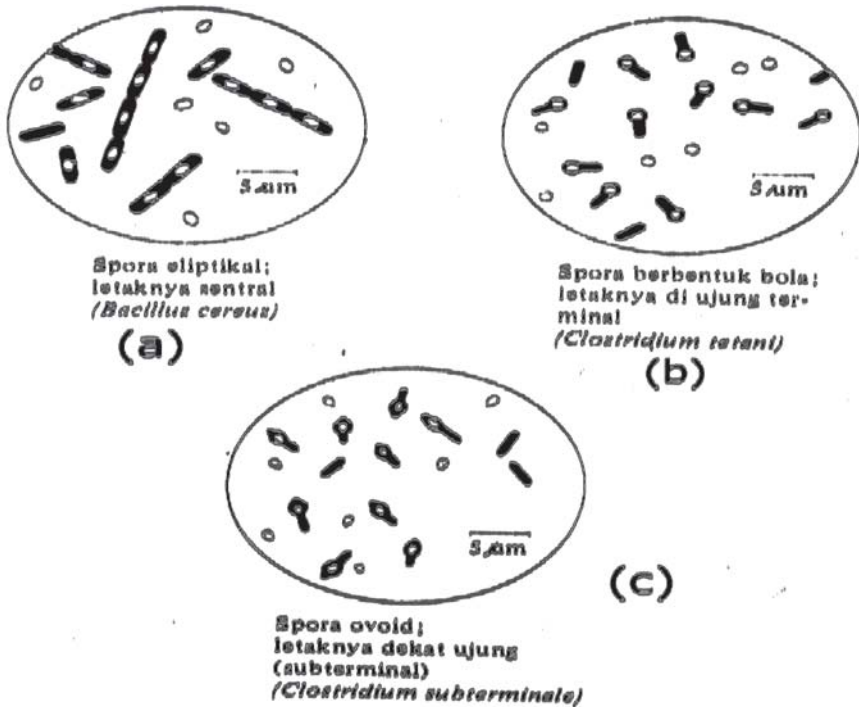
Beberapa spesies bakteri mampu menghasilkan spora di luar sel vegetatifnya, (*eksospora*), atau di dalam sel vegetatif (*endospora*). Spora ini tahan terhadap perlakuan fisik maupun kimia yang ekstrim (lingkungan yang panas, kekeringan, bahan kimia yang toksik).

Spora berada dalam keadaan dorman (tidur). Pada keadaan lingkungan yang sesuai dengan faktor pertumbuhan selnya (keadaan lingkungan yang membaik bagi pertumbuhan bakteri), spora dapat tumbuh lagi menjadi bentuk sel vegetatif.

Eksospora merupakan spora eksternal. Tidak semua bakteri memiliki eksospora. Contoh kuman yang menghasilkan eksospora adalah *Streptomyces viridochromogens*. Proses pembentukan eksospora sama dengan proses pembentukan spora pada cendawan.

Endospora hanya terdapat pada sel bakteri. Spora jenis ini mulai terbentuk pada fase pertumbuhan logaritmik. Ukuran diameter endospora bervariasi. Ada endospora yang memiliki ukuran diameternya lebih besar dari sel vegetatif, ada yang lebih kecil dari sel vegetatifnya.

Letak endospora dalam sel vegetatifnya bervariasi. Ada endospora yang letaknya di tengah sel vegetatifnya (sentral), di ujung sel vegetatif (terminal), dan di dekat ujung sel vegetatifnya (subterminal). Posisi endospora pada beberapa sel bakteri, ditunjukkan pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Posisi spora di dalam sel beberapa spesies *Bacillus*, dan *Clostridium* (Pelczar, et al., 1986) (a) posisi sentral, (b) posisi terminal, (c) posisi subterminal

Endospora memiliki ciri-ciri tertentu, yang memungkinkan spora ini lebih bertahan hidup pada kondisi yang ekstrim jika dibandingkan dengan sel vegetatifnya pada kondisi ekstrim, misalnya suhu tinggi dan kekeringan, serta terhadap bahan-bahan kimia seperti disinfektan. Ciri-ciri endospora sel bakteri sebagai berikut.

- Endospora dibentuk oleh semua spesies *Bacillus*, *Clostridium*, dan *Sporosarcina*.
- Endospora bakteri tahan terhadap pemanasan, pengeringan, dan disinfektan.
- Endospora terbentuk pada kondisi yang tidak memungkinkan untuk pertumbuhan sel vegetatifnya.
- Endospora sukar untuk diwarnai, tetapi sekali diwarnai sukar dihilangkan.
- Bentuk dan posisi endospora di dalam sel berbeda pada masing-masing spesies.

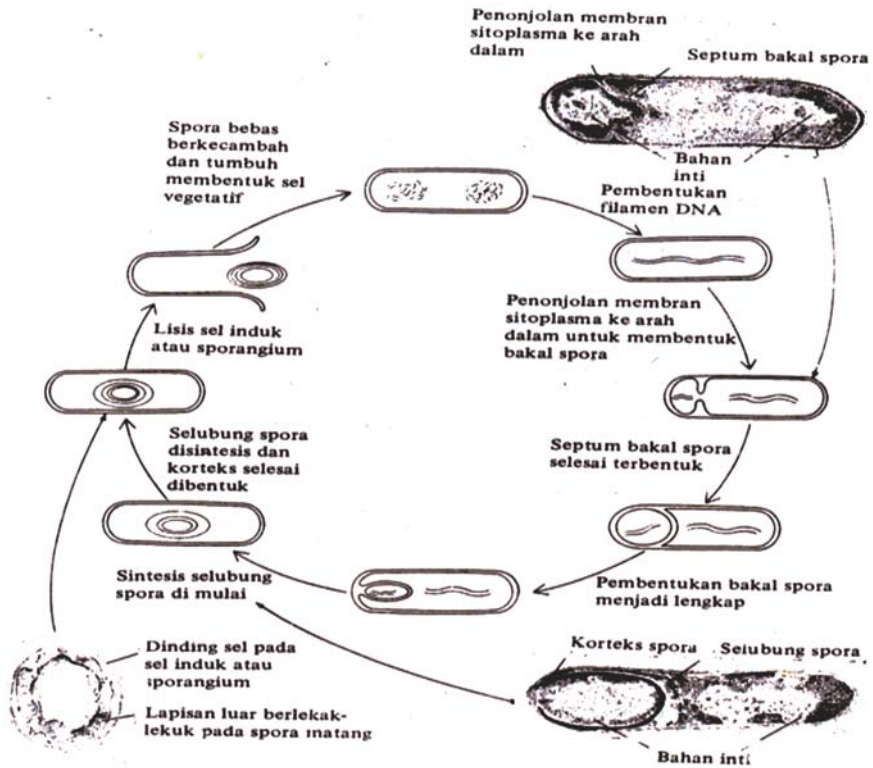
Struktur-struktur halus atau unsur-unsur penyusun endospora, dapat teramati di dalam suatu endospora. Sifat-sifat unsur-unsur penyusun endospora bakteri, adalah:

- Inti, mengandung kromosom yang lengkap. Daya tahan spora disebabkan karena adanya sejumlah besar dipikolinat kalsium.
- Dinding spora, lapisan yang melilingi selaput dalam dari spora. Dinding ini mengandung peptidoglikan dan akan menjadi dinding sel dari sel vegetatif yang berkecambah.
- Korteks, merupakan lapisan paling tebal dari pembungkus spora. Korteks mengandung peptidoglikan dengan hubungan lintang yang lebih sedikit daripada yang ditemukan pada dinding sel dari sel vegetatifnya.
- Pembungkus, terdiri dari protein, mengandung banyak ikatan disulfida intramolekul. Lapisan ini sukar tertembus oleh zat-zat kimiawi antimikroba.

Jika kondisi lingkungan yang ekstrim yang kurang memungkinkan sel vegetatif untuk bertahan hidup dan tumbuh, maka sel bakteri akan membentuk spora (*endospora*). Pembentukan endospora bertujuan agar bakteri dapat bertahan hidup (kondisi dorman) dalam kondisi lingkungan yang buruk bagi selnya. Langkah-langkah utama dalam proses pembentukan endospora adalah.

- a. Penjajaran kembali bahan DNA menjadi filamen dan invaginasi membran sel di dekat suatu sudut sel untuk membentuk suatu struktur yang disebut bakal spora.
- b. Pembentukan sederetan lapisan yang menutupi bakal spora, yaitu korteks spora diikuti dengan selubung spora berlapis banyak.
- c. Pelepasan spora bebas seraya sel induk mengalami lisis

Gambar 5.7 menunjukkan perubahan struktural selama sporulasi pada bakteri.



Gambar 5.7 Perubahan-perubahan struktural selama sporulasi bakteri (Pelczar, et al., 1986)

Spora yang matang mempunyai kemampuan bereproduksi seperti sel vegetatif. Langkah-langkah reproduksi spora yang matang adalah sebagai berikut:

- Aktivasi spora dengan panas yang mendadak (*heat shock*) pada suhu sublethal (suhu tidak mematikan), lecet pada pembungkus, keasaman.
- Berkecambah (germinasi), bila keadaan lingkungan menguntungkan.
- Pertumbuhan menjadi sel vegetatif, pertumbuhan keluar akibat perombakan korteks dan lapisan-lapisan luar, mengakibatkan munculnya sel vegetatif baru.

E. Ringkasan

Ukuran sel bakteri cukup bervariasi. Ukuran diameter sel bakteri adalah 0,2 - 2,0 μm , dan panjang selnya berkisar antara 2 - 8 μm .

Bentuk dasar sel bakteri dikelompokkan menjadi tiga, yaitu: sel bakteri berbentuk bola (*kokus*), batang (*basil*), dan spiral. Bentuk sel bakteri kokus, membentuk penataan sel sebagai berikut: *diplobasil*, *tetrad*, *sarcina*, *streptokokus*, *stafilokokus*. Bentuk sel bakteri basil membentuk penataan sel sebagai berikut: diplokokus, streptobasil. Sedangkan sel bakteri yang berbentuk spiral, penataan selnya biasanya sendiri-sendiri.

Struktur halus (*ultrastructure*) yang terdapat pada bagian luar dinding sel, maupun bagian dalam dinding sel. Struktur halus pada sel bakteri antara lain: flagellum, pili dan fimbriae, kapsul, dinding sel, membran sel (membran sitoplasma), mesosom, ribosom, nukleoid, endospora. Jumlah dan penataan flagella pada sel bakteri bervariasi: monotrik, lopotrik, amphitrik, peritrik. Posisi endospora pada sel bakteri juga bervariasi yaitu: sentral, subterminal, dan terminal.

Berdasarkan struktur dinding sel, maka bakteri dikelompokkan ke dalam bakteri Gram negatif dan bakteri Gram positif. Selain struktur dinding sel, sifat lain yang membedakan bakteri Gram negatif dengan bakteri Gram positif adalah: kerentanan terhadap penisilin, gangguan fisik, dan persyaratan nutrisi.

Dalam kondisi yang ekstrim bagi sel vegetatifnya (seperti panas, kekeringan, bahan kimia yang toksik), bakteri tertentu (*Bacillus*, dan *Clostridium*) membentuk endospora untuk bertahan hidup (dorman) pada kondisi tersebut. Pada kondisi lingkungan yang membaik bagi pertumbuhan bakteri, endospora dapat bergerminasi, dan tumbuh membentuk sel vegetatif kembali.

F. Pertanyaan-Pertanyaan

1. Jelaskan tiga bentuk dasar sel bakteri!
2. Menurut Anda, apakah bentuk sel bakteri dapat berubah ke bentuk lain?
3. Jelaskan struktur-struktur halus (*ultrastruktur*) yang berada di sebelah luar dinding sel bakteri!
4. Jelaskan struktur-struktur halus (*ultrastructure*) yang berada di sebelah dalam dinding sel bakteri!
5. Menurut Anda, apakah ada perbedaan antara pili dan fimbriae? Jelaskan!
6. Jelaskan perubahan-perubahan struktural yang terjadi selama proses sporulasi bakteri!

BAB 6

METABOLISME BAKTERI

*M*etabolisme ialah semua reaksi kimiawi yang dilakukan oleh sel yang menghasilkan energi untuk sintesis komponen-komponen sel dan untuk kegiatan-kegiatan seluler seperti pergerakan. Reaksi kimia yang membebaskan energi disebut reaksi disimilasi atau peruraian (katabolisme). Sedangkan reaksi-reaksi kimiawi yang menggunakan energi untuk sintesis dan fungsi-fungsi sel lainnya disebut reaksi asimilasi atau reaksi anabolisme.

Bakteri, seperti makhluk hidup lain, selalu membutuhkan energi untuk kebutuhan selnya. Kebutuhan-kebutuhan sel bakteri akan energi antara lain untuk: transportasi zat dari luar ke dalam sel atau dari dalam keluar sel, pergerakan (motilitas) sel, dan untuk sintesis komponen-komponen selnya.

Energi yang dibutuhkan sel bakteri bersumber dari kegiatan metabolisme sel. Pada proses katabolisme, substrat diuraikan menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana, dan membebaskan energi. Energi yang terbebaskan pada proses penguraian, disimpan dalam bentuk *Adenosin Tri Phosphat* (ATP).

A. Katabolisme Karbohidrat

Katabolisme adalah reaksi pembebasan energi. Dalam proses ini terjadi penguraian bahan-bahan organik menjadi bagian-bagian yang lebih sederhana dan akan dihasilkan atau dibebaskan sejumlah energi. Energi yang dibebaskan tersebut tersimpan dalam bentuk *Adensin Tri Phosphat* (ATP).

Dalam proses katabolisme, terjadi oksidasi, yaitu hilangnya elektron dari suatu molekul, atau disebut juga dengan dehidrogenasi. Selama oksidasi, energi dilepaskan dan terbentuk ikatan kaya energi seperti yang terdapat pada ATP. Proses lainnya dalam katabolisme adalah reduksi, yaitu diperolehnya elektron oleh suatu molekul. Oksidan (bahan pengoksidasi) adalah penerima elektron, sehingga menjadi tereduksi. Reduktan (bahan pereduksi), mendonasikan elektron, sehingga menjadi teroksidasi.

B. Produksi Energi Melalui Proses Anaerobik

Dalam proses ini, ada beberapa tahap penguraian substrat organik, yaitu:

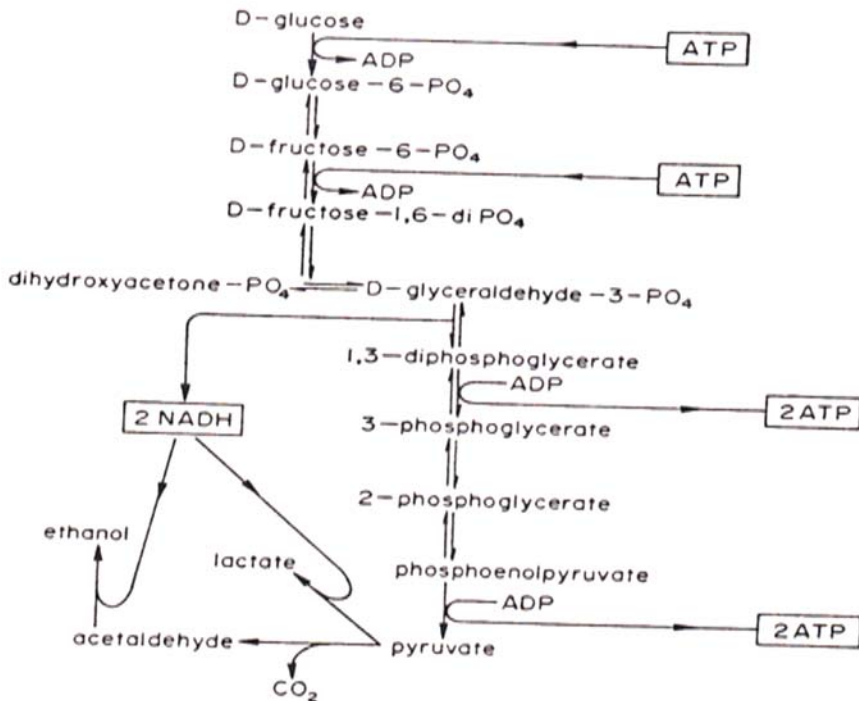
1. Glikolisis

Glikolisis merupakan proses perombakan glukosa menjadi asam piruvat. Proses ini tidak mensyaratkan adanya oksigen. Oleh karena itu, proses ini dapat terjadi dalam keadaan aerobik maupun anaerobik. Gambar 6.1 berikut ini menunjukkan langkah-langkah reaksi pada jalur reaksi Glikolisis.

Langkah-langkah glikolisis, diawali dengan penambahan gugus fosfat pada molekul glukosa, agar ikatan-ikatan pada struktur glukosa lebih mudah diputuskan atau diuraikan. Langkah awal ini dibutuhkan dua molekul ATP. Langkah berikutnya adalah pemutusan ikatan enam karbon pada molekul glukosa, menjadi dua molekul gula berkarbon tiga (*trigleseraldehid-3-phosphat*). Selanjutnya, terjadi reaksi pembentukan molekul koenzim tereduksi, yaitu *Nikotinamida Adenin Dinukleotida* berikatan dengan gugus H_2 ($NADH_2$). Hasil akhir dari proses glikolisis adalah terbentuklah dua molekul asam piruvat, yang akan memasuki siklus *Tricarboxylic Acyd* (TCA) yang didahului dengan membentuk dua molekul asetil Ko-A.

Untuk setiap molekul glukosa yang mengalami metabolisme, dua molekul ATP dikonsumsi, dan empat molekul ATP dibentuk. Dalam proses glikolisis juga dihasilkan dua molekul koenzim *Nikotinamida Adenin Dinukleotida* mengikat hidrogen ($NADH_2$, dalam bentuk tereduksi). Satu molekul $NADH_2$ jika dioksidasi, menghasilkan 3 mol ATP. Dengan demikian, jumlah energi bersih yang dihasilkan adalah sebanyak 8 mol ATP (4 mol ATP jadi,

ditambah dengan 6 mol ATP dari oksidasi NADH_2 ; dan dikurangi dua molekul ATP yang dikonsumsi pada langkah awal reaksi pada jalur glikolisis). Jumlah mol ATP yang dihasilkan dalam respirasi (katabolisme) secara anaerob jauh lebih sedikit. Dalam respirasi secara anaerobik, ATP yang dihasilkan hanya pada jalur glikolisis saja (8 mol ATP). Oleh karena itu, respirasi secara anaerobik, kurang menguntungkan jika dibandingkan dengan respirasi secara aerobik.



Gambar 6.1 Langkah-langkah reaksi pada jalur reaksi glikolisis (Joklik, et al., 1988)

2. Lintasan pentose fosfat

Terjadi pembentukan gula fosfat berkarbon enam (*keksosa monofosfat*), dan gula fosfat berkarbon lima (*pentose fosfat*). Hasil yang diperoleh ini, digunakan untuk biosintesis nukleotida. Proses ini terjadi pada prokariota maupun eukariota. Dalam proses ini dihasilkan *Nikotinamide Adenin Dinukleotida* (NADP), yang kemudian akan masuk ke dalam sistem transpor elektron untuk sintesis ATP.

3. Fermentasi

Proses fermentasi sering didefinisikan sebagai proses pemecahan karbohidrat dan asam amino secara anaerobik, yaitu tanpa memerlukan oksigen. Organisme anaerobik menghasilkan energi, yaitu melalui reaksi-reaksi yang disebut fermentasi, yang menggunakan bahan organik sebagai donor dan akseptor elektron. Bakteri-bakteri anaerobik fakultatif dan bakteri anaerobik obligat menggunakan berbagai macam fermentasi untuk menghasilkan energi. *Streptococcus lactis*, bakteri yang menyebabkan masamnya susu, menguraikan glukosa menjadi asam laktat, yang berakumulasi di dalam medium sebagai produk fermentasi satu-satunya.

4. Jalur *Etner Doudoroff* (ED)

Tahap atau jalur ini, dapat ditemukan pada *Pseudomonas*. Dalam keadaan anaerob, satu mol glukosa dikatabolisme, akan menghasilkan satu mol ATP.

5. Jalur *fosfoketolase* (FK)

Proses ini hanya terjadi pada grup bakteri laktobasil heterofermentatif. Jalur FK merupakan percabangan dari jalur *Hexosa Monofosfat* (HMF). Bakteri yang memakai jalur ini, tidak memiliki enzim aldolase.

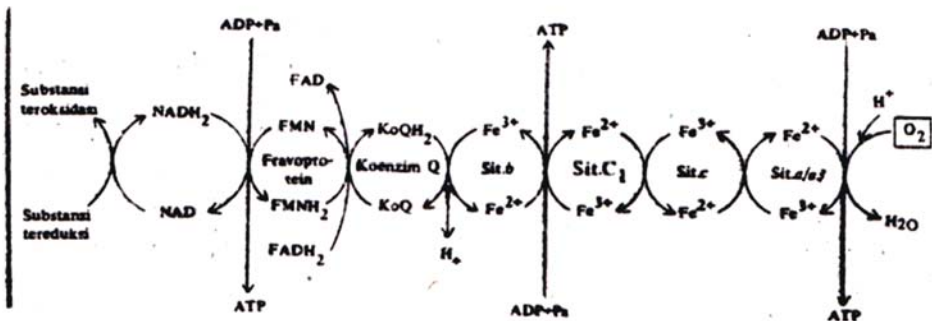
C. Proses Produksi Energi dalam Respirasi (Katabolisme) Secara Aerobik

1. Rantai Angkutan Elektron

Rantai angkutan elektron, yang juga dikenal sebagai sistem sitokrom, atau rantai respirasi, adalah serangkaian reaksi oksidasi-reduksi untuk pembentukan ATP. Fungsi rantai ini adalah untuk menerima elektron dari senyawa-senyawa tereduksi dan memindahkannya pada oksigen dengan akibat terbentuknya air. Pada beberapa langkah dalam rantai tersebut, dibebaskan energi untuk pembentukan ATP dari ADP dan fosfat anorganik. Gambar 6.2 menunjukkan rantai angkutan elektron. Pada Gambar 6.2, terlihat bahwa atom-atom hidrogen (elektron beserta proton, H⁺) yang diusir dari substansi organik melalui oksidasi, dipindahkan oleh

dehidrogenasi yang mengandung NAD atau NADP (ditambah fosfat), *flavoprotein* yang mengandung *Flavin Adenin Dinukleotida* (FAD) atau FMN (*Flavo Mononukleotida*), dan sitokrom-sitokrom yang mengandung besi, pada oksigen molekular, sehingga terbentuklah air.

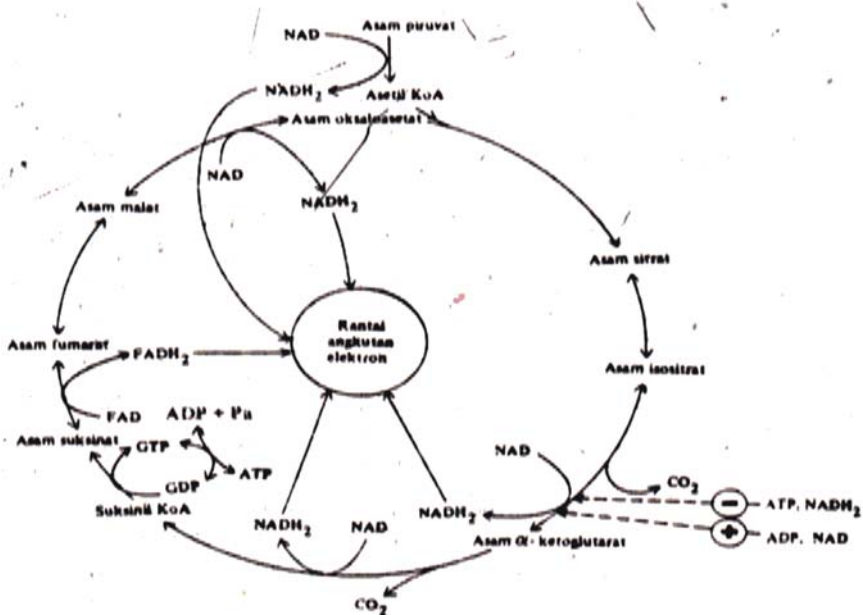
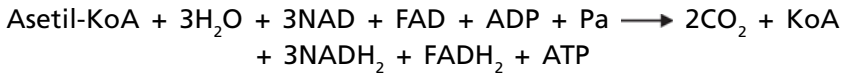
Elektron-elektron yang diusir dari zat-zat anorganik (misalnya NO_2 , H_2 , dan H_2S) melalui oksidasi dapat pula disalurkan ke dalam rantai angkutan elektron untuk memperoleh energi. Demikian caranya bakteri kemoautotrofik memperoleh ATP dari rantai angkutan elektron.



Gambar 6.2 Rantai angkutan elektron (Pelczar, et al., 1986)

2. Siklus Asam Trikarboksilat

Siklus asam trikarboksilat (*Tricarboxylic Acid* atau TCA) disebut juga siklus Krebs, adalah serangkaian reaksi yang membangkitkan energi dalam bentuk ATP, dan molekul-molekul koenzim yang tereduksi (NADH_2 dan FADH_2). Langkah-langkah reaksi yang terjadi di dalam TCA, menghasilkan: NADH_2 , FADH_2 , ATP jadi, CO_2 , air. Langkah-langkah reaksi dalam TCA, menunjukkan bahwa senyawa organik yang pertama kali terbentuk adalah asam sitrat (oleh karena itu, siklus TCA disebut juga siklus asam sitrat), dan diakhiri dengan pembentukan senyawa organik asam oksaloasetat. Selanjutnya, setelah asam oksaloasetat terbentuk, oksaloasetat bereaksi dengan asetil Ko-A membentuk asam sitrat kembali, dan reaksi akan berulang terus membentuk siklus yang tidak ada putusya selama kelanjutan reaksi aerobik terhadap molekul glukosa. Gambar 6.3 menunjukkan siklus asam trikarboksilat atau siklus Krebs. Siklus ini bersifat amfibolik, artinya berfungsi tidak hanya dalam reaksi katabolik tetapi juga dalam reaksi anabolik. Siklus asam trikarboksilat, ditunjukkan pada Gambar 6.3. Reaksi keseluruhan TCA, adalah:



Gambar 6.3 Siklus asam trikarboksilat (Pelczar, et al., 1986)

Oleh karena perombakan glukosa melalui glikolisis menghasilkan dua molekul asetil Ko-A yang dapat memasuki siklus ini, persamaan keseluruhan untuk siklus ini per molekul glukosa yang dirombak, ialah dua kali.

3. Hasil Energi dalam Respirasi Aerobik

Setiap molekul glukosa yang diuraikan, ada 12 koenzim tereduksi (2FADH₂), dan 10NADH₂). Okidasi satu mol NADH₂ akan dihasilkan tiga mol ATP, sedangkan oksidasi satu mol FADH₂ akan dihasilkan dua mol ATP. Dengan demikian total ATP yang dihasilkan dari respirasi aerob satu mol glukosa adalah 38 mol ATP (34 mol ATP dari oksidasi koenzim tereduksi, 2 mol ATP jadi dari proses glikolisis, dan 2 mol ATP jadi dari *Tricarboxylic Acid* (TCA).

4. Katabolisme Lipid

Glukosa merupakan sumber tunggal kebanyakan mikroorganisme, termasuk sel bakteri. Ada mikroorganisme yang mengoksidasi lemak dan protein dan menghasilkan energi.

Perombakan lipid menghasilkan gliserol dan asam lemak. Gliserol, setelah mengalami berbagai proses, kemudian masuk ke dalam jalur glikolisis. Sedangkan asam lemak kemudian masuk ke TCA, setelah sebelumnya berubah menjadi asetil-KoA. Atom yang dilepaskan, kemudian akan masuk ke rantai respirasi, dan akan terjadi fosforilasi oksidatif.

5. Katabolisme Protein

Protein diuraikan menjadi peptide, dan kemudian akan menjadi asam amino. Asam amino akan membentuk asetil-KoA, asam α -ketoglutarat, asam suksinat, asam fumarat, asam oksaloasetat di dalam TCA. Dengan demikian, maka baik dalam proses katabolisme glukosa, katabolisme protein, maupun katabolisme lipid, semuanya akan masuk ke TCA, setelah melalui prosesnya masing-masing.

D. Anabolisme

Anabolisme adalah proses penyusunan (sintesis) senyawa organik di dalam sel bakteri yang membutuhkan energi. Penggunaan energi dalam proses nonbiosintetik adalah untuk: produksi panas, pergerakan (motilitas), pengangkutan nutrisi. Sedangkan penggunaan energi dalam proses biosintetik adalah untuk: perubahan substansi, sintesis makromolekul (komponen karbohidrat, protein, lemak, asam nukleat) untuk keperluan sintesis seluruh komponen-komponen atau struktur halus sel bakteri, seperti: dinding sel, membran sel, ribosom, nukleoid, seluruh appendiks sel bakteri, dan komponen-komponen sel lainnya. Pada proses sintesis makromolekul, terdiri atas dua tahap, yaitu: biosintesis unit-unit makromolekul, dan biosintesis makromolekul.

Pada biosintesis lipid, terjadi pembentukan senyawa makromolekul dari monomernya berupa gliserol dan asam lemak. Lipid dalam sel mikroorganisme berperan sebagai: senyawa cadangan, komponen membran sitoplasma, komponen membran organel, komponen dinding sel, alat transpor elektron.

Pada biosintesis protein, terjadi pembentukan makromolekul dari asam-asam amino. Pada proses sintesis protein, selalu membutuhkan cetakan DNA yang berfungsi untuk menentukan pola urutan asam amino, transfer informasi genetik.

Tahap-tahap biosintesis protein adalah sebagai berikut:

1. Replikasi

Pada tahap ini, terjadi pemnggandaan DNA. Enzim yang berperan adalah *DNA polymerase*. Replikasi DNA bersifat semikonservatif, karena DNA baru yang terbentuk masing-masing memiliki satu utas DNA lama, dan satu utas DNA baru.

2. Transkripsi

Pada tahap ini terjadi ekspresi gen. Proses ini, akan membentuk *messenger RNA* (mRNA) oleh DNA. Proses ini membutuhkan enzim *RNA polymerase*. mRNA yang terbentuk sifatnya komplementer terhadap satu ulir DNA (ulir cetakan pada DNA)..

3. Translasi

Urutan basa purin dan pirimidin ditranslasi, membentuk asam amino, dan selanjutnya akan membentuk protein. Pada tahap ini, dibutuhkan *transfer RNA* (tRNA), dan *ribosomal RNA* (rRNA). Sebanyak kurang lebih 90% ATP, digunakan untuk sintesis protein.

Tahap-tahap translasi kode genetik adalah sebagai berikut:

1. Asam amino mengalami aktivasi enzim *amonoasil-tRNA sintetase*. Molekul asam amino terbawa tRNA, membutuhkan ATP. tRNA membawa antikodon.
2. Ribosom terikat pada salah satu ujung mRNA. Posisi ribosom sangat penting untuk translasi.
3. Molekul tRNA terikat pada sisi komplementer mRNA. Antikodon harus komplemen dengan kodon yang dibawa oleh mRNA. Asam amino terlepas dari tRNA. tRNA mengikat asam amino lainnya.
4. Ribosom bergerak sepanjang mRNA dengan jarak satu kodon. Ribosom-ribosom pada mRNA akan berjejer dalam jumlah banyak dan membentuk *poliribosom*.
5. Tahap 1 sampai 4, akan terulang terus, dan membentuk rantai polipeptida. Proses translasi akan berakhir pada pertemuan antikodon dengan nonsen kodon (kodon terminal), yaitu: UAA, UAG, UGA.

E. Ringkasan

Metabolisme adalah reaksi-reaksi kimia untuk menghasilkan energi untuk keperluan sintesis komponen-komponen sel, dan kegiatan sel lainnya. Reaksi-reaksi metabolisme mencakup reaksi

penguraian (katabolisme) terhadap substrat (senyawa organik), dan dibebaskan energi. Energi yang dibebaskan disusun dalam bentuk ATP. Reaksi kimia lain dalam metabolisme adalah reaksi kimia yang menggunakan energi (anabolisme). Reaksi kimia penggunaan energi antara lain: untuk sintesis komponen-komponen sel, pergerakan, dan lain sebagainya.

Reaksi kimia katabolisme, terjadi dalam proses reaksi: katabolisme karbohidrat, katabolisme lipid, dan katabolisme protein. Karbohidrat merupakan sumber utama energi (ATP) bagi seluruh makhluk hidup, termasuk bakteri. Jumlah mol ATP yang dihasilkan dalam proses katabolisme terhadap 1 mol glukosa (karbohidrat) secara aerobik sebanyak 38 mol ATP. Sedangkan jumlah energi yang dihasilkan dalam respirasi (katabolisme) terhadap 1 mol glukosa (karbohidrat) secara anaerob adalah 8 mol ATP.

Penggunaan energi (dalam reaksi anabolisme) oleh sel bakteri dalam proses nonbiosintetik adalah untuk: produksi panas, pergerakan (motilitas), pengangkutan nutrisi. Sedangkan penggunaan energi dalam proses biosintetik adalah untuk: perubahan substansi, sintesis makromolekul.

F. Pertanyaan-Pertanyaan

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan reaksi katabolisme?
2. Jelaskan langkah-langkah reaksi dalam jalur glikolisis!
3. Jelaskan produksi ATP dalam jalur glikolisis!
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan fermentasi!
5. Jelaskan langkah-langkah reaksi pada siklus TCA!
6. Jelaskan produksi ATP pada respirasi satu molekul glukosa secara aerobik!
7. Menurut Anda, apakah *Streptococcus lactis* dalam proses mengoksidasi glukosa sebagai sumber ATP-nya, dapat menghasilkan ATP dalam siklus TCA?
8. Jelaskan apa yang dimaksud dengan reaksi anabolisme?
9. Jelaskan untuk keperluan apa saja, ATP yang digunakan oleh sel bakteri?

BAB 7

REPRODUKSI DAN PERTUMBUHAN BAKTERI

*B*akteri, seperti makhluk hidup lainnya, melakukan reproduksi untuk mempertahankan spesiesnya. Sel bakteri dapat bereproduksi dengan baik, jika didukung oleh keberadaan nutrisi dan faktor-faktor lain yang dibutuhkan.

Perbanyakkan sel bakteri, melalui proses reproduksinya, menentukan pertumbuhan sel bakteri. Bakteri adalah makhluk uniseluler. Oleh karena itu, penambahan jumlah sel bakteri, berarti juga terjadi penambahan jumlah individu pada spesies bakteri tersebut.

Cara-cara reproduksi pada mikroorganisme umumnya secara aseksual, yaitu dengan pembelahan sel. Hasil dari proses pembelahan sel adalah terbentuknya dua sel anak. Oleh karena itu, jika semua faktor pertumbuhan terpenuhi untuk terjadinya proses pembelahan sel, maka dalam waktu tertentu, akan dihasilkan sejumlah besar sel anak baru.

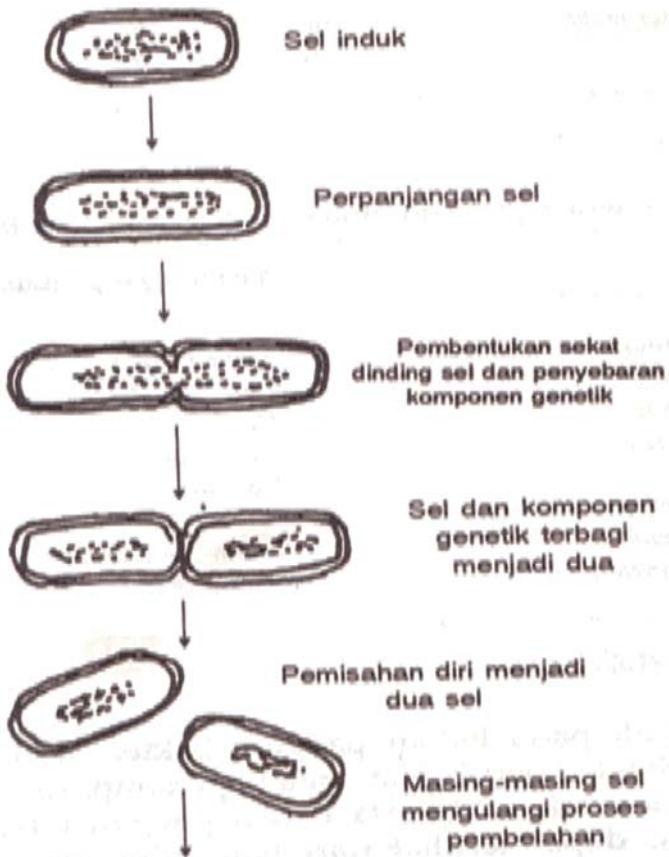
A. Reproduksi Sel Bakteri

Bila sel bakteri diinokulasikan ke dalam satu medium pertumbuhan yang optimum, maka dalam waktu singkat, akan terjadi kenaikan jumlah sel yang cukup tinggi. Dalam rentang waktu yang sama, tidak semua bakteri mengalami kenaikan jumlah sel yang sama dalam kondisi medium yang sama.

1. Pembelahan Biner Melintang

Proses ini paling umum dijumpai pada kebanyakan bakteri. Pembelahan biner melintang adalah suatu proses reproduksi aseksual, setelah pembentukan dinding sel melintang, maka sebuah sel tunggal membelah menjadi dua sel. Masing-masing sel baru tersebut disebut sel anak. Gambar 7.1 menunjukkan pembelahan biner melintang pada sel bakteri.

Pada proses pembelahan selnya, mengakibatkan terbentuknya dua organisme baru. Pada tumbuhan dan hewan tingkat tinggi (*multiseluler*), pembagian sel hanya akan mengakibatkan pertumbuhan individunya.



Gambar 7.1 Pembelahan biner melintang pada sel bakteri (Fardiaz, 1992)

2. Proses lain

Ada beberapa spesies bakteri yang dapat bereproduksi dengan cara lain yaitu: produksi spora vegetatif, fragmentasi pertumbuhan berfilamen dengan masing-masing fragmen menghasilkan pertumbuhan dan penguncupan.

Proses pembelahan sel telah menampilkan perubahan struktur sebagai berikut:

- a. Terdapat kenaikan jumlah bahan inti, yang terpisah menjadi dua unit. Masing-masing sel anak mendapat satu unit.
- b. Dinding sel dan membran sel tumbuh meluas ke dalam sitoplasma pada suatu titik di tengah-tengah sumbu panjang sel. Pada perbatasan tersebut, dua lapisan bahan dinding sel.
- c. Pembentukan mesosom menjadi lebih jelas. Mesosom mempunyai kaitan dengan pembentukan septum dan juga memungkinkan perpautan dengan daerah inti. Meskipun kuman-kuman tidak mempunyai kumparan mitotik, selaput melintang yang terbentuk dapat memisahkan dua kromosom seasal yang terbentuk, karena replikasi kromosomal. Hal ini terjadi karena melekatnya kromosom pada selaput sel.

B. Waktu Generasi (*Generation time*)

Waktu generasi adalah banyaknya waktu yang dibutuhkan bagi sel untuk membelah diri untuk populasi menjadi dua kali lipat. Semua spesies tidak mempunyai waktu generasi yang sama. *Escherichia coli* mempunyai waktu generasi 15 - 20 menit.

Waktu generasi tergantung pada: cukup tidaknya nutrisi, pH, intensitas cahaya, oksigen, air, genetiknya, dan faktor pertumbuhan sel lainnya. Oleh karena itu, jika nutrisi, dan faktor pertumbuhan lain berada dalam kondisi yang optimum bagi suatu sel bakteri untuk membelah selnya, maka dalam waktu tertentu akan dipeoleh populasi bakteri yang cukup banyak.

C. Pertumbuhan Sel Bakteri

1. Pengertian Pertumbuhan Sel Bakteri

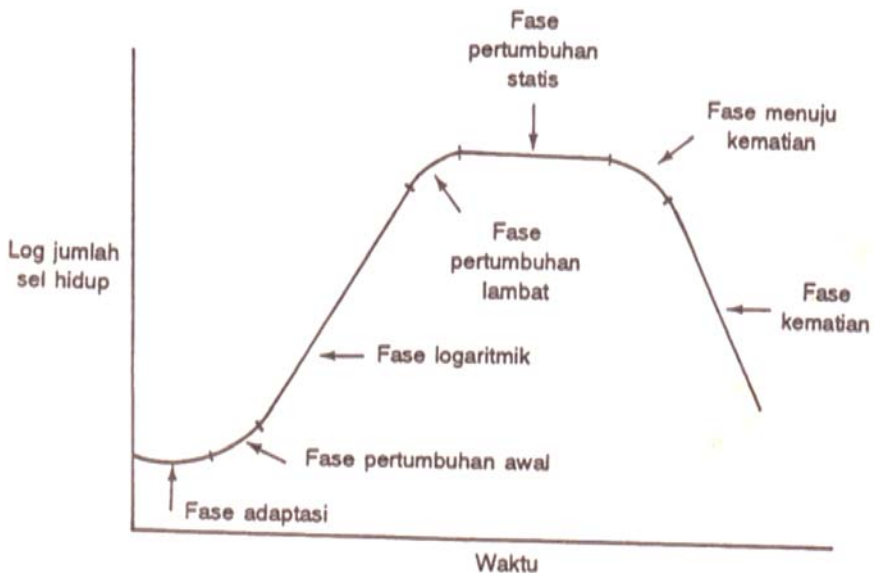
Pertumbuhan sel dapat didefinisikan sebagai penambahan secara teratur semua komponen di dalam sel hidup. Pada organisme

multiseluler, yang dimaksud dengan pertumbuhan adalah peningkatan jumlah sel per organisme, di mana ukuran sel juga menjadi lebih besar. Pada organisme multiseluler, penambahan jumlah sel, tidak diikuti dengan penambahan jumlah organismenya. Sedangkan pada organisme uniseluler seperti bakteri, pertumbuhan adalah penambahan jumlah sel yang berarti juga terjadi penambahan jumlah organisme/individu.

2. Kurva Pertumbuhan

Jika suatu sel bakteri mempunyai waktu generasi 20 menit, berarti sel bakteri tersebut akan memperbanyak diri menjadi dua sel anak dalam waktu 20 menit. Jika sel tersebut diinokulasi pada suatu media pada kondisi yang optimum untuk pertumbuhannya, maka dalam waktu 48 jam, sel tersebut akan mengalami pembelahan sebanyak $48(60)/20$ kali, atau sebanyak 144 generasi. Jumlah sel diperoleh dengan rumus: 2^n (2^n adalah jumlah akhir sel, n adalah banyaknya generasi atau berapa kali pembelahan terjadi).

Proses penambahan jumlah sel bakteri dalam suatu medium pertumbuhan dalam berbagai interval waktu dapat digambarkan dalam suatu kurva pertumbuhan untuk suatu sel bakteri. Gambar 7.2 menunjukkan kurva pertumbuhan sel bakteri



Gambar 7.2 Kurva pertumbuhan sel bakteri (Fardiaz, 1992)

Pada gambar 7.2 terdapat beberapa fase pertumbuhan, yaitu:

a. Fase adaptasi (A)

Pada fase ini sel bakteri mulai mengadakan adaptasi. Sel belum mengadakan pembelahan. Hal ini disebabkan beberapa enzim mungkin belum disintesis. Jumlah sel tetap, atau berkurang.

Lamanya fase ini dipengaruhi oleh beberapa faktor.

1) Medium dan lingkungan pertumbuhan

Jika medium dan lingkungan pertumbuhan sel tersebut seperti sebelumnya, maka tidak perlu adaptasi. Tetapi jika kondisi nutrisi dan lingkungan baru sangat berbeda dengan sebelumnya, maka diperlukan waktu penyesuaian untuk mensintesis enzim-enzim yang dibutuhkan untuk metabolisme.

2) Jumlah inokulum

Jumlah awal sel yang semakin tinggi, akan mempercepat fase adaptasi. Fase adaptasi mungkin berjalan lambat, karena: (a) kultur dipindahkan dari medium yang kaya nutrisi ke medium yang kandungan nutrisinya terbatas, (b) mutan yang baru terbentuk, (c) kultur yang dipindahkan dari fase statis ke medium baru dengan komposisi sama seperti sebelumnya.

b. Fase pertumbuhan awal (B)

Setelah melalui fase adaptasi, sel mulai mengadakan pembelahan dengan kecepatan yang masih rendah. Hal ini disebabkan sel baru selesai melakukan penyesuaian atau adaptasi.

c. Fase eksponensial (C)

Fase ini disebut juga fase log (*logaritmik*). Pada fase ini, terjadi pembelahan sel dengan cepat dan konstan (stabil). Pertambahan jumlahnya mengikuti kurva logaritmik. Sel membutuhkan energi lebih banyak jika dibandingkan dengan fase-fase lain. Kecepatan pertumbuhan sel sangat dipengaruhi oleh: pH, nutrisi, kelembaban udara.

d. Fase pertumbuhan diperlambat (D)

Pada fase ini, terjadi penambahan populasi sel bakteri diperlambat. Hal ini terjadi karena:

1) Nutrisi sudah berkurang (termasuk ketersediaan oksigen)

2) Adanya hasil metabolisme yang mungkin bersifat racun bagi pertumbuhan sel

Pada fase ini, terjadi pertumbuhan sel yang tidak stabil, serta sel yang tumbuh jumlahnya lebih besar dari sel yang mati (grafik masih naik).

- e. Fase pertumbuhan stasioner maksimum (E)
Pada fase ini jumlah sel tetap (jumlah sel yang tumbuh sama dengan jumlah sel yang mati). Ukuran sel lebih kecil, karena sel tetap membelah meskipun nutrisi berkurang. Zat makanan mulai berkurang dan akan habis.
Sel menjadi lebih tahan terhadap keadaan ekstrim (misalnya panas, dingin, radiasi, dan bahan kimia). Pada fase ini juga terjadi penumpukan metabolit beracun. Keadaan ini mengakibatkan pertumbuhan sel terhenti sama sekali.
- f. Fase menuju kematian (F)
Pada fase ini sel bakteri mulai mengalami kematian. Hal ini disebabkan:
- 1) Nutrien sudah habis
 - 2) Energi cadangan di dalam sel habis
 - 3) Zat-zat toksik semakin banyak
- g. Fase kematian (G)
Pada fase ini, sel-sel akan mengalami kematian dipercepat. Hal ini disebabkan: nutrisi sudah habis, energi cadangan di dalam sel sudah habis, peningkatan zat-zat toksik yang akan meracuni sel-sel bakteri.

3. Faktor-Faktor yang Berpengaruh terhadap Pertumbuhan Sel Bakteri

Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan sel bakteri, yaitu.

- a. Nutrisi
Semua organisme, termasuk sel bakteri, membutuhkan nutrisi. Beberapa hal yang mendasari bakteri untuk memenuhi kebutuhan akan nutrisi, yaitu.
- 1) Semua organisme membutuhkan energi
 - 2) Semua organisme membutuhkan karbon
 - 3) Semua organisme membutuhkan nitrogen
 - 4) Semua organisme membutuhkan belerang (sulfur)
 - 5) Semua organisme membutuhkan beberapa unsur logam (Na, Ca, Mg, Zn, Pb, dan Co).
 - 6) Semua organisme membutuhkan vitamin
 - 7) Semua organisme membutuhkan air

Nutrien-nutrien ini dapat masuk ke dalam sel bakteri melalui beberapa cara, yaitu.

1) Difusi pasif

Nutrisi dapat masuk dari konsentrasi yang lebih tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah. Pada proses ini, tidak ada interaksi antara molekul dengan bahan apapun pada membran sel. Pergerakan molekul yang terjadi adalah secara acak. Gambar 7.3 menunjukkan mekanisme-mekanisme angkutan nutrisi ke dalam sel.

2) Difusi dipercepat

Nutrien dapat masuk dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah, yang mana kecepatan pergerakan molekul lebih tinggi dibandingkan dengan proses difusi pasif. Kecepatan pergerakan molekul ini disebabkan proses pergerakannya dibantu oleh protein pada membran sel yang disebut *permease*. Sifat enzim *permease* yaitu: bekerja secara spesifik, bersifat terinduksi, dan kecepatannya maksimum pada konsentrasi substrat tertentu. Molekul solut bergabung secara reversibel dengan molekul penghantar (*porter*).

3) Transport aktif

Nutrien bergerak dari konsentrasi rendah ke konsentrasi tinggi. Dalam proses ini, dibutuhkan enzim *permease* dan energi untuk membantu kerja enzim tersebut. Sebagai contoh adalah masuknya laktosa ke dalam sel, sehingga afinitas *permease* terhadap laktosa di luar sel lebih tinggi daripada di dalam sel. Pada proses ini, terdapat tiga langkah yaitu.

- Pengikatan solut di situs penerima pada protein pengantar (*enzim permease*) yang terikat pada membran.
- Translokasi kompleks solut-penghantar melintasi membran.
- Penggandengan translokasi pada suatu reaksi penghasil energi untuk mengurangi afinitas penghantar protein terhadap solut pada permukaan dalam membran. Dengan demikian, protein penghantar akan melepaskan solut tersebut ke dalam sel. Proses ini membutuhkan energi.

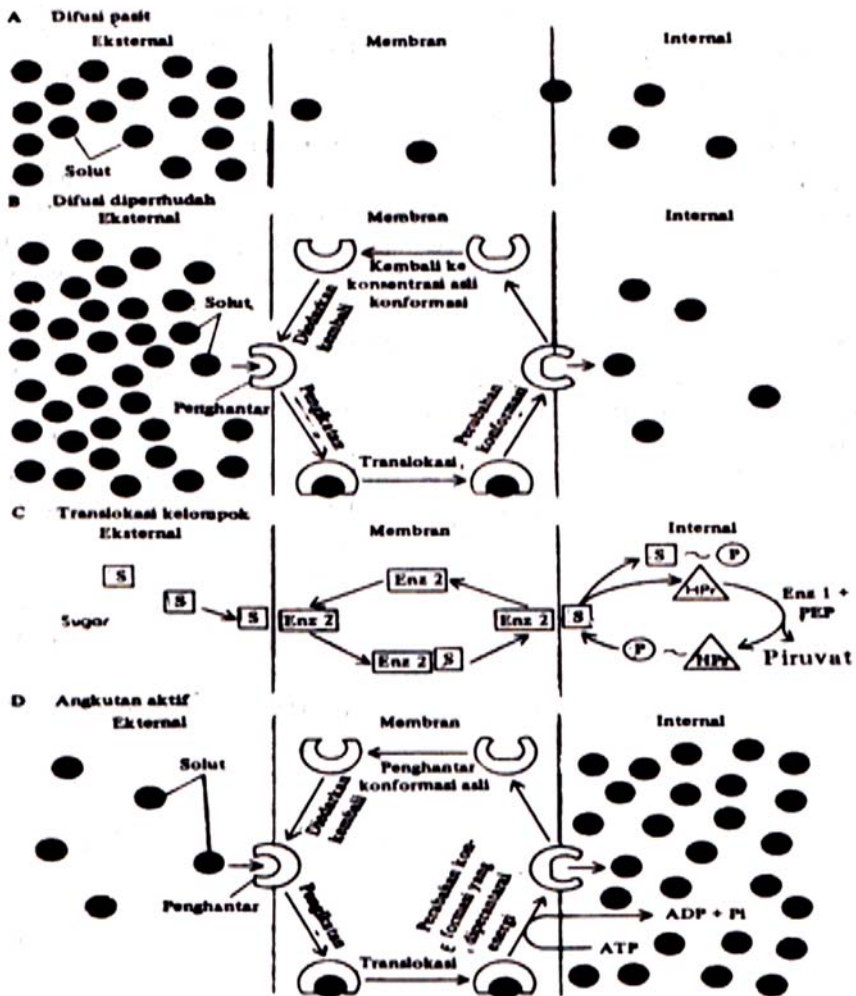
4) Translokasi

Proses translokasi membutuhkan energi. Langkah-langkah dalam proses ini adalah.

- Mula-mula suatu protein tahan panas (*Heat protein/Hpr*) di dalam sel diaktivasi dengan jalan memindahkan sebuah gugus fosfat dari senyawa berenergi tinggi

fosfoenolpiruvat (PEP) pada *Hpr*. Proses pemindahan gugus ini diaktivasi oleh enzim-1.

- Pada saat yang bersamaan, gula bergabung dengan enzim-2 pada permukaan luar membran, dan diangkut ke permukaan dalam membran.
- Gula kemudian bergabung dengan gugus fosfat yang dibawa oleh *Hpr* teraktivasi. Selanjutnya, kompleks gula-fosfat dilepaskan oleh enzim-2, dan kompleks gula-fosfat memasuki sel.



Gambar 7.3 Mekanisme-mekanisme pengangkutan nutrisi ke dalam sel (Pelczar, et al., 1986) (A) difusi pasif, (B) difusi dipercepat, (C) translokasi, (D) angkutan aktif.

b. Air

Air dibutuhkan untuk perkembangbiakan sel. Kegunaan air untuk sel bakteri adalah untuk: (a) mengisi sitoplasma sel, yang merupakan komponen terbesar di dalam sel, (b) sebagai bahan reaktan dalam berbagai reaksi biokimiawi sel bakteri.

c. Kondisi keasaman (pH)

Kondisi keasaman (pH) pertumbuhan untuk kelompok bakteri berkisar antara 6,5 - 7,5. Beberapa spesies bakteri dapat tumbuh pada suasana sangat asam dan sangat basa (*alkalin*).

Bahan penyangga untuk menjaga atau mempertahankan kondisi pH di dalam suatu media adalah larutan penyangga (contoh: KH_2PO_4). Selain itu, bahan-bahan seperti pepton yang ada di dalam bahan nutrisi tersebut dapat berfungsi sebagai larutan penyangga.

d. Suhu

Pertumbuhan sel bakteri, dapat dipengaruhi oleh suhu. Suhu berpengaruh nyata terhadap kerja enzim dan ketahanan struktur sel bakteri.

Berdasarkan suhu pertumbuhannya, bakteri dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- Bakteri psikrofilik, suhu pertumbuhannya: $-5 - 30^\circ\text{C}$; suhu optimum: $10 - 20^\circ\text{C}$.
- Bakteri mesofilik, suhu pertumbuhannya: $10 - 45^\circ\text{C}$; suhu optimum: $20 - 40^\circ\text{C}$.
- Bakteri termofilik, suhu pertumbuhannya: $25 - 80^\circ\text{C}$; suhu optimum: $50 - 60^\circ\text{C}$

Sel bakteri yang berspora, dapat tahan terhadap perlakuan suhu tinggi.

e. Tersedianya oksigen (O_2)

Berdasarkan kebutuhan akan oksigen, maka bakteri dapat dikelompokkan menjadi lima kelompok, yaitu.

- Anaerob obligat, hanya tumbuh di bawah kondisi tanpa oksigen. Oksigen bersifat toksik bagi sel bakteri kelompok ini.
- Anaerob aerotoleran, bakteri yang tidak dapat terbunuh dengan oksigen. Bakteri ini dapat hidup secara optimum pada kondisi tanpa oksigen.
- Anaerob fakultatif, bakteri yang mampu tumbuh baik pada kondisi ada oksigen maupun tanpa oksigen.

- Aerob obligat, bakteri yang selalu membutuhkan oksigen untuk pertumbuhannya.
 - Organisme mikroaerofilik, tumbuh baik di bawah tekanan oksigen yang rendah; pada suasana yang bertekanan oksigen tinggi akan menghambat pertumbuhannya.
- f. Komponen Antimikroba
- Medium pembiakan sel bakteri yang mengandung antimikroba, dapat menghambat pertumbuhan sel bakteri. Komponen antimikroba yang terdapat dalam suatu makanan (medium), dapat melalui salah satu dari cara-cara berikut: (a) terdapat secara alami di dalam suatu bahan makanan, (b) terbentuk selama pengolahan, oleh jasad renik tumbuh selama fermentasi makanan.
- g. Kondisi Lain
- Beberapa bakteri membutuhkan konsentrasi garam yang cukup tinggi di dalam suatu medium pertumbuhannya. Bakteri jenis ini, disebut dengan halofilik. Halofilik obligat, adalah kelompok bakteri yang mensyaratkan adanya konsentrasi garam NaCl yang tinggi untuk pertumbuhannya. Halofilik fakultatif, adalah kelompok bakteri yang dapat tumbuh dalam larutan garam NaCl, tetapi tidak mensyaratkannya.
- Kelompok bakteri tertentu, membutuhkan cahaya untuk untuk pertumbuhannya (khusus bakteri fotosintetik seperti bakteri sulfur hijau, bakteri sulfur ungu, dan bakteri nonsulfur ungu). Bakteri-bakteri tersebut memiliki klorofil yang mampu mengabsorpsi energi matahari untuk proses fermentasinya.

D. Ringkasan

Bakteri bereproduksi secara aseksual, yaitu dengan cara pembelahan sel biner melintang, dan cara lain. Hasil dari pembelahan sel secara melintang, yaitu dua sel anak baru. Bakteri dapat bereproduksi dengan cara lain, yaitu dengan membentuk spora vegetatif, dan fragmentasi pertumbuhan berfilamen.

Waktu generasi adalah waktu yang diperlukan oleh suatu sel bakteri untuk membelah diri dan menghasilkan dua sel anak baru. Setiap bakteri tidak memiliki waktu generasi yang sama. Waktu generasi sangat ditentukan oleh kondisi pertumbuhan sel bakteri, yaitu mencakup nutrisi, genetik, dan faktor-faktor pertumbuhan yang lainnya, seperti pH, keberadaan oksigen, air, kadar garam, dan intensitas cahaya.

Pertumbuhan sel bakteri didefinisikan sebagai penambahan jumlah sel bakteri. Oleh karena bakteri adalah organisme uniseluler, maka penambahan jumlah sel, berarti juga penambahan individu bakteri.

Dalam suatu kurva pertumbuhan bakteri, terdapat beberapa fase pertumbuhan. Fase-fase pertumbuhan dalam suatu kurva pertumbuhan bakteri yaitu fase: adaptasi, pertumbuhan awal, logaritmik, pertumbuhan diperlambat, stasioner, menuju kematian, dan kematian. Setiap fase pertumbuhan, dipengaruhi oleh keberadaan dan jumlah: nutrisi, cadangan makanan di dalam sel bakteri, bahan toksik di dalam media pertumbuhan, oksigen.

Proses pertumbuhan sel bakteri dipengaruhi oleh berbagai faktor pertumbuhan. Faktor-faktor pertumbuhan sel bakteri adalah: nutrisi, air, kadar keasaman (pH), oksigen, suhu, kadar asam, intensitas cahaya. Faktor-faktor pertumbuhan ini mempengaruhi setiap spesies bakteri dalam pertumbuhannya, dan akan bersifat spesifik terhadap spesies bakteri tertentu.

E. Pertanyaan-Pertanyaan

1. Jelaskan cara-cara reproduksi sel bakteri!
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan waktu generasi dalam pertumbuhan sel bakteri!
3. Jelaskan fase-fase dalam suatu kurva pertumbuhan sel bakteri!
4. Jelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan sel bakteri!
5. Jelaskan cara-cara nutrisi masuk ke dalam sel bakteri!

BAB 8

STERILISASI DAN DISINFEKSI

*B*akteri merupakan makhluk berukuran kecil (mikroorganisme). Organisme ini bersel tunggal (*uniseluler*). Organisme lain yang termasuk dalam mikroorganisme adalah fungi uniseluler, alga uniseluler, protozoa.

Dalam analisis bakteri di laboratorium, prinsip-prinsip pengendalian mikroorganisme lain perlu diperhatikan. Hal ini dilakukan agar menghindari kontaminasi pertumbuhan sel bakteri oleh mikroorganisme lain. Dengan selalu memperhatikan kondisi steril dalam setiap analisis bakteriologis di laboratorium, memungkinkan diperoleh kondisi berbagai alat atau bahan yang digunakan dalam laboratorium tersebut terbebas dari kehidupan apapun. Dengan demikian, maka analisis terhadap bakteri atau kelompok bakteri yang dikehendaki, akan berjalan dengan baik, dan tidak terkontaminasi bakteri atau kelompok bakteri lain, serta mikroorganisme lain.

Prinsip pembebasan (pengendalian) mikroorganisme, termasuk bakteri, dari suatu bahan merupakan aspek penting dalam proses analisis bakteri di laboratorium. Prinsip pembebasan suatu bahan dari kontaminasi mikroorganisme, merupakan hal yang sangat vital dalam analisis-analisis bakteriologis. Hal ini dimaksudkan agar, dalam analisis bakteriologis di laboratorium, betul-betul dimulai dari keadaan alat dan bahan yang digunakan, terbebas dari kehidupan apapun. Hal ini dimaksudkan agar, dalam proses analisis bakteriologis di laboratorium, tidak dipengaruhi oleh berbagai mikroorganisme yang tidak dikehendaki yang ada pada alat dan bahan yang

digunakan. Jika terjadi kontaminasi pada alat atau bahan yang digunakan dalam analisis bakteriologis di laboratorium, maka akan mengacaukan proses dan hasil analisis bakteriologis, misalnya dalam hal perhitungan angka kuman (bakteri) yang dikehendaki, dan keberadaan spesies bakteri tertentu yang tidak dikehendaki.

Pembebasan suatu bahan, wadah, dari kehidupan (mikroorganisme) apapun, akan menghasilkan suatu keadaan yang bebas dari kehidupan apapun. Keadaan suatu bahan atau wadah yang terbebas dari kehidupan apapun, disebut steril. Proses pembebasan suatu bahan atau wadah dari kehidupan apapun dapat dilakukan dengan sterilisasi atau disinfeksi.

A. Pengertian

Sterilisasi adalah proses untuk membebaskan suatu benda dari semua mikroorganisme, baik bentuk vegetatif maupun bentuk spora. Kita hanya menjumpai di alam adanya benda yang steril dan tidak steril. Tidak ada benda yang setengah steril. Benda steril berarti benda tersebut bebas dari mikroorganisme. Sterilisasi dapat dikatakan juga bahwa sebuah proses untuk mematikan semua bentuk kehidupan.

Disinfeksi adalah proses mematikan semua mikroorganisme patogen yang dapat menyebabkan infeksi. Proses ini diupayakan untuk dapat mematikan semua sel-sel vegetatif penyebab infeksi, tetapi belum tentu selalu mematikan spora kumannya.

Disinfektan adalah suatu bahan, biasanya zat kimia yang mematikan sel vegetatif, tetapi belum tentu mematikan spora mikroorganisme penyebab penyakit. Disinfektan dan antiseptik berbeda dari antijasad renik yang aktif secara sistemik, karena zat-zat ini tidak memiliki toksisitas selektif. Zat tersebut tidak hanya toksis terhadap jasad renik parasit, tetapi juga terhadap sel-sel tuan rumah. Oleh karena itu, zat-zat ini hanya digunakan untuk melumpuhkan jasad-jasad renik di luar tubuh atau secara terbatas pada permukaan kulit, tetapi tidak dapat dipakai secara sistemik dan tidak aktif di dalam jaringan-jaringan.

Antiseptik adalah suatu substansi yang melawan infeksi (sepsis) atau mencegah pertumbuhan atau kerja mikroorganisme

dengan cara menghancurkan atau menghambat pertumbuhan serta aktivitasnya.

Bahan sanitasi adalah suatu bahan yang mengurangi populasi mikroba sampai batas yang dianggap aman menurut persyaratan kesehatan masyarakat. Biasanya bahan kimia yang mematikan 99,9% bakteri yang sedang tumbuh. Biasanya bahan sanitasi diaplikasikan pada benda mati.

Bakteriosida adalah suatu bahan yang mematikan bentuk-bentuk vegetatif bakteri (bakterisidal). Demikian pula untuk istilah fungisidal (mematikan fungi), viriosidal (mematikan partikel virus), sporisidal (mematikan spora).

Bakteriostatik adalah suatu bahan yang menghambat pertumbuhan bakteri (bakteriostatik). Pertumbuhan sel bakteri dapat terjadi kembali jika unsur atau bahan tersebut sudah tidak ada lagi.

Bahan antibakterial adalah istilah umum, diartikan sebagai bahan yang mengganggu pertumbuhan dan metabolisme bakteri.

Septik adalah suatu keadaan yang ditandai dengan adanya kuman patogen dalam jaringan hidup.

B. Cara-cara Sterilisasi

Secara umum ada dua cara sterilisasi, yaitu:

1. Sterilisasi Secara Fisik

Sterilisasi secara fisik, terdiri atas beberapa macam, yaitu:

- a. Sterilisasi yang menggunakan cahaya matahari
 - Sinar ultraviolet
 - Sterilisasi cara ini digunakan untuk sterilisasi air sungai, danau.
- b. Sterilisasi dengan cara pengeringan

Pengeringan digunakan untuk membunuh kuman, terutama bentuk vegetatifnya. Sterilisasi dengan cara pengeringan ini tidak efektif terhadap spora kuman.
- c. Sterilisasi dengan cara pemanasan

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses sterilisasi cara pemanasan adalah.

 - Jenis pemanasan: pemanasan basa atau pemanasan kering
 - Suhu dan lama pemanasan

- Angka (jumlah) sel mikroorganisme yang ada
- Keberadaan spora di dalam sel mikroorganisme
- Jenis bahan yang mengandung mikroorganisme
- * Pemanasan kering

Dasar-dasar proses membunuh kuman dengan pemanasan kering adalah.

 - Denaturasi protein
 - Kerusakan akibat oksidasi
 - Efek toksik akibat kadar elektrolit

Ada beberapa macam pemanasan kering, yaitu:

 - Pemanasan langsung sampai merah

Pemanasan cara ini, digunakan untuk sterilisasi logam (contoh: pemanasan sengkELIT). Cara pemanasannya adalah memanggang bahan yang akan disterilkan tersebut di atas nyala api sampai bahan tersebut berwarna merah.
 - Melayangkan di atas nyala api

Cara pemanasan ini adalah dilayangkan bahan yang akan disterilkan tersebut di atas nyala api, tanpa harus menjadi merah sekali. Contohnya, sterilisasi pada mulut tabung biakan, perbenihan.
 - Pembakaran

Cara pembakaran ini merupakan cara terbaik untuk sterilisasi secara cepat. Contohnya, membakar bangkai hewan, bahan-bahan patologis.
 - Sterilisasi dengan udara panas

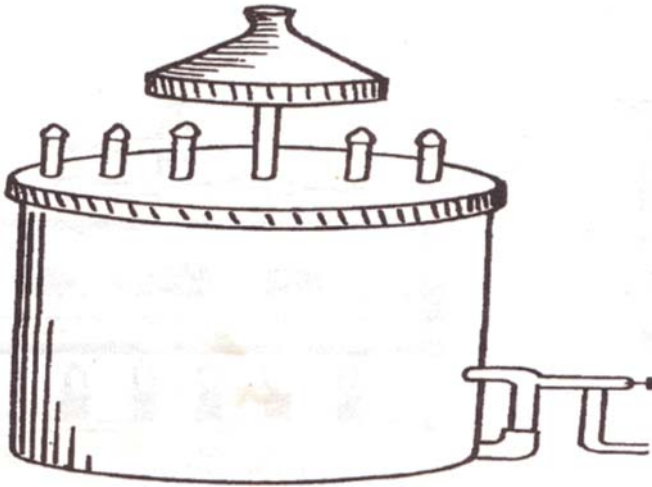
Sterilisasi dengan cara ini, diperlukan suhu 160°C, selama satu jam. Cara sterilisasi ini biasanya digunakan untuk sterilisasi lempeng petri, tabung reaksi.
- * Pemanasan basah

Pada pemanasan basah, efeknya adalah denaturasi protein. Ada beberapa cara sterilisasi dengan pemanasan basah, yaitu.

 - Pemanasan dengan menggunakan suhu di bawah 100°C
 - Pemanasan dengan menggunakan suhu 63°C selama 30 menit (cara *Holder*). Pemanasan dengan suhu 72°C selama 15 - 20 menit (cara *Flash*). Sasaran utamanya adalah bakteri-bakteri *Mycobakterium*, *Salmonella*, *Brucella*.

- Penangas vaksin

Cara sterilisasi ini dipergunakan untuk membunuh kuman-kuman yang tidak berspora yang ada di dalam vaksin. Cara pemanasannya adalah dengan cara pemanasan basa selama satu jam. Alat penangas vaksin, ditunjukkan pada Gambar 8.1.



Gambar 8.1 Penangas vaksin (Gupte, 1990)

- Inspisasi

Cara sterilisasi ini dipergunakan untuk memadatkan serum/telur secara perlahan-lahan, dengan memanaskannya pada suhu 80°C di dalam inspikator. Contohnya, untuk pemanasan serum miring di dalam tabung.

- Pemanasan dengan menggunakan suhu 100°C

- Tindalisasi

Sterilisasi dengan cara tindalisasi, dilakukan dengan cara memanaskan perbenihan pada suhu 100°C pada aliran uap selama 30 menit selama tiga hari secara berturut-turut. Sterilisasi cara ini biasanya dilakukan untuk mensterilkan perbenihan yang mengandung telur atau serum.

- Mendidihkan

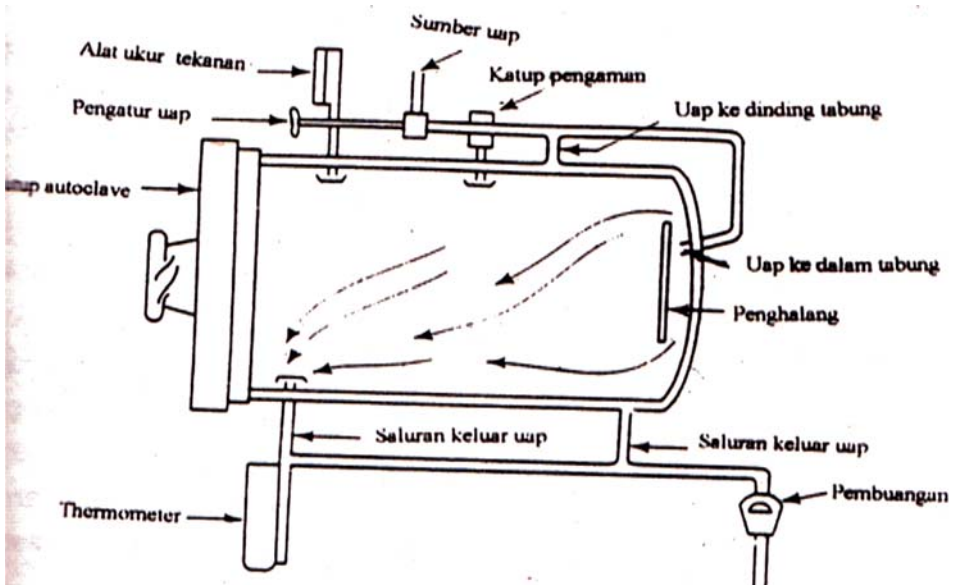
Sterilisasi dengan cara mendidihkan dilakukan dengan cara mensterilkan alat dalam air mendidih selama 10 - 30 menit.

- Pemanasan di atas uap air panas (100°C) dalam tekanan atmosfer. Cara sterilisasi adalah uap air bebas dipakai untuk mensterilkan bahan-bahan yang akan rusak pada suhu tinggi. Alat yang dipakai dalam proses sterilisasi ini adalah menggunakan Dandang Arnold.
- Pemanasan dengan uap air dengan tekanan
Proses pendidihan tidak cukup untuk memperoleh keadaan steril, karena spora kuman masih hidup. Oleh karena itu, diperlukan alat sterilisasi dengan tekanan, yaitu *Otoklaf*.

* *Otoklaf*

Pada alat ini, bahan-bahan yang akan disterilkan, dipanaskan sampai suhu 121°C selama 15 - 20 menit pada tekanan uap 15 pound per inci (kira-kira 1,5 atmosfer). Uap air jenuh memanaskan bahan tersebut, sehingga dengan cepat disterilkan dengan melepaskan panas yang laten. Gambar 8.2 menunjukkan sebuah *otoklaf*.

Udara merupakan penghantar panas yang buruk. Oleh sebab itu, harus dikeluarkan dari *otoklaf*. Rongga di dalam *otoklaf* tidak boleh diisi terlalu penuh dengan benda-benda yang akan disterilkan supaya terjadi aliran uap yang cukup baik.



Gambar 8.2 Otoklaf (Entjang, 2003)

Otoklaf dipergunakan untuk mensterilkan perbenihan, bahan-bahan dari karet, pakaian, pembalut dan lain sebagainya.

d. Sterilisasi dengan cara penyaringan

Sterilisasi cara ini berguna untuk larutan antibiotika, serum, larutan karbohidrat, dan lain-lain. Cara ini juga berguna untuk memisahkan kuman dari toksin dan dari fage. Sterilisasi cara ini juga dipergunakan dalam menyaring kuman yang jumlahnya sedikit di dalam suatu cairan.

Virus dan mikoplasma dapat lewat saringan kuman. Hal ini merupakan kekurangan dari cara sterilisasi dengan penyaringan ini. Ada beberapa jenis saringan kuman yaitu: filter dari gelas berlubang, filter membran atau kolodion, tabung porselen (misalnya *Berkefeld* atau *Camberland*), filter piringan abses (misalnya *Seitz*).

e. Sterilisasi dengan cara radiasi

Sterilisasi cara radiasi terdiri atas beberapa cara, yaitu:

- Sterilisasi dengan sinar *Ultraviolet* (UV)

Sterilisasi dengan sinar ini, mengakibatkan terjadinya: denaturasi protein, kerusakan DNA, hambatan replikasi DNA.

- Sterilisasi dengan radiasi sinar X dan pengan lain

Cara sterilisasi ini dapat menyebabkan kerusakan atau kematian DNA sel. Sterilisasi seperti ini biasanya dipergunakan untuk mensterilkan benang-benang bedah, semperit sekali pakai, pembalut lekat.

f. Sterilisasi dengan ultrasonik dan geratan sonik

Proses ini bersifat bakteriosidal. Biasanya menimbulkan guncangan mekanis dan pecahnya kuman.

2. Sterilisasi Secara Kimia

Bahan kimia bersifat bakteriostatik. Hal ini disebabkan:

- a. Bahan kimia tersebut dapat menggumpalkan protoplasma kuman.
- b. Bahan kimia tersebut dapat menimbulkan kerusakan selaput sitoplasma.
- c. Bahan kimia tersebut dapat mempengaruhi oksidasi atau pembakaran protoplasma kuman.
- d. Bahan kimia tersebut dapat mempengaruhi enzim atau koenzim kuman.

C. Mekanisme Aktivitas Antimikrobia

Ada beberapa mekanisme aktivitas antimikrobia, yaitu:

1. Agen-Agen yang Merusak Membran Sel

Integritas struktural membran tergantung pada pengaturan susunan protein-protein dan lipid-lipid di mana membran disusun. Akibatnya adalah terjadinya pelepasan metabolit kecil dari sel yang mempengaruhi transport aktif dan metabolisme energi.

Agen-agen perusak membran sel, terdiri atas beberapa macam:

a. Disinfektan aktif permukaan

Agen aktif permukaan ini adalah senyawa-senyawa yang memiliki kemampuan hidrofilik (kemampuan mengikat air) dan hidrofobik (kemampuan menolak air).

Bagian hidrofilik dari agen bersifat larut dalam lemak (*fat soluble*) yang berupa rantai panjang hidrokarbon. Sedangkan bagian hidrofobiknya dapat berupa grup ionik atau nonionik, tetapi memiliki struktur yang polar.

Agen yang termasuk ke dalam agen yang aktif permukaan adalah kationik, anionik, nonionik, dan bahan amfoterik. Senyawa-senyawa kationik dan anionik paling banyak dipergunakan sebagai bahan antimikrobia.

- Agen kationik

- Senyawa *ammonium quarteneri*

Bila sel bakteri terpapar dengan agen-agen tipe ini, muatan positif berikatan dengan *grup fosfat fosfolipid membran*, sambil bagian nonpolar mengadakan penetrasi ke dalam interior hidrofobik membran. Akibatnya adalah hilangnya sifat semipermeabilitas membran dan kebocoran sel; dan senyawa-senyawa nitrogen dari dalam sel akan keluar.

Aktivitas agen ini paling baik pada pH basa. Namun demikian, senyawa ini bersifat bakteriosidal terhadap bakteri Gram positif.

- Agen anionik

Di antara detergen-detergen anionik, sabun-sabun dan asam-asam lemak yang dapat terurai dan membentuk ion muatan negatif. Agen ini aktif pada pH asam, dan efektif membunuh kuman Gram positif dan tidak efektif terhadap kuman Gram negatif, karena bakteri Gram negatif memiliki membran luar (*outer membrane*) yang terdiri dari

lipopolisakarida. Detergen anionik menyebabkan pengoyakan pada kerangka lipoprotein dari membran sel kuman.

- Senyawa-senyawa phenol

Pada konsentrasi rendah, senyawa ini bersifat bakteriosidal, menyebabkan kebocoran sel dan inaktivasi yang *irrevesibel* dari enzim-enzim oksidase dehidrogenase pada membran sel. Aktivitas bakteriosidal phenol dapat ditingkatkan dengan substitusi yang bervariasi dalam inti phenol. Senyawa-senyawa yang paling penting adalah *alkyl-dan derivate-derivat chloro* dan *diphenil*.

Oleh karena disinfektan phenol memiliki sifat solubilitas (daya larut) yang rendah di dalam air, maka disinfektan ini diformulasikan dengan agen-agen emulsi, seperti sabun. Sabun dapat meningkatkan aktivitas bakteriosidal dari senyawa-senyawa phenol.

Fenol dipergunakan untuk mensterilkan alat-alat bedah dan untuk membunuh kuman yang tercecer di laboratorium. Larutan yang dipakai biasanya mempunyai kadar 3%.

■ Cresol

Bentuk yang paling sederhana dari phenol adalah cresol. *Orthocresol*, *metacresol*, dan *paracresol*, secara nyata lebih aktif daripada phenol, dan biasanya digunakan dalam bentuk campuran yaitu *tricresol*.

Cresol diperoleh dengan cara distilasi dari coal tar, yang diemulsikan dengan sabun-sabun hijau, dan dijual dengan nama pasar yaitu *Lysol* dan *creolin*.

■ Senyawa-senyawa diphenol

Senyawa-senyawa ini yang terpenting adalah *derivate chlorin*, *hexachlorophene*, yang mana lebih efektif membunuh kuman Gram positif khususnya *Staphylococcus* dan *Streptococcus*.

Hexachlorophene bersifat bakteriosidal, jika digunakan dalam konsentrasi tinggi, dan akan tetap berpotensi sebagai antimikrobal bila dicampur dengan sabun atau ditambahkan ke dalam obat-obat kosmetik. Proses absorpsi melalui kulit, tetapi dapat menyebabkan neurotoksin, khususnya pada bayi dan sekarang penggunaannya sangat dibatasi.

- Alkohol

Alkohol menghancurkan struktur lipid dengan mengadakan penetrasi ke dalam bagian-bagian hidrokarbon. Alkohol dan pelarut-pelarut organik lainnya juga mengoyak protein seluler.

Alkohol alifatik, khususnya etanol, telah digunakan secara luas sebagai disinfektan kulit. Daya kerjanya sebagai disinfektan sangat dibatasi pada kondisi suhu kamar. Hal ini berarti pada suhu kamar, alkohol tidak efektif terhadap kuman-kuman yang membentuk spora, dan untuk alasan ini, dapat digunakan pada sterilisasi alat-alat.

Etanol digunakan secara luas sebagai disinfektan kulit sebelum injeksi kutaneous. Etanol juga digunakan untuk disinfektan thermometer klinik.

Etanol aktif dalam melawan organisme-organisme Gram positif dan negatif, dan kuman-kuman *Acid-fast* (Batang Tahan Asam/BTA), dan paling efektif digunakan pada konsentrasi 50 - 70%.

2. Agen yang Merusak Protein

Agen yang merusak protein, akan merubah konformasi protein, dan menyebabkan terjadinya pembentangan pada rantai polipeptida. Dengan demikian susunan rantai polipeptida menjadi acak dan irregular atau lingkaran yang tidak teratur.

Agen-agen kimia yang merusak protein seluler adalah: asam, basa, alkohol, dan pelarut organik lainnya.

a. Asam dan basa

Agen ini mempergunakan aktivitas bakterisidalnya melalui ion-ion bebas H^+ dan OH^- , melalui pemisahan molekul atau dengan perubahan pH lingkungan organisme.

Molekul utuh asam-asam organik bertanggungjawab pada aktivitas antibakteri. Asam benzoat dipergunakan secara luas sebagai pengawet makanan. Asam-asam organik lain yang telah digunakan secara luas sebagai pengawet yaitu: asam laktat, asam asetat, asam sitrat, dan asam propionik.

3. Agen yang Memodifikasi Grup Fungsional Protein dan Asam Nukleat

Sisi katalisis dari sebuah enzim mengandung grup fungsional spesifik yang mengikat substrat dan memulai proses katalisis.

Penghambatan hasil-hasil aktivitas enzim jika satu atau lebih grup fungsional ini digantikan atau dirusak. Grup-grup fungsional penting dari dinding sel, asam nukleat juga rentan terhadap inaktivasi.

a. Logam berat

- Air raksa

Mercuri chlorit, populer sebagai disinfektan, sangat toksik dan penggunaannya sangat dibatasi. Merkuri organik seperti metapen, merthiolate, dan mercurochrome, adalah kurang toksik, walaupun tidak dapat dipercaya sebagai disinfektan kulit, berguna sebagai agen antiseptik.

- Senyawa perak

Senyawa perak secara luas digunakan sebagai antiseptik, baik sebagai garam-garam perak yang dapat larut maupun sebagai persiapan koloidal. Secara umum, paling banyak menggunakan garam-garam perak adalah perak nitrat, yang bersifat sangat bakteriosidal untuk gonokokus dan secara rutin untuk profilaksis neonatorum ophthalmia pada bayi yang baru lahir. Pemakaian senyawa perak telah dilakukan terhadap penanganan pasien yang terbakar. Pemakaian perak nitrat atau perak sulfadiazin dalam minyak secara topikal (setempat), mengurangi kematian pasien.

b. Agen-agen pengosidasi

- Halogen

Chlorin dan yodium banyak digunakan sebagai disinfektan. Yodium sebagai disinfektan kulit dan chlorin sebagai disinfektan air; keduanya tidak sama. Yodium dipergunakan terutama untuk kulit, klor bersenyawa dengan air dan membentuk asam hipoklorit yang bersifat bakteriosidal. Keduanya khas di antara disinfektan-disinfektan dalam hal aktivitasnya sebagai bakteriosidal dan bahwa keduanya efektif melawan spora organisme.

- Hidrogen peroksida

Hidrogen peroksida bersifat antiseptik ringan. Bila disinfektan ini digunakan terhadap jaringan, oksigen secara cepat dilepaskan oleh katalase jaringan, dan aksi germisidal berjalan singkat.

c. Zat warna

Zat warna ungu gentian, hijau malakit dan lain-lain bekerja terhadap bakteri Gram positif. Penetrasinya rendah, sehingga zat warna ini hanya bersifat bakteriostatik. Akriflavin bekerja terhadap Stafilokokus dalam kadar 1 : 3.000.000.

d. Formaldehida

Formaldehid berguna untuk mensterilkan vaksin kuman dan untuk menginaktifkan toksin kuman tanpa mempengaruhi sifat antigenitasnya. Larutan formaldehida dengan konsentrasi 5 sampai 10% di dalam air akan membunuh sebagian besar kuman-kuman. Formaldehid bersifat bakteriosidal, sporisidal, dan juga membunuh virus.

Formalin secara komersial tersedia dalam bentuk larutan encer dengan kadar 37% *formaldehyde* (formalin) atau sebagai *paraformaldehyde*, sebuah polimer solid yang mengandung 91 sampai 99% *formaldehyde*.

Formalin digunakan untuk mengawetkan jaringan segar. Jika digunakan dalam konsentrasi yang cukup, formalin akan merusak semua organisme, termasuk sporanya.

e. Disinfektan dalam bentuk aerosol dan gas

Uap SO_2 , klor, dan formalin, dipergunakan sebagai disinfektan berupa gas, demikian juga propilen glikol yang merupakan disinfektan yang kuat.

D. Ringkasan

Sterilisasi adalah proses untuk membebaskan suatu benda dari semua mikroorganisme, baik bentuk vegetatif maupun bentuk sporanya. Disinfeksi adalah proses mematikan semua mikroorganisme patogen yang dapat menyebabkan infeksi. Disinfektan adalah suatu bahan, biasanya zat kimia yang mematikan sel vegetatif, tetapi belum tentu mematikan spora mikroorganisme penyebab penyakit. Bakteriosida adalah suatu bahan yang mematikan bentuk-bentuk vegetatif bakteri (*bakterisidal*). Bakteriostatik adalah suatu bahan yang menghambat pertumbuhan bakteri (*bakteriostatik*).

Ada dua cara sterilisasi, yaitu secara fisik, dan secara kimia. Sterilisasi secara fisik mencakup beberapa cara, yaitu seterilisasi dengan: menggunakan cahaya matahari, pengeringan, pemanasan, penyaringan, radiasi, ultrasonik dan getaran sonik. Sterilisasi secara kimia, melibatkan penggunaan senyawa kimia (disinfektan). Ada beberapa mekanisme aktivitas antimikrobia, yaitu: agen yang merusak membran sel, agen yang merusak protein, agen yang memodifikasi grup fungsional protein dan asam nukleat. Beberapa disinfektan yang sering digunakan antara lain: *Lysol*, *creolin*, *alkohol*,

obat merah (*mercurochrome*), ungu gentian (*gentian violet*), formalin, hidrogen peroksida, dan lain sebagainya.

E. Pertanyaan-Pertanyaan

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan: sterilisasi, disinfeksi, bakteriosida, bakteiostatik!
2. Jelaskan, mengapa kondisi steril dalam setiap analisis bakteriologis merupakan aspek yang sangat vital?
3. Jelaskan cara-cara sterilisasi secara fisik!
4. Jelaskan mekanisme-mekanisme aktivitas bahan-bahan antimikrobia

BAB 9

NUTRISI DAN KULTIVASI SEL BAKTERI

*N*utrisi selalu dibutuhkan oleh makhluk hidup, baik makhluk bersel satu (seperti bakteri), maupun makhluk bersel banyak seperti manusia, hewan, dan tumbuhan tingkat tinggi untuk pertumbuhannya. Oleh karena itu, dalam memelihara kehidupan makhluk hidup termasuk bakteri, perlu diperhatikan nutrisi yang dihendaki oleh makhluk hidup termasuk bakteri tersebut, sehingga pertumbuhannya maksimal.

Proses kultivasi (penanaman) bakteri di laboratorium, perlu diperhatikan nutrisi dan faktor-faktor lain yang dikehendaki oleh bakteri tertentu. Nutrisi dan faktor-faktor pertumbuhan yang mendukung pertumbuhan bakteri, memungkinkan sel bakteri tumbuh dengan maksimal. Selain nutrisi yang harus tersedia di dalam media pertumbuhan bakteri, perlu juga diperhatikan faktor-faktor pertumbuhan lain. Oleh karena itu, kegiatan-kegiatan kultivasi sel bakteri di laboratorium, perlu diperhatikan aspek nutrisi dan faktor-faktor pertumbuhan yang spesifik untuk kelompok bakteri tertentu.

A. Nutrisi untuk Pertumbuhan Sel Bakteri

Untuk dapat bertahan hidup di alam, bakteri harus dapat tumbuh dengan baik. Kondisi yang memungkinkan sel bakteri dapat tumbuh adalah keberadaan nutrisi yang dibutuhkannya. Nutrisi yang dibutuhkan sel bakteri harus ada dalam jumlah yang cukup dalam media pertumbuhannya.

Beberapa bakteri mempunyai persyaratan nutrisi yang sederhana, sedangkan bakteri yang lain mempunyai persyaratan nutrisi yang rumit. Oleh karena itu, perlu diperhatikan macam dan jumlah nutrisi yang ada dalam suatu media pertumbuhan bakteri tertentu.

Bakteri memerlukan nutrisi sebagai sumber materi dan energi untuk menyusun komponen sel bakteri seperti genom, membran plasma dan dinding sel. Oleh karena itu, jika nutrisi yang diperlukan bagi bakteri tertentu tersedia dalam jumlah yang cukup, maka akan mempercepat pertumbuhan sel bakteri, yang didahului dengan peningkatan ukuran komponen-komponen penyusun sel bakteri.

Nutrisi yang diperlukan oleh bakteri untuk meningkatkan komponen-komponen penyusun selnya, merupakan kebutuhan yang harus terpenuhi dan tersedia dalam media pertumbuhannya di laboratorium. Hal ini didasarkan pada kebutuhan sel bakteri akan karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N), sulfur (S), air, beberapa unsur logan seperti: Na, Ca, Mg, Zn, Pb, Co; vitamin. Semua unsur-unsur kimia ini terdapat dalam nutrisi, dan dibutuhkan oleh bakteri untuk menyusun komponen-komponen, dan aktivitas selnya.

B. Media Pertumbuhan Bakteri

Untuk menumbuhkan dan mengembangbiakkan bakteri diperlukan suatu substrat yang disebut media. Agar bakteri dapat hidup dan berkembang dengan baik di dalam media, diperlukan persyaratan media tertentu yaitu.

- Media mengandung semua unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan bakteri.
- Media mempunyai tekanan osmosa dan pH yang sesuai untuk bakteri
- Media harus dalam keadaan steril

Media pertumbuhan bakteri, mengandung berbagai nutrisi dan faktor-faktor yang memungkinkan sel bakteri dapat tumbuh dengan baik. Media pertumbuhan ini dirancang untuk tidak memungkinkan mikroba lain seperti fungi untuk tumbuh di dalam media tersebut. Dengan demikian, maka dapat diperoleh sel bakteri campuran atau spesies bakteri tertentu saja yang dapat tumbuh pada media ini.

Penyiapan media alamiah, misalnya susu skim, tidak menimbulkan masalah di dalam penyiapannya sebagai media, hanya semata-mata dituang kedalam wadah-wadah yang sesuai seperti tabung reaksi atau labu dan disterilkan sebelum digunakan. Media dalam bentuk kaldu nutrien atau yang mengandung Agar disiapkan dengan cara melarutkan masing-masing bahan yang dibutuhkan atau lebih mudah lagi dengan cara menambahkan air pada suatu produk komersial berbentuk medium bubuk yang sudah mengandung semua nutrien yang dibutuhkan. Pada praktisnya semua media tersebut secara komersial dalam bentuk bubuk dan juga dalam bentuk siap pakai didalam cawan-cawan petri, tabung, atau botol.

Penyiapan media bakteriologis selain media alamiah, mengikuti langkah-langkah sebagai berikut.

1. Setiap komponen atau medium terdehidrasi yang lengkap, dilarutkan dalam air suling dengan volume yang sesuai.
2. pH (dalam derajat keasaman dan kebasaan) medium fluida ditentukan dan disesuaikan (dengan menambahkan larutan basa atau asam) dengan nilai yang optimum bagi pertumbuhan bakteri yang akan di kultivasi. pH ditentukan dengan menggunakan indikator pH atau pH meter.
3. Medium tersebut dituang ke dalam wadah yang sesuai seperti tabung labu atau botol dan ditutup dengan sumbat kapas atau tutup plastik atau logam sebelum disterilisasi.
4. Medium itu disterilisasi, biasanya dengan menggunakan otoklaf, proses ini menggunakan panas di bawah tekanan uap.

C. Bentuk media

Bentuk media ditentukan oleh ada atau tidak adanya zat pematik seperti Agar, gelatin. Berdasarkan bentuk, dikenal tiga jenis media, yaitu: media padat, media cair, media semi-padat.

Media padat (media solid); merupakan media yang berbentuk padat, yang terdiri atas nutrisi yang ditambah dengan Agar-Agar sebagai pematik, yang dibuat padat dalam cawan (*plate*) atau dalam bentuk Agar miring dalam tabung. Media padat, dibuat dengan menambahkan komponen pematik seperti Agar ke dalam medium kaldu. Contoh media padat adalah *Nutrien Agar (NA)*. Media padat umumnya dipergunakan untuk mempelajari penampilan

atau koloni bakteri. Selain itu, media padat dipergunakan juga untuk mengasingkan kuman untuk mendapatkan koloni terpisah (untuk memperoleh biakan murni).

Media cair (media *broth*); merupakan media yang terdiri dari nutrisi-nutrisi yang berbentuk cair. Media ini tidak ditambahkan dengan komponen pematid seperti Agar. Oleh karena itu, dalam suhu kamar, wujud media ini selalu cair. Contoh media cair adalah kaldu nutrisi (*nutrient broth*). Media cair dipergunakan untuk: membiakkan mikroorganisme dalam jumlah besar, penelaan fermentasi, perlakuan berbagai macam uji. Media ini tidak cocok untuk pengasingan bakteri untuk memperoleh biakan murni, juga tidak dapat dipakai untuk mempelajari koloni bakteri.

Media setengah padat (media *semi-solid*); merupakan media yang dibuat dengan menambahkan komponen pematid, misalnya Agar, yang hanya setengah atau kurang dari seharusnya ke dalam nutrisi. Dengan demikian, tingkat konsistensi media ini lebih rendah jika dibandingkan dengan media padat (media *solid*). Media setengah padat dipergunakan untuk: menguji ada tidaknya motilitas (pergerakan) sel bakteri, menguji ada tidaknya kemampuan fermentasi bakteri.

Berdasarkan sifatnya atau kegunaannya, media pertumbuhan bakteri dikelompokkan menjadi: media umum, media sederhana, media pengaya, media pemupuk, media diferensiasi, media selektif, media khusus, dan media serbaguna.

Media umum; adalah media yang dipergunakan untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan satu atau lebih kelompok mikroba (bakteri) secara umum. Contoh media ini adalah agar kaldu nutrisi.

Media pengaya; adalah media dimana suatu jenis bakteri diberi kesempatan untuk tumbuh lebih cepat dari jenis bakteri yang lain yang sama-sama berada di dalam satu media. Misalnya kaldu selenit atau kaldu *tertrationat* untuk memisahkan *Salmonella typhi* dari mikroba lain yang ada dalam *feces*.

Media pemupuk (*enrichment*); merupakan media yang ditambah dengan suatu bahan, untuk mempersubur bakteri tertentu saja, dan bahan yang ditambahkan tersebut dapat menghambat pertumbuhan bakteri lain.

Media pembanding (*differensial*); merupakan media yang dipergunakan untuk penumbuhan bakteri tertentu, serta penentuan sifat-sifatnya. Media pembanding dipergunakan untuk membedakan dua kelompok bakteri tertentu, berdasarkan sifat metabolisme kedua kelompok bakteri tersebut. Misalnya penggunaan media untuk menentukan kemampuan memfermentasi laktosa dari bakteri.

Media selektif; merupakan media yang hanya dapat ditumbuhkan oleh satu atau jenis bakteri tertentu, tetapi menghambat atau mematikan jenis-jenis bakteri lainnya. Media ini mengandung zat-zat kimia tertentu yang dapat menghambat pertumbuhan satu kelompok bakteri atau lebih, tanpa menghambat pertumbuhan organisme yang diinginkan. Misalnya media SS (*Salmonella-Shigella*) Agar, untuk menumbuhkan *Salmonella* dan *Shigella*, tetapi media ini dapat menghambat atau mematikan bakteri lain yang tidak dikehendaki.

Media khusus; merupakan media yang ditambahkan dengan suatu bahan untuk pertumbuhan suatu bakteri tertentu. Misalnya, media yang ditambah dengan darah domba, kelinci, atau kuda; untuk mengetahui kemampuan bakteri dalam melakukan hemolisa.

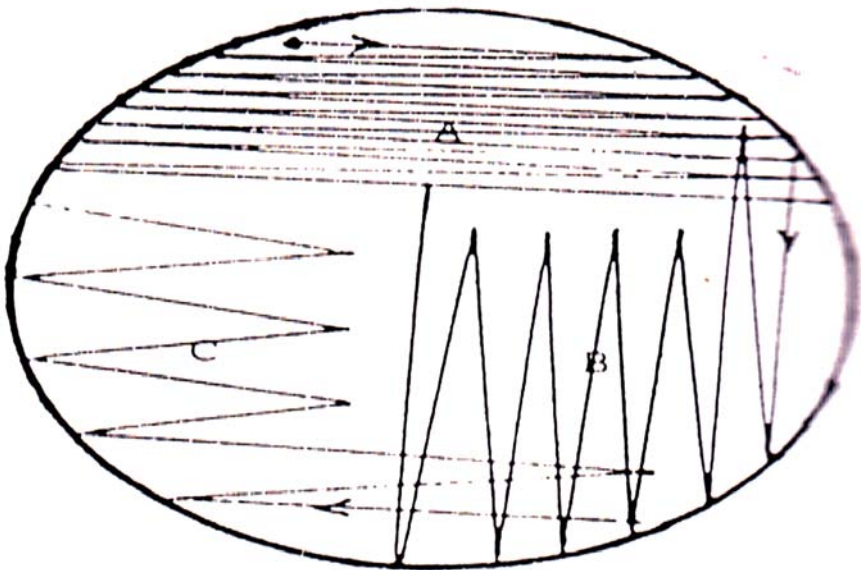
Media serbaguna; merupakan media yang dapat menunjang pertumbuhan sebagian besar bakteri. Misalnya kaldu nutrisi (*nutrient broth*).

D. Metode Kultivasi Bakteri

Populasi bakteri di alam sangat banyak. Keberadaan bakteri di alam, dapat dijumpai di udara, tanah, dan air. Bakteri-bakteri yang hidup di alam terdiri atas banyak jenis. Oleh karena itu, jika ditumbuhkan dalam media yang memungkinkan seluruh jenis bakteri tumbuh, maka akan diperoleh kultur campuran (bakteri yang terdiri atas berbagai spesies).

Untuk memperoleh kultur murni, maka dalam kultivasi (penanaman) bakteri di laboratorium, dilakukan metode penanaman tertentu. Metode-metode kultivasi yang dapat diterapkan dalam upaya memperoleh kultur murni, adalah: metode goresan (*streaking method*), metode tuang (*pour plate*). Metode goresan, dilakukan dengan menggoreskan sel-sel bakteri dengan

menggunakan ose pada media padat di dalam cawan petri, atau media padat miring di dalam tabung. Metode tuang, dilakukan dengan didahului mengencerkan sampel yang mengandung bakteri. Dalam metode tuang, setelah dilakukan pengenceran, kemudian sampel tersebut disedot dengan jumlah tertentu dengan menggunakan pipet, dan dimasukkan ke dalam cawan petri. Selanjutnya, ditambahkan dengan media padat, digoyang-goyang agar media dan sampel dapat bercampur dengan merata. Gambar 9.1 menunjukkan cara menyebarkan sel bakteri dengan metode goresan (*streaking*).



Gambar 9.1 Cara menyebarkan bakteri dengan metode goresan (Laboratorium Mikrobiologi Universitas Airlangga, 1994)

Selain metode goresan dan metode tuang yang dipakai untuk penanaman bakteri dalam rangka memperoleh koloni terpisah, ada metode penanaman bakteri lain di laboratorium. Metode-metode lain yang dipakai dalam menanam bakteri, yaitu.

1. Pemiakan lapangan; dikerjakan dengan membasahi seluruh permukaan lempeng Agar dengan suspensi kuman. Cara ini akan menyebabkan pertumbuhan kuman secara merata. Biakan serupa ini berguna untuk penentuan jenis kuman dengan bakteriofaga dan uji kepekaan terhadap antibiotika.

2. Biakan tusukan; dikerjakan dengan menusukkan perbenihan dengan sengkeli jarum yang panjangnya 11 cm. Biakan tusukan ini dipakai untuk menunjukkan adanya pencairan gelatin dan mempertahankan biakan kaldu.
3. Biakan cair di dalam tabung, botol, atau erlenmeyer, dapat ditanami dengan mencelupkan sengkeli yang sudah dioleskan kuman. Biakan cair diperlukan jika kita membutuhkan biakan yang banyak dan cepat.

Dalam menumbuhkan bakteri pada media pertumbuhan, perlu diperhatikan sifat bakteri berdasarkan kebutuhan akan oksigen dalam pertumbuhannya. Terkait dengan bakteri anaerob, Fardiaz (1989) menjelaskan bahwa bakteri anaerob tidak dapat tumbuh pada permukaan atau sedikit di bawah permukaan medium padat atau semi-padat di dalam udara pada tekanan atmosfer. Bakteri anaerobik yang *aerotoleran* dapat tumbuh dengan baik pada permukaan Agar dengan tekanan oksigen yang rendah di atmosfer. Tetapi bakteri *anaerobik obligat* dapat segera mati jika terkena oksigen. Ada juga bakteri yang bersifat *anaerobik fakultatif*, yaitu dapat tumbuh tanpa atau dengan adanya oksigen. Oleh karena itu, dalam menumbuhkan bakteri pada media-media pertumbuhan, perlu diperhatikan ciri-ciri bakteri yang akan ditumbuhkan, sehingga teknis penanaman bakteri tersebut pada media pertumbuhannya, disesuaikan dengan ciri-ciri nya.

E. Gambaran Koloni Kuman

Koloni adalah kumpulan sel-sel tunggal, hasil pembelahan sel kuman, pada media padat atau semi-padat. Macam-macam bentuk koloni adalah: bulat, tidak teratur, berjari-jari atau berambut. Permukaan koloni juga bermacam-macam, yaitu: licin, kasar, berbutir halus atau kasar, berbintil-bintil, berkilap dan lain-lain. Ukuran koloni berkisar antara: 2 sampai 3 mm. Koloni yang sangat kecil berukuran 0,5 - 1 mm. Penonjolan koloni bakteri bermacam-macam, antara lain: agak cembung, cembung, menyebar, menonjol dengan permukaan yang rata, menonjol di tengah, cembung berbintik-bintik. Gambar 9.2 berikut menunjukkan penonjolan koloni.



Gambar 9.2 Penonjolan koloni (Gupte, 1990)

F. Ringkasan

Bakteri membutuhkan nutrisi untuk mensintesis komponen-komponen selnya. Oleh karena itu, dalam proses kultivasi (penanaman) bakteri di laboratorium, perlu diperhatikan keberadaan dan jumlah nutrisi di dalam media pertumbuhannya. Nutrisi untuk pertumbuhan bakteri, merupakan sumber Carbon (C), Hidrogen (H), Nitrogen (N), Oksigen (O), sulfur (S), air, beberapa unsur logam seperti: Na, Ca, Mg, Zn, Pb, Co; vitamin.

Media pertumbuhan, merupakan media yang berisi nutrisi, dan unsur kimia lain, yang disiapkan untuk menumbuhkan sel bakteri di laboratorium. Media pertumbuhan bakteri harus memenuhi persyaratan, yaitu: mengandung nutrisi, pH yang sesuai dengan kebutuhan sel bakteri, dan harus dalam keadaan steril.

Berdasarkan bentuknya, media pertumbuhan bakteri dikelompokkan menjadi: media padat (*media solid*), media cair (*media broth*), dan media setengah padat (*media semi-solid*). Media padat, mengandung bahan pematat seperti Agar, digunakan untuk mempelajari penampilan atau koloni bakteri, dan untuk mengasingkan kuman untuk mendapatkan koloni terpisah. Media cair, tidak mengandung bahan pematat seperti Agar, dan dipergunakan untuk: membiakkan mikroorganisme dalam jumlah besar, penelaan fermentasi, perlakuan berbagai macam uji. Media setengah padat, merupakan media yang mengandung bahan pematat tetapi dalam jumlah yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan media padat, dan dipergunakan untuk: menguji ada tidaknya motilitas (pergerakan) sel bakteri, menguji ada tidaknya kemampuan fermentasi bakteri.

Untuk mendapatkan koloni terpisah, maka dalam kultivasi bakteri di laboratorium, dapat dilakukan metode-metode kultivasi tertentu. Metode-metode kultivasi tersebut antara lain, metode tuang dan metode gores. Kedua jenis metode kultivasi tersebut, diterapkan dalam penanaman bakteri untuk mendapatkan koloni terpisah, dalam upaya mengisolasi bakteri untuk memperoleh biakan murni.

Koloni adalah kumpulan sel-sel tunggal, hasil pembelahan kuman, biasanya tumbuh pada media padat atau semi-padat. Bentuk, permukaan, ukuran, dan penonjolan koloni kuman bermacam-macam.

G. Pertanyaan-Pertanyaan

1. Jelaskan, apa fungsi nutrisi bagi pertumbuhan sel bakteri!
2. Jelaskan syarat-syarat nutrisi yang baik untuk menumbuhkan bakteri!
3. Jelaskan klasifikasi media berdasarkan sifat atau kegunaannya!
4. Jelaskan metode kultivasi untuk memperoleh koloni terpisah dalam rangka isolasi bakteri!
5. Jelaskan, mengapa bakteri-bakteri anaerob akan mati jika ditanam pada permukaan media lempeng Agar!

BAB 10

GENETIKA BAKTERI

Sifat-sifat bakteri, dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu: (1) faktor genetika yang dipengaruhi oleh sifat-sifat gennya, (2) faktor lingkungan di sekitar tempat hidupnya. Sifat-sifat bakteri yang disebabkan oleh sifat-sifat gen yang terdapat di dalam kromosom, disebut genotif. Sedangkan sifat bakteri yang terlihat, yang sesungguhnya dipengaruhi oleh faktor genetik dan faktor lingkungan, disebut dengan fenotif.

Faktor-faktor genetik, ikut mempengaruhi sifat-sifat bakteri, selain faktor lingkungan. Kode-kode genetik dibawa oleh gen. Gen terdapat di dalam kromosom semua makhluk hidup, termasuk pada sel bakteri. Kromosom terdapat di dalam inti (*nukleus*) pada setiap sel makhluk hidup, termasuk sel bakteri. Sel bakteri tidak memiliki inti sel yang diskrit (tersendiri), karena inti sel bakteri tidak memiliki membran inti. Materi inti belum membentuk inti sel bakteri sesungguhnya, dan disebut dengan ***nukleoid***.

A. Kromosom

Secara fungsional, kromosom terbagi atas segmen-segmen. Setiap segmen menentukan sekuen asam amino, yang selanjutnya akan membentuk struktur polipeptida. Protein ini merupakan enzim, unsur selaput sitoplasma; struktur lain, yang mana semuanya ini akan berfungsi sebagai penentu sifat suatu organisme. Suatu segmen *Deoxyribonucleic Acid* (DNA) kromosom yang menentukan struktur protein tertentu, disebut gen. Gen yang berada di dalam setiap

kromosom, bertanggungjawab dalam pewarisan sifat-sifat dari sel induk kepada sel-sel anak, baik pada organisme *uniseluler* (termasuk bakteria), maupun organisme *multiseluler*. Gen membawa segmen-segmen DNA, yang mana mengandungi urutan pasangan basa nitrogen tertentu dan akan menentukan pola sintesis asam-asam amino, yang selanjutnya membentuk protein di ribosom. Protein-protein yang terbentuk, selanjutnya digunakan untuk mensintesis enzim tertentu yang mempengaruhi proses metabolisme sel bakteria.

Menurut Chan, *et al.* (2006) bahwa ukuran kromosom bakteria berkisar antara 580 kb untuk *Mycoplasma genitalium* sampai 9105 kb untuk *Bradyrhizobium japonicum*. 90% sekuens genom bakteria kurang dari 5,5 Mb. Variasi ukuran genom bakteria diharapkan, sebab sangat banyak keragaman di antara bakteria dalam hal: morfologi, kemampuan metabolisme, dan kemampuan untuk bertahan dan tumbuh dalam inang dan lingkungan yang bervariasi.

Unsur genetik di luar kromosom antara lain: plasmid dan episom. Plasmid terdiri dari DNA di dalam sitoplasma (bebas), dan bereproduksi (bereplikasi tanpa tergantung pada kromosom). Plasmid bukan merupakan struktur yang harus ada dalam sel, dan kadang-kadang dapat hilang selama pertumbuhan. Plasmid dapat dipindahkan dari satu sel ke sel lain dengan cara konjugasi. Episom merupakan unsur genetik yang timbul dalam keadaan terikat pada kromosom kuman. Plasmid dan episom tidak vital untuk kehidupan dan sifat kuman. Plasmid dapat merubah sifat toksigenitas dan kekebalan kuman terhadap obat.

Plasmid dan faga menyediakan sebuah ukuran ekstra penting untuk fleksibilitas dari respon organisme untuk perubahan dalam lingkungannya, apakah perubahan-perubahan itu adalah sifatnya mengancam (misalnya adanya antibiotik) atau secara potensial menguntungkan (ketersediaan sebuah substrat baru).

Menurut Dale, *et al.* (2003) bahwa beberapa karakteristik bakteria yang ditentukan oleh plasmid adalah:

1. Kekebalan terhadap antibiotik

Kebanyakan studi secara meluas tentang karakteristik yang ditentukan oleh plasmid adalah bahwa resistensi obat. Banyak bakteria dapat menjadi resisten terhadap antibiotik dari sebuah plasmid, meskipun resisten yang ditentukan oleh plasmid terhadap beberapa obat seperti asam nalidixic dan rimfampisin tidak kelihatan terjadi.

2. Colisin dan bakteriosin

Kepemilikan lain yang diberikan oleh beberapa plasmid bahwa studi secara luas telah dilakukan adalah kemampuan untuk menghasilkan sebuah protein yang memiliki aksi antimikroba, biasanya melawan hanya organisme-organisme berkaitan (sekelompok). Satu kelompok protein serupa, dihasilkan oleh strain *E. coli*, adalah mampu membunuh strain *E. coli* lain, dan dikenal sebagai colisin, dan strain yang memproduksinya dikenal sebagai colisinogenik.

3. Menentukan virulensi kuman

Pada beberapa gen untuk toksin spesies bakteri, dibawa dalam plasmid daripada phaga. Sebagai contoh, beberapa strain *E. coli*, mampu menyebabkan penyakit yang mirip kolera. Strain ini menghasilkan sebuah toksin dikenal sebagai LT (*labile toxin*), untuk membedakannya dengan *heat-stable*, toksin yang dikenal sebagai ST. Toksin LT adalah terkait secara tertutup dengan toksin kolera, tetapi mengingat gen dalam *V. cholera* dibawa oleh propage, gen LT dalam *E. coli* dijumpai dalam sebuah plasmid.

4. Plasmid dalam tumbuhan yang berasosiasi dengan bakteri

Sebuah tipe berbeda dari patogenitas terlihat dengan patogen tanaman *Agrobacterium tumefaciens*, yang menyebabkan pertumbuhan mirip tumor dikenal sebagai sebuah *crown gall* pada bebetapa tumbuhan. Itu hanya strain yang membawa tipe khusus dari plasmid (dikenal sebagai plasmid Ti, untuk *Tumour Inducing*), yang adalah patogenik; dalam kasus ini patogenitas dihubungkan dengan transfer sebuah bagian spesifik dari DNA plasmidnya sendiri ke dalam sel tumbuhan.

5. Aktivitas metabolisme

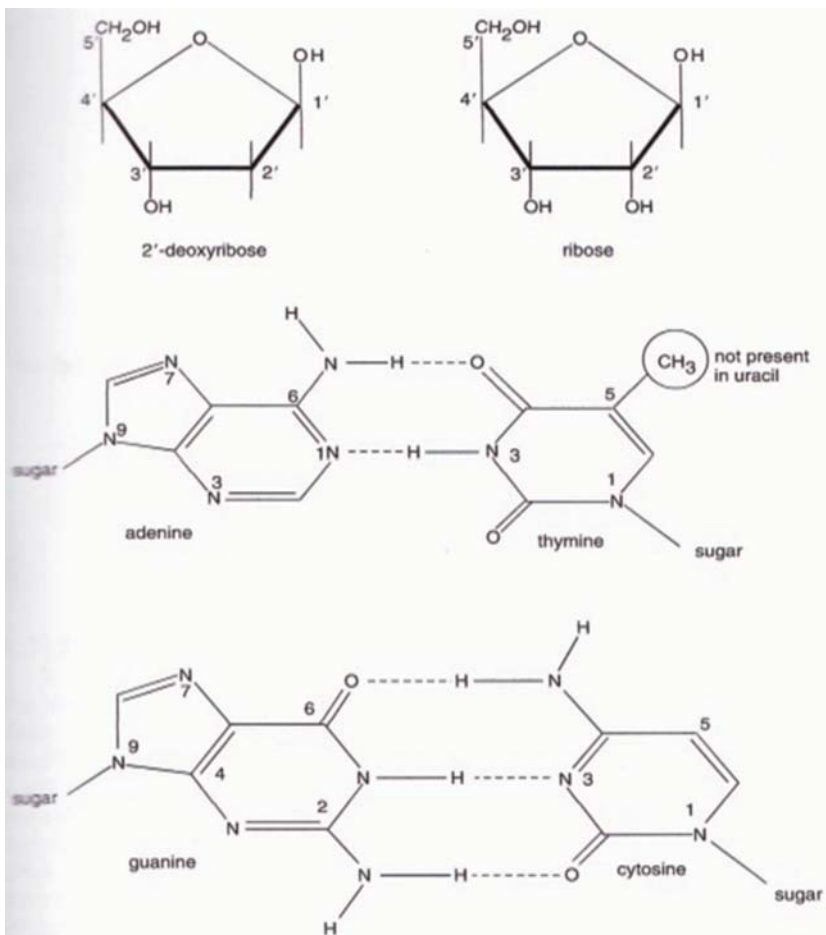
Plasmid mampu memperluas rentang sel-sel inang dari aktivitas metabolik dalam variasi dari jalur yang lain. Sebagai contoh, sebuah plasmid yang membawa gen-gen untuk fermentasi laktosa, jika diperkenalkan ke dalam strain yang tidak memfermentasi laktosa, akan merubah kemampuan untuk menggunakan laktosa.

B. Struktur Asam Amino

Deoxyribonucleic Acid (DNA) merupakan pusat atau gudang semua informasi protein. Gambar 10.1 menunjukkan struktur elemen dasar DNA dan RNA. Satu unit kode terdiri dari sekuens berisi tiga basa. Menurut Dale, *et al.* (2004) bahwa pada bakteri, material genetik adalah DNA, walaupun bakteriofage (virus yang menginfeksi

sel bakteri), mungkin memiliki untai ganda (*double stranded*) atau DNA untai tunggal (*single stranded*), atau *Ribonucleic acid* (RNA).

Selanjutnya dijelaskan bahwa komponen-komponen DNA adalah 2'-deoxyribose (membentuk tulang punggung yang mana dihubungkan oleh *phosphat*), dan empat basa heterosiklik: dua purin (Adenin dan Guanin), dan dua pirimidin (Timin dan Sitosin). Gula diikat oleh ikatan phophat antara posisi 5' dari satu deoksiribosa dan posisi 3' dari gula berikutnya, sambil satu dari empat basa diikatkan ke posisi 1' dari setiap deoksiribosa. Keadaan itu adalah sekuens dari empat basa ini yang membawa informasi genetik.



Gambar 10.1. Struktur dari elemen dasar DNA dan RNA (Dale, et al., 2003)

Struktur *Ribonucleic Acid* (RNA) berbeda dengan *DNA*, bahwa *RNA* mengandung gula ribose, bukan deoksiribose, dan Urasil menggantikan Timin. *RNA* digambarkan sebagai utas tunggal. Sebuah utas *RNA* berpasangan dengan sebuah utas komplementer *DNA*.

Setiap kodon khas untuk satu jenis asam amino. Satu asam amino yang sama, dapat dikode oleh lebih dari satu kodon. Tiga kodon (UAA, UAG, UGA), disebut kodon kosong, yaitu kodon yang tidak mengkode asam amino apapun. Munculnya kodon ini menunjukkan bahwa akhir sintesis suatu polipeptida.

Pemindahan informasi genetik dari *DNA* ke *RNA*, disebut transkripsi. Sedangkan proses penterjemahan kodon dari *DNA* yang dibawa oleh *RNA* disebut translasi.

Gen-gen terdiri dari segmen-segmen *DNA*. Molekul *DNA* merupakan rantai nukleotida. Empat basa nitrogen yang terdapat dalam struktur *DNA* yaitu purin (*Adenine* dan *Guanine*), dan pirimidin (*Sitosin* dan *timin*). Tulang punggungnya adalah deoksi ribose dan fosfat. Purin dan pirimidin terikat pada gugus gula tersebut. Dua serat *DNA* bergabung membentuk helix ganda.

Dalam struktur *DNA*, Adenin (A) berpasangan dengan Timin (T), Guanin (G) berpasangan dengan Sitosin (C). Rasio pasangan A+T/G+C sangat bervariasi pada setiap kuman. Rasio ini tetap pada suatu spesies tertentu. Pada tahap replikasi *DNA*, terjadi penggandaan *DNA*.

Struktur *RNA* mirip dengan *DNA*, kecuali ada dua perbedaan, yaitu:

1. *RNA* mengandung gula ribose (gula deoaksi ribose terdapat pada *DNA*)
2. *RNA* mengandung basa pirimidin berupa Adenin dan Urasil (pirimidin pada *DNA* terdiri dari Adenin dan Timin).

Ada tiga jenis *RNA* berbeda, berdasarkan struktur dan fungsinya, yaitu:

1. *RNA* pesuruh atau *messenger RNA* (*mRNA*); membawa informasi genetik ke ribosom dalam bentuk kodon untuk memerinci asam amino dalam rantai polipeptida (protein) yang akan dibentuk.
2. *RNA* ribosom (*rRNA*); merupakan komponen unit ribosom.
3. *RNA* pengangkut atau *transfer RNA* (*tRNA*); berfungsi mengidentifikasi asam amino sesuai dengan informasi genetik yang dibawa oleh *mRNA*, dan kemudian mengangkut ke ribosom.

DNA berperan sebagai cetakan (*template*), dalam mensintesis *mRNA*. Adenin, Guanine, Sitosin, Urasil, pada *RNA*, berpasangan dengan Timin, Sitosin, Guanine, dan Adenine pada *DNA*.

C. Variasi Genotif dan Fenotif

Fenotif, cara suatu organisme menunjukkan sifat-sifat keturunannya di dalam kondisi lingkungannya. Perubahan fenotif mempunyai sifat sebagai berikut.

1. Perubahan yang terjadi bersifat sementara akibat kondisi lingkungannya.
2. Perubahan yang terjadi tersebut, dapat kembali ke asalnya jika suasana lingkungannya kembali seperti semula.

Bakteri membawa banyak informasi genetik. Pengekspresian informasi genetik ini dipengaruhi oleh lingkungannya. Hal ini dapat terjadi misalnya pada proses metabolisme bakteri anaerob selalu dipengaruhi adanya keberadaan oksigen (keberadaan oksigen akan menentukan tipe-tipe enzim mana yang berperan dalam metabolisme).

Perubahan fenotif dapat dilihat pada berbagai perubahan morfologi sel bakteri pada berbagai kondisi lingkungan yang berbeda. Genotif, jumlah keseluruhan determinan yang dipindahkan dari suatu generasi ke generasi berikutnya. Perubahan genotif (variasi genotif) terjadi karena mutasi dan pemindahan materi genetik dari satu kuman ke kuman lain.

Sifat genotif ditentukan oleh informasi genetik yang terdapat di dalam kromosom. Kromosom mengandung gen-gen suatu bakteri. Gen adalah suatu satuan fungsional yang menurun, menentukan pembentukan suatu polipeptida tertentu dan berbagai tipe *RNA*.

D. Mutasi

Mutasi adalah suatu perubahan *sekuens nukleotida* dari gen sehingga dapat menyebabkan perubahan morfologi dan biokimiawi di dalam sel. Sel yang bermutasi disebut sel mutan.

Perubahan sekuens nukleotida pada *DNA*, dapat terjadi melalui dua cara atau tipe, yaitu.

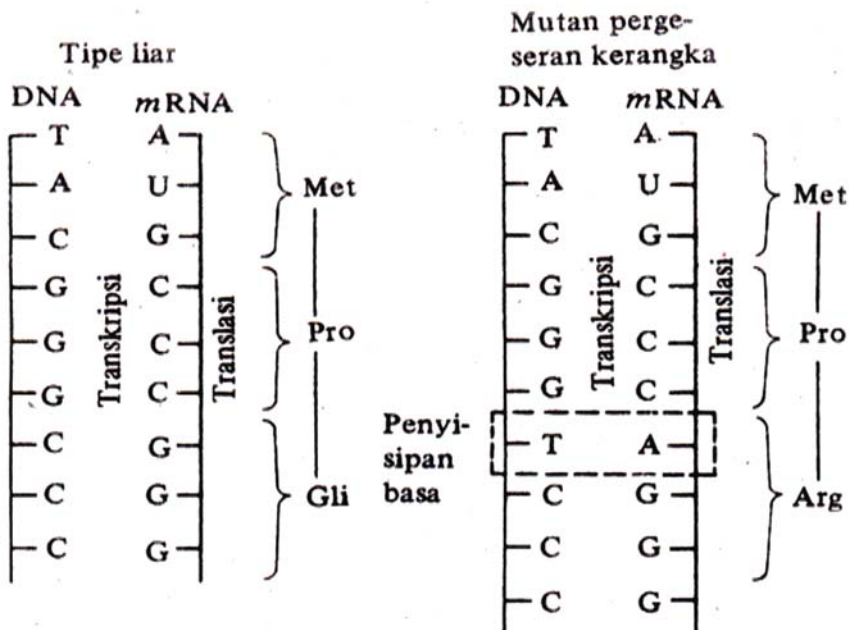
1. Mutasi titik (*point mutatin*)

Tersubstitusi suatu nukleotida oleh yang lain. Tersubstitusi satu purin dengan purin lain, satu pirimidin dengan pirimidin lain. Hal ini disebabkan oleh kesalahan replikasi *DNA*. Jadi, misalnya A-T diganti oleh G-C, atau T-A diganti oleh C-G. Tipe mutasi seperti ini disebut transisi. Sedangkan pergantian satu purin oleh pirimidin, disebut transversi. Mutasi tipe transversi jarang terjadi. Mutasi tipe substitusi ini dapat kembali ke sifat semula (*reversion mutation*).

2. Mutasi pergeseran kerangka (*breakage*)

Pada tipe mutasi ini, terjadi kerusakan kerangka dasar *DNA*. Di sini terjadi pemecahan rangka gula-fosfat dengan pemotongan atau penyisipan suatu segmen *DNA*. Dalam tipe mutasi ini dapat terjadi: delesi yaitu hilangnya pasangan basa pada suatu kerangka *DNA*; inversion, yaitu tertukarnya pasangan basa dengan pasangan basa yang lain; insertion, yaitu terjadi pengisian atau penambahan pasangan basa yang baru pada suatu segmen *DNA*. Gambar 10.2 menunjukkan tipe mutasi *breakage*.

Bakteri yang mengalami mutasi tipe *breakage* ini, tidak dapat kembali ke sifat asal (*irreversible mutation*).



Gambar 10.2. Tipe mutasi pergeseran kerangka (*Breakage*) (Pelczar, et al., 1986)

Proses mutasi (baik secara substitusi maupun secara *breakage*), mengakibatkan terjadi perubahan pembentukan pasangan yang komplementer dengan *mRNA* pada saat terjadi transkripsi. Dengan demikian, macam atau jenis asam amino yang terbentuk pada saat translasi, akan mengalami perubahan.

Mutasi dapat mengakibatkan berbagai perubahan karakter pada bakteri. Contoh-contoh perubahan karakter bakteri yang sering terjadi akibat mutasi, adalah:

1. Perubahan kepekaan kuman terhadap obat-obatan.
2. Kehilangan kemampuan membuat simpai, sehingga sifat virulensinya berubah.
3. Perubahan kemampuan sel membuat flagel.
4. Hilangnya kepekaan kuman terhadap kolisin dan fage.

Mutasi paling umum terjadi selama proses replikasi *DNA*. Mutasi dapat disebabkan oleh.

1. Mutasi spontan (*spontaneous mutation*)

Mutasi ini terjadi secara spontan. Hal ini terjadi sebagai akibat kesalahan replikasi kuman. Mekanisme cetakan pada replikasi mungkin tidak bekerja dengan sempurna. Mutasi spontan terjadi rate yang kira-kira konstan, biasanya terjadi dalam rentang 1 setiap 10⁴ - 10¹⁰ kali pembelahan sel.

2. Mutasi terinduksi (*induced mutation*)

Mutasi ini terjadi karena adanya induksi oleh suatu bahan mutagenik. Contoh bahan mutagenik adalah: bahan kimia (*proflavin, ethyl methane sulfonate*), radiasi (sinar X, sinar UV).

E. Pemindahan Materi Genetik

Akibat pemindahan materi genetik adalah terjadinya rekombinasi genetik pada bakteri. Rekombinasi genetik adalah suatu tipe genotipe baru melalui pemilikan kembali gen-gen setelah terjadinya pertukaran bahan genetik antara dua kromosom yang berbeda, yang mempunyai gen-gen serupa pada sistem-sistem yang bersangkutan. Bakteri mempunyai kemampuan untuk memberi *DNA* (sebagai donor *DNA*), dan sebagai penerima *DNA* (resipien *DNA*).

Proses pemindahan materi genetik (pemindahan *DNA*) pada sel bakteri dapat dilakukan dengan cara:

1. Transformasi

Pemindahan informasi genetik melalui pemindahan *DNA* bebas dari satu sel (donor) ke sel bakteri lain (resipien). Proses ini mula-mula ditemukan pada *Pneumokokus*. *Pneumokokus* ialah kuman bersimpai dan terbagi dalam sejumlah besar tipe-tipe menurut susunan simpainya. *Pneumokokus* tipe 1 selalu mempunyai simpai tipe 1 kecuali jika kehilangan kemampuan untuk membuat kapsul. Kemungkinan perubahan tipe, ditemukan oleh Griffith, dan mekanismenya diterangkan oleh Avery, McLeod dan McCarty, bahwa dasar perubahan ini terletak pada *DNA*.

Griffith telah menyuntikan kuman tipe II (R) bercampur dengan sejumlah besar tipe III (S) mati ke dalam mencit. Banyak tikus yang mati dan dari darah yang diambil, ia menemukan kuman hidup tipe II secara murni. Telah terjadi pemindahan materi genetik dari kuman mati tipe III dan mengubah tipe II menjadi tipe III (S) yang virulen yang telah membunuh tikus tersebut.

Proses transformasi ini biasanya terjadi pada kuman yang berkemampuan menangkap *DNA* dari sel donor yang ada dalam medium. Proses ini tidak perlu adanya penempelan (*matting*) sel kuman yang berperan sebagai donor maupun sebagai penerima bahan genetik (*DNA*).

2. Transduksi

Sebagian kromosom dari sel donor dibawa oleh *bakteriophage* (virus penginfeksi bakteri), dan masuk ke dalam sel bakteri. Episom dan plasmid (menentukan resistensi terhadap obat) dapat dipindahkan. Beberapa sifat yang dapat ditransduksikan adalah: antigenik, kebutuhan zat gizi, kekebalan terhadap obat (*Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*). *Bakteriophage* dapat mengadakan penggabungan *DNA* virus dengan *DNA* bakteri, disebut profas.

Bakteri lisogenik, bakteri yang membawa *DNA* profas. Bila bakteri inangnya kemudian mempunyai sifat baru, akibat penggabungan profas pada *DNA* kromosomnya, disebut konversi lisogenik. Faga ini memberi sifat baru kepada kuman pejamu. Sifat ini akan bertahan lama selama kuman tersebut masih terinfeksi oleh faga tersebut. Misalnya *Corynebacterium diphtheriae avirulen* dapat memperoleh toksigenitasnya oleh infeksi dan lisogenisasi oleh faga

yang berasal dari jenis yang virulen. Proses *DNA* profaga (*DNA* virus yang berpadu dengan kromosom bakteri) mengubah informasi genetik pada kuman; keadaan ini seperti yang disebutkan di atas, dikenal sebagai konversi lisogenik. Proses transduksi tidak perlu matting antara kuman donor dan kuman resipien DNA. Sifat resistensi terhadap obat dapat dipindahkan melalui cara transduksi.

3. Konyugasi

Proses di mana kuman jantan (kuman donor) mengadakan kontak (*matting*) dengan kuman betina (kuman resipien) dan memindahkan materi genetik kepadanya. Kemampuan suatu jenis kuman bekerja sebagai donor ditentukan oleh faktor seks atau fertilitas pada sitoplasma. Sel ini disebut (F^+) atau kuman jantan. Jenis sel bakteri yang tidak mempunyai faktor ini bertindak sebagai penerima, dan disebut kuman betina (F^-).

Sebelum terjadi konyugasi, faktor F , berupa plasmid, berpindah dari sitoplasma ke kromosom dan menyatu dengannya. Hal ini membuat sel bakteri tersebut menjadi *High frequency of recombination* (Hfr). Plasmid yang bergabung tersebut dapat melepaskan diri dari kromosom dengan membawa sebagian kromosom yang terdekat letaknya dengan plasmid tersebut. Komponen ekstrakromosom yang membawa potongan gen kromosom ini disebut plasmid F' . Bila plasmid F' mengadakan kontak dengan sel F^- , maka materi genetik berpindah kepada sel F^- melalui tabung konyugasi dan sel F^- berubah menjadi sel F^+ akibat terjadinya pemindahan faktor F^+ .

Banyak *E. coli* memproduksi komponen antibakteri yang disebut kolisin. Kemampuan bakteri memproduksi kolisin dapat dipindahkan melalui plasmid selama konyugasi. Plasmid yang mampu memindahkan kemampuan memproduksi kolisin tersebut disebut plasmid kolisinogenik.

Plasmid bakteri juga membawa gen yang menyebabkan sel bakteri resisten terhadap antibakteri. Plasmid ini disebut *plasmid R* ($R = resistensi$). Plasmid R dapat dipindahkan dengan cara konyugasi dan transduksi. Plasmid R terdiri dari dua bagian, yaitu *RTF* (*Resistensi Transfer Factor*), yang mengatur replikasi dan pemindahan plasmid; dan determinan r , yang membawa sifat ketahanan terhadap antibiotik. Galur yang sensitif terhadap antibiotik, memiliki *RTF*

tetapi tidak memiliki determinan *r*. Sedangkan galur lainnya mungkin mempunyai determinan *r* tanpa *RTF*, sehingga sifat resistensi tersebut tidak dapat dipindahkan ke yang lainnya.

F. Ringkasan

Kromosom terdapat dalam inti setiap sel bakteri. Gen sebagai pembawa informasi genetik, terdapat di dalam kromosom. Menurut Chan, *et al.* (2006) bahwa ukuran kromosom bakteri berkisar antara 580 kb untuk *Mycoplasma genitalium* sampai 9105 kb untuk *Bradyrhizobium japonicum*. 90% sekuens genom bakteri kurang dari 5,5 Mb.

Unsur genetik di luar kromosom antara lain: plasmid dan episom. Plasmid terdiri dari *DNA* di dalam sitoplasma (bebas). Episom merupakan unsur genetik yang timbul dalam keadaan terikat pada kromosom kuman. Plasmid dan episom tidak vital untuk kehidupam dan sifat kuman.

Mutasi adalah suatu perubahan sekuens nukleotida dari gen sehingga dapat menyebabkan perubahan morfologi dan biokimiawi di dalam sel. Perubahan sekuens nukleotida pada *DNA*, dapat terjadi melalui dua cara atau tipe, yaitu: mutasi titik (*point mutatin*), dan mutasi pergeseran kerangka (*breakage*).

Akibat pemindahan materi genetik adalah terjadinya rekombinasi genetik pada bakteri. Proses pemindahan materi genetik (*DNA*), terjadi dalam tiga cara, yaitu: transformasi, transduksi, dan konyugasi.

G. Pertanyaan-Pertanyaan

1. Jelaskan peranan kromosom dalam pewarisan sifat-sifat keturunan pada bakteri!
2. Jelaskan komponen-komponen penyusun *DNA*!
3. Gambarkan struktur dasar *DNA*!
4. Jelaskan perbedaan *DNA* dan *RNA*!
5. Jelaskan, apa yang dimaksud dengan mutasi!
6. Jelaskan tipe-tipe mutasi!
7. Jelaskan perubahan-perubahan karakter atau sifat bakteri akibat mutasi!
8. Jelaskan cara-cara pemindahan materi genetik (*DNA*) pada sel bakteri!

BAB 11

KLASIFIKASI DAN IDENTIFIKASI BAKTERI

Dalam bidang bakteriologi, pengelompokan banyak macam bakteri ke dalam suatu pola, atau suatu sistem teratur, didasarkan dengan mengenali persamaan-persamaan di dalam suatu kelompok dan perbedaan-perbedaan di antara kelompok-kelompok bakteri tersebut. Penelaan mengenai organisme untuk memantapkan suatu sistem klasifikasi yang mencerminkan sebaik-baiknya semua kesamaan dan kelainannya, dinamakan *taksonomi*. Dalam klasifikasi bakteri, bakteri yang memiliki ciri-ciri yang sama dikelompokkan dalam kelompok tertentu. Sedangkan bakteri yang memiliki ciri-ciri lain, dikelompokkan dalam kelompok bakteri lain.

Klasifikasi bakteri yang sudah dilakukan, menjadi pegangan atau acuan dalam proses identifikasi (penamaan bakteri). Proses identifikasi merupakan proses mencari informasi dalam rangka pemberian nama terhadap suatu bakteri. Proses ini, dilakukan terhadap suatu biakan murni yang diasingkan dari biakan campuran yang diperoleh dalam penanaman bakteri di laboratorium.

Pemahaman yang benar tentang ciri-ciri bakteri tertentu, merupakan syarat yang harus dikuasai oleh seseorang yang melakukan identifikasi bakteri. Ciri-ciri bakteri tersebut menyangkut morfologi sel bakteri, serta hasil yang diperoleh dari suatu uji kimiawi. Ciri-ciri bakteri, menjadi penuntun dalam setiap langkah pengidentifikasian bakteri, sehingga memungkinkan penemuan atau pemberian nama yang benar terhadap suatu spesies bakteri.

A. Klasifikasi Bakteri

Klasifikasi ialah suatu istilah yang berkaitan dengan dan terkadang digunakan secara dapat dipertukarkan dengan taksonomi. Taksonomi ialah ilmu mengenai klasifikasi atau penataan sistematik organisme ke dalam kelompok atau kategori yang disebut *taksa* (tunggal: *takson*).

Sistem klasifikasi biologis didasarkan pada hierarki taksonomi atau penataan kelompok atau kategori yang menempatkan spesies pada satu ujung dan dunia di ujung lainnya dalam urutan tertentu. Urutan yang dimaksud adalah:

<i>Spesies</i>	: sekelompok organisme berkerabat dekat (untuk tujuan spesies bakteri) yang individu-individunya di dalam kelompok itu serupa dalam sebagian besar ciri-cirinya.
<i>Genus</i>	: sekelompok spesies yang serupa
<i>Famili</i>	: sekelompok genus yang serupa
<i>Ordo</i>	: sekelompok famili yang sejenis
<i>Kelas</i>	: sekelompok ordo yang serupa
<i>Filum</i> atau divisi	: sekelompok kelas yang berkerabat
<i>Dunia</i>	: seluruh organisme di dalam hierarki ini.

Nama bakteri terdiri dari nama jenis (*genus*), spesies dan galur (*strain*). Nama genus selalu ditulis dengan huruf besar untuk huruf pertamanya; nama epitet spesies selalu ditulis dengan huruf kecil. Kedua komponen tersebut (*genus* dan *epitet spesies*) selalu dicetak miring. Nama spesies kadang-kadang menunjukkan sifat, warna, atau penemunya. Sebagai contoh, *Mycobacterium tuberculosis* (penyebab tuberculosis), *Streptococcus albus* (berwarna putih).

Klasifikasi bakteri, mengikuti beberapa kriteria sebagai berikut:

1. Sumber energi: fototropik, kemotropik, autotropik, dan heterotrofik.
2. Kebutuhan gizi: sederhana, atau rumit.
3. Kemampuan untuk tumbuh dalam jaringan hidup: saprofit atau parasit.
4. Suhu pertumbuhan: psikrofilik, mesofilik, dan termofilik.
5. Kebutuhan oksigen: aerob atau anaerob.

Kriteria untuk klasifikasi bakteri seperti di atas, kurang memuaskan. Namun demikian, ada beberapa cara klasifikasi bakteri, yaitu:

1. Klasifikasi biologis

Klasifikasi ini, didasarkan pada sifat-sifat yang diamati, misalnya sifat-sifat fisiologis, imunologis, dan ekologis.

2. Klasifikasi morfologis

Dalam klasifikasi ini, bakteri dapat dibagi dalam dua kelompok.

a. Kuman golongan tinggi, berupa filamen dan tumbuh dengan membuat cabang membentuk miselium; misalnya *Actinomyces*. Organisme yang berbentuk miselium sejati di antara *Actinomycetales*, dibagi dalam dua kelompok, yaitu.

- 1) Miselium vegetatif terpotong-potong menjadi fragmen-fragmen berbentuk basil atau kokus yang bersifat Gram negatif.
- 2) Miselium vegetatif tidak terpotong-potong menjadi bentuk basil atau kokus.

b. Bakteri lebih rendah atau bakteri sejati, terdiri dari satu sel dan tidak pernah membuat miselium. Kelompok ini dibagi-bagi lagi berdasarkan bentuknya.

- 1) Kokus = berbentuk bulat
- 2) Basil = berbentuk batang
- 3) Vibrio = berbentuk koma
- 4) Spirillum = berbentuk ulir tidak dapat membengkok
- 5) Siproketa = berbentuk ulir langsing dapat membengkok

Kokus dapat terlihat susunannya sebagai berikut:

- Diplokokus : bidang pembelahannya hanya satu, misalnya *Pneumokokus*.
- Streptokokus : kokus yang tersusun dalam bentuk rantai, contohnya *Streptococcus hemolyticus*, *S. viridians*.
- Staphylokokus : kokus tersusun bergerombol, contohnya adalah *Staphylococcus aureus*, *S. albus*.
- Tetrakokus : kokus tersusun empat-empat, contohnya adalah *Micrococcus tetragen*.

Kokus-kokus kemudian dibagi lagi menjadi kokus Gram positif atau Gram negatif. Kokus Gram positif dibagi-bagi lagi berdasarkan susunan sel-selnya.

Dalam *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, bakteri dikelompokkan berdasarkan grup menurut bentuk, sifat pewarnaan Gram, dan kebutuhan akan oksigen. Fardiaz (1992) mengatakan bahwa minimal terdapat 19 grup bakteri. Dalam buku ini, akan dibahas beberapa jenis bakteri yang sering dijumpai dalam berbagai media pertumbuhan (makanan), dan menimbulkan penyakit.

B. Bakteri Anaerobik yang Tidak Membentuk Spora

Kelompok bakteri anaerobik yang tidak membentuk spora, terdiri atas empat kelompok, yaitu:

1. Kelompok basil Gram negatif; salah satu contohnya adalah jenis *Bacteroides*. Dworkin, *et al.* (2006) menjelaskan bahwa genus *Bacteroides* merupakan Gram negatif, tidak membentuk spora, tidak bergerak (*nonmotil*), dan bersifat anaerobik. *Bacteroides fragilis*, dibagi menjadi empat subspecies, yaitu: *fragilis*, *thetaiotaomicron*, *distasonis*, *vulgates* dan *ovatus*. *Bacteroides fragilis*, berbentuk basil yang pleomorfik. Koloninya berbentuk konveks, berwarna putih sampai abu-abu. Bakteri ini tumbuh cepat jika dibandingkan dengan bakteri anaerobik yang tidak membentuk spora lainnya, bersifat aerotoleran, dan dapat tumbuh pada pO_2 kurang dari 3%, tetapi lebih tahan hidup lebih lama pada pemaparan O_2 jika ditanam pada media yang mengandung darah. Bakteri ini memproduksi *superoxide dismutase* dan katalase. *Bacteroides* yang dapat membentuk pigmen adalah: *Bacteroides melaninogenicus*, *B. denticola*, *B. loesheli*, *B. endodontalis*, *B. gingivalis*; mampu membentuk pigmen coklat sampai hitam pada Agar darah. Bakteri *B. fragilis*, menunjukkan faktor virulensi dari pemurnian lipopolisakarida dari abses pada hewan percobaan.
2. Kelompok basil Gram positif; bakteri yang termasuk dalam kelompok ini tidak membentuk spora, berupa basil Gram positif. Contohnya adalah: *Eubacterium*, *Propionibacterium*, *Lactobacillus*, *Actinomyces*, *Arachnia*, *Mobiluncus*, dan *Bifidobacterium*. Spesies-spesies ini umumnya diisolasi dari infeksi paru-paru, kepala dan leher.
3. Kelompok kokus Gram positif; bakteri yang termasuk dalam kelompok ini berupa bakteri yang menunjukkan Gram negatif, berbentuk kokus. Contoh bakteri dari kelompok ini adalah *Peptostreptococcus* dan *Streptococcus*, yang merupakan bakteri obligat anaerobik. Beberapa spesies bakteri yang termasuk dalam

kelompok ini adalah: Peptostreptococcus adalah: *P. anaerobius*, *P. tetradius*, *P. magnum*, *P. asacharolyticus*, dan *P. prevotii*. Sedangkan beberapa spesies bakteri dari jenis Streptococcus adalah: *S. intermedius*, *S. constellatus*.

4. Kelompok kokus Gram negatif; bakteri yang termasuk dalam kelompok ini menunjukkan Gram negatif, betbentuk kokus. Contoh jenis bakteri dari kelompok ini adalah Veillonella. *V. parvula*, dapat diisolasi dari spesimen klinik, tetapi sedikit diketahui peranannya sebagai penyebab infeksi. Veillonella merupakan kokus kecil, berpasangan, membentuk rantai pendek, dan merupakan flora normal di mulut, saluran gastrointestinal, dan genital.

C. Bakteri Pembentuk Spora

Bakteri pembentuk spora tergolong dalam *famili Bacillaceae*, dan yang sering ditemukan pada makanan terutama terdiri dari tiga jenis, yaitu: *Bacillus*, *Clostridium*, *Desulfatomaaculum*.

1. Bacillus

Bakteri ini bersifat aerobik sampai anaerobik fakultatif, katalase positif, dan kebanyakan bersifat Gram positif. Bentuk spora yang diproduksi oleh Bacillus bermacam-macam. *B. subtilis* dan *B. cereus* memproduksi spora berbentuk silinder yang tidak membengkak; *B. polymyxa* dan *B. sphaericus* memproduksi spora yang membengkak. *B. subtilis* membentuk spora yang langsing, diameter sporanya tidak melebihi 0,9 μm .

Beberapa spesies Bacillus bersifat mesofilik, misalnya *B. subtilis*. Spesies lainnya bersifat termofilik fakultatif misalnya *B. coagulans* dan *B. stearthermophilus*.

Spesies Bacillus ada yang mempunyai sifat proteolitik kuat, sedang, atau tidak bersifat proteolitik. Salah satu bakteri yang kelompok Bacillus yang bersifat proteolitik yaitu *B. cereus*, memproduksi enzim proteolitik yang sifatnya menyerupai rennin sehingga dapat menggumpalkan susu. Beberapa spesies Bacillus juga bersifat lipolitik (memecah lipid), sedangkan yang lainnya tidak bersifat lipolitik.

2. Clostridium

Bakteri jenis Clostridium bersifat anaerobik sampai mikroaerofilik, dan kalatase positif. Beberapa spesies membentuk spora dengan sporangium yang membengkak pada bagian tengah atau ujung sel.

Beberapa spesies Clostridium bersifat patogen dan dapat menyebabkan keracunan makanan. *C. perfringens* memproduksi enterotoksin yang dapat menyerang saluran pencernaan dan menimbulkan gejala gastrointestinal. *C. botulinum* memproduksi neurotoksin yang menyerang saraf dan menyebabkan kelumpuhan. Botulisme ialah penyakit yang disebabkan oleh peracunan makanan atau mabuk makanan oleh *C. botulinum*. *C. tetani* merupakan agen penyebab penyakit tetanus. Penyakit tetanus neonates (pada bayi) sering terjadi jika dalam proses kelahiran (persalinan) mengabaikan pemeliharaan tali pusat/umbilicus (alat pemotong yang digunakan untuk memotong umbilicus tidak steril). Pada orang dewasa, penyakit tetanus ini mengikuti luka dalam dengan lubang yang kecil (luka tusuk) dan ditandai oleh kejang-kejang otot yang parah, kejang pada rahang. *C. tetani* bersifat anaerobik, dan mampu memproduksi toxin tetanus.

3. Desulfotomaculum

Bakteri ini bersifat anaerobik dan membentuk spora. Bakteri ini juga mampu mereduksi sulfat menjadi H_2S . Jenis bakteri ini terutama terdapat di dalam air buangan yang mengandung sulfat.

D. Bakteri Basil dan Koki Gram Negatif

Jenis bakteri yang termasuk dalam kelompok ini adalah: famili Pseudomonadaceae (*Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Gluconobacter*), famili Halobacteriaceae (*Halobacterium*, *Halococcus*), famili tidak menentu (*Alcaligenes*, *Acetobacter*, *Brucella*). Semua bakteri yang termasuk dalam kelompok ini bersifat aerobik, dan sering ditemukan pada makanan. *Brucella*, merupakan patogen pada hewan.

Bakteri dalam kelompok ini dapat mengoksidasi asam amino secara lengkap menjadi CO_2 , dan H_2O , dengan membebaskan ammonia, atau kadang-kadang melepaskan H_2S jika asam aminonya mengandung grup sulfhidril. Suhu optimum, kecuali bakteri yang bersifat patogen, adalah 20 - 30°C.

1. **Pseudomonas**

Bakteri ini bersifat motil (bergerak), dengan flagella polar, dan sering ditemukan pada makanan. Sifat-sifat bakteri ini adalah: mendapatkan sumber karbon dari senyawa yang bukan karbohidrat; menggunakan senyawa-senyawa sumber nitrogen sederhana; kebanyakan spesies tumbuh baik pada suhu rendah, memproduksi senyawa-senyawa yang menimbulkan bau busuk; mensintesis faktor-faktor pertumbuhan dan vitamin, beberapa spesies bersifat proteolitik (pemecah protein), dan lipolitik (pemecah lemak), atau pektinolitik (pemecah pektin); pertumbuhan pada kondisi aerobik berjalan cepat dan membentuk lendir, beberapa spesies membentuk pigmen (misalnya *P. fluorescens*); kebanyakan *Pseudomonas*, kecuali *P. syringe*, bersifat oksidase positif; tidak tahan terhadap panas dan keadaan kering.

2. **Gluconobacter dan Acetobacter**

Jenis *Gluconobacter* (dulu disebut *Acetomonas*), dan *Acetobacter*, bersifat motil (polar) atau nonmotil, dan memproduksi asam asetat dan etanol. Spesies yang sering digunakan dalam industri asam asetat (cuka) adalah *G. suboxydans* dan *A. aceti*.

3. **Halobacterium dan Halococcus**

Halobacterium dan *Halococcus* termasuk dalam kelompok bakteri yang bersifat halofilik, yaitu bakteri yang dapat tumbuh pada konsentrasi NaCl dengan kisaran 3,5% sampai jenuh. Bakteri ini ditemukan dalam air laut dan garam.

4. **Alcaligenes**

Alcaligenes merupakan bakteri yang sering menimbulkan masalah dalam pendinginan makanan, karena bakteri ini bersifat psikrotropik. Kebanyakan spesies bakteri ini bersifat proteolitik, yaitu memecah protein menjadi asam amino, pepton, kemudian amonia; sehingga menghasilkan alkali.

E. **Bakteri Basil Gram Negatif, Anaerobik Fakultatif**

Jenis bakteri yang termasuk dalam kelompok ini adalah famili: *Enterobacteriaceae*, *Vibrionaceae*. Masing-masing bakteri dari famili ini memiliki beberapa genus.

1. Enterobacteriaceae

Kebanyakan anggota dari famili Enterobacteriaceae memiliki flagella monotrik, kecuali *Shigella* yang tidak memiliki flagella. Jenis *Escherichia*, *Enterobacter* (dahulu disebut *Aerobacter*) dan *Klebsiella*, disebut kelompok bakteri koli (koliform). Jenis *Escherichia*, hanya memiliki satu spesies yaitu *E. coli*, dan disebut koliform fekal, karena ditemukan di dalam saluran usus hewan dan manusia, sehingga sering ditemukan dalam feces. Bakteri *E. coli*, sering digunakan sebagai indikator kontaminasi kotoran.

Spesies *Enterobacter*, misalnya *E. aerogenes*, disebut koliform nonfekal, karena bukan merupakan flora normal di dalam saluran pencernaan, melainkan ditemukan pada tanaman atau hewan yang telah mati. Jenis *Klebsiella*, memiliki kapsul dan sering ditemukan dalam saluran pernafasan dan usus.

Salmonella, *Shigella*, dan *Yersinia*, merupakan bakteri patogen. *Salmonella* selain dapat menyebabkan gejala gastrointestinal, juga menyebabkan demam tifus (*S. typhi*), dan paratifus (*S. paratyphi*). *Shigella dysenteriae* dapat menyebabkan disentri basiler. *Yersinia* (dahulu *Pasteurella*), misalnya *Y. enterocolitica*, dapat menyebabkan gejala gastrointestinal. *Shigella* tidak memiliki flagella, sedangkan *Salmonella* dan *Yersinia* memiliki flagella peritrikat.

Proteus merupakan bakteri proteolitik yang sering menyebabkan kebusukan pada daging, telur, dan makanan laut. Beberapa contoh spesies dari bakteri jenis ini adalah *P. vulgaris*, *P. mirabilis*.

Serratia, jika tumbuh dalam makanan, menyebabkan timbulnya warna merah. Beberapa galur, koloninya berwarna putih. Bakteri ini bersifat proteolitik, membentuk kapsul. Salah satu spesies yang sering ditemukan pada makanan adalah *S. marcescens*.

2. Vibrionaceae

Bakteri yang masuk dalam *Vibrionaceae* ini umumnya memiliki flagella polar, bersifat oksidase positif dan fermentatif. Dua spesies dari famili ini, yaitu *V. cholerae* dan *V. parahaemolyticus*, merupakan bakteri patogen pada manusia. *V. cholerae* dapat menyebabkan penyakit kolera dan kolera eltor (penyakit kolera eltor disebabkan oleh *V. cholerae* El Tor). *V. parahaemolyticus* sering ditemukan pada makanan-makanan laut, dan pertumbuhannya dirangsang dengan adanya garam.

F. Bakteri Basil Gram Negatif, Anaerobik

Jenis bakteri yang termasuk dalam kelompok ini misalnya: *Bacteroides*, *Fusobacterium*, *Desulfovibrio*. *Bacteroides* banyak terdapat pada saluran usus manusia, dan telah ditemukan pada daging, susu, dan produk susu. *Fusobacterium* menyebabkan infeksi mulut, dan dapat ditularkan melalui alat-alat makan dan ciuman. *Desulfovibrio* mereduksi sulfat menjadi sulfide.

G. Bakteri Basil dan Kokobasil, Gram Negatif

Bakteri dalam kelompok ini berbentuk batang, tetapi beberapa bentuknya sangat pendek sehingga hampir berbentuk bola (kokobasil). Dua dari empat jenis yang termasuk dalam grup ini ditemukan pada makanan, tetapi tidak menyebabkan perubahan cita-rasa, tekstur atau basa, misalnya *Moraxella* dan *Acinebacter*.

H. Bakteri Koki Gram Positif

Jenis bakteri yang termasuk dalam kelompok ini adalah famili: *Micrococaceae*, *Streptococaceae*. Famili *Micrococaceae* bersifat aerobik dan katalase positif, sedangkan famili *Streptococaceae* bersifat fermentatif dan tidak membutuhkan oksigen, meskipun tidak akan mati dengan adanya oksigen.

Anggota dari famili *Streptococaceae* bersifat katalase negatif, berbentuk kokus dalam rangkaian membentuk rantai atau tetrad.

1. *Micrococcus*

Micrococcus merupakan bakteri berbentuk bulat yang hidup secara bergerombol tidak teratur, atau membentuk paket atau tetrad. Bakteri ini bersifat Gram positif, aerobik, dan katalase positif. Kebanyakan spesies *Micrococcus* membentuk pigmen berwarna kuning (contohnya *M. flavus*), orange, merah, atau merah muda (contohnya *M. roseus*). Bakteri ini mempunyai suhu optimum pertumbuhan 25 - 30°C, masih dapat tumbuh pada suhu 10°C, tetapi tidak dapat tumbuh pada suhu 46°C.

2. *Staphylococcus*

Staphylococcus merupakan bakteri berbentuk bola, yang terdapat dalam bentuk tunggal, berpasangan, tetrad, atau berkelompok seperti buah anggur. Nama bakteri ini berasal dari bahasa Latin *staphele* yang berarti anggur. Beberapa spesies memproduksi pigmen berwarna kuning sampai orange, misalnya *S. aureus*. Bakteri ini membutuhkan nitrogen organik (asam amino) untuk pertumbuhannya, dan bersifat anaerobik fakultatif.

Kebanyakan galur *S. aureus* bersifat patogen dan memproduksi enterotoksin yang tahan panas. Beberapa galur, terutama yang bersifat patogenik, memproduksi koagulase (menggumpalkan plasma), bersifat proteolitik, lipolitik, dan betahemolitik. Spesies lainnya yaitu *S. epidermidis*, biasanya tidak bersifat patogen dan merupakan flora normal yang terdapat pada kulit tangan dan hidung.

3. *Streptococcus*

Streptococcus merupakan bakteri berbentuk bola yang hidup secara berpasangan, atau membentuk rantai pendek dan panjang, yang tergantung dari spesies dan kondisi pertumbuhannya. Bakteri ini bersifat homofermentatif, dan beberapa spesies memproduksi asam laktat secara cepat pada kondisi anaerobik.

Streptococcus dapat dibedakan dikaitkan dengan bidang makanan, dan berdasarkan reaksi serologi menjadi empat grup berdasarkan sifat fisiologi dan hemolitikmya, yaitu: grup piogenik, grup viridan, grup laktat, dan grup enterokokus. Namun demikian, kalfisifikasi *Streptococcus* yang dikaitkan dengan bidang kedokteran, maka dibedakan menjadi: golongan A = *Streptococcus pyogenes* (kelompok besar patogen pada manusia yang berhubungan dengan invasi lokal atau sistemik dan kelainan pascastreptokok disebabkan reaksi-reaksi imunologi), golongan B = *Streptococcus agalctie* (anggota flora normal dari saluran kelenar wanita dan merupakan penyebab penting pada sepsis dan meningitis neonatal), golongan C dan G = kadang-kadang terdapat pada farings (dapat menyebabkan sinusitis, bakteremia, dan endokarditis), Golongan D = termasuk enterokokus, misalnya *Streptococcus faecalis*, *Streptococcus faecium*; dan *non-enterokokus*, misalnya *Streptococcus bovis*, *Streptococcus equines* (merupakan flora normal usus dan ditemukan pada saluran

air kemih atau infeksi kardiovaskuler atau pada meningitis), golongan E,F,H, dan K-U (jarang menimbulkan penyakit pada manusia).

4. **Leuconostoc**

Leuconostoc merupakan Jenis bakteri yang bersifat heterofermentatif, yaitu memfermentasi gula menjadi asam laktat dan CO₂, dan etanol atau asam asetat.

I. **Identifikasi Bakteri**

Identifikasi bakteri adalah satu tugas yang lazim dilakukan di laboratorium. Pencirian bakteri yang diisolasi dari pasien, makanan dan minuman, harus dilaksanakan dengan cepat dan tepat sehingga dapat diketahui nama bakteri, dan menentukan pilihan pengobatan dengan tepat.

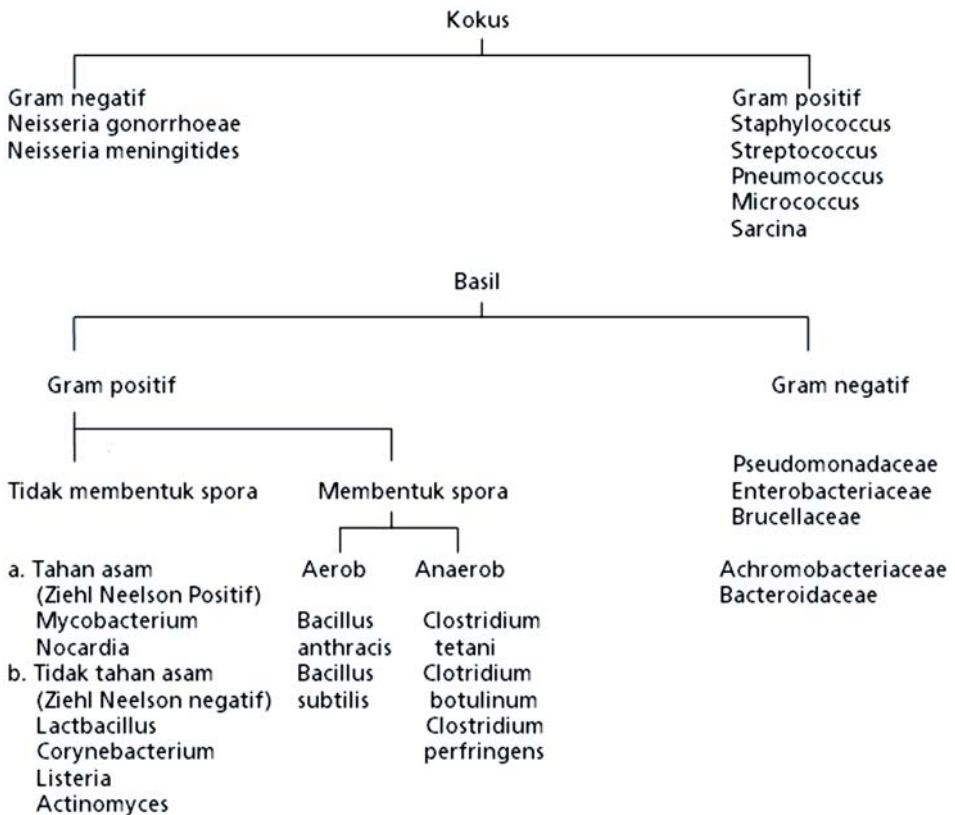
Bakteri yang akan diisolasi, dapat berupa biakan murni atau populasi campuran. Bila biakan bakteri yang akan diidentifikasi ini tercemar, maka perlu dilakukan pemurnian terlebih dahulu. Lazimnya, pemurnian dilakukan dengan cara menggores suspensi bakteri yang akan diisolasi pada Agar lempengan. Setelah diperoleh koloni terpisah, kemudian dibuat pewarnaan Gram dari beberapa koloni untuk melihat kemurnian biakan.

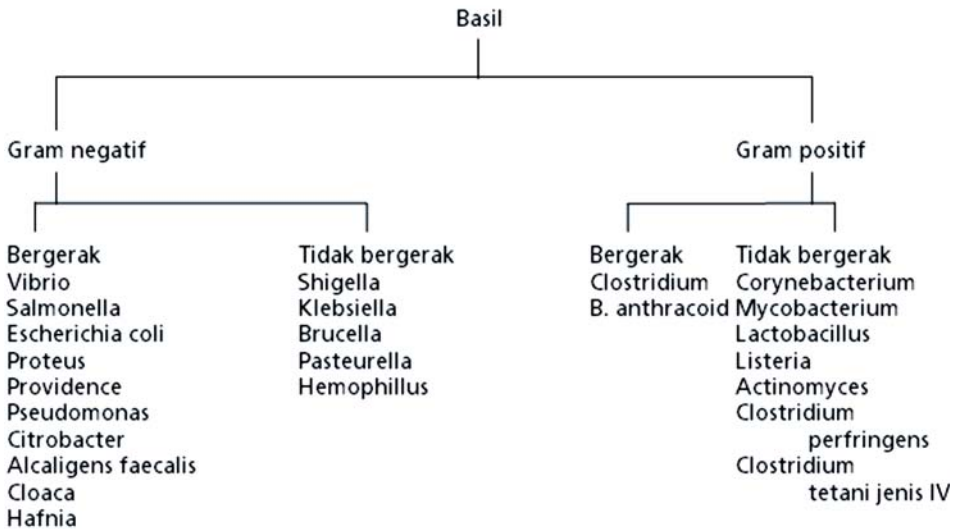
Setelah diperoleh biakan murni dapat dilakukan serangkaian pemeriksaan dan uji untuk memperoleh ciri morfologi dan biokimia dari isolat. Pemeriksaan yang dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh data tentang morfologi bakteri. Setiap uji yang dilakukan pada sel atau produksi sel bakteri, harus menggunakan kontrol untuk mengetahui apakah media serta reagens yang digunakan memenuhi persyaratan. Selain itu, kontrol digunakan untuk melihat bahwa teknik yang digunakan benar dan tepat.

Uji yang digunakan dalam identifikasi bakteri, tidaklah sama untuk semua kelompok. Sebagai contoh untuk proses identifikasi bakteri kelompok Enterbacteriaceae, salah satu langkah pengujiannya adalah digunakan kemampuan bakteri tersebut memfermentasi laktosa. Namun demikian, tahap mengujian sifat fermentasi laktosa ini tidak dapat dipakai untuk proses identifikasi bakteri kelompok *Staphylococcus* dan *Streptococcus*. Untuk kedua kelompok bakteri kokus tersebut, digunakan uji katalase.

Rujukan yang dipakai dalam identifikasi bakteri, adalah *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Bergey's manual mendasarkan pada morfologi, sifat faali, dan sifat biokimiawi bakteri.

Tahap awal dalam identifikasi bakteri adalah dilakukan pewarnaan Gram. Hasil yang diperoleh dalam pewarnaan Gram adalah: bakteri Gram positif, dan bakteri Gram negatif. Selain informasi tentang bakteri Gram positif atau bakteri Gram negatif, bentuk sel bakteri juga dapat diketahui dari hasil pewarnaan Gram. Skema kerja dalam proses identifikasi bakteri, ditunjukkan berikut:





J. Ringkasan

Klasifikasi ialah suatu istilah yang berkaitan dengan dan terkadang digunakan secara dapat dipertukarkan dengan taksonomi. Bakteri dapat diklasifikasi berdasarkan: klasifikasi biologis, dan klasifikasi morfologis. Berdasarkan sifat morfologisnya, bakteri dikelompokkan ke dalam: (1) kuman golongan tinggi, berupa filamen dan tumbuh dengan membuat cabang membentuk miselium; misalnya *Actinomyces*; (2) bakteri lebih rendah atau bakteri sejati, terdiri dari satu sel dan tidak pernah membuat miselium.

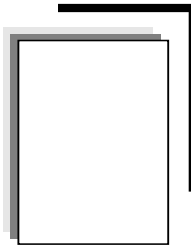
Berdasarkan sifat morfologi, sifat pertumbuhan, dan hasil pewarnaan Gram, maka bakteri dikelompokkan atas beberapa kelompok. Kelompok-kelompok bakteri tersebut adalah: bakteri anaerobik yang tidak membentuk spora, bakteri pembentuk spora, bakteri basil dan koki Gram negatif, bakteri basil Gram negatif anaerobik fakultatif, bakteri basil Gram negatif anaerobik, bakteri basil dan kokobasil Gram negatif, bakteri koki Gram positif.

Identifikasi bakteri, adalah proses pemberian nama spesies bakteri tertentu berdasarkan ciri-ciri atau karakter bakteri tersebut. Ciri-ciri bakteri yang diamati dalam proses identifikasi mencakup: morfologi, dan hasil uji kimiawi terhadap bakteri tersebut. Proses diidentifikasi dilakukan pada bakteri biakan murni, yang diisolasi dari biakan campuran dalam suatu media pertumbuhan bakteri di laboratorium.

Pemberian nama pada suatu spesies bakteri tertentu, dilakukan dengan mengacu pada ciri-ciri yang ada pada setiap kelompok bakteri pada sistem klasifikasi bakteri yang telah dibuat. Bakteri yang memiliki ciri-ciri yang sama dikelompokkan ke dalam satu kelompok. Sedangkan bakteri yang memiliki ciri-ciri lain, dikelompokkan ke dalam kelompok bakteri lain.

K. Pertanyaan-Pertanyaan

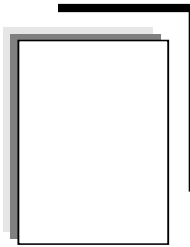
1. Jelaskan urutan hierarki taksonomi dalam sistem klasifikasi biologis!
2. Jelaskan cara-cara dalam klasifikasi bakteri!
3. Jelaskan kelompok-kelompok bakteri yang Anda ketahui!
4. Jelaskan, apa yang dimaksud dengan identifikasi bakteri!
5. Menurut Anda, bagaimanakah proses identifikasi bakteri di laboratorium?



DAFTAR RUJUKAN

- Chan, V.L.; Sherman, P.M.; Bourke, B. 2006. *Bacterial Genome and Infectious Diseases*. Totowa, New Jersey: Humana Press.
- Dale, J.; Park, S. 2003. *Molecular Genetics of Bacteria*. England: Wiley.
- Davis, B.D., et al. 1990. *Microbiology*. Singapore: Harper & Row Publisher.
- Dworkin, M.; Falkow, S.; Rosenberg, E.; Schletter, K.; Stackebrandt, E. 2006. *The Prokaryotes*. Volume 7. Singapore: Springer.
- Entjang, I. 2003. *Mikrobiologi dan Parasitologi*. Bandung: PT. Citra Aditya Bakti.
- Fardiaz, S. 1989. *Analisis Mikrobiologi Pangan*. Bogor: PAU Pangan dan Gizi, IPB.
- Fardiaz, S., 1992. *Mikrobiologi Pangan*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Gupte, S. 1990. *Mikrobiologi Dasar*. Alih Bahasa: Julius E.S. Jakarta: Bina Rupa Aksara.
- Hastuti, U.S. 2012. *Penuntun Praktikum Mikrobiologi*. Malang: UMM Press.
- Jawetz, E., Melnick, J.L.; Adelberg, A. 1986. *Mikrobiologi untuk Profesi Kesehatan*. Alih Bahasa: H. Tonang. Jakarta: EGC.
- Joklik, W.K.; Willett, H.P.; Amos, D.B.; Wilfert, C.M. 1988. *Zinsser Mikrobiology*. Singapore: Prentice Hall International Inc.

- Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Kedokteran. 1994. *Penuntun Praktikum Mikrobiologi*. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Lay, B.W. 1994. *Analisis Mikroba di Laboratorium*. Jakarta: PT. RajaGrafindo Persada.
- Muliawan, S.Y. 2009. *Bakteri Intraselular Obligat*. Jakarta: Erlangga.
- Nishiyama, M.; Kojima, S. 2012. Bacterial Motility Measured by a Miniature Chamber for High-Pressure Microscopy: *Int. J. Mol. Sci.* 13: 9225-9239.
- Pelczar, M.J., Chan, C.S. 1986. *Dasar-Dasar Mikrobiologi 1*. Alih Bahasa: Ratna Siri Hadioetomo, dkk. Jakarta: UI Press.
- Pelczar, M.J., Chan, C.S. 1986. *Dasar-Dasar Mikrobiologi 2*. Alih Bahasa: Ratna Siri Hadioetomo, dkk. Jakarta: UI Press.
- Ristiati, N.P. 2000. *Pengantar Mikrobiologi Umum*. Jakarta: Proyek Pengembangan Guru Sekolah Menengah, Dirjen Dikti Depdiknas.
- Sapp, J. 2006. *Two Faces of The Prokaryote Concept: International Mircobiology*. 9: 163-172.
- Tortora, G.J.; Funke, B.R.; Case, C.L. 2010. *Microbiology*. Sanfrancisco: Benjamin Cummings.



GLOSARIUM

Abiogenesis. Teori asal usul kehidupan yang menyatakan bahwa terjadinya makhluk hidup dari dekomposisi senyawa organik.

Adenosin Tri Phosphat (ATP). Energi yang dibebaskan dari oksidasi senyawa organik yang dapat digunakan bagi makhluk hidup untuk proses biosintesis maupun nonbiosintesis selnya.

Aerob. Organisme yang pertumbuhannya membutuhkan oksigen.

Anaerob. Organisme yang tumbuh tanpa adanya oksigen.

Anaerob fakultatif. Bakteri yang dapat tumbuh pada kondisi aerobik maupun anaerobik.

Anaerob obligat. Keadaan yang harus (mutlak) bebas dari adanya oksigen. Jika ada oksigen, kan bersifat toksik bagi sel makhluk hidup yang bersangkutan.

Alkohol. Senyawa organik, hasil respirasi anaerobik terhadap glukosa. Alkohol dapat digunakan sebagai desinfektan.

Amfibolik. Reaksi kimia yang tidak hanya bersifat katabolik, tetapi dapat juga bersifat anabolik.

Amitotik. Pembelahan sel yang tidak mengikuti fase-fase pembelahan sel secara mitosis.

Anabolisme. Proses sintesis komponen sel dari molekul sederhana, biasanya membutuhkan energi.

Angkutan aktif. Proses angkutan nutrisi yang membutuhkan energi, sehingga laju angkutan menjadi lebih cepat.

Animalculus. Objek (mikroorganisme) yang ditemukan oleh Antonie Van Leeuwenhoek, pada pemeriksaan berbagai air sampel dalam upaya menguji kebenaran teori generasi spontan.

Antibakteri. Bahan (biasanya bahan kimia) yang bersifat dapat menghambat atau membunuh sel bakteri.

Antibiotik. Suatu komponen yang diproduksi oleh mikroba, dan dalam jumlah kecil mempunyai aktivitas antimikroba.

Antimikroba. Sifat suatu senyawa kimia atau biologi yang dapat membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme.

Antiseptik. Bebas dari mikroorganisme yang dapat menyebabkan infeksi atau kontaminasi.

Autotrofik. Organisme yang dapat memanfaatkan energi sinar atau kimia, dan menggunakan karbondioksida untuk menyusun senyawa organik.

Bahan sanitasi. Bahan yang digunakan untuk mengurangi jumlah mikroba dalam suatu bahan atau pada alat untuk meningkatkan keamanannya.

Bakteriophage. Virus yang menginfeksi bakteri dan menyebabkan lisis sel bakteri.

Bakteriosidal. Sifat suatu senyawa kimia atau perlakuan yang membunuh bakteri.

Bakteriostatik. Sifat penghambat pertumbuhan bakteri tanpa membunuhnya.

Bakteri mesofilik. Bakteri yang tumbuh paling baik pada suhu sedang, dengan kisaran optimum 25 - 48°C.

Bakteri psikrofilik. Bakteri yang mempunyai suhu optimum, pertumbuhan pada suhu lemari es, masih dapat tumbuh pada suhu 0°C.

Bakteri termofilik. Mikroorganisme yang tumbuh baik pada suhu 50°C atau lebih.

Bakteri Gram negatif. Bakteri yang menunjukkan warna merah (menyerap zat warna safranin), ketika teramati di bawah mikroskop, dalam proses pewarnaan Gram.

- Bakteri Gram Positif.** Bakteri yang menunjukkan warna biru-ungu (menyerap zat warna Kristal violet), ketika teramati di bawah mikroskop, dalam proses pewarnaan Gram.
- Bakteri patogen.** Bakteri yang mempunyai kemampuan menyebabkan penyakit.
- Basil.** Bakteri yang berbentuk batang.
- Bentuk/sel vegetatif.** Tahap pertumbuhan aktif, kebalikan dari tahap istirahat atau bentuk spora.
- Biogenesis.** Teori yang menyatakan bahwa makhluk berasal dari makhluk hidup sebelumnya.
- Biosintesis.** Penyusunan komponen-komponen sel, dengan menggunakan karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), Sulfur (S), dan berbagai unsur lain; yang diperoleh dari nutrisi.
- Dekomposisi.** Proses penguraian senyawa organik yang dilakukan oleh mikroorganisme untuk mendapat energi (ATP).
- Difusi dipercepat.** Proses mengangkutan nutrisi dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah, yang dibantu oleh enzim per-mease pada permukaan luar dinding sel.
- Difusi pasif.** Proses pengangkutan nutrisi dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah pada suatu sel.
- Deoxyribonucleic Acid (DNA).** Materi genetik yang tersusun dari fosfat, gula, dan basa nitrogen (purin dan pirimidin), dan terdapat di dalam kromosom pada setiap sel makhluk hidup.
- Diplobasil.** Penataan sel bakteri kokus dua-dua.
- Diplokokus.** Bakteri yang bentuk kokus dan berpasangan.
- Disinfeksi.** Bahan (biasanya bahan kimia), yang dapat menghambat atau membunuh mikroorganisme.
- Disinfektan.** Komponen yang dapat membunuh sel vegetatif mikroorganisme dan mencegah infeksi.
- Dorman.** Tidur, fase istirahat, yang dilakukan oleh suatu sel bakteri (*Bacillus*, *Clostridium*), dengan menyusun struktur spora, sehingga mampu bertahan hidup dalam suasana lingkungan yang ekstrim.

Eksospora. Spora yang terbentuk pada permukaan luar sel mikroorganisme.

Endositosis. proses masuknya zat melalui membran sel.

Endospora. Spora berdinding tebal yang dibentuk di dalam sel bakteri.

Episom. Unsur genetik mikroorganisme yang terikat pada kromosomnya.

Eukariotik. Sel yang memiliki inti yang bermembran. Membran inti, memisahkan inti dan sitoplasma sel.

Fase adaptasi. Fase pertumbuhan sel bakteri yang ditandai dengan sel bakteri mengadakan penyesuaian dengan kondisi lingkungan pertumbuhannya, sel belum membelah. Grafik pertumbuhan masih datar.

Fase eksponensial. Fase pertumbuhan sel bakteri yang ditandai dengan pertumbuhan sel secara cepat dan konstan, sesuai dengan pertambahan waktu. Grafik pertumbuhan naik.

Fase kematian. Fase pertumbuhan sel bakteri yang ditandai dengan semakin menurunnya jumlah sel anak yang dihasilkan, dalam fase ini jumlah sel anak yang dihasilkan semakin menurun dan jumlah sel anak yang dihasilkan semakin kecil jumlahnya jika dibandingkan jumlah sel bakteri yang mati. Grafik pertumbuhan menurun.

Fase menuju kematian. Fase pertumbuhan sel bakteri, yang ditandai dengan jumlah sel anak yang dihasilkan mulai mengalami penurunan, jumlah sel anak yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan jumlah sel yang mati. Grafik pertumbuhan sel mulai menurun.

Fase pertumbuhan awal. Fase pertumbuhan sel bakteri yang ditandai dengan sel mulai membelah, sehingga jumlah sel semakin banyak. Grafik pertumbuhan mulai naik.

Fase pertumbuhan diperlambat. Fase pertumbuhan sel bakteri yang ditandai dengan penurunan laju pertumbuhan sel. Grafik pertumbuhan masih naik.

- Fase pertumbuhan stasioner maksimum.** Fase pertumbuhan sel bakteri yang ditandai dengan penambahan jumlah sel anak baru sama dengan jumlah sel yang mati. Grafik pertumbuhan sel mendatar.
- Fenol.** Disinfektan, yang dapat bersifat bakterisidal pada konsentrasi rendah. Disinfektan ini merusak membran sel bakteri.
- Fenotif.** Sifat-sifat mikroorganisme yang dapat ditangan oleh pancaindera.
- Fermentasi.** Oksidasi anaerobi. suatu komponen oleh enzim mikroorganisme, menghasilkan energi. Pada proses ini tidak diperlukan adanya oksigen, dan sebagai penerima elektron adalah senyawa organik.
- Fimbriae.** Struktur (*apendiks*), yang bukan pili, atau flagel; berfungsi untuk perlekatan pada suatu substrat/media.
- Flagellum.** Struktur (*apendiks*) pada permukaan sel bakteri, berfungsi sebagai alat gerak.
- Formalin.** Larutan formaldehida 37 sampai 40%.
- Fototrofik.** Mikroorganisme yang dapat menggunakan energi sinar untuk metabolisme.
- Fosforilasi oksidatif.** Urutan reaksi oksidasi di dalam rantai respirasi di mana dibebaskan energi dalam jumlah cukup dalam bentuk ATP.
- Fungisida.** Senyawa yang membunuh fungi.
- Genotif.** Gen tertentu yang terdapat di dalam organism dan sel-selnya.
- Germinasi.** Proses perkecambahan spora bakteri untuk membentuk sel vegetative baru.
- Glikolisis.** Proses disimilasi glukosa yang tidak mensyaratkan keberadaan oksigen, menjadi asam piruvat, juga disebut jalur *Emden-Meyerhoff-Parnas*.
- Halofilik.** Mikroorganisme di mana pertumbuhannya tergantung atau dirangsang oleh konsentrasi garam tinggi.

Halofilik fakultatif. Kelompok bakteri yang dapat tumbuh dalam larutan garam NaCl, tetapi tidak mensyaratkannya.

Halofilik obligat. Kelompok bakteri yang mensyaratkan adanya konsentrasi garam NaCl yang tinggi untuk pertumbuhannya.

Heterotrofik. Mikroorganisme yang tidak dapat menggunakan karbondioksida sebagai sumber karbon satu-satunya, dan membutuhkan komponen organik sebagai sumber karbon.

Identifikasi. Proses pemberian nama terhadap makhluk hidup dengan menggunakan rujukan berupa ciri-ciri baik morfologi maupun hasil uji biokimia.

Infeksi. Kondisi patologi disebabkan oleh pertumbuhan mikroorganisme di dalam sel inang.

Inokulasi. Memasukan mikroorganisme atau benda ke dalam tubuh atau kultur medium.

Inokulum. Bahan yang mengandung mikroorganisme dan digunakan untuk inokulasi.

Jasad renik. Organisme berukuran kecil (mikroskopis). Nama lainnya adalah mikroba, mikroorganisme.

Kapsul. Struktur yang berada pada bagian paling luar sel bakteri, berperan dalam meningkatkan virulensi bakteri tersebut.

Katabolisme. Penguraian senyawa organik, menghasilkan energi (ATP)

Kemotrofik. Organisme yang mendapatkan energi dari oksidasi senyawa kimia.

Klasifikasi. Pengelompokan makhluk hidup berdasarkan persamaan sifat-sifat yang diperoleh dari hasil identifikasi.

Kokus. Bentuk bola, salah satu bentuk dasar sel bakteri.

Koloni. Kumpulan sel-sel hasil pembelahan sel bakteri, dapat diamati pada media padat (solid).

Koliform. Kelompok kuman batang Gram negatif, yang dalam batas-batas tertentu mirip dengan *Escherichia coli*.

Konyugasi. Proses penggabungan yang ditandai dengan penggabungan temporer, terjadi terutama pada sel uniseluler.

- Kromosom.** Struktur yang terdapat di dalam nukleus pada sel makhluk hidup, pembawa bahan materi genetik (*DNA*),
- Kultur.** Biakan mikroorganisme, dapat berupa campuran atau murni, merupakan hasil kultivasi mikroorganisme tersebut di laboratorium.
- Kurva pertumbuhan.** Kecepatan pertumbuhan sel-sel bakteri pada suatu media pertumbuhan, yang diamati dalam kurun waktu tertentu.
- Lisogenik.** Keadaan suatu bakteri yang membawa bakteriofas (sering kali sebagai profas), dimana sel tersebut tahan.
- Medium pertumbuhan.** Bahan yang mengandung nutrisi dan komponen-komponen lain, yang digunakan oleh mikroorganisme untuk tumbuh dan berkembangbiak.
- Mercurochrome.** Obat merah, yang dipergunakan sebagai bahan diinfeksi.
- Mesosom.** Struktur pada sel bakteri, merupakan invaginasi (melipat ke dalam) membran sel.
- Metabolisme.** Reaksi kimiawi yang dilakukan oleh sel yang menghasilkan *ATP* untuk sintesis komponen-komponen sel dan untuk kegiatan-kegiatan seluler seperti pergerakan.
- Mikroaerofilik.** Kondisi tekanan oksigen yang rendah yang dibutuhkan oleh makhluk hidup.
- Mikroba.** Organisme bersel satu (*uniseluler*), reproduksinya dengan pembelahan sel.
- Mikroskopis.** Ukuran kecil (mikro), organisme yang berukuran mikroskopis hanya dapat diamati dengan menggunakan mikroskop.
- Miselium.** Suatu massa filament berbentuk seperti benang, bercabang atau berbentuk jalinan, yang merupakan struktur vegetatif suatu fungi.
- Mitosis.** Pembelahan sel dengan melalui faseinterfase, profase, metaphase, anaphase, telofase; menghasilkan dua sel anakan dengan sifat kromosom sama seperti sifat kromosom sel asalnya.

- Motilitas.** Kemampuan melakukan pergerakan yang dilakukan oleh mikroorganisme dengan menggunakan flagel.
- Mutan.** Organisme yang mengalami perubahan genetik atau menerima gen baru.
- Mutasi.** Perubahan yang stabil pada gen, sehingga menyebabkan perubahan pada sifat-sifatnya.
- Nukeloid.** Struktur bahan nukleus pada sel prokariotik (seperti bakteri).
- Nutrisi.** Bahan makanan yang dibutuhkan untuk keperluan metabolisme, reproduksi sel organisme.
- Oksidan.** Bahan pengoksidasi, penerima elektron, sehingga menjadi tereduksi.
- Oksidasi.** Reaksi di mana terjadi penerimaan (kombinasi) dengan oksigen, atau kehilangan elektron atau oksigen.
- Otoklaf.** Alat yang digunakan untuk sterilisasi, dengan menggunakan uap panas yang dihasilkan. Alat ini dapat menghasilkan keadaan steril, dan dioperasikan sampai pada suhu 121°C, selama 15 menit.
- Patogen.** Kemampuan untuk menyebabkan penyakit
- Pemanasan basah.** Proses pemanasan yang menggunakan air (contohnya mendidihkan air pada suatu wadah).
- Pemanasan kering.** Proses pemanasan yang tidak menggunakan air (contohnya pemanasan langsung pada api sampai merah, pembakaran).
- Peptidoglikan.** Senyawa polimer yang terdapat pada dinding sel prokariot (bakteri), terdiri atas tiga komponen utama, yaitu: *asetil-glukosamin (AGA)*, *asetil muramat (AMA)*, dan *peptode* yang terdiri dari empat atau lima asam amino.
- Pili, pilus.** Struktur pembentuk filament (*apendiks*) yang bukan flagel, atau fimbriae; fungsinya sebagai transfer materi genetik.
- Plasmid.** Struktur yang terdiri dari *DNA* di dalam sitoplasma (bebas), dan bereproduksi (bereplikasi tanpa tergantung pada kromosom).

- Plamid kolisinogenik.** Plasmid pada sel bakteri yang mampu memindahkan kemampuan memproduksi kolisin ke sel bakteri lain.
- Profas.** Hasil penggabungan *DNA* virus dengan *DNA* bakteri oleh bakteriophage.
- Prokariotik.** Struktur sel yang tidak memiliki membrane inti (*nukleus*).
- Protoplas.** Struktur sel bakteri di mana dinding selnya sudah hilang dan yang tersisa adalah isi sitoplasma yang dikelilingi oleh membran plasma.
- Rantai angkutan elektron.** Serangkaian reaksi oksidasi-reduksi untuk membentuk ATP.
- Reduktan.** Bahan pereduksi, mendonasikan elektron, sehingga menjadi teroksidasi.
- Reduksi.** Proses kimia di mana terjadi pelepasan oksigen, penambahan hydrogen, atau penerimaan elektron.
- Replikasi.** Proses penggandaan (perbanyak) sel bakteri, yang didahului adanya penggandaan bahan *nucleus*.
- Respirasi aerobik.** Proses oksidasi oleh organism hidup di mana oksigen bertindak sebagai akseptor dari elektron yang dilepaskan dari substrat.
- RNA (*Ribonucleic Acid*).** Asam nukleat yang terdapat di dalam sitoplasma sel dan nucleolus, mengandung asam fosfat, *D-ribose*, *adenine*, *guanine*, *sitosin*, dan *urasil*.
- Sarcina.** Penataan sel bakteri kokus yang terdiri atas delapan sel atau lebih, membentuk struktur seperti kubus.
- Sel eukariotik.** Sel yang sudah memiliki membran inti (*nukleus*).
- Sel prokariotik.** Sel yang belum memiliki membrane inti (*nukleus*).
- Bentuk/Sel vegetatif.** Sel organisme yang terdiri atas struktur-struktur halus. Struktur-struktur ini berada dalam sel organisme pada saat organisme tersebut berada pada lingkungan yang normal.

Sferoplas. Bahan sisa (sebagian lapisan luar) hasil pembuangan dinding sel pada sel bakteri Gram negatif, yang tetap melekat pada membran sitoplasma.

Siklus Krebs. Suatu sistem enzim yang mengubah asam piruvat menjadi karbondioksida dengan adanya oksigen, di mana energi ditangkap dalam bentuk molekul ATP.

Solut. Bahan terlarut.

Spesimen. Bahan contoh yang dipakai untuk pemeriksaan untuk keperluan tertentu di laboratorium.

Spora. Sel istirahat yang tahan dan dibentuk oleh mikroorganisme tertentu, dan bersifat dorman.

Sporulasi. Proses pembentukan spora.

Spora sentral. Spora yang letaknya di tengah-tengah sel vegetatifnya.

Spora subterminal. Spora yang letaknya agak ke ujung sel vegetatifnya.

Spora terminal. Spora yang letaknya pada salah satu ujung sel vegetatifnya.

Stafilokokus. Bakteri berbentuk bola (kokus) yang penataan selnya tidak teratur seperti penataan buah anggur.

Steril. Bebas dari organisme hidup.

Sterilisasi. Proses untuk membuat steril, membunuh semua bentuk kehidupan.

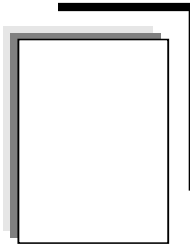
Streptobasil. Penataan sel bakteri kokus yang terdiri atas tiga atau lebih sel membentuk rantai.

Taksonomi. Pengkajian tentang klasifikasi atau penataan sistematis organisme ke dalam kelompok atau kategori yang disebut taksa.

Tindalisasi. Proses pemanasan yang tidak sinambung dalam upaya membunuh endospora bakteri, untuk mendapatkan kondisi steril.

Transduksi. Pemindahan materi genetik (*DNA*) dari satu sel bakteri ke sel bakteri lain yang diperantarai oleh *bakteriophage*.

- Transformasi.** Pemindahan informasi genetik melalui pemindahan DNA bebas dari satu sel (donor) ke sel bakteri lain (resipien).
- Translasi.** Penterjemahan kode-kode genetik (kodon) yang dibawa oleh *mRNA*, dalam proses sintesis protein.
- Translokasi.** Proses pengangkutan nutrisi pada sel bakteri yang melibatkan protein tahan panas (*Heat protein/Hpr*), dan enzim-enzim pada permukaan luar membran sel.
- Transport aktif.** Proses pengangkutan nutrisi dari konsentrasi rendah ke konsentrasi tinggi yang memerlukan enzim permealase dan energi.
- TCA.** *Tricarboxylic Acid*, nama lain dari siklus Krebs.
- Transkripsi.** Proses pembentukan messenger *RNA (mRNA)* oleh *DNA*.
- Variasi genetik.** Perubahan genotip dalam materi genetik (*DNA*) yang dapat terjadi karena mutasi.
- Vibrio.** Bentuk koma dari sel bakteri.
- Waktu generasi.** Waktu yang diperlukan oleh satu sel untuk membelah dan menghasilkan dua sel anak.



INDEKS BAKTERI

A

Acetobacter, 106
Aerobacter, 108
Agrobacterium, 91
Alcaligenes, 106, 107
 faecalis, 110
Arachnia, 104

B

Bacillus, 28, 105
 cereus, 105
 coagulans, 105
 polymyxa, 105
 sphaericus, 105
 steathermophilus, 105
 subtilis, 105
Bacteroides, 104
 denticola, 104
 endodontalis, 104
 fragilis, 104

gingivalis, 104
 loesheli, 104
 melaninogenicus, 104
Bifidobacterium, 104
Bradyrhizobium, 90, 99
 japonicum, 90, 99

C

Clostridium, 39, 106
 perfringens, 106
 tetani, 106
Corynebacterium, 97
 diphtheriae, 97

D

Desulfatamaculum, 105
Desulfovibrio, 109

E

Enterobacter, 108
 aerogenes, 108

Eubacterium, 104

F

Fusobacterium, 109

G

Gluconobacter, 106

aceti, 107

suboxydans, 107

H

Halobacterium, 106

Halococcus, 106

K

Klebsiella, 108

L

Lactobacillus, 104

Leuconostoc, 111

M

Micrococcus, 103, 109

flavus, 109

roseus, 109

tetragena, 109

Mobiluncus, 104

Mycobacterium, 102

tuberculosis, 102

Mycoplasma 15, 90, 95

genitalium, 90, 99

P

Pasteurella, 108

Peptostreptococcus

anaerobius, 105

aschaharolyticus, 105

magnum, 105

prevotii, 105

terradius, 105

Propionibacterium, 104

Proteus, 108

Pseudomonas, 46

aeruginosa, 106

fluorescens, 107

syringe, 107

S

Salmonella, 68, 97, 108

typhi, 108

Serratia, 108

marcescens, 108

Shigella, 83, 97

Spirillum, 7, 28, 42

Stafilokoku, 28, 75

aureus, 96

albus, 102

epidermidis, 110

Streptokokus, 28, 103

bovis, 110

constelatus, 103
equines, 110
faecalis, 110
faecium, 110
hemolyticus, 103
intermedius, 105
lactis, 46
pyogenes, 110
viridians, 103
viridochromogens, 38

T

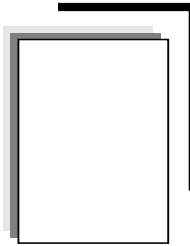
Treponema, 21
pallidum, 21

V

Veillonella, 105
parvula, 105
Vibrio, 29, 103
cholera, 91

X

Xanthomonas, 106



INDEKS SUBJEK

A

Abiogenesis, 4, 8
Absorpsi, 16
ADP, 46, 48
Aerobik, 105, 109
Alga, 1, 10, 65
Amfibolik, 47
Amitotik, 14
Anabolisme, 43, 49, 51
Anaerobik, 44, 45, 85, 105, 113
Angkutan aktif, 36
Animalculus, 7
Antibakterial, 67
Antibiotik, 2, 33, 90, 98
Antimikroba, 27, 62, 91
Antiseptik, 66, 75
Antonie Van Leeuwenhoek, 11
 mikroskop, 20, 21
Apendiks, 32, 39
ATP, 43, 44, 45

B

Badan Golgi, 14
Bahan organik, 8, 43, 46
Bakteri, 43, 46, 48, 53, 58, 63, 67
 aerob obligat, 62
 anaerob aerotoleran, 62
 anaerob fakultatif, 62
 anaerob obligat, 62
 mesofilik, 61, 102
 psikrofilik, 61, 102
 termofilik, 61, 102
Bakteriofage, 35, 91
Bakteriosida, 67, 72, 75
Bakteriosin, 91
Bakteriostatik, 61, 76
Basil, 103, 108, 113
Bentuk vegetatif, 66, 76
Biakan murni, 82, 86
Biogenesis, 4, 8
Biosintesis, 37, 49
Bioteknologi, 3, 5

C

Cendawan, 10, 38
Clostridium, 39, 106
 perfringens, 106
 tetani, 106
Colisin, 91
Colisinogenik, 91
Cyanobakteri, 15

D

D-alanin, 33
Dekomposisi, 8, 11
Diafragma, mikroskop, 20
Difusi dipercepat, 59
Difusi pasif, 59
Dinding sel, bakteri, 27, 33
Diplobasil, 28, 42
Diplokokus, 103
Disinfeksi, 2, 66, 77
Disinfektan, 39, 66, 74, 76
DNA, 71, 89, 99
Dorman, spora, 38, 42

E

Eksospora, 9
Ekstrak, 9
Endositosis, 15
Endospora, 38, 39
Episom, 90, 97, 99
Eukariotik, 4, 5, 13, 16, 37

F

FADH₂, 47, 48
Fase adaptasi, kurva pertumbuhan, 57
Fase eksponensial, kurva pertumbuhan, 57
Fase kematian, kurva pertumbuhan, 58
Fase menuju kematian, kurva pertumbuhan, 58
Fase pertumbuhan awal, kurva pertumbuhan, 57
Fase pertumbuhan diperlambat, kurva pertumbuhan, 57
Fase pertumbuhan stasioner maksimum, kurva pertumbuhan, 58
Feces, 3, 82, 108
Fenotif, 89, 94
Fermentasi, 9, 46, 111
 heterofermentatif, 46, 111
Fimbriae, 2, 32, 42
FK, 46
Flagellum, bakteri, 2, 31
Fluoresen, 22, 24
FMN, 47
Fosforilasi oksidatif, 36, 49
Fungi, 1, 7, 16, 65, 80
Fungsida, 67

G

Gen, 50
Genetika bakteri, 1, 5

Genom, 80, 90
Genotif, 89,94
Germinasi, spora, 41
Glikolisis, 44 ,48
Glukosa, 44, 47
Gram negatif, 32, 33, 72, 103
Gram positif, 4, 33, 103, 104,
113

H

Halobacterium, 106, 107
Halococcus, 106, 107
Halofilik, 62, 107
obligat, 62
fakultatif, 46
HMF, 46

I

Identifikasi, 1, 10, 101, 111
Iluminasi, 19
Infeksi, 35, 66, 97
Inokulasi, 10, 56
Inokulum, 57
Inspisasi, 69

J

Jasad renik, 7, 10, 62

K

Kapsul, bakteri, 2, 33, 97
Katabolisme, 43, 44, 48

Klasifikasi, 87, 101, 103, 113
biologis, 103, 113
morfologis, 103, 113
Kode genetik, 50, 89
Kokus, 103
Koloni, bakteri, 10, 82, 111
Kondenser, mikroskop, 19, 23
Konyugasi, 32, 90
Korteks, endospora, 40, 41
Kromosom, 37, 40, 89, 99
Kultivasi, 1, 79, 86
Kultur murni, 10, 83
Kuman, 9, 55, 66, 84
Kurva pertumbuhan, 56

L

Laboratorium, 65, 79, 101
L-alanin, 33
Lensa objektif, mikroskop, 18,
20
Lensa okuler, mikroskop, 18, 24
L-form, 36
Lisin, 33
Lisosom, 14
Lopotrik, flagella, 31, 42

M

Media, pertumbuhan, 2, 63, 79,
113
Membran inti, bakteri, 13, 16,
89
Membran sel, bakteri, 2, 30, 49,
72

Membran sitoplasma, bakteri, 33, 36, 49
 Mesosom, 2, 55
 Metabolisme, 4, 43, 72
 Metode goresan, penanaman bakteri, 82, 83
 Metode tuang, penanaman bakteri, 82
 Mikroba, 9, 17, 27
 Mikrometer, 27
 Mikroorganisme, 48, 53, 86
 Mikroskop, 4, 7, 17, 27
 Mikroskopis, 1, 17, 27,
 Minyak imersi, mikroskop, 19, 20
 Miselium, 103, 110
 Mitokondria, 13, 14
 Mitosis, 13, 37
 Monera, 1
 Monotrik, Flagellum, 31, 108
 Motilitas, 31, 51, 82
 Multiseluler, 13, 90
 Mutan, 57, 94
 Mutasi, 94, 95, 96
 spontan, 96
 terinduksi, 96
 titik, 94
 pergeseran kerangka, 95

N

NADH₂, 44, 48
 NADP, 45, 47
 N-asetilglukosamin, 32
 N-asetilmuramat, 32

Nata de coco, 3
 Nonsen kodon, 50
 Nukleoid, 49, 89
 Nukleus, 13, 89
 Nutrisi, 16, 34, 59

O

Oksidan, 44
 Oksidasi, 44, 46, 68
 Organisme mikroaerofilik, 62
 Otoklaf, 70, 81

P

Parasit, 15, 102
 Patogen, 2, 106
 Pemanasan basah, 68
 Pemanasan kering, 68
 Pembelahan biner, 15, 54
 Penisilin, 15, 34
 Peptide, dinding sel, 14, 33
 Peptidoglikan, 14, 33
 Peritrik, flagella, 31, 108
 Pertumbuhan sel, bakteri, 1, 33, 55
 Pilus, 2, 32
 Plasmid, 90, 97
 Pleomorfik, 15, 104
 Preparat, 18, 24
 Profas, 97
 Protoplas, 35, 71
 Protozoa, 7, 65

R

- Reduksi, 44, 46, 106
- Reduktan, 44
- Rekombinan, 3
- Rekombinasi, 5, 96
- Replikasi, 50, 71, 98
- Reproduksi, bakteri, 4, 62, 90
- Respirasi, 13, 45, 51
- Ribosom, 15, 37, 49, 90
- Rickettsia, 15, 16
- RNA, 15, 37, 50, 92
 - mRNA, 50
 - rRNA, 37
 - tRNA, 50

S

- Sanitasi, 67
- Sediaan, bahan pemeriksaan, 18
- Selaput sel, 55
- Sentral, letak spora, 38, 42
- Sentriol, 14
- Septik, 67
- Septum, 55
- Sferoplas, 35
- Sitoplasma, 13, 30, 89
- Spesimen, bahan pemeriksaan, 22, 24, 105
- Spiral, 7, 28, 42
- Spora, bakteri, 38, 48
- Sporisidal, 67, 76
- Steril, 65, 66, 106
- Sterilisasi, 2, 66

- Streptobasil, 28, 42
- Struktur halus, 5, 27, 30, 49
- Subterminal, letak spora, 38, 42
- Suspensi, 7, 84
- Svedberg, 37

T

- Taksonomi, 101, 114
- TCA, 44, 51
- Terminal, letak spora, 38, 50
- Tetrad, 30, 109
- Tindalisasi, 69
- Transduksi, 97, 99
- Transformasi, 96, 99
- Transkripsi, 50, 93
- Translasi, 50, 95
- Translokasi, 59, 60
- Transpor elektron, 45, 49
- Transport aktif, 59, 72
- Tubuh inklusi, 38

U

- Uniseluler, 15, 53, 65, 90

V

- Viriosidal, 67
- Virulensi, 91
- Virus, 28, 71, 97

W

- Waktu generasi, 55, 63