

Susilo, M.Si

Buku Ajar
MIKROBIOLOGI DASAR
2022



MIKROBIOLOGI DASAR

Susilo



Penerbit:

AHLIMEDIA PRESS

MIKROBIOLOGI DASAR

Penulis:

Susilo

Editor:

Nindra Rosyadi

Maryanti Setyaningsih

Desain Cover:

Aditya Rendy T.

Penerbit:

Ahlimedia Press (Anggota IKAPI: 264/JTI/2020)

Jl. Ki Ageng Gribig, Gang Kaserin MU No. 36 Kota Malang 65138

Telp: +628523277747

Telp Penulis: +62817-220-185

<http://www.ahlimediapress.web.id>

ISBN: 974-623-413-217-5

Cetakan Pertama, Maret 2023

Hak cipta oleh Penulis dan Dilindungi Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta, Pasal 72. Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit

Kata Pengantar

Puji syukur senantiasa kita panjatkan kehadirat Allah SWT, yang tiada henti melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada kita semua. Shalawat dan salam semoga tercurahkan pada junjungan kita nabi Muhammad SAW.

Dalam rangka memandu mahasiswa dan penerapan kurikulum baru, maka disusunlah buku ajar Pengantar Mikrobiologi Dasar. Lingkup buku ajar ini telah disesuaikan dengan kebutuhan mata kuliah mikrobiologi yang meliputi Ruang Lingkup dan Sejarah Mikrobiologi, Penggolongan Mikroorganisme (virus, bakteri, Alga, dan Protozoa), Struktur dan Fungsi Sel Mikroorganisme, Metabolisme Mikroorganisme, Genetika Mikroorganisme, Interaksi Mikroorganisme, Penyebaran Mikroorganisme, Pengendalian Pertumbuhan Mikroorganisme, dan Peranan Mikrobiologi. Buku ajar ini disusun berdasarkan pengalaman penulis selama mengajar dan tambahan dari literature yang mutakhir.

Kepada semua pihak yang telah membantu penyusunan dan penerbitan buku ajar mikrobiologi ini, Penulis menyampaikan terima kasih yang tulus. Semoga buku ajar ini dapat dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya oleh semua akademika.

Pepatah mengatakan “tak ada gading yang tak retak”. Buku ajar ini bukanlah gading dan arena itu tentunya banyak retaknya. Mengingat hal tersebut penulis mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan dari para pembaca.

Jakarta, Desember 2022

Penulis

Persembahan

Buku ajar yang diberi judul “*Pengantar Mikrobiologi Dasar*” ini disusun sebagai buku pegangan untuk mahasiswa yang mengambil mata kuliah Mikrobiologi Dasar. Penyusunan buku ajar Mikrobiologi Dasar ini diharapkan dapat membantu mahasiswa yang sedang mengambil mata kuliah Mikrobiologi. Buku ajar ini disusun berdasarkan kebutuhan materi mikrobiologi dasar pada jenjang S1. Buku ajar ini penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta kami yang selalu memberikan doa dan restunya.
2. Teman-teman yang selalu memberikan motivasi dan dukungan, baik pikiran maupun perlengkapan.
3. Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka
4. Pembaca yang budiman.

Penulis berharap, semoga buku ajar ini dapat bermanfaat bagi para pembaca khususnya bagi mahasiswa dan dapat menjadi sumber informasi serta panduan dalam mempelajari materi mikrobiologi dasar.

Ucapan Terima Kasih

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku ajar ini dapat terselesaikan. Tak lupa pula penulis mengirimkan salam dan shalawat kepada Nabi Besar Muhammad SAW yang telah membawa umat Islam ke jalan yang diridhoi Allah SWT.

Buku ajar yang berjudul “*Pengantar Mikrobiologi Dasar*” disusun sebagai upaya untuk membantu mahasiswa dalam menempuh mata kuliah mikrobiologi. Terwujudnya buku ini tidak lepas dari partisipasi dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Gunawan Suryoputro, M.Hum, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Prof. DR. Hamka
2. Bapak Dr. Desvian Bandarsyah, M.Pd selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka
3. Ibu Prof. Dr. Suswandari, M.Pd, selaku Ketua LEMLITBANG Universitas Muhammadiyah Prof. DR. Hamka
4. Staf pengajar dan pegawai Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Muhammadiyah Prof. DR. Hamka atas segala ilmu, masukan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis.
5. Tak lupa kepada orang tua kami yang telah memberikan doa dan dukungan dalam menyelesaikan buku ajar ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa buku ajar ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis memohon maaf bila ada kesalahan dalam penulisan buku ini. Kritik dan saran kami hargai demi penyempurnaan penulisan serupa dimasa yang akan datang. Besar harapan penulis, semoga buku ini dapat bermanfaat dan dapat bernilai positif bagi semua pihak yang membutuhkan.

Jakarta, Desember 2022
Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Daftar isi	vi
BAB 1 Sejarah dan Perkembangan Mikrobiologi	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Sejarah Perkembangan Mikrobiologi.....	1
1.3 Teori Abiogenesis dan Biogenesis	6
1.4 Perkembangan Penyakit	7
1.5 Penemuan Antiseptik	10
1.6 Penggolongan mikroba diantara jasad hidup.....	11
BAB 2 Struktur dan Fungsi Sel Mikroorganisme	15
2.1 Pendahuluan	15
2.2 Struktur Sel Prokariot	17
2.3 Struktur Sel Eukariot	18
2.4 Perbedaan Sel Hewan dan Sel Tumbuhan	35
2.5 Soal Latihan	40
BAB 3 Bakteri	42
3.1 Pendahuluan	42
3.2 Archaeobacteria	43
3.3 Eubacteria	47
3.4 Struksur Sel Bakteria	48
3.5 Penggolongan Bakteri	51
3.6 Peran Positif Bakteri.....	54
3.7 Peran Negatif Bakteri	56
3.8 Langkah Pengendalian	57
3.9 Soal Latihan	62
BAB 4 Virus	64
4.1 Pendahuluan.....	64
4.2 Struktur Tubuh	64
4.3 Reproduksi Virus	67
4.4 Klasifikasi Virus	69
4.5 Peranan Virus	72
4.6 Soal Latihan	75

Bab 5 Protista	78
5.1 Pendahuluan	78
5.2 Habitat Protista	79
5.3 Klasifikasi Protista	80
5.4 Peranan Protista	89
5.5 Soal Latihan	92
Bab 6 Algae Mikroskopis	93
6.1 Pendahuluan	93
6.2 Struktur Algae	94
6.3 Reproduksi Algae	95
6.4 Klasifikasi Algae	96
6.5 Peranan Algae	107
6.6 Soal Latihan	111
Bab 7 Fungi Mikroskopis	112
7.1 Pendahuluan	112
7.2 Reproduksi Fungi	113
7.3 Klasifikasi Fungi	114
7.4 Peranan Fungi	120
7.5 Soal Latihan	125
Bab 8 Pertumbuhan dan Metabolisme Mikroorganisme	133
A. Pertumbuhan Mikroorganisme	
8.1 Pendahuluan	133
8.2 Pertumbuhan mikroorganisme	134
8.3 Fase Pertumbuhan	135
8.4 Metode Pengukuran	138
8.5 Media Pertumbuhan	143
B. Metabolisme Mikroorganisme	
8.6 Pendahuluan	145
8.7 Tujuan Metabolisme dan Peranan Enzim	147
8.8 Fungsi dan Bentuk Energi	147
8.9 Katabolisme Pada Mikroba	148
8.10 Anabolisme Pada Mikroba	156
8.11 Soal Latihan	162

Bab 9 Peran dan Pengendalian Mikroorganisme	163
9.1 Pendahuluan	163
9.2 Peran Mikroorganisme dalam Bidang Pangan	164
9.3 Peran Mikroorganisme dalam Bidang Industri	168
9.4 Peran Mikroorganisme dalam Bidang Pertanian	171
9.5 Pengendalian Mikroorganisme	173
9.6 Soal Latihan	182
Glosarium	186
Daftar Pustaka	193
Biografi Penulis.....	194

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbedaan Organisme Prokariot dan Eukariot	16
Tabel 3.1. Perbedaan Archaeobacteria dan Eubacteria.....	44
Tabel 8.1. Perbedaan metabolisme mikroorganisme.....	146
Tabel 8.2. Jumlah ATP dalam respirasi aerob	154
Tabel 8.3. Jenis fermentasi berdasarkan senyawa hasil akhir dan contoh Mikroba	156
Tabel 9.1 Contoh mikroorganisme merugikan	165
Tabel 9.2 Contoh mikroorganisme menguntungkan.....	167
Tabel 9.3 Contoh peran mikroorganisme di bidang industry.....	170

Daftar Gambar/Grafik

Gambar 1.1. Percobaan Francisco	2
Gambar 1.2. Percobaan Lazzaro	3
Gambar 1.3. Skema percobaan Louis Pasteur	4
Gambar 1.4. Postulat Koch Pasteur	5
Gambar 2.1. Struktur Sel Prokariota	18
Gambar 2.2. Skema detail membran plasma	19
Gambar 2.3. Dua model difusi fasilitas, yang melibatkan saluran protein dan protein pembawa	21
Gambar 2.4. Mekanisme transpor aktif	22
Gambar 2.5. Struktur nukleus sel hewan	23
Gambar 2.5. Struktur kromatin	23
Gambar 2.6. Intermediet filamen	25
Gambar 2.7. Struktur mikrotubulus	26
Gambar 2.8. Keterlibatan badan Golgi dan retikulum endoplasma kasar dalam sintesis protein	27
Gambar 2.9. Struktur mitokondria	29
Gambar 2.10. Struktur kloroplas	31
Gambar 2.11. Struktur lisosom	33
Gambar 2.12. Pembentukan lisosom dan aktivitasnya	34
Gambar 3.1. <i>Methanobacterium</i> sp	45
Gambar 3.2. Struktur sel bakteri	49
Gambar 3.3. Beberapa tipe flagel pada sel bakteri	53
Gambar 3.4. Perbedaan bakteri gram positif dan bakteri gram negative ..	54
Gambar 4.1. Struktur dasar virus fage	66
Gambar 4.2. Beberapa contoh bentuk dan jenis virus	67
Gambar 4.3. Siklus litik virus	68
Gambar 4.4. Siklus lisogenik virus	69
Gambar 5.1 Reproduksi <i>Flagellata</i>	83
Gambar 5.2 Contoh bentuk Flagel	86
Gambar 5.3 <i>Dictyostelium discoideum</i>	88
Gambar 6.1. Bentuk sel <i>Chlamydomonas</i>	98
Gambar 6.2. Konjugasi sel gamet <i>Volvox</i>	98
Gambar 6.3. Konjugasi pada <i>Spirogyra</i>	99
Gambar 6.4. Siklus hidup <i>Ulva</i>	100
Gambar 6.5. <i>Chara</i> sp	101
Gambar 6.6. <i>Gonyaulax polyedra</i>	102

Gambar 6.7. <i>Nereocystis luetkeana</i>	104
Gambar 6.8. <i>Polysiphonia brodiei</i>	105
Gambar 6.9. <i>Vaucheria sp</i>	106
Gambar 6.10. <i>Cyclotella sp</i>	107
Gambar 7.1. <i>Rhizopus orizae</i>	116
Gambar 7.2. Reproduksi jamur Zigomycota	117
Gambar 7.3. Reproduksi jamur Askomycota	118
Gambar 7.4. <i>Lycoperdon pyriforme, Tremella mesenterica dan Crucibulum Vuligare</i>	119
Gambar 7.4. Reproduksi jamur Basidiomycota	120
Gambar 7.6. <i>Staphylococcus aureus</i>	121
Gambar 8.1. Grafik pertumbuhan mikrobia	137
Gambar 8.2. Penghitungan koloni bakteri	140
Gambar 8.3. Penghitungan mikroorganisme dengan Haemositometer mikrobia	141
Gambar 8.4 Proses Glikolisis	150
Gambar 8.5. Siklus Krebs.....	153
Gambar 8.6. Siklus Calvin-Benson	158

Daftar Singkatan

ADN	: Asam deoksiribo Nukleat
ADP	: Adenosin Difosfat
AIDS	: Acquired Immune Deficiency Syndrome
ANT	: Adenine Nucleotide Translocator
ATP	: Adenosin Trifosfat
CVPD	: <i>Citrus Vein Phloem Degeneration</i>
DNA	: Deoksi Ribo Nukleat
ED	: Entner-doudoroff
EMP	: Embden-Mayerhof-Parnas
FAD	: Flavin Adenin Dinukleotida
HIV	: <i>Human Immunodeficiency Virus</i>
ICTV	: <i>International Committee on Taxonomy of Viruses</i>
LPLO	: <i>Pleuro Pneumonia Like Organisms</i>
NADH	: <i>Nikotinamida Adenin Dinukleotida</i>
NADPH	: <i>Nicotinamide Adenin Dinukleotida Fosfat</i>
MRSA	: <i>Meticillin-resistant Staphylococcus aureus</i>
RE	: Retikulum Endoplasma
REK	: Retikulum Endoplasma Kasar
REH	: Retikulum Endoplasma Halus
RNA	: Asam Ribo Nukleat
RNA	: Ribo Nukleat Acid
rRNA	: Ribosom Ribo Nukleat Acid
PP	: Fosfat Pentosa
PK	: Phosphoketolase
TMV	: <i>Tobacco Mozaic Virus</i>
SCP	: <i>Single cell protein</i>

PENDAHULUAN

Mikrobiologi Dasar merupakan salah satu matakuliah wajib yang ditujukan memberikan bekal pengetahuan dasar tentang kelompok organisme yang ukurannya kecil yang sering disebut mikroorganisme. Mata kuliah Mikrobiologi dibagi dua yaitu teori (2 sks) dan praktek (1 sks). Buku ajar ini disusun sebagai buku pegangan mata kuliah teori Mikrobiologi Dasar. Buku ajar ini berisi 9 BAB kajian materi yang dilengkapi dengan contoh-contoh soal latihan. Bahasan buku ajar ini Antara lain: sejarah mikroorganisme dan ruang lingkungannya, pengelompokan mikroorganisme (virus, bakteri, alga mikroskopis, protista dan jamur mikroskopis), struktur dan fungsi sel Eukariotik dan Prokariotik, pertumbuhan dan metabolisme mikroorganisme, peranan dan pengendalian mikroorganisme dalam kehidupan.

Rencana Pembelajaran Semester (RPS)

Nama Mata Kuliah : Mikrobiologi Dasar

Sks : 2 sks

Mata Kuliah Prasyarat : Biologi Umum

Mg Ke-	Sub CPMK	Indikator Penilaian	Kriteria & Bentuk Penilaian	Bentuk, Metode Pembelajaran dan Penugasan	Materi Pembelajaran	Bobot Penilaian
1	<p>Mahasiswa dapat :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menjelaskan ruang lingkup mikrobiologi dasar ▪ Menjelaskan sejarah perkembangan mikrobiologi ▪ Menyebutkan tokoh-tokoh yang berperan dalam perkembangan dunia mikrobiologi ▪ Mengetahui sejarah penyakit dan antiseptik 	<p>Kemampuan mahasiswa dalam:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ mendefinisikan ilmu mikrobiologi ▪ menjelaskan ruang lingkup mikrobiologi ▪ mendeskripsikan sejarah perkembangan mikrobiologi ▪ menyebutkan tokoh-tokoh yang berperan dalam perkembangan dunia mikrobiologi ▪ menjelaskan sejarah penyakit dan antiseptik 	<p>Kriteria: Ketepatan dan penguasaan</p> <p>Bentuk penilaian: Pertanyaan lisan</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kuliah dengan metode ceramah dan diskusi [TM: 1x2x50'] • Tugas-1: Menyusun ringkasan tentang pengertian mikrobiologi dan ruang lingkup, sejarah serta tokoh-tokoh yang berperan dalam bidang mikrobiologi 	<p>Materi: Sejarah Mikrobiologi</p> <p>Pustaka: Irianto, Koes. (2007). <i>Mikrobiologi</i>. Bandung: CV.Yrama Widya.</p>	7%
2	<p>Mahasiswa dapat :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menjelaskan struktur sel prokariot dan eukariot ▪ Membedakan struktur sel prokariot dan eukariot ▪ Menyebutkan komponen penyusun sel dan fungsinya ▪ Memberikan contoh organisme prokariotik dan Eukariotik 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ketepatan mendeskripsikan struktur sel prokariot dan eukariot ▪ Ketepatan membedakan struktur sel prokariot dan eukariot ▪ Ketepatan menyebutkan komponen penyusun sel dan fungsinya ▪ Ketepatan memberikan contoh organisme prokariotik dan Eukariotik 	<p>Kriteria: Ketepatan, penguasaan, kesesuaian</p> <p>Bentuk non-test: Tulisan makalah</p> <p>Bentuk test: Tanya jawab , kuis</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kuliah dengan metode ceramah dan diskusi [TM: 1x2x50'] • Tugas-2: Membaca referensi dari berbagai sumber tentang struktur sel prokariot dan eukariot, komponen penyusun sel dan fungsinya, serta contoh organisme prokariotik dan eukariotik. 	<p>Materi: Sel Prokariot Dan Eukariot</p> <p>Pustaka: - Irianto, Koes. (2007). <i>Mikrobiologi</i>. Bandung: CV.Yrama Widya.</p>	8%

3	<p>Mahasiswa dapat :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menjelaskan ciri-ciri Eubacteria dan Archaeobacteria ▪ Menjelaskan struktur Eubacteria dan Archaeobacteria ▪ Mengetahui peran Eubacteria ▪ Memberikan contoh organisme kelompok Eubacteria dan Archaeobacteria 	<ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan menjabarkan ciri-ciri Eubacteria dan Archaeobacteria • Ketepatan mendeskripsikan struktur Eubacteria dan Archaeobacteria • Ketepatan menjelaskan peranan Eubacteria dan Archaeobacteria ▪ Ketepatan menyebutkan contoh organisme kelompok Eubacteria dan Archaeobacteria 	<p>Kriteria: Ketepatan, meringkas, menguasai dan menjelaskan</p> <p>Bentuk non-test: Tulisan makalah Portofolio</p> <p>Bentuk test: Tanya jawab dan tugas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kuliah dengan metode ceramah dan diskusi [TM: 1x2x50'] • Tugas-3: Menyusun ringkasan tentang karakteristik Eubacteria, peranannya, beserta contoh organismenya 	<p>Materi: Eubacteria Dan Archaeobacteria</p> <p>Pustaka: - Irianto, Koes. (2007). <i>Mikrobiologi</i>. Bandung: CV.Yrama Widya.</p>	8%
4	<p>Mahasiswa dapat :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menyebutkan ciri-ciri bakteri ▪ Menyebutkan struktur bakteri ▪ Menjelaskan pertumbuhan pada bakteri ▪ Mengklasifikasikan kelompok bakteri ▪ Memberikan contoh bakteri yang merugikan dan menguntungkan ▪ Mengetahui penyebaran dan pencegahan bakteri 	<ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan menjelaskan karakteristik bakteri • Ketepatan mendeskripsikan struktur bakteri • Ketepatan menguraikan pertumbuhan pada bakteri • Ketepatan mengelompokkan klasifikasi bakteri • Ketepatan memberikan contoh bakteri yang merugikan dan menguntungkan • Ketepatan menguraikan penyebaran bakteri pencegahannya 	<p>Kriteria: Ketepatan, menjelaskan, dan menguasai</p> <p>Bentuk non-test: Tulisan makalah Portofolio</p> <p>Bentuk test: Tanya jawab dan tugas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kuliah dengan metode <i>Small Group Discussion</i> [TM: 1x2x50'] • Tugas-4: Menyusun ringkasan tentang bakteri, struktur, pertumbuhan, klasifikasi, peranannya, serta penyebaran bakteri dan pencegahannya 	<p>Materi: Bakteri</p> <p>Pustaka: - Irianto, Koes. (2007). <i>Mikrobiologi</i>. Bandung: CV.Yrama Widya.</p>	8%
5	<p>Mahasiswa dapat :</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan menjelaskan karakteristik virus • Ketepatan mendeskripsikan struktur virus • Ketepatan menyebutkan fungsi organela pada virus • Ketepatan mengelompokkan klasifikasi virus • Ketepatan memberikan contoh virus yang merugikan dan menguntungkan 	<p>Kriteria: Ketepatan, menjelaskan, dan menguasai</p> <p>Bentuk non-test: Tulisan makalah Portofolio</p> <p>Bentuk test:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kuliah dengan metode <i>Small Group Discussion</i> [TM: 1x2x50'] • Tugas-5: Menyusun ringkasan tentang karakteristik virus, struktur, fungsi organel, klasifikasi, peranannya, 	<p>Materi: Virus</p> <p>Pustaka: - Irianto, Koes. (2007). <i>Mikrobiologi</i>. Bandung: CV.Yrama Widya.</p>	9%

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menyebutkan ciri-ciri virus ▪ Menjelaskan struktur virus ▪ Menjelaskan fungsi organela pada virus ▪ Mengklasifikasikan kelompok virus ▪ Memberikan contoh virus yang merugikan dan menguntungkan ▪ Mengetahui perkembangan virus ▪ Mengetahui penyebaran dan pencegahan virus 	<ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan menguraikan perkembangan virus serta penyebaran dan pencegahannya 	Tanya jawab dan tugas	perkembangan virus serta penyebaran dan pencegahannya		
6	<p>Mahasiswa dapat :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menyebutkan ciri-ciri protozoa ▪ Menyebutkan struktur protozoa ▪ Menjelaskan cara reproduksi protozoa ▪ Mengklasifikasikan kelompok protozoa ▪ Memberikan contoh protozoa yang merugikan dan menguntungkan ▪ Mengetahui penyebaran dan pencegahan protozoa 	<ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan menjelaskan karakteristik protozoa • Ketepatan mendeskripsikan struktur protozoa • Ketepatan menguraikan reproduksi pada protozoa • Ketepatan mengelompokkan klasifikasi protozoa • Ketepatan memberikan contoh protozoa yang merugikan dan menguntungkan • Ketepatan menguraikan penyebaran protozoa pencegahannya 	<p>Kriteria: Ketepatan, menjelaskan, dan menguasai</p> <p>Bentuk non-test: Tulisan makalah Portofolio</p> <p>Bentuk test: Tanya jawab dan tugas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kuliah dengan metode <i>Small Group Discussion</i> [TM: 1x2x50'] • Tugas-7: Menyusun ringkasan tentang protozoa, struktur, pertumbuhan, klasifikasi, peranannya, serta penyebaran protozoa dan pencegahannya 	<p>Materi: Protozoa</p> <p>Pustaka: - Irianto, Koes. (2007). <i>Mikrobiologi</i>. Bandung: CV.Yrama Widya.</p>	8%
7	<p>Mahasiswa dapat :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menyebutkan ciri-ciri Alga ▪ Menyebutkan struktur sel Alga ▪ Menjelaskan klasifikasi Alga ▪ Menjelaskan cara reproduksi Alga ▪ Memberikan contoh Alga yang merugikan dan menguntungkan ▪ Mengetahui penyebaran dan habitat Alga 	<ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan menjelaskan karakteristik Alga • Ketepatan mendeskripsikan struktur sel Alga • Ketepatan mengelompokkan klasifikasi Alga • Ketepatan menguraikan reproduksi pada Alga • Ketepatan memberikan contoh Alga yang merugikan dan menguntungkan • Ketepatan menguraikan penyebaran dan habitat Alga 	<p>Kriteria: Ketepatan dan penguasaan</p> <p>Bentuk non-test: Tulisan makalah Portofolio</p> <p>Bentuk test: Tanya jawab dan tugas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kuliah dengan metode <i>Small Group Discussion</i> [TM: 1x2x50'] • Tugas-8: Menyusun ringkasan tentang Alga, struktur, pertumbuhan, klasifikasi, peranannya, serta penyebaran Alga dan pencegahannya 	<p>Materi: Alga Mikroskopis</p> <p>Pustaka: - Irianto, Koes. (2007). <i>Mikrobiologi</i>. Bandung: CV.Yrama Widya.</p>	7%

8		Evaluasi Tengah Semester (UTS)				
9	<p>Mahasiswa dapat :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menyebutkan ciri-ciri fungi ▪ Menyebutkan struktur sel fungi ▪ Menjelaskan klasifikasi fungi ▪ Menjelaskan cara reproduksi fungi ▪ Memberikan contoh fungi yang merugikan dan menguntungkan ▪ Mengetahui penyebaran dan habitat fungi 	<ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan menjelaskan karakteristik fungi • Ketepatan mendeskripsikan struktur sel fungi • Ketepatan mengelompokkan klasifikasi fungi • Ketepatan menguraikan reproduksi pada fungi • Ketepatan memberikan contoh fungi yang merugikan dan menguntungkan • Ketepatan menguraikan penyebaran dan habitat fungi 	<p>Kriteria: Ketepatan, penguasaan, kesesuaian</p> <p>Bentuk non-test: Tulisan makalah Portofolio</p> <p>Bentuk test: Tanya jawab dan tugas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kuliah dengan metode <i>Small Group Discussion</i> [TM: 1x2x50'] • Tugas-9: Menyusun ringkasan tentang fungi, struktur, pertumbuhan, klasifikasi, peranannya, serta penyebaran fungi dan pencegahannya 	<p>Materi: Fungi Mikroskopis</p> <p>Pustaka: - Irianto, Koes. (2007). <i>Mikrobiologi</i>. Bandung: CV.Yrama Widya.</p>	8%
10	<p>Mahasiswa dapat :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menjelaskan proses penyusunan energi pada mikroorganisme ▪ Membedakan proses anabolisme dan katabolisme pada mikroorganisme ▪ Menyebutkan komponen penyusun energi 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ketepatan menjelaskan proses penyusunan energi mikroorganisme ▪ Ketepatan membedakan proses pada anabolisme dan katabolisme ▪ Ketepatan menyebutkan komponen penyusun energi 	<p>Kriteria: Ketepatan dan menjelaskan</p> <p>Bentuk non-test: Tulisan makalah Portofolio</p> <p>Bentuk test: Tanya jawab dan tugas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kuliah dengan metode <i>Discovery Learning</i> [TM: 1x2x50'] • Tugas-10: Menyusun ringkasan tentang proses penyusunan energi beserta komponennya, dan proses anabolisme dan katabolisme yang merupakan proses metabolisme 	<p>Materi: Metabolisme Mikroorganisme</p> <p>Pustaka: - Irianto, Koes. (2007). <i>Mikrobiologi</i>. Bandung: CV.Yrama Widya.</p>	7%
11	<p>Mahasiswa dapat :</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan menjelaskan proses pertumbuhan mikroorganisme • Ketepatan menyebutkan komponen media pertumbuhan untuk mikroorganisme • Ketepatan mendeskripsikan jenis media pertumbuhan dan cara 	<p>Kriteria: Ketepatan, meringkas dan menjelaskan</p> <p>Bentuk non-test:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kuliah dengan metode <i>Discovery Learning</i> [TM: 1x2x50'] • Tugas-12: Menyusun ringkasan tentang proses 	<p>Materi: Pertumbuhan Mikroorganisma</p> <p>Pustaka: - Irianto, Koes. (2007).</p>	7%

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menjelaskan proses pertumbuhan mikroorganisme ▪ Menyebutkan komponen media pertumbuhan untuk mikroorganisme ▪ Menjelaskan jenis media pertumbuhan dan cara menghitung laju pertumbuhan mikroorganisme ▪ Menjelaskan fase pertumbuhan mikroorganisme ▪ Menyebutkan faktor-faktor pertumbuhan mikroorganisme 	<p>menghitung laju pertumbuhan mikroorganisme</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan menjelaskan fase pertumbuhan mikroorganisme • Ketepatan menguraikan faktor-faktor pertumbuhan mikroorganisme 	Tulisan makalah Portofolio	<p>pertumbuhan mikroorganisme, yang meliputi komponen dan jenis media pertumbuhan, cara menghitung laju pertumbuhan, fase Akseptif pertumbuhan, serta faktor-faktor yang mempengaruhinya</p>	<p><i>Mikrobiologi.</i> Bandung: CV.Yrama Widya.</p>	
12	<p>Mahasiswa dapat :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menjelaskan manfaat mikroorganisme dalam berbagai bidang ▪ Menjelaskan cara pemanfaatan mikroorganisme ▪ Memberikan contoh mikroorganisme yang bermanfaat bagi kehidupan manusia 	<ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan menjelaskan manfaat mikroorganisme dalam berbagai bidang • Ketepatan mendeskripsikan cara pemanfaatan mikroorganisme • Ketepatan memberikan contoh mikroorganisme yang bermanfaat bagi kehidupan manusia 	<p>Kriteria: Ketepatan, kesesuaian dan penguasaan</p> <p>Bentuk non-test: Tulisan dalam makalah Portofolio</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kuliah dengan metode <i>Discovery Learning</i> [TM: 1x2x50'] • Tugas-13: Menyusun ringkasan tentang peranan mikroorganisme bagi kehidupan 	<p>Materi: Peran Mikroorganisme</p> <p>Pustaka: - Irianto, Koes. (2007). <i>Mikrobiologi.</i> Bandung: CV.Yrama Widya.</p>	7%
13	<p>Mahasiswa dapat :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Memahami ragam jenis interaksi antar mikroorganisme dan mekanisme interaksinya, ▪ Memberi contoh masing-masing bentuk interaksi mikroorganisme dengan penjelasan 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ketepatan menjelaskan ragam jenis interaksi antar mikroorganisme ▪ Ketepatan menjelaskan mekanisme interaksinya. ▪ Memberi contoh masing-masing bentuk interaksi mikroorganisme dengan penjelasan 	<p>Kriteria: Ketepatan, kesesuaian dan penguasaan</p> <p>Bentuk non-test: Tulisan dalam makalah Portofolio</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kuliah dengan metode <i>Discovery Learning</i> [TM: 1x2x50'] • Tugas-14: Menyusun ringkasan tentang peranan mikroorganisme bagi kehidupan 	<p>Materi: Interaksi Mikroorganisme</p> <p>Pustaka: - Irianto, Koes. (2007). <i>Mikrobiologi.</i> Bandung: CV.Yrama Widya.</p>	7%

14	<p>Mahasiswa dapat :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menjelaskan metode-metode pengendalian mikroorganisme ▪ Menyebutkan tujuan pengendalian mikroorganisme ▪ Menjelaskan efektivitas pengendalian mikroorganisme ▪ Memberikan contoh bentuk pengendalian terhadap suatu mikroorganisme 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ketepatan menjelaskan cara metode pengendalian mikroorganisme ▪ Ketepatan mendeskripsikan tujuan pengendalian mikroorganisme ▪ Ketepatan menyebutkan efektivitas pengendalian mikroorganisme ▪ Ketepatan memberikan contoh bentuk pengendalian mikroorganisme 	<p>Kriteria: Ketepatan, penguasaan, meringkas dan menjelaskan</p> <p>Bentuk non-test: Tulisan makalah Portofolio</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kuliah dengan metode <i>Discovery Learning</i> [TM: 1x2x50'] • Tugas-15: Menyusun ringkasan tentang pengendalian mikroorganisme yang meliputi metode, tujuan, efektivitas dan contoh bentuk pengendalian mikroorganisme 	<p>Materi: Pengendalian Mikroorganisme</p> <p>Pustaka: - Irianto, Koes. (2007). <i>Mikrobiologi</i>. Bandung: CV.Yrama Widya.</p>	7%
15						
16	Ujian Akhir Semester (UAS)					50%

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai sejarah mikrobiologi dan perkembangannya, tokoh-tokoh yang berperan penting dalam perkembangan mikrobiologi serta ruang lingkup mikrobiologi.
CPMK	Mahasiswa mampu menjelaskan ruang lingkup mikrobiologi dasar dan sejarah perkembangannya
Sub-CPMK	Mahasiswa dapat : <ul style="list-style-type: none">▪ Menjelaskan ruang lingkup mikrobiologi dasar▪ Menjelaskan sejarah dan tokoh yang berperan dalam perkembangan dunia mikrobiologi▪ Mengetahui sejarah penyakit dan antiseptik

1.1 Pendahuluan

Mikrobiologi merupakan cabang ilmu yang mempelajari mikroorganisme (makhluk kecil yang tidak dapat dilihat oleh mata telanjang) dan hanya dapat dilihat dengan mikroskop (bahasa Yunani : *mikros* = kecil, *bios* = hidup, dan *logos* = ilmu). Organisme yang berukuran kecil tersebut disebut dengan mikroorganisme, mikroba, mikroba atau jasad renik. Hal ini sudah diambil ketentuan bahwa semua makhluk hidup yang berukuran beberapa mikron atau lebih kecil lagi dikategorikan sebagai mikroba. Satu (1) mikron disingkat $1 \mu = 0,001 \text{ mm}$. Mata manusia sama sekali tidak dapat menangkap suatu benda yang berdiameter kurang dari 0,1 mm dan kurang jelas untuk melihat suatu benda yang berdiameter 1 mm atau kurang.

1.2 Sejarah Perkembangan Mikrobiologi

Mikrobiologi adalah ilmu yang mempelajari organisme hidup yang berukuran sangat kecil sehingga tidak dapat dilihat dengan mata telanjang melainkan dengan bantuan mikroskop. Organisme yang sangat kecil ini disebut sebagai mikroorganisme, atau kadang-kadang disebut sebagai mikroba, ataupun

jasad renik. Dunia mikroorganisme terdiri dari 5 kelompok organisme, yaitu bakteri, protozoa, virus, algae, dan cendawan (fungi).

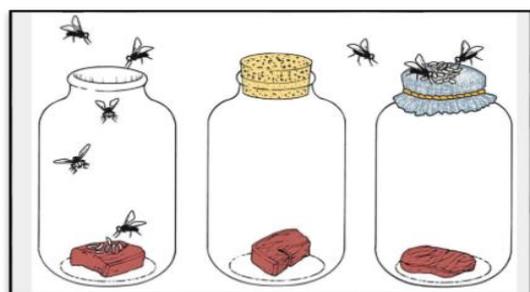
1.2.1 Antoni Van Leeuwenhoek (24 October 1632-26 Augustus 1723)

Istilah Mikrobiologi dimulai sejak ditemukannya mikroskop oleh seorang berkebangsaan Belanda yang memulai membuat mikroskop amatir bernama Antoni Van Leeuwenhoek. Leeuwenhoek inilah orang yang pertama kali mengetahui adanya mikroorganisme di dunia. Sehingga dia juga dikenal sebagai “*bapak biologi*”. Dia pertama kali melakukan pengamatan terhadap struktur mikroskopis biji pada jaringan tumbuhan dan invertebrata kecil. Leeuwenhoek menemukan bakteri di tahun 1676 pada saat mempelajari infusi lada dan air (*pepper-water infusion*). Van Leeuwenhoek mempublikasikan hasil temuannya melalui surat kabar *Royal Society of London* pada tahun 1684. Ilustrasi Van Leeuwenhoek tentang mikroorganisme temuannya dikenal dengan nama “*wee animalcules*”, tetapi penemuan yang terbesar adalah diketahuinya dunia mikroba yang disebut sebagai “*animalculus*” atau hewan kecil. *Animalculus* adalah jenis-jenis mikrobia yang sekarang diketahui sebagai protozoa, alga, khamir, dan bakteri.

Penemuan *animalcules* di alam, menimbulkan rasa ingin tahu mengenai asal usulnya. Menurut teori Abiogenesis, *animalculus* timbul dengan sendirinya dari bahan-bahan mati. Paham Abiogenesis diakui sampai jaman Renaissance. Seiring dengan kemajuan pengetahuan mengenai mikroba, maka paham tersebut semakin lama tersebut menjadi tidak terbukti.

1.2.2 Francisco Redi (18 Februari 1626 – 1 Maret 1697)

Bertahun-tahun setelahnya, banyak observasi lain yang menegaskan hasil pengamatan van Leeuwenhoek, namun peningkatan tentang pemahaman sifat dan keuntungan mikroorganisme berjalan sangat lambat sampai 150 tahun berikutnya. Baru di abad ke 19, yaitu setelah produksi mikroskop meningkat pesat, barulah keingintahuan manusia akan mikroorganisme mulai berkembang lagi. Francisco Redi memperoleh hasil dari percobaannya bahwa ulat yang berkembang biak di dalam daging busuk, tidak akan terjadi apabila daging tersebut disimpan di dalam suatu tempat tertutup yang tidak dapat

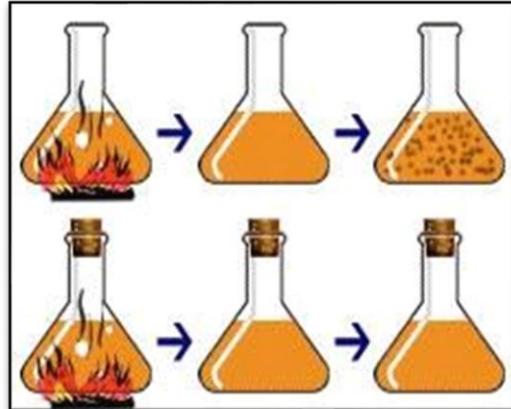


Gambar 1.1. Percobaan Francisco Redi

disentuh oleh lalat. Jadi dapat disimpulkan bahwa ulat tidak secara spontan berkembang dari daging.

1.2.3 Lazzaro Spalanzani (10 Januari 1729-12 Februari 1799)

Percobaan lain yang dilakukan oleh Lazzaro Spalanzani memberi bukti yang menguatkan bahwa mikroba tidak muncul dengan sendirinya, pada percobaan menggunakan kaldu ternyata pemanasan dapat menyebabkan animalculus tidak tumbuh.



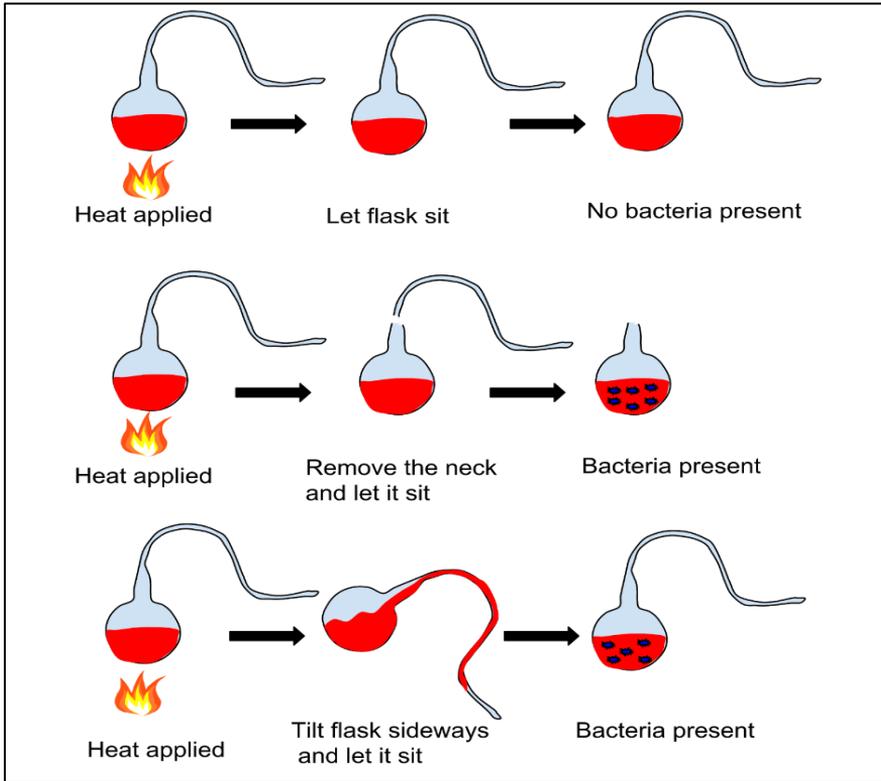
Gambar 1.2 Percobaan Lazzaro Spalanzani

Percobaan ini juga dapat menunjukkan bahwa perkembangan mikroba di dalam suatu bahan, dalam arti terbatas menyebabkan terjadinya perubahan kimiawi pada bahan tersebut.

1.2.4 Louis Pasteur (27 December 1822–28 September 1895)

Louis Pasteur dikenal luas karena teori Generatio Spontanea, organisme hidup berasal dari organisme hidup juga. Percobaan Pasteur menggunakan kaldu yang disterilkan dan labu leher angsa membuktikan tentang adanya mikroorganisme.

Louis Pasteur menjebak mikroorganisme yang terbawa udara dalam kapas, dia juga memanaskan leher labu angsa, mensterilkan media, membiarkan ujung leher labu terbuka.



Gambar 1.3. Skema percobaan Louis

Hasil percobaannya menunjukkan tidak ada pertumbuhan mikroba sebab partikel debu yang membawa organisme tidak mencapai medium, namun terjebak pada leher labu, jika leher labu dipecah, atau medium dilalukan pada leher, mikroba akan tumbuh. Percobaan yang dilakukan oleh Louis Pasteur juga banyak membuktikan bahwa teori abiogenesis tidak mungkin, tetapi tetap tidak dapat menjawab asal usul mikroba.

Penemuan Louis Pasteur yang penting adalah:

1. Udara mengandung mikrobia yang pembagiannya tidak merata
2. Cara pembebasan cairan dan bahan-bahan dari mikrobia yang sekarang dikenal sebagai pasteurisasi dan sterilisasi.

Pasteurisasi adalah cara untuk mematikan beberapa jenis mikroba tertentu dengan menggunakan uap air panas, suhunya $\pm 62^{\circ}\text{C}$. Sterilisasi adalah cara untuk mematikan mikroba dengan pemanasan dan tekanan tinggi, cara ini merupakan penemuan bersama ahli yang lain.

1.2.5 Robert Koch (11 Desember 1843–27 Mai 1910)

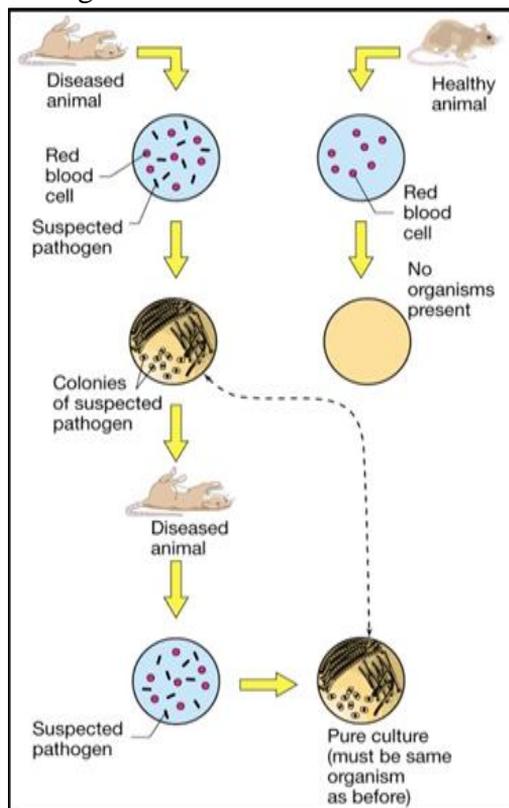
Robert Koch menggunakan kriteria yang dikembangkan oleh gurunya Jacob Henle, dapat menjelaskan hubungan antara bakteri jenis *Bacillus anthracis* dengan penyakit anthrax. Kriterianya dikenal sebagai postulat Koch dan hingga kini masih digunakan untuk menjelaskan hubungan antara mikroorganisme tertentu dengan penyakit tertentu. Kerja Koch pada tahun 1876 ini dikorfirmasi secara independen oleh Pasteur.

Isi Postulat Koch:

- 1) Mikroorganisme harus ada di setiap kasus penyakit tetapi tidak ada pada individu sehat.
- 2) Mikroorganisme yang dicurigai (*suspected*) harus dapat diisolasi dan ditumbuhkan dalam kultur murni.
- 3) Penyakit yang sama harus timbul jika mikroorganisme hasil isolasi diinokulasi tersebut pada individu sehat.

Mikroorganisme yang sama harus ditemukan lagi dari individu yang sakit tersebut. Pengembangan teknik untuk mempelajari mikroba dilakukan oleh Robert Koch dan kawan-kawan. Mereka mengembangkan teknik, reagen dan materi lain untuk mengkultur bakteri patogen pada media pertumbuhan padat. Dengan demikian para ahli mikrobiologi dapat mengisolasi mikroba untuk mendapatkan kultur murni.

Sementara itu Charles Chamberland membuat filter (saringan) bakteri untuk menapis bakteri dan mikroba yang lebih besar dari spesimen. Melalui teknik ini juga memungkinkan ditemukannya virus sebagai agen penyebab penyakit.



Gambar 1.4. Postulat Koch Pasteur

Kajian imunologis dilakukan pada tahun 1794 oleh Edward Jenner menggunakan prosedur vaksinasi untuk melindungi individu dari penyakit cacar (*smallpox*). Sementara Louis Pasteur mengembangkan vaksin lain untuk penyakit kolera ayam, antraks, dan rabies.

Di samping itu, Emil Von Behring dan Shibasaburo Kitasato menginduksi pembentuk antitoksin dari toksin dipteri pada kelinci. Antitoksin ini digunakan secara efektif untuk mengobati manusia dan memberikan bukti imunitas humoral. Elie Metchnikoff di tempat lain menunjukkan keberadaan sel fagositik dalam darah, yang menunjukkan imunitas dimediasi sel.

Sementara itu, penemuan antibiotik dari jamur *Penicillium* sp. oleh Alexander Flemming pada tahun 1928 mengubah cara pengobatan terhadap luka. Antibiotik dianggap sebagai obat ajaib yang pertama kali diproduksi secara massal untuk para tentara korban perang dunia ke II.

Awal abad 20 ahli mikrobiologi telah meneliti bahwa mikroorganisme mampu menyebabkan berbagai macam perubahan kimia baik melalui penguraian maupun sintesis senyawa organik yang baru. Hal inilah yang disebut dengan biochemical diversity atau keanekaragaman biokimia yang menjadi ciri khas mikroorganisme. Disamping itu, yang penting lainnya adalah mekanisme perubahan kimia oleh mikroorganisme sangat mirip dengan unity in biochemistry yang artinya bahwa proses biokimia pada mikroorganisme adalah sama dengan proses biokimia pada semua makhluk hidup termasuk manusia. Bukti terbaru menunjukkan bahwa informasi genetik pada semua organisme baik dari mikroba hingga manusia adalah sama yaitu DNA.

Pengambilan informasi genetika dari mikroorganisme dilakukan karena sifatnya sederhana dan perkembangbiakan yang sangat cepat serta adanya berbagai variasi metabolisme. Saat ini mikroorganisme diteliti secara insentif untuk mengetahui dasar fenomena biologi. Mikroorganisme juga merupakan sebagai sumber produk dan proses yang menguntungkan masyarakat, misalnya alkohol yang dihasilkan melalui proses fermentasi dapat digunakan sebagai sumber energi.

1.3 Teori Abiogenesis Dan Biogenesis

Penemuan mikroba di alam menimbulkan rasa ingin tahu mengenai asal-usulnya. Menurut teori abiogenesis, mikroba timbul dengan sendirinya dari bahan-bahan mati. Doktrin abiogenesis dianut sampai jaman Renaissance. Seiring dengan kemajuan pengetahuan mengenai mikroba, doktrin tersebut menjadi tidak terbukti. Sebagian ahli penganut teori biogenesis, dengan pendapat bahwa mikroba terbentuk dari “benih” mikroba yang selalu berada di udara. Untuk

mempertahankan pendapat tersebut maka penganut teori ini mencoba membuktikan dengan berbagai percobaan.

Fransisco Redi (1665) menemukan bahwa ulat yang berkembang biak di dalam daging busuk tidak akan terjadi apabila daging tersebut disimpan di dalam tempat tertutup. Percobaan lain yang dilakukan oleh Lazzaro Spalanzani memberi bukti yang menguatkan bahwa mikroba tidak muncul dengan sendirinya, pada percobaan menggunakan kaldu ternyata pemanasan dapat menyebabkan mikroba tidak tumbuh. Percobaan ini juga dapat menunjukkan bahwa perkembangan mikrobial di dalam suatu bahan, dalam arti terbatas menyebabkan terjadinya perubahan kimiawi pada bahan tersebut.

Bukti-bukti baru mendukung bahwa kehidupan terjadi dari berbagai unsur kimia, dengan rangkaian reaksi yang mirip dengan reaksi yang terjadi di alam. Menurut pendapat Oparin (1938) dan Haldane (1932), bumi pada jaman prebiotik mempunyai atmosfer yang bersifat anaerob. Atmosfer bumi saat itu mengandung sejumlah besar nitrogen, hidrogen, CO₂, uap air, sejumlah ammonia, CO, dan H₂S. Di atmosfer oksigen hampir tidak ada, dan lapisan ozon sangat tipis, sehingga sinar ultra violet banyak mengenai bumi. Radiasi UV, suhu tinggi dan loncatan bunga api listrik, menyebabkan sejumlah bahan anorganik yang ada berubah menjadi bahan organik, serta terjadinya evolusi pada bahan-bahan organik menjadi lebih kompleks, atau mulai terbentuk makromolekul. Diduga makromolekul akan saling bergabung membentuk semacam membran, yang kemudian mengelilingi suatu cairan, dan akhirnya terbentuk suatu organisme seluler.

Selanjutnya untuk mengevolusikan jasad bersel tunggal menjadi bersel majemuk memerlukan waktu kurang lebih 2,5 milyar tahun. Untuk mengevolusikan jasad bersel majemuk menjadi reptil sampai binatang menyusui memerlukan waktu milyaran tahun lagi. Teori asal mula kehidupan diatas didukung oleh penemuan S. Miller (1957) dan H. Urey (1954). Bejana Miller diisi dengan gas CH₄, NH₃, H₂O, dan H₂. Gas-gas tersebut dibiarkan bersirkulasi terus-menerus melalui loncatan bunga api listrik, kondensor, dan air mendidih. Seminggu kemudian ternyata menunjukkan terbentuknya senyawa organik seperti asam amino, glisin, dan alanin, serta asam organik seperti asam suksinat. Dengan merubah bahan dasar dan energi yang diberikan dalam aparat Miller, maka dapat disintesa senyawa-senyawa lain seperti polipeptida, purin, dan ATP. Makromolekul inilah yang diduga sebagai awal terbentuknya kehidupan.

1.4 Perkembangan Penyakit

Epidemik adalah penyakit tertentu yang menyerang banyak daerah misalnya penyakit bubon yang dikenal dengan penyakit hitam yang mematikan yang disebabkan oleh bakteri terjadi di Eropa selama periode tahun 1347–1350. Sepertiga sampai setengah populasi di Eropa meninggal karena penyakit tersebut. Hewan pengerat, terutama tikus, berperan sebagai sumber bakteri basilus dan ditransmisikan/ditularkan ke manusia melalui lalat. Tahun 1917–1919 malaria telah membunuh setengah juta penduduk Amerika dan 21 juta manusia di seluruh dunia. Jumlah tersebut mencapai 3 kali jumlah manusia yang terbunuh selama perang dunia I. Jadi mikroba terbukti lebih mematikan dibanding peluru. Dengan pengetahuan bahwa mikroorganisme dapat merupakan penyebab penyakit ilmuwan lebih memusatkan perhatiannya bagaimana cara pencegahan dan terapinya.

Pada zaman prasejarah, penyebab sakit dianggap berasal dari kekuatan supranatural. Hal ini dapat dilihat dari anggapan penduduk seperti meningkatnya prevalens penyakit rabies yang dianggap terjadi akibat munculnya bintang sirius atau anjing di langit, sedangkan terdapat juga anggapan meningkatnya prevalens disentri pada penduduk di sekitar sungai Nil akibat adanya perubahan pada aliran sungai nil yang terjadi karena adanya kekuatan supranatural. Selain itu terdapat beberapa konsep dan teori mengenai penyakit, yaitu:

a. Zaman Hipocrates (460 – 377 SM)

Pada zaman ini, Hipocrates berpendapat bahwa sakit bukan disebabkan oleh hal-hal yang bersifat supranatural tapi ada kaitannya dengan elemen-elemen bumi, api, udara, air yang dapat menyebabkan kondisi dingin, kering, panas dan lembab. Kondisi ini dapat berpengaruh pada cairan tubuh, darah, cairan empedu kuning dan empedu hitam. Pada zaman ini Hipocrates telah menghubungkan antara kejadian sakit dengan faktor lingkungan.

b. Zaman Galen (129 – 199 SM)

Menurut Galen, penyakit terjadi karena interaksi tiga faktor yaitu tubuh, sikap hidup dan atmosfer. Dapat dikatakan pada zaman ini telah ada pemikiran bahwa penyakit terjadi karena dipengaruhi oleh lingkungan dan tingkah laku hidup.

c. Konsep Kontanion

Konsep Kontanion ini muncul pada abad Romawi XVI oleh Fracastorius (1478 – 1553). Menurut konsep ini, sakit terjadi karena proses kontak atau

bersinggungan dengan sumber penyakit. Pada masa ini dapat dikatakan telah ada pemikiran konsep penularan penyakit.

d. Konsep Infeksi dan Imunitas

Muncul pada abad ke-18 pertengahan. Pada zaman ini konsep mengenai penularan atau kontak mulai diterima di AS. Pada masa tersebut terjadi peristiwa dimana bekas penderita cacar dibagikan kepada orang-orang Indian, sehingga orang-orang Indian jadi tertular. Pada masa ini juga muncul konsep tentang adanya imunitas, dimana orang-orang yang pernah terkena penyakit cacar menjadi kebal di kemudian hari. Selain itu pada abad ke-18 juga dikenal penyakit-penyakit infeksi yang bersifat menular seperti penyakit cacar, penyakit rabies, penyakit kolera. Pada masa ini Jhon Snow (1813 – 1858), melakukan observasi mengenai riwayat alamiah penyakit kolera. Dia mempelajari bagaimana model transmisi dan penularannya.

e. Teori Jasad Renik/Germ Theory

Teori ini dikemukakan oleh beberapa ilmuwan, yaitu: Louis Pasteur (1822 – 1895), yang menemukan mikroorganisme pada proses fermentasi. Pada masa ini Pasteur dapat mengisolasi kuman atau Anthrax untuk dibuat kultur dan dilemahkan, kemudian disuntikkan pada hewan ternak sehingga timbulah konsep imunisasi atau vaksinasi. Pasteur juga menemukan virus, mikroorganisme yang bersifat patogen tapi tidak dapat dikultur atau ditanam. Penemuan Pasteur ini menarik perhatian Lord Lister (1865) seorang ahli bedah dari Inggris, ia memakai antiseptik atau karbol untuk membersihkan luka-luka pasiennya sehingga terhindar dari infeksi. Ia tahu bahwa asam karbol merupakan zat yang efektif untuk membasmi kuman dan aman dipakai pada tubuh manusia. Patrick Manson (1844 – 1922), ahli fisika dari Scotlandia menemukan peran dari arthropoda sebagai vektor untuk penyakit-penyakit infeksi.

f. Konsep *Single Causiation*

Konsep ini dilakukan oleh Robert Koch, yang berhasil mengisolasi agen penyebab penyakit TBC di Asia. Koch dapat membuktikan adanya kausa primer pada suatu penyakit. Pembuktian ini dilakukan dengan postulate Koch. Kelemahan dari postulate Koch yaitu adalah tidak dapat ditetapkan pada semua penyakit.

g. Konsep “*web of causiation*”

Pada konsep ini mengemukakan bahwa penyakit tidak disebabkan oleh *single causation* melainkan *multiple causes*. Dan menjelaskan harus ada kausa utama dalam rangkaian komponen penyebab penyakit.

h. Konsep “*Triad Epidemiology*”

Konsep ini mengemukakan bahwa penyakit disebabkan adanya interaksi antara agent, host (human), lingkungan dan vektor yang bertindak sebagai perantara.

i. Konsep Ekologis

Konsep ini berdasarkan 3 prinsip umum yaitu:

Penyakit terejadi karena ketidakseimbangan antara agent dan host. Ketidakseimbangan ini terjadi karena adanya ketergantungan karakteristik dari agent dan host. Karakteristik dari agent dan host dan interaksi diantara keduanya secara langsung tergantung kepada kondisi environment seperti kondisi fisik, sosial, ekonomi, lingkungan biologis dan lingkungan psikis.

1.5 Penemuan Antiseptik

Secara umum sepsis berarti efek toksis dari mikroorganisme penyebab penyakit pada tubuh selama infeksi. Antiseptik merupakan senyawa kimia yang digunakan untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme pada jaringan yang hidup seperti pada permukaan kulit dan membran mukosa. Antiseptik berbeda dengan antibiotik dan disinfektan, yaitu antibiotik digunakan untuk membunuh mikroorganisme di dalam tubuh, dan disinfektan digunakan untuk membunuh mikroorganisme pada benda mati. Sehingga antiseptik lebih aman diaplikasikan pada jaringan hidup, daripada disinfektan. Mekanisme kerja antiseptik terhadap mikroorganisme berbeda-beda, misalnya saja dengan mendehidrasi (mengeringkan) bakteri, mengoksidasi sel bakteri, mengkoagulasi (menggumpalkan) cairan di sekitar bakteri, atau meracuni sel bakteri. Beberapa contoh antiseptik diantaranya adalah hydrogen peroksida, garam merkuri, boric acid, dan triclosan.

Penemuan antiseptic diawali oleh Oliver Weldell Holmes (1809-1894) seorang dokter Amerika pada tahun 1843 menekankan bahwa penyakit demam pada wanita bersifat menular. Tahun 1846 seorang dokter dari Hungaria, Ignaz Philipp Semmelweis menemukan penggunaan klorin sebagai disinfektan untuk

tangan dokter. Dilanjutkan oleh Sir Joseph Lister (1828-1912) seorang ahli bedah dan pelopor bedah antiseptik asal Inggris yang menemukan asam karbol atau phenol dapat digunakan untuk membunuh bakteri. Carbolik acid (asam karbol) yang ditemukan oleh Friedlieb Runge (1797-1867), dicoba oleh Lister dengan menyemprotkannya pada instrumen, sayatan bedah, dan pakaian. Lister menemukan bahwa larutan asam karbol yang diseka pada luka sangat mengurangi kejadian gangren, infeksi. Lister menggunakan larutan ini untuk merendam alat-alat bedah dan menyemprot ruangan operasi. Cara tersebut demikian sukses untuk mengatasi infeksi setelah operasi yang sebelumnya menyebabkan kematian 45% dari pasiennya. Cara tersebut segera dapat diterima dan dilakukan oleh ahli bedah yang lain. Penemuan tersebut merupakan hari penemuan teknik aseptik untuk mencegah infeksi. Pada bulan Agustus 1865, Lister merendam sepotong benang yang dicelupkan dalam larutan asam karbol untuk diseka ke luka dari seorang anak sebelas tahun di Glasgow Infirmary, yang telah menderita patah tulang. Setelah empat hari, ia menemukan bahwa tidak ada infeksi yang berkembang pada luka tersebut, dan enam minggu dia kagum karena tulang anak itu telah menyatu kembali. Hasil percobaan Lister tentang antiseptik dalam pembedahan diterbitkan dalam *The Lancet* sebanyak 6 artikel, berjalan dari bulan Maret sampai Juli 1867.

1.6 Penggolongan mikroba diantara jasad hidup

Jasad hidup yang ukurannya kecil sering disebut sebagai mikroba atau mikroorganisme atau jasad renik. Jasad renik disebut sebagai mikroba bukan hanya karena ukurannya yang kecil, sehingga sukar dilihat dengan mata biasa, tetapi juga pengaturan kehidupannya yang lebih sederhana dibandingkan dengan jasad tingkat tinggi. Mata biasa tidak dapat melihat jasad yang ukurannya kurang dari 0,1 mm. Ukuran mikroba biasanya dinyatakan dalam mikron (μ), 1 mikron = 0,001 mm. Sel mikroba umumnya hanya dapat dilihat dengan mikroskop, walaupun demikian ada mikroba yang berukuran besar sehingga dapat dilihat tanpa alat pembesar.

Secara klasik jasad hidup digolongkan menjadi dunia tumbuhan (*plantae*) dan dunia binatang (*animalia*). Jasad hidup yang ukurannya besar dengan mudah dapat digolongkan ke dalam *plantae* atau *animalia*, tetapi mikroba yang ukurannya sangat kecil ini sulit untuk digolongkan ke dalam *plantae* atau *animalia*. Selain karena ukurannya, sulitnya penggolongan juga disebabkan adanya mikroba yang mempunyai sifat antara *plantae* dan *animalia*.

Menurut teori evolusi, setiap jasad akan berkembang menuju ke sifat plantae atau animalia. Hal ini digambarkan sebagai pengelompokan jasad berturut-turut oleh Haeckel, Whittaker, dan Woese. Berdasarkan perbedaan organisasi selnya, Haeckel membedakan dunia tumbuhan (plantae) dan dunia binatang (animalia), dengan protista. Protista untuk menampung jasad yang tidak dapat dimasukkan pada golongan plantae dan animalia. Protista terdiri dari algae atau ganggang, protozoa, jamur atau fungi, dan bakteri yang mempunyai sifat uniseluler, sonositik, atau multiseluler tanpa diferensiasi jaringan.

Menurut teori evolusi, setiap jasad akan berkembang menuju ke sifat tumbuhan dan hewan. Hal ini digambarkan sebagai pengelompokan jasad berturut-turut oleh Haeckel, Whittaker, dan Woese. Berdasarkan perbedaan organisasi selnya, Haeckel membedakan dunia tumbuhan dan dunia binatang dengan protista. Protista untuk menampung jasad yang tidak dapat dimasukkan pada golongan plantae dan animalia. Protista terdiri dari algae atau ganggang, protozoa, jamur atau fungi, dan bakteri.

Whittaker membagi jasad hidup menjadi tiga tingkat perkembangan, yaitu:

- 1) Jasad prokariotik yaitu bakteri dan ganggang biru (Divisio Monera)
- 2) Jasad eukariotik uniseluler yaitu algae sel tunggal, khamir dan protozoa (Divisio Protista)
- 3) Jasad eukariotik multiseluler dan multinukleat yaitu Divisio Fungi, Divisio Plantae, dan Divisio Animalia.

Woese menggolongkan jasad hidup terutama berdasarkan susunan kimia makromolekul yang terdapat di dalam sel. Pembagiannya yaitu: Arkhaebacteria, Eukaryota (Protozoa, Fungi, Tumbuhan dan Hewan) dan Eubacteria.

Sejarah perkembangan mikrobiologi sebelum ilmu pengetahuan dapat dibagi menjadi empat periode. Periode pertama, dimulai dengan terbukanya rahasia suatu dunia mikroorganisme melalui pengamatan Antoni Van Leeuwenhoek (1675). Hal ini menimbulkan rasa ingin tahu di kalangan para ilmuwan mengenai asal mula kehidupan. Namun baru pada pertengahan tahun 1860an, ketika teori *generatio spontanea* dibuktikan ketidakbenarannya dan prinsip biogenesis diterima, pengetahuan mengenai mikroorganisme tidak lagi bersifat spekulatif semata-mata. Selama periode berikutnya antara tahun 1860 dan tahun 1900, banyak dilakukan penemuan dasar yang penting. Diantaranya perkembangan teori nutfah penyakit dalam tahun 1876, hal ini secara tiba-tiba menimbulkan minat terhadap prosedur laboratoris untuk mengisolasi dan mencirikan mikroorganisme. Didalam periode ini ditemukan banyak mikroorganisme penyebab penyakit serta metode-metode untuk mencegah dan mendiagnosis serta mengobati penyakit-penyakit tersebut. Penemuan-penemuan di bidang mikrobiologi kedokteran membawa perombakan yang besar dan cepat di dalam praktik kedokteran. Periode terakhir tahun 1910-sekarang ditandai dengan dipergunakannya banyak metode dan peralatan mutakhir, seperti mikroskop elektron dan komputer. Virus juga dapat bermanfaat karena dapat mengawetkan makanan, produksi insulin, dan pembuatan vaksin yang dapat menyelamatkan banyak nyawa manusia, hewan serta tumbuhan.

Daftar Referensi

- Agus krisno B, Moch. (2002). *Mikrobiologi Terapan*. UMM Press. Malang.
- Dwidjoseputo. (2003). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Djambatan. Jakarta.
- Irianto, Koes. (2007). *Mikrobiologi*. Bandung: CV. Yrama Widya.
- Weinstein, Michael A. (2006). *The Imaginative Prose of Oliver Wendell Holmes*. Columbia: University of Missouri Press.
- Pelczar, M. J. (2006). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Jakarta: UI-Press.
- Waluyo. Lud. (2005). *Mikrobiologi Umum*. UMM Press. Malang

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai struktur sel prokariot dan eukariot, organela penyusun sel prokariot dan eukariot, fungsi masing-masing organela dan contoh organisme prokariot dan eukariot.
CPMK	Mahasiswa mampu menjelaskan ciri-ciri organisme prokariotik dan eukariotik serta organel penyusunnya
Sub-CPMK	Mahasiswa dapat : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menjelaskan struktur sel prokariot dan eukariot ▪ Membedakan struktur sel prokariot dan eukariot ▪ Menyebutkan komponen penyusun sel dan fungsinya ▪ Memberikan contoh organisme prokariotik dan eukariotik

2.1 Pendahuluan

Sel merupakan unit terkecil dari organisme hidup. Komposisi material sel pada semua organisme adalah sama yaitu: DNA, RNA, protein, lemak dan fosfolipid, yang merupakan komponen dasar semua jenis sel. Namun demikian pengamatan lebih teliti menunjukkan adanya perbedaan sangat mendasar antara sel bakteri dan sianobakteria di satu pihak dengan sel hewan dan tumbuhan. Ada dua tipe sel yaitu: sel prokariotik dan sel eukariotik. Sel prokariotik merupakan tipe sel pada Bakteri dan Cyanobakteria / alga biru (disebut jasad prokariot). Sel eukariotik merupakan tipe sel pada jasad yang tingkatnya lebih tinggi dari bakteri (disebut jasad eukariot) yaitu khamir, jamur (fungi), alga selain alga biru, protozoa dan hewan serta tanaman. Sel mikroba yang ukurannya sangat kecil ini merupakan satuan struktur biologi. Banyak mikroba yang terdiri dari satu sel saja (uniseluler), sehingga semua tugas kehidupannya dibebankan pada sel itu dan mikroba ada yang mempunyai banyak sel (multiseluler). Pada jasad multiseluler umumnya sudah terdapat pembagian tugas diantara sel atau kelompok selnya, walaupun organisasi selnya belum sempurna. Setelah ditemukan mikroskop elektron, dapat dilihat struktur halus di dalam sel hidup, sehingga diketahui menurut perkembangan selnya terdapat dua tipe jasad, yaitu:

- a) Prokariota (jasad prokariotik/ primitif), yaitu jasad yang perkembangan selnya belum sempurna.
- b) Eukariota (jasad eukariotik), yaitu jasad yang perkembangan selnya telah sempurna.

Tabel 2.1. Perbedaan Organisme Prokariot dan Eukariot

Jenis perbedaan	Prokariot	Eukariot
DNA	DNA melingkar dalam sitoplasma	Molekul DNA lurus dan panjang, terdapat dalam nukleus
Ukuran sel	umumnya 1-10 μm	umumnya 10-100 μm
Metabolisme	anaerobik atau aerobik	aerobik
DNA	DNA melingkar dalam sitoplasma	Molekul DNA lurus dan panjang, terdapat dalam nukleus
Struktur organela		
- Mitokondria	Tidak ada	Ada
- Kloroplas	Tidak ada	Ada / tidak ada
- Ribosom plasma	70 S*)	80 S*)
- Ribosom organel	Tidak ada	Ada (70 S*)
-Retikulum Endoplasma	Tidak ada	Ada
- Aparat golgi	Tidak ada	Ada
- Fagositosis	Tidak ada	Ada / tidak ada
- Pinositosis	Tidak ada	Ada / tidak ada
Struktur genetik:		
- Membran inti	Tidak ada	ada
- Jumlah kromosom	1 (siklis)	>1
- Mitosis	tidak ada	ada
- DNA inti	tidak terikat histon	terikat histon
- DNA organel	tidak ada	ada
RNA dan protein	RNA dan protein disintesis dalam kompartemen yang sama	RNA disintesis dan diproses dalam nukleus; protein disintesis dalam sitoplasma

Sitoplasma	tanpa rangka, endositosis, dan eksositosis, semua tidak ada	rangka sel tersusun dari filament protein; ada aliran sitoplasma, endositosis dan eksositosis ada
Organisasi	pada umumnya bersel tunggal	umumnya bersel banyak,

2.2 Struktur Sel Prokariot

Prokariota adalah makhluk hidup yang tidak memiliki membran inti sel (*karyon*), sedangkan eukariota memiliki membran inti sel. Semua prokariota adalah uniseluler, kecuali myxobacteria yang sempat menjadi multiseluler di salah satu tahap siklus hidup biologinya. Kata prokaryota" berasal dari Yunani πρό- (pro-) "sebelum" + κάρυόν (*karyon*) "inti atau biji". Organisme yang tergolong ke dalam prokariota adalah bakteri, ganggang biru-hijau (cyanobakteria) dan organisme seperti Pleuropneumonia (PPLO = *Pleuro Pneumonia Like Organisms*) atau mikoplasma.

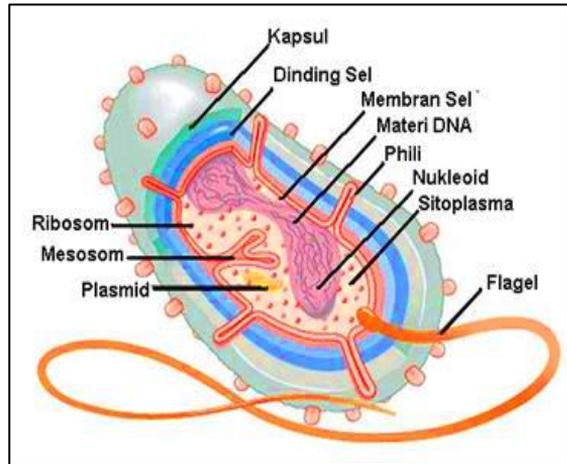
Prokaryota terbagi menjadi dua domain: Bakteri dan Archaea. Archaea baru diakui sebagai domain sejak 1990. Archaea pada awalnya diperkirakan hanya hidup di kondisi yang tidak nyaman, seperti dalam suhu, pH, dan radiasi yang ekstrem, tapi kemudian Archaea ditemukan juga di berbagai macam habitat.

Riset terbaru menunjukkan bahwa semua prokariota memiliki sitoskeleton yang lebih primitif daripada sitoskeleton eukariota. Di samping homologi dari aktin dan tubulin (MreB dan FtsZ) komponen dari flagela yang tersusun helix, bernama flagellin, adalah salah satu dari protein sitoskeletal dari bakteri yang paling penting sebagai penyedia latar belakang struktural dari kemotaksis, respons fisiologis sel yang dasar dari bakteri. Paling tidak, beberapa prokariota juga mengandung struktur intrasel, yaitu berupa organela primitif. Organela membran (atau membran antar sel) terdapat di beberapa prokariota seperti vakuola dan sistem membran yang dipakai khusus untuk metabolisme, seperti fotosintesis atau kemolithotrofi. Beberapa spesies juga mengandung mikrokompartmenten yang disertai protein yang memiliki peran fisiologis tertentu (misal, karboksisom atau vakuola udara).

Sebagian besar prokariota berukuran 1 µm sampai 10 µm, tetapi ukurannya bisa beragam mulai 0.2 µm sampai 750 µm. Prokariota memiliki struktur sel sebagai berikut: flagela, membran sel, dinding sel (kecuali genus *Mycoplasma*), sitoplasma, ribosom, nucleoid, glikokalix, inklusi.

Prokariota telah berdiversifikasi besar-besaran dalam waktu lama. Metabolisme prokariota jauh lebih bervariasi daripada eukariota, sehingga tercipta bermacam-macam tipe prokariota. Misalnya, di samping memakai fotosintesis atau senyawa organik sebagai energi, seperti halnya eukariota, prokariota mendapat energi dari senyawa anorganik seperti (H₂S), sehingga membuat prokariota bisa bertahan di lingkungan yang sedingin permukaan salju Antartika, dan sepanas lubang hidrothermal dasar laut dan sumber air panas.

Bakteri merupakan organisme paling sederhana yang dijumpai hampir di semua lingkungan alam. Sel ini ada yang berbentuk bola atau berbentuk batang, dengan ukuran linier yang biasanya hanya beberapa mikrometer, kira-kira seukuran mitokondria sel hewan atau tumbuhan.



Gambar 2.1. Struktur Sel Prokariota

Bakteri sering memiliki selaput pelindung yang kuat yang disebut dinding sel yang secara kimia berbeda dari dinding sel tumbuhan. Adanya peptidoglikan (kompleks protein-karbohidrat) dapat digunakan sebagai dasar klasifikasi bakteri secara kimia; yang mengandung banyak peptidoglikan adalah bakteri gram positif (misalnya, *Bacillus subtilis*) dan yang sedikit adalah bakteri gram negatif (misalnya, *Escherichia coli* dan *Simonsiella*). Di sebelah dalam dinding sel terdapat membran plasma yang membentuk sebuah kompartemen sitoplasmik berisi DNA, RNA, protein-protein, dan molekul-molekul kecil. Bila dilihat dengan menggunakan mikroskop elektron, membran plasma bakteri gram positif melipat-lipat ke arah dalam membentuk struktur yang disebut mesosom atau kondrioid. Mesosom berperan dalam pembelahan sel. Membran plasma pada bakteri terdapat organel fotosintesis yaitu kromatofor yang terdapat yang melakukan proses fotosintesis.

2.3 Struktur Sel Eukariot

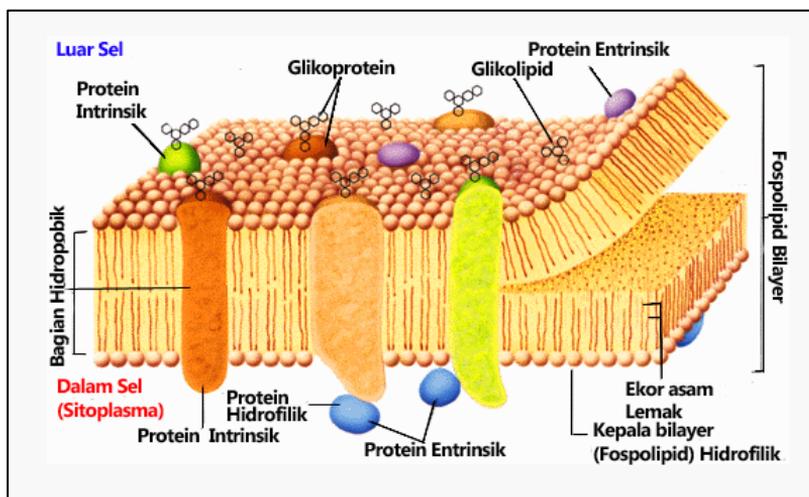
Sel eukariot, berbeda dengan sel-sel prokariot, mempunyai sebuah nukleus yang menyimpan sebagian besar DNA sel dan terbungkus dalam sebuah membran berlapis dua. DNA tersimpan dalam kompartemen terpisah dari isi sel yang lain, yakni sitoplasma, tempat sebagian besar reaksi metabolik sel berlangsung.

Dalam sitoplasma terdapat banyak organ kecil (organelle) yang masing-masing memiliki fungsi khusus. Di antara organel-organel itu yang paling menonjol adalah dua butiran kecil yang disebut kloroplast dan mitokondria. Kedua organ itu, masing-masing terbungkus dalam membran lapis ganda sendiri-sendiri, yang secara kimia berbeda dari membran yang membungkus nukleus. Mitokondria hampir selalu terdapat dalam sel-sel eukariot, sedangkan kloroplast hanya dijumpai dalam sel-sel eukariot yang mampu melakukan fotosintesis, jadi hanya terdapat pada tumbuhan, tidak pada hewan atau jamur. Kedua organ kecil itu diduga lahir dari upaya untuk hidup secara simbiosis.

Dari teori yang menyatakan “Sel merupakan kesatuan fungsional kehidupan” oleh Max Schultze dan Thomas Huxley terlihat bahwa aktivitas yang berlangsung dalam tubuh makhluk hidup tercermin dalam aktivitas dalam sel. Contohnya antara lain proses transportasi, respirasi, dan sintesis. Kelangsungan proses tersebut didukung oleh adanya komponen sel berupa membran plasma, sitoplasma, nukleus, dan organel-organel lain yang mempunyai fungsi khusus dan secara bersama-sama menyusun sistem yang kompak.

2.3.1 Membran plasma

Membran plasma merupakan suatu membran yang membatasi isi sel dan sekitarnya. Membran ini tersusun dari membran berlapis dua atau rangkap yang terdiri dari fosfolipid dan protein (*lipoprotein*). Hipotesis Model Mosaik Cairan yang dikemukakan oleh S. Singer dan E. Nicolson (1972), menyatakan bahwa protein membran tersebar dan masing-masing tersisip atau terbenam di fosfolipid bilayer.



Gambar 2.2. Skema detail membran plasma

Lapisan terluar dan terdalam berupa protein yang mempunyai sifat mudah dilalui oleh senyawa kimia (permeabel). Ada dua golongan protein, pertama, protein integral (intrinsik) yang merupakan golongan protein yang tergabung langsung dalam lapisan lipida. Kedua, protein perifer (ekstrinsik) yang merupakan golongan protein yang menunjukkan hubungan yang lebih longgar terhadap membran. Lapisan protein ini bersifat hidrofilik (menyukai air).

Bagian di antara dua lapis protein tersusun atas lipid, yaitu fosfolipid yang bersifat hidrofobik (menolak air). Lapisan lipid bersifat impermeabel. Jadi hanya dapat dilalui oleh zat-zat yang dapat larut dalam lemak. Adanya perbedaan sifat kimia penyusun membran plasma menyebabkan membran bersifat selektif terhadap bahan-bahan yang akan masuk ke dalam sel atau sebaliknya. Keadaan demikian menunjang membran sebagai sarana transportasi.

Membran plasma juga merupakan penghalang bagi molekul yang terlarut dalam air. Membran plasma (plasmalema) dalam peranannya sebagai penghalang harus berfungsi sebagai mediator karena membran plasma membentuk pembatas antara sel dan lingkungan sel. Sejumlah substansi harus dimasukkan ke dalam sel dan sejumlah substansi lainnya harus dikeluarkan dari dalam sel. Oleh karena itu, membran plasma mempunyai reseptor untuk molekul dalam lingkungan mikro sel. Membran plasma juga berinteraksi dengan substansi yang aktif secara fisiologi, seperti hormon, faktor pertumbuhan, dan neurotransmitter.

Protein dalam membran berikatan dengan lemak dalam cara yang berbeda. Sejumlah protein dapat dipisah ikatannya dengan larutan ionik yang kuat. Protein yang demikian relatif hidrofilik dan disebut protein perifer. Sejumlah protein lainnya bersifat sangat tahan terhadap air sebagai zat pelarut dan hanya dapat dilarutkan dari membran dengan deterjen, misalnya molekul amfipatik seperti fosfolipid. Hal ini menunjukkan adanya interaksi hidrofobik antara kedua lapisan lemak dan protein membran tertentu. Protein semacam ini disebut protein integral. Fungsi membran plasma adalah sebagai berikut:

- a) Pengatur gerakan materi (keluar masuknya zat) dari dalam dan luar sel.
- b) Tempat terjadinya beberapa reaksi kimia tertentu
- c) Penghubung antara bagian luar dan dalam sel, misalnya memindahkan sinyal
- d) Penghubung transfer energi antara dalam dan luar sel.

Pengangkutan molekul-molekul zat melalui membran berlangsung secara difusi, osmosis, dan trasport aktif. Difusi dan osmosis merupakan cara transportasi yang tidak aktif, yaitu transportasi yang berlangsung akibat adanya perbedaan konsentrasi antara larutan satu dan yang lain.

1) Difusi

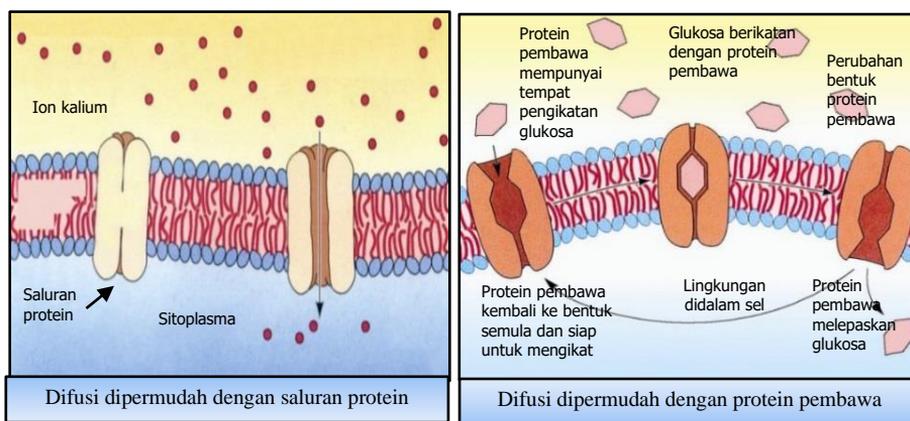
Apabila pergerakan molekul berasal dari konsentrasi yang lebih tinggi (hipertonis) Menuju konsentrasi yang lebih rendah (hipotonis) disebut difusi, contohnya pengangkutan asam lemak dan gliserol. Asam lemak dapat dengan mudah melalui lapisan lipid karena asam lemak larut dalam lipid sehingga lebih mudah berdifusi ke membran yang lainnya

2) Osmosis

Apabila gerakan molekul air berasal dari konsentrasi lebih rendah (hipotonis) menuju konsentrasi lebih tinggi/pekat (hipertonis) melalui selaput semipermeabel disebut osmosis.

3) Difusi dengan fasilitas

Difusi fasilitasi adalah difusi yang dibantu oleh transpor protein. Transpor protein memiliki beberapa perangkat enzim. Protein dikhususkan untuk larutan yang ditranspornya, seperti halnya enzim dengan substratnya. Diperkirakan transport protein memiliki sisi pengikat tertentu yang sama dengan sisi aktif enzim.

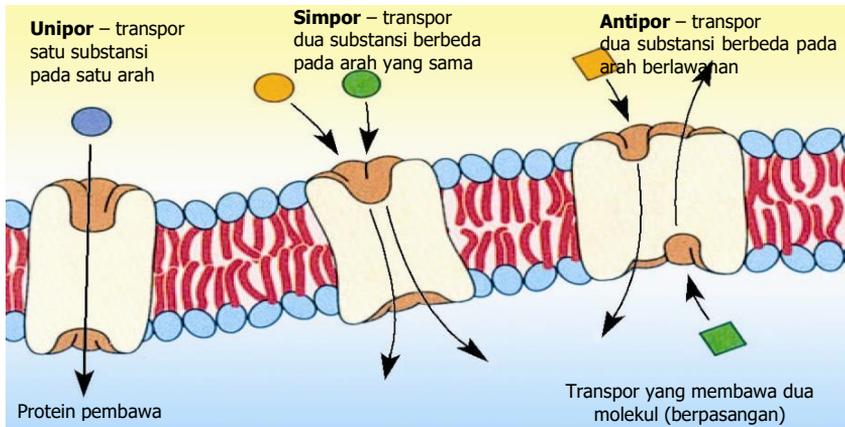


Gambar 2.3. Dua model difusi fasilitas, yang melibatkan saluran protein dan protein pembawa

Difusi fasilitasi dapat diartikan sebagai transpor air melewati membran untuk mengangkut larutan tertentu dalam air. Telah diketahui sebelumnya, bahwa beberapa molekul dan ion yang terbenam di fosfolipid membantu transpor protein yang melewati membran.

4) Transpor aktif.

Berbeda dengan difusi fasilitasi yang termasuk transpor pasif karena mengikuti gradien konsentrasi, maka transpor aktif ini bersifat melawan, maka transpor aktif ini bersifat melawan gradien konsentrasi.

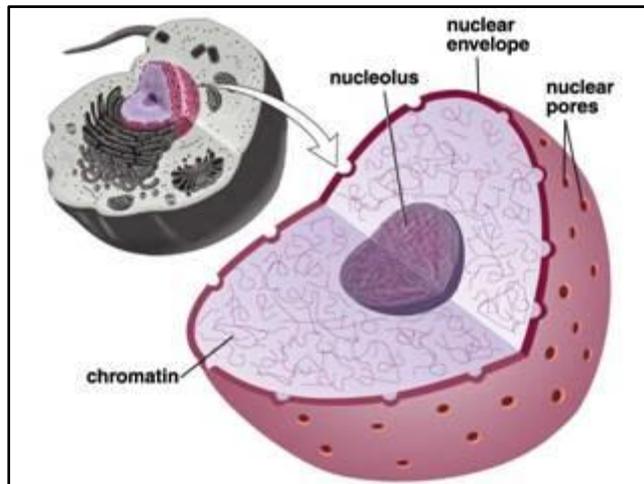


Gambar 2.4. Mekanisme transpor aktif

Pada transpor aktif terjadi pemompaan molekul melewati membran dan melawan gradien konsentrasi. Pada transpor aktif diperlukan energi untuk melawan gradien konsentrasi. Transpor aktif ini sebenarnya berfungsi memelihara konsentrasi molekul kecil dalam sel yang berbeda dengan konsentrasi molekul lingkungannya. Sebagai contohnya, sel hewan memiliki konsentrasi ion K^+ yang lebih tinggi dan memiliki konsentrasi ion Na^+ yang lebih rendah, Membran plasma membantu memelihara keseimbangan gradien dengan memompa ion Na^+ keluar sel dan K^+ masuk dalam sel. Transpor aktif ini dibantu oleh beberapa jenis enzim.

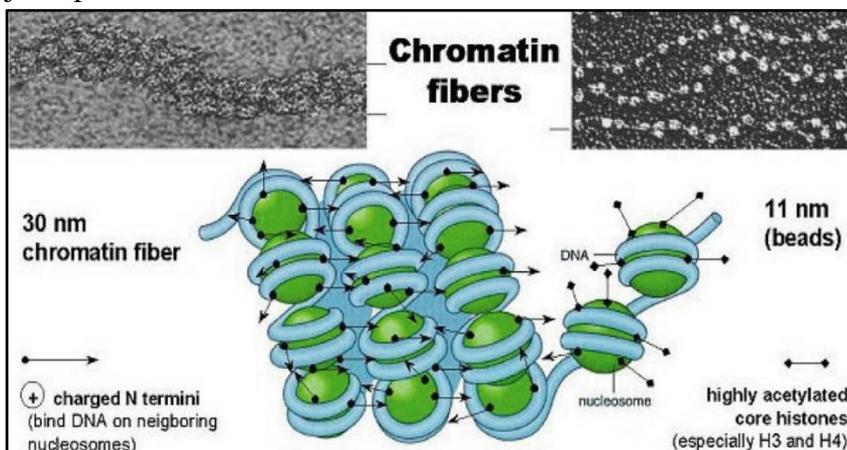
2.3.2 Nukleus

Nukleus merupakan suatu struktur yang berbentuk bulat atau bulat panjang. Organel ini terdiri dari selubung (membran) inti (karioteka), kromatin, anak inti (nukleolus), dan nukleoplasma. Membran inti terdiri dari lapisan ganda. Pada persatuan antara lapisan membran dalam dan luar terdapat pori-pori inti yang berfungsi menghubungkan nukleoplasma dan sitoplasma.



Gambar 2.5 Struktur nukleus sel

Kromatin berupa butiran-butiran yang terdapat dalam matrik inti yang disebut nukleoplasma. Nukleoplasma merupakan zat yang tersusun dari protein. Butiran kromatin memiliki kemampuan menyerap zat warna. Butiran kromatin tampak jelas pada saat sel tidak membelah.



Gambar 2.5. Struktur kromatin

Pada saat sel membelah, butiran kromatin menebal menjadi struktur seperti benang yang disebut kromosom. Struktur ini mengandung DNA (asam deoksiribonukleat) yang berfungsi menyampaikan informasi genetik dan sintesis protein.

Nukleolus banyak mengandung RNA (*asam ribonukleat*) dan protein. RNA berfungsi untuk sintesis protein. Sintesis RNA berlangsung di dalam nukleolus.

2.3.3 Sitoplasma

Sitoplasma adalah zat yang berfungsi koloid, atau zat yang tidak padat dan tidak cair. Ukuran partikel yang terlarut adalah 0,001–0,1 mikron, dan bersifat transparan. Sitoplasma terdapat di dalam sel tetapi di luar nukleus dan organel-organel sel. Sitoplasma menjadi tempat mengampungnya organel-organel sel. Komponen utama penyusun sitoplasma adalah sebagai berikut:

- 1) Cairan seperti gel (agar-agar/jeli) yang disebut sitosol.
- 2) Substansi-substansi simpanan
- 3) Substansi simpanan dalam sitoplasma bervariasi tergantung tipe selnya. Sebagai contoh, sitoplasma sel hati mengandung simpanan molekul besar glikogen, sedangkan sitoplasma sel lemak mengandung lemak besar.
- 4) Jaringan yang strukturnya seperti filamen (benang) dan serabut yang saling berhubungan. Jaringan benang dan serabut disebut sitoskeleton. Sitoskeleton berfungsi untuk kerangka sel.
- 5) Organel-organel sel

Kandungan kimia sitoplasma adalah air (75%) dan protein (25%). Protein dan enzim inilah yang membuat sitoplasma kental, seperti gelatin yang lengket. Selain air dan protein, di sitoplasma juga ditemukan sejumlah molekul nonprotein. Molekul nonprotein ini berperan dalam berbagai reaksi kimia dalam sel. Beberapa jenis ion dan ATP juga ditemukan terlarut dalam sitoplasma. Molekul-molekul dalam sitosol selalu bergerak, sedang yang berukuran besar mengendap.

Beberapa sifat dari koloid tersebut antara lain sebagai berikut:

- 1) Terjadi gerak Brown, berupa gerak acak, zig-zag, tak teratur karena molekul dalam koloid yang saling bertubrukan.
- 2) Terjadi siklosis, yaitu gerakan berupa arus yang melingkar. Terjadi saat koloid dalam fase sol, yaitu fase saat koloid banyak mengandung air.
- 3) Terjadi efek Tyndal, atau adanya kemampuan dari molekul-molekul memantulkan cahaya.
- 4) Terjadi elektroforesis, yaitu kemampuan molekul menghantarkan arus listrik.
- 5) Terjadi gerak rotasi, yaitu gerak dari plasma yang melingkar, mengitari vakuola yang besar.
- 6) Terjadi gerak sirkulasi, yaitu protoplasma bergerak tidak menentu, seolah gerakannya mengitari vakuola yang berukuran kecil.

2.3.4 Sitoskeleton

Sitoskeleton berasal dari kata *sito* yang berarti sel, *skelet* yang berarti rangka. Jadi, sitoskeleton merupakan suatu protein yang memberi bentuk pada sel. Sitoskeleton

berfungsi antara lain; memberikan kekuatan mekanik pada sel, menjadi kerangka sel, membantu gerakan substansi dari satu bagian sel ke bagian lain, dan menjaga organel-organel sel tetap pada posisinya. Sitoskeleton mempunyai 3 bagian, yaitu mikrofilamen, intermediet filamen, dan mikrotubulus.

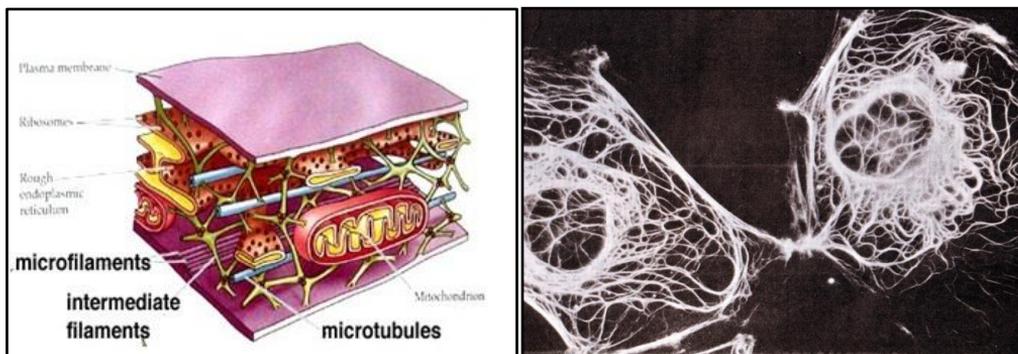
1) Mikrofilamen

Mikrofilamen merupakan rantai ganda protein yang saling bertaut dan berupa serat tipis. Terdiri dari protein yang disebut aktin. Seringkali disebut juga filamen aktin, karena tersusun dari molekul aktin (protein globular). Terdiri atas 2 macam protein aktin, yaitu tipis (filamen aktin) dan tebal (filamen myosin).

Banyak dari mikrofilamen akan membentuk suatu kumpulan atau jaring pada suatu tempat dalam sel. Berfungsi mempertahankan bentuk sel (sebagai penahan-tarikan), perubahan bentuk sel, kontraksi otot, pengaliran sitoplasma, motilitas sel (misalnya pada Pseudopodia sp.) dan saat pembelahan sel (pembentukan alur pembelahan).

2) Intermediet filamen

Filamen intermediet adalah serat sitoplasmik yang panjang dengan diameter sekitar 10nm. Disebut intermediet karena diameternya lebih besar dari mikrofilamen (6nm) dan lebih kecil daripada diameter mikrotubula (25nm).



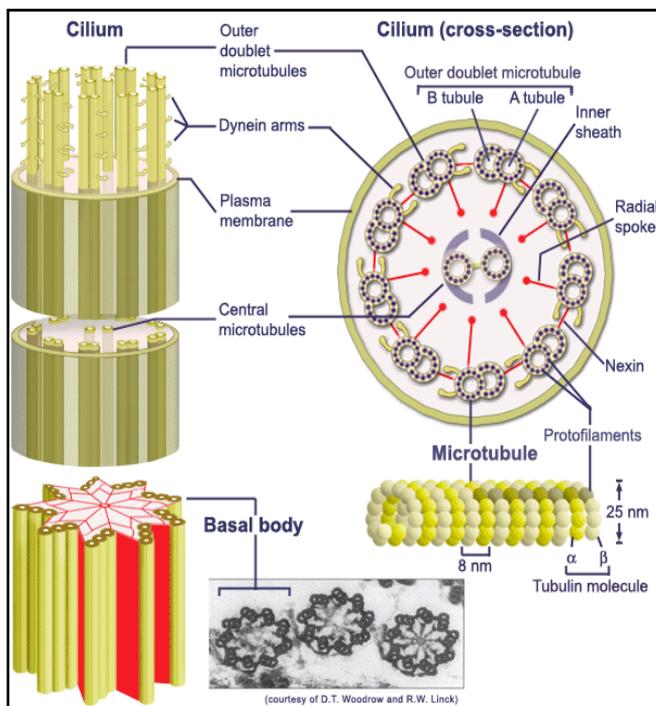
Gambar 2.6. Intermediet filamen

Tersusun atas protein yang disebut fimentin, namun tidak semua tersusun atas fimentin, pada sel kulit tersusun atas protein keratin. Sifatnya relatif stabil bila dibandingkan dengan mikrofilamen dan mikrotubul. Intermediet filamen terdapat dalam semua tipe sel otot yang fungsinya mengikat bagian-bagian kontraktil sel pada tempat yang tepat. Intermediet filamen ini terbagi dalam 4 tipe utama, yaitu tipe I, II, III dan IV. Selain itu, intermediet filamen berfungsi mempertahankan

bentuk sel (sebagai unsur penahan-tarikan), sebagai tempat bertautnya nukleus dan organel lainnya, dan berperan dalam pembentukan lamina nukleus.

3) Mikrotubulus

Mikrotubul adalah silinder protein yang terdapat pada kebanyakan sel hewan dan sel tumbuhan. Dibentuk dari protein yang disebut tubulin, ada 2 macam yaitu α -tubulin dan β -tubulin. Pada irisan melintang dari mikrotubulin tersusun dari 13 protofilamen. Strukturnya kaku, maka dari itu, bersama intermediet filamen menentukan bentuk struktur pada sitoplasma. Mikrotubul tumbuh dari sentrosom (daerah dekat nukleus). Berfungsi mempertahankan bentuk sel (sebagai penahan-tekanan), motilitas sel (misalkan pada silia atau flagella), dalam pergerakan kromosom pada saat pembelahan sel, serta pergerakan organel.



Gambar 2.7. Struktur mikrotubulus

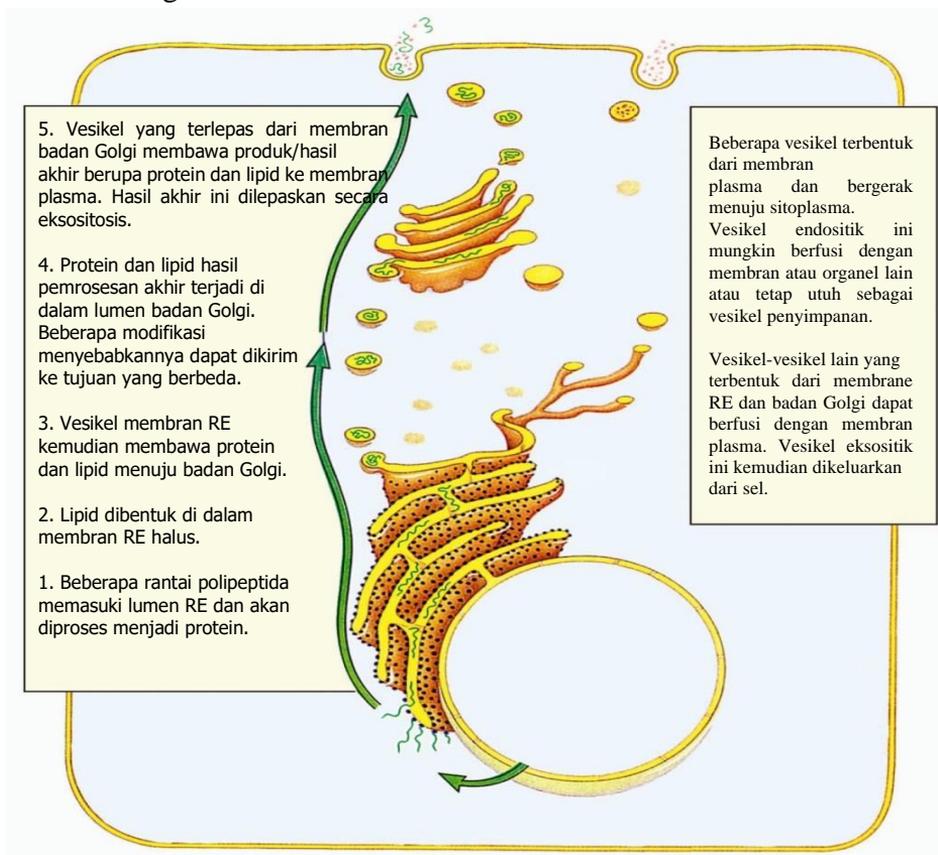
2.3.5 Retikulum Endoplasma (RE)

Retikulum endoplasma merupakan sistem yang meluas dari membran-membran yang saling berhubungan yang membentuk saluran pipih dan lubang seperti tabung didalam sitoplasma. Dalam pengamatan mikroskop, RE tampak seperti saluran berkelok-kelok dan jala yang berongga-rongga. Saluran-saluran tersebut digunakan untuk membantu gerakan substansi-substansi dari satu bagian

sel ke bagian lainnya. Terdapat 2 tipe Retikulum endoplasma, yaitu Retikulum Endoplasma Kasar (REK) atau RE bergranula dan Retikulum Endoplasma Halus (REH) atau RE tak bergranula. REK berperan dalam sintesis protein, dan transpor materi di dalam sel. Sedangkan REH berperan dalam sintesis lemak dan karbohidrat.

2.3.6 Badan Golgi

Organel ini terdapat hampir di semua sel dan memiliki bentuk yang bervariasi dari yang amorf sampai kantong-kantong pipih yang bertumpuk. Setiap sel hewan memiliki 10 sampai 20 badan Golgi. Sedangkan tumbuhan memiliki beberapa ratus badan Golgi.



Gambar 2.8. Keterlibatan badan Golgi dan retikulum endoplasma kasar dalam sintesis protein.

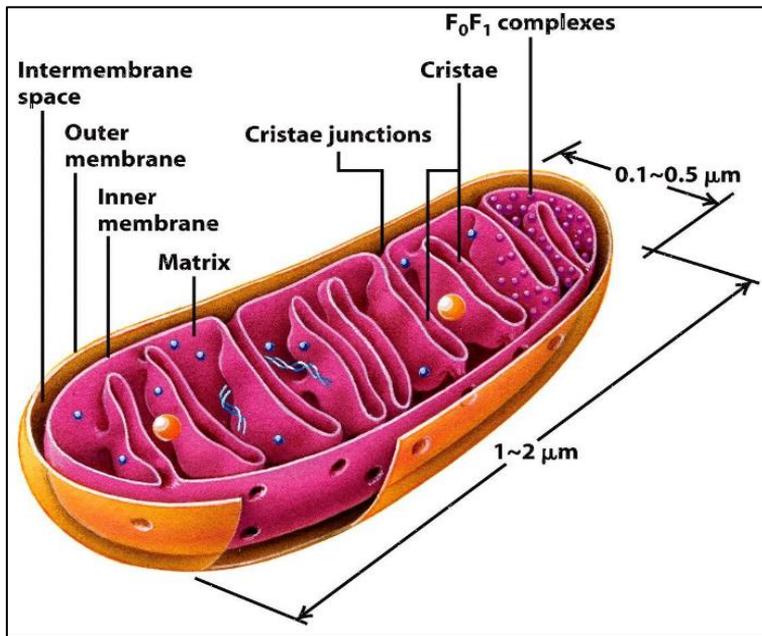
Pada sel tumbuhan, badan Golgi berfungsi dalam sintesis dan pemeliharaan dinding sel. Kelompok badan Golgi disebut diktiosom. Badan Golgi ini berlekatan juga dengan retikulum endoplasma. Fungsi badan Golgi adalah untuk sistem sirkulasi dan pengangkutan dalam sel. Badan Golgi berperan dalam mengumpulkan, memodifikasi, mengemas, dan mendistribusikan molekul-molekul yang dibuat pada suatu tempat dalam sel yang dipakai di tempat lain.

2.3.7 Ribosom

Ribosom berupa organel kecil yang tersusun oleh ribonukleat ribosom (rRNA), lemak, protein, dan ion logam tertentu. Fungsi ribosom untuk sintesis protein. Ribosom terdapat di 2 lokasi dalam sel yaitu melekat pada REK dan bebas di sitoplasma. Kadangkala ribosom terdapatmenggumpul dan disebut poliribosom atau polisom. Polisom tersusun atas beberapa ribosom yang melekat pada satu molekul mRNA. Polisom dapat meningkatkan jumlah protein yang diproduksi. Protein yang dihasilkan oleh Ribosom bebas digunakan untuk keperluan dalam sel.

2.3.8 Mitokondria

Mitokondria diselubungi oleh dua membran yang tersusun dari 2 lapis fosfolipid, yaitu membran luar berpermukaan halus dan membran dalam yang berlekuk-lekuk. Pelekukan ini disebut Krista. Pada bagian Krista terdapat enzim untuk fosforilasi oksidatif dan sistem transpor elektron, sedang enzim untuk siklus Krebs dan asam lemak terdapat dalam ruang matriks. Mitokondria banyak terdapat pada sel yang memiliki aktivitas metabolisme tinggi dan memerlukan banyak ATP dalam jumlah banyak, misalnya sel otot jantung. Jumlah dan bentuk mitokondria bisa berbeda-beda untuk setiap sel. Mitokondria berbentuk elips dengan diameter 0,5 μm dan panjang 0,5 – 1,0 μm . Struktur mitokondria terdiri dari empat bagian utama, yaitu membran luar, membran dalam, ruang antar membran, dan matriks yang terletak di bagian dalam membran.



Gambar 2.9. Struktur mitokondria

Membran dalam membagi mitokondria menjadi 2 ruang, yaitu:

1) Ruang intermembran

Ruang intermembran merupakan ruangan sempit di antara membran luar dan dalam. Membran luar dapat dilalui semua molekul kecil tetapi tidak dapat dilalui protein dan molekul besar.

2) Matriks mitokondria

Matriks mitokondria merupakan ruangan yang diselubungi oleh membran dalam. Beberapa langkah metabolisme terjadi dalam matriks. Protein yang berperan dalam respirasi, termasuk enzim pembuat ATP, dibuat dalam membran dalam. Membran dalam juga memiliki permukaan yang luas sehingga dapat meningkatkan produktivitas respirasi seluler.

Dibagian matriks juga banyak terkandung protein dan DNA, adapula partikel yang menyerupai ribosom dan beberapa jenis RNA. Karena adanya DNA RNA ribosom maka mitokondria dapat mensintesis protein sendiri. DNA mitokondria merupakan sandi untuk protein dan enzim struktural membran dalam, sedang DNA inti sebagai sandi untuk protein matriks dan membran dalam. Pada sel-sel yang aktif atau memiliki metabolisme tinggi, pada mitokondrianya banyak terdapat

krista misalnya sel otot jantung mempunyai banyak mitokondria dengan krista yang rapi.

Peran utama mitokondria adalah sebagai pabrik energi sel yang menghasilkan energi dalam bentuk ATP. Metabolisme karbohidrat akan berakhir di mitokondria ketika piruvat di transpor dan dioksidasi oleh O₂ menjadi CO₂ dan air. Energi yang dihasilkan sangat efisien yaitu sekitar tiga puluh molekul ATP yang diproduksi untuk setiap molekul glukosa yang dioksidasi, sedangkan dalam proses glikolisis hanya dihasilkan dua molekul ATP. Proses pembentukan energi atau dikenal sebagai fosforilasi oksidatif terdiri atas lima tahapan reaksi enzimatik yang melibatkan kompleks enzim yang terdapat pada membran bagian dalam mitokondria. Proses pembentukan ATP melibatkan proses transpor elektron dengan bantuan empat kompleks enzim, yang terdiri dari kompleks I (NADH dehidrogenase), kompleks II (suksinat dehidrogenase), kompleks III (koenzim Q – sitokrom C reduktase), kompleks IV (sitokrom oksidase), dan juga dengan bantuan FoF₁ ATP Sintase dan Adenine Nucleotide Translocator (ANT).

Mitokondria dapat melakukan replikasi secara mandiri (self replicating) seperti sel bakteri. Replikasi terjadi apabila mitokondria ini menjadi terlalu besar sehingga melakukan pemecahan (fission). Pada awalnya sebelum mitokondria bereplikasi, terlebih dahulu dilakukan replikasi DNA mitokondria. Proses ini dimulai dari pembelahan pada bagian dalam yang kemudian diikuti pembelahan pada bagian luar. Proses ini melibatkan pengkerutan bagian dalam dan kemudian bagian luar membran seperti ada yang menjepit mitokondria. Kemudian akan terjadi pemisahan dua bagian mitokondria.

Mitokondria memiliki DNA tersendiri, yang dikenal sebagai mtDNA (Ing. mitochondrial DNA). MtDNA berpilin ganda, sirkuler, dan tidak terlindungi membran (prokariotik). Karena memiliki ciri seperti DNA bakteri, berkembang teori yang cukup luas dianut, yang menyatakan bahwa mitokondria dulunya merupakan makhluk hidup independen yang kemudian bersimbiosis dengan organisme eukariotik. Teori ini dikenal dengan teori endosimbion. Pada makhluk tingkat tinggi, DNA mitokondria yang diturunkan kepada anaknya hanya berasal dari betinanya saja (mitokondria sel telur). Mitokondria jantan tidak ikut masuk ke dalam sel telur karena letaknya yang berada di ekor sperma. Ekor sperma tidak ikut masuk ke dalam sel telur sehingga DNA mitokondria jantan tidak diturunkan.

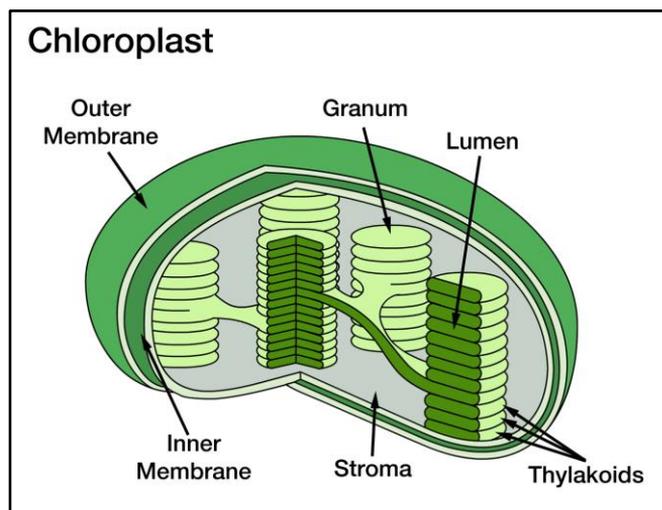
2.3.9 Kloroplas

Kloroplas merupakan plastida yang memiliki butiran-butiran hijau daun (klorofil) dan mengandung DNA, terdapat pada bagian batang atau daun

tumbuhan. Bagi tumbuhan yang memiliki kloroplas terdapat klorofil yang mampu melakukan fotosintesis. Fungsi klorofil adalah untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi kimia selama berlangsungnya proses perubahan senyawa sederhana karbon dioksida dan air menjadi senyawa kompleks berupa zat tepung.

Kloroplas terdapat pada hampir seluruh tumbuhan, tetapi tidak umum dalam semua sel. Bila ada, maka tiap sel dapat memiliki satu sampai banyak plastid. Pada tumbuhan tingkat tinggi umumnya berbentuk cakram (kira-kira 2 x 5 mm, kadang-kadang lebih besar), tersusun dalam lapisan tunggal dalam sitoplasma tetapi bentuk dan posisinya berubah-ubah sesuai dengan intensitas cahaya. Pada ganggang, bentuknya dapat seperti mangkuk, spiral, bintang menyerupai jaring, seringkali disertai pirenoid.

Kloroplas pada tanaman tingkat tinggi merupakan evolusi dari bakteri fotosintetik menjadi organel sel tanaman. Genom kloroplas terdiri dari 121 024 pasang nukleotida serta mempunyai inverted repeats (2 copy) yang mengandung gen-gen rRNA (16S dan 23S rRNAs) untuk pembentukan ribosom. Genom kloroplas mempunyai subunit yang besar yaitu penyandi ribulosa biphosphate carboxylase. Protein yang terlibat di dalam kloroplas sebanyak 60 protein. 2/3nya diekspresikan oleh gen yang terdapat di inti sel sementara 1/3nya diekspresikan dari genom kloroplas.



Gambar 2.10. Struktur kloroplas

Kloroplas tersusun atas sistem berikut ini:

1) Tilakoid (lamela)

Tilakoid merupakan kantung kantung pipih tempat berlangsungnya reaksi terang. Di dalam tilakoid terdapat cairan yang disebut stroma.

2) Grana

Grana merupakan tumpukan kantung kantung pipih (tumpukan lamela). Pada bagian stroma terdapat enzim-enzim yang penting untuk berlangsungnya reaksi gelap.

Selain kloroplas terdapat juga plastida lain yang berwarna yaitu kromoplas yang terdapat pada buah, bunga, umbi dan daun, plastida ini berupa xantofil (kuning kelabu), karoten (kuning) dan likopena (merah).

Plastida yang tidak berwarna ada 2, yaitu sebagai berikut:

1) Leukoplas

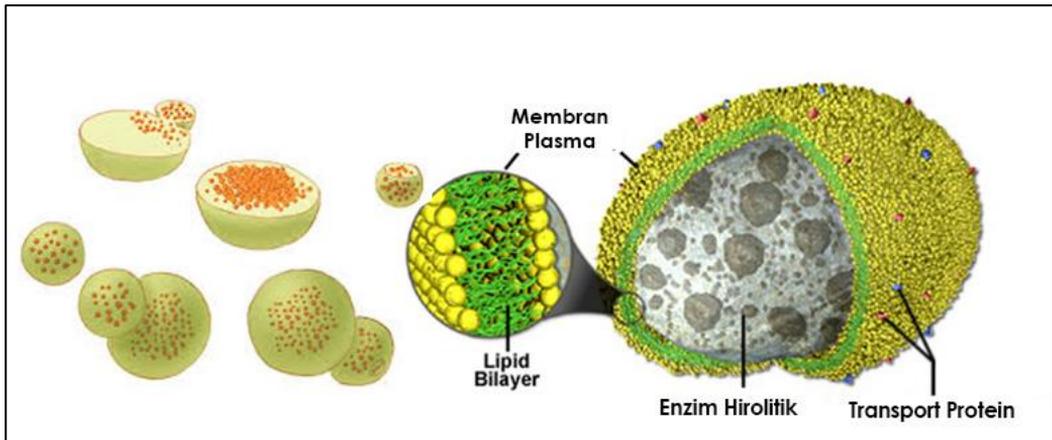
Leukoplas berfungsi untuk pembentukan amilum sehingga sering disebut amiloplas.

2) Elaioplas

Elaioplas berfungsi untuk pembentukan minyak.

2.3.10 Lisosom

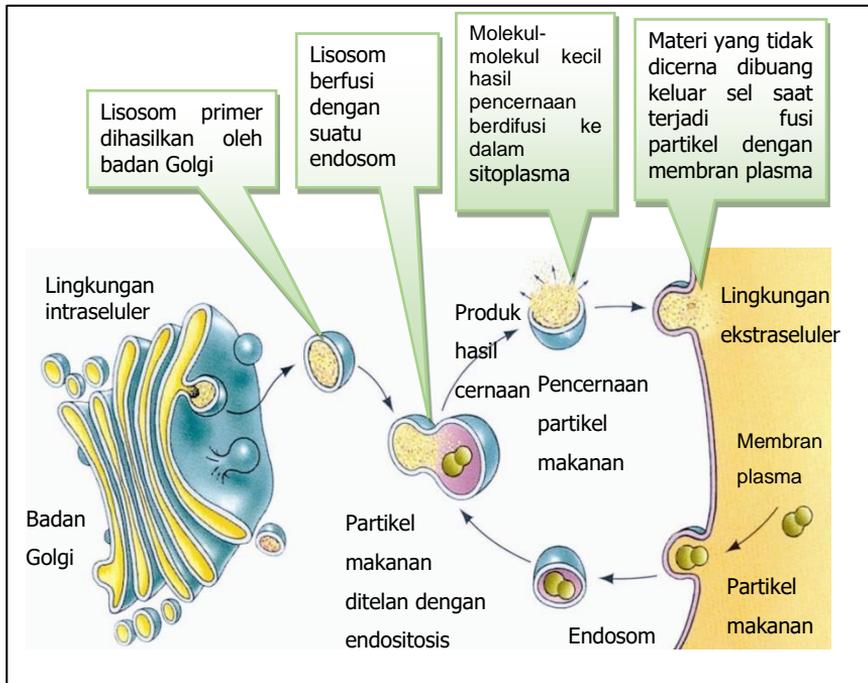
Lisosom terdapat pada hampir semua sel, terutama pada sel-sel yang terlibat dalam kegiatan fagositik, misalnya sel darah putih dan makrofag. Lisosom mengandung enzim hidrolitik yang berfungsi dalam pencernaan intrasitoplasmik; menguraikan berbagai substansi di dalam sel, termasuk benda asing yang membahayakan sel. Bila sel-sel rusak, lisosom pecah dan melepaskan enzimnya, serta dapat merupakan sel tersebut, sehingga dimungkinkan adanya pembaharuan dan penyusunan kembali bagian organel sitoplasma.



Gambar 2.11. Struktur lisosom

Lisosom ditemukan pada tahun 1950 oleh Christian de Duve dan ditemukan pada semua sel eukariotik. Di dalamnya, organel ini memiliki 40 jenis enzim hidrolitik asam seperti protease, nuklease, glikosidase, lipase, fosfolipase, fosfatase, ataupun sulfatase. Semua enzim tersebut aktif pada pH 5. Fungsi utama lisosom adalah endositosis, fagositosis, dan autofagi. Pada tumbuhan organel ini lebih dikenal sebagai vakuola, yang selain untuk mencerna, mempunyai fungsi menyimpan senyawa organik yang dihasilkan tanaman.

Untuk menyediakan pH asam bagi enzim hidrolitik, membran lisosom mempunyai pompa H^+ yang menggunakan energi dari hidrolisis ATP. Membrane lisosom juga sangat terlikosilasi yang dikenal dengan lysosomal-associated membrane proteins (LAMP). Sampai saat ini sudah terdeteksi LAMP-1, LAMP-2, dan CD63/LAMP-3. LAMP berguna sebagai reseptor penerimaan kantong vesikel pada lisosom.



Gambar 2.12. Pembentukan lisosom dan aktivitasnya

Dalam mencerna substansi yang masuk ini, lisosom bekerja sama dengan sitoplasma melalui cara berikut. Sitoplasma sel melingkupi zat asing, kemudian menyelubunginya dalam kantung membran yang disebut vakuola. Setelah itu lisosom melakukan fusi dengan vakuola untuk mencerna zat asing tersebut.

2.3.11 Badan Mikro (Peroksisom dan Glioksisom)

Peroksisom, berukuran lebih kecil dari mitokondria dan memiliki membran pembatas tunggal. Peroksisom terdapat dalam sel hewan dan sel tumbuhan. Matriks peroksisom mempunyai kegiatan katalase, yaitu dapat merombak hidrogen peroksida yang bersifat sebagai racun sel menjadi netral. Selain itu juga melakukan kegiatan oksidasi, yaitu berperan dalam proses metabolisme yang memproduksi hidrogen peroksida menjadi air. Pada hewan, peroksisom banyak terdapat di hati dan ginjal, pada tumbuhan terdapat pada berbagai sel.

Glioksisom hanya terdapat pada sel tumbuhan, misalnya pada lapisan aleuron biji padi-padian. Aleuron merupakan bentuk dari protein atau kristal yang terdapat dalam vakuola. Glioksisom sering ditemukan di jaringan penyimpan lemak dari biji yang berkecambah pada tumbuhan. Glioksisom tumbuhan mengandung enzim pengubah lemak menjadi gula, proses perubahan ini menghasilkan energi yang diperlukan untuk berkecambah.

2.4 Perbedaan Sel Hewan dan Sel Tumbuhan

a. Sel Tumbuhan

Organel – organel khusus yang terdapat dalam sel tumbuhan adalah sebagai berikut:

1) Vakuola (rongga sel)

Vakuola terdapat pada bagian sitoplasma yang dibatasi oleh selaput yang disebut tonoplas. Saat sel masih muda, vakuola berukuran kecil dan berjumlah banyak, tersebut ada sitoplasma. Pada saat sel dewasa, vakuola berukuran besar hingga mendesak inti sel dan plasma ke arah tepi. Vakuola yang besar mengisi sebagian besar sel dewasa.

Vakuola berisi antara lain :Asam organik, asam amino, glukosa, gas, garam-garam kristal, minyak atsiri, antosian /zat warna, alkaloid, antara lain nikotin pada tembakau (*Nicotiana tabacum*), kafein pada kopi (*Coffea sp*), kinin pada kina (*Cinchan sp*), tein pada the (*Theasinensis*), teobromin pada coklat (*Theobroma cacao*) dan solanin pada tanaman kentang (*Solanum sp*). Vakuola pada umumnya terdapat pada sel tumbuhan sedang pada hewan satu sel (protozoa) dikenal vakuola kontraktil /berdenyut. Vakuola tersebut berguna untuk osmoregulator yaitu menjaga nilai osmotik sel dan ekskresi

Selain itu terdapat pula vakuola pencernaan makanan yang letaknya tidak tetap karena beredar untuk mengedarkan hasil pencernaannya. Vakuola terbentuk karena aktivitas sel yang mengadakan fagositosis (makanan berupa partikel padat) dan pinositosis (makanan berupa zat cair)

2) Plastida

Plastida adalah struktur yang hanya terdapat pada sel tumbuhan mengandung pigmen hijau daun. Ada dua macam plastida, yaitu plastida yang tidak berwarna dan plastida yang berwarna. Plastida tidak berwarna terdiri dari amiloplas dan elaioplas. Termasuk plastida berwarna adalah kloroplas dan kromoplas. Dalam perkembangan berikutnya plastida tidak berwarna dapat juga menjadi plastida berwarna yang pembentukan pigmennya memerlukan magnesium untuk pembentukan klorofil dan besi untuk katalisator dalam proses pembentukan klorofil.

3) Dinding Sel

Dinding sel hanya terdapat pada sel tumbuhan. Pada sel muda, dinding selnya terbuat dari zat pektin, sedangkan pada sel dewasa dinding selnya terbentuk dari bahan selulosa (suatu bahan karbohidrat seperti kayu) yang bersifat kaku sehingga bentuk sel tumbuhan cenderung tetap.

Dinding sel terbentuk melalui penebalan-penebalan pada membran sel yaitu dengan cara aposisi dan intususepsi. Pada penebalan aposisi terbentuk penebalan lapisan yang melekat pada membran sel lama. Sedangkan pada penebalan intususepsi penebalan terbentuk tidak melekat pada membran yang sudah ada sebelumnya melainkan terjadi melalui penyisipan dari penebalan penebalan lama. Pada dinding sel terdapat bagian yang tidak menebal yaitu merupakan lubang yang disebut noktah. Melalui noktah ini terjadi hubungan plasma sel satu dengan lain yang disebut plasmodesma. Plasmodesma berupa juluran-juluran plasma serta menjadi pintu keluar masuknya zat.

Sebagian besar isi dari sel berupa tekanan air atau tekanan isi sel terhadap dinding sel disebut tekanan turgor. Dinding sel dan vakuola berperan dalam turgiditas. Apabila sel tumbuhan kita masuk dalam larutan yang hipotonis atau hipertonis apa yang akan terjadi pada sel tersebut. Dengan memahami difusi atau osmosis kita dapat menduga gejala apa yang akan terjadi.

b. Sel Hewan

Organel-organel khusus yang terdapat pada sel hewan adalah sebagai berikut:

1) Sentiol

Sentiol adalah organel yang terdapat pada sitoplasma dekat inti sel, biasanya berpasangan. Dalam keadaan demikian sentiol disebut pula diplosom. Sentiol merupakan hasil perkembangan dari sentrosom, berupa kumpulan dari mikrotubul yang berperan sebagai kutub kutub pembelahan sel secara tidak langsung baik secara mitosis atau meiosis (dibahas pada bab tersendiri). Dari bagian ini muncul benang-benang gelendong pembelahan sehingga kromosom akan terjerat pada benang tersebut.

2) Sentrosom

Sentrosom adalah organel sel yang berfungsi aktif pada pembelahan sel dan hanya terdapat pada sel hewan. Struktur serupa silindris yang dibentuk oleh tabung-tabung halus dan berfungsi untuk mengatur arah gerak kromosom pada saat sel membelah. Sentrosom merupakan wilayah yang terdiri dari dua sentiol (sepasang sentiol) yang terjadi ketika pembelahan sel, dimana nantinya tiap sentiol ini akan bergerak ke bagian kutub-kutub sel yang sedang membelah. Pada siklus sel di tahapan interfase, terdapat fase S yang terdiri dari tahap duplikasi kromosom, kondensasi kromosom, dan duplikasi sentrosom.

Terdapat sejumlah fase tersendiri dalam duplikasi sentrosom, dimulai dengan G1 dimana sepasang sentiol akan terpisah sejauh beberapa mikrometer. Kemudian dilanjutkan dengan S, yaitu sentiol anak akan mulai

terbentuk sehingga nanti akan menjadi dua pasang sentriol. Fase G2 merupakan tahapan ketika (sentriol anak) yang baru terbentuk tadi telah memanjang. Terakhir ialah fase M dimana sentriol bergerak ke kutub-kutub pembelahan dan berlekatan dengan mikrotubula yang tersusun atas benang-benang spindel.

Rangkuman

1. Virus memiliki struktur yang sangat berbeda dibandingkan organisme lain oleh karena itu dikelompokkan ke dalam satu sistem yang paling sederhana dari seluruh sistem genetika.
2. Struktur virus terdiri dari gabungan kapsomer yang membentuk lapisan pembungkus DNA atau RNA yang disebut kapsid, struktur tambahan lainnya adalah selubung protein yang menyelubungi kapsid.
3. Ukuran virus ada yang lebih kecil dari ribosom, yaitu sekitar 20 nm dengan jumlah gen virus yang paling besar berukuran 80 nm, yaitu virus ebola. Oleh karena itu, virus hanya dapat diamati dengan mikroskop elektron.
4. Virus hanya dapat menginfeksi sel-sel tertentu saja. Dalam dunia virus berlaku kesesuaian “lock and key” antara protein bagian luar virus dengan molekul reseptor spesifik pada permukaan sel inang.
5. Virus berkembang biak melalui dua mekanisme, yaitu siklus litik dan siklus lisogenik.
6. Virus sangat berbahaya karena mudah sekali bermutasi menjadi lebih ganas dan penyebarannya sangat mudah, sehingga dapat menyebabkan epidemi penyakit.
7. Virus juga dapat bermanfaat karena dapat mengawetkan makanan, produksi insulin, dan pembuatan vaksin yang dapat menyelamatkan

Daftar Referensi

- Campbell, N. (2003). *Biology: Concepts & Connections*. Pearson Education. San Francisco.
- Kaiser D. (2003). Coupling cell movement to multicellular development in myxobacteria. *Nat. Rev. Microbiol.* 1 (1): 45–54. PMID 15040179. doi: 10.1038/nrmicro733
- Martin, William. (2005). *Woe is the Tree of Life*. In *Microbial Phylogeny and Evolution: Concepts and Controversies* (ed. Jan Sapp). Oxford: Oxford University Press.
- Pelczar, M. J. (2006). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Jakarta: UI-Press.
- Shih YL, Rothfield L. 2006). The bacterial cytoskeleton. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 70 (3): 729–54. PMC 1594594. PMID 16959967. doi:10.1128/MMBR.00017-06
- Thanbichler M, Wang S, Shapiro L. (2005). The bacterial nucleoid: a highly organized and dynamic structure. *J. Cell Biochem* 96 (3): 506–21. PMID 15988757. doi:10.1002/jcb.20519
- Zimmer C. (2009). Origins. On the origin of eukaryotes. *Science.* 325 (5941): 666–8. PMID 19661396. doi:10.1126/science.325_666

2.5 Soal Latihan Pilihan Ganda !

1. Protein dapat dihasilkan oleh organel
 - a. mitokondria
 - b. ribosom
 - c. badan golgi
 - d. peroksisom
 - e. sentriol
2. Transpor aktif merupakan transport yang
 - a. Mengandalkan perbedaan konsentrasi larutan sebelah dalam dan luar membran sel
 - b. Mengonsumsi energi untuk mengeluarkan atau memasukkan ion-ion atau molekul melalui membran sel
 - c. Berjalan ke dua arah yang di-pengaruhi muatan listrik
 - d. Mengeluarkan energi
 - e. Dipengaruhi oleh ion-ion Na^+ dan K^+ tanpa energi
3. Membran sel sangat penting karena alasan dibawah ini, kecuali
 - a. bersifat diferensial permeabel
 - b. mengendalikan pertukaran zat antara sel
 - c. menjadi pembatas antara isi sel dengan lingkungan luarnya
 - d. menjadi pembatas antara sitoplasma dan nukleoplasma
 - e. sebagai reseptor
4. Enzim-enzim yang tidak aktif dibentuk dalam organel
 - a. golgi kompleks
 - b. retikulum endoplasma
 - c. lisosom
 - d. mitokondria
 - e. ribosom
5. Organel yang berfungsi untuk membentuk gelendong pembelahan pada hewan adalah
 - a. sentriol
 - b. lisosom
 - c. mikrofilamen
 - d. mikro tubulus
 - e. mitokondria
6. Organel yang berfungsi menghasilkan energi adalah
 - a. badan golgi
 - b. peroksisom
 - c. ribosom
 - d. mitokondria
 - e. sentriol
7. Berikut ini adalah organel-organel yang hanya terdapat pada tumbuhan, kecuali
 - a. kloroplas
 - b. dinding sel
 - c. sentriol
 - d. sentriol
 - e. plastida

- c. vakuola
8. Sel dikatakan satuan fungsi makhluk hidup karena
- a. semua jenis sel mempunyai fungsi yang sama
 - b. melakukan apa yang dilakukan oleh suatu individu organism sebagai keseluruhan
 - c. semua sel mempunyai jumlah dan macam organel yang sama
 - d. semua mahluk hidup terdiri atas sel-sel
 - e. Sel adalah unit terkecil makhluk hidup
9. Organel sel yang disebut kantung pembunuh diri adalah
- a. badan golgi
 - b. mitokondria
 - c. retikulum endoplasma
 - d. lisosom
 - e. ribosom
10. Organ sel yang berperan mengarahkan kromosom ke kutub pada saat pembelahan sel adalah
- a. nukleolus
 - b. nukleus
 - c. badan golgi
 - d. sentriol
 - e. ribosom

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai pengemlompokkan bakteri yaitu Eubacteria dan Archaeobacteria serta ciri-ciri dari masing-masing kelompok.
CPMK	Mahasiswa mampu menjelaskan ciri-ciri bakteri, struktur dan reproduksi bakteri serta pengelompokkan bakteri
Sub-CPMK	Mahasiswa dapat : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menjelaskan ciri-ciri Eubacteria dan Archaeobacteria ▪ Menjelaskan struktur Eubacteria dan Archaeobacteria ▪ Mengetahui perbedaan Eubacteria dan Archaeobacteria ▪ Mengetahui peran Eubacteria dan Archaeobacteria ▪ Memberikan contoh organisme kelompok Eubacteria dan Archaeobacteria

3.1 Pendahuluan

Bakteri (dari kata Latin *bacterium*; jamak: bacteria) adalah kelompok organisme yang tidak memiliki membran inti sel. Organisme ini termasuk ke dalam domain prokariota dan berukuran sangat kecil (mikroskopik), serta memiliki peran besar dalam kehidupan di bumi. Beberapa kelompok bakteri dikenal sebagai agen penyebab infeksi dan penyakit, sedangkan kelompok lainnya dapat memberikan manfaat dibidang pangan, pengobatan, dan industri. Pada perkembangan terakhir diketahui ada 6 kingdom makhluk hidup yaitu Archaeobacteria, Eubacteria, Protista, Fungi, Plantae dan Animalia. Di dunia ini terdapat makhluk hidup yang lebih kompleks dan sudah mempunyai sel meskipun selnya masih sangat sederhana. Kelompok makhluk hidup tersebut kita kenal dengan Prokariota. Sesuai dengan namanya, kelompok ini selnya belum mempunyai membran/selaput inti. Prokariota terbagi menjadi kelompok Arkeobakteria dan Eubakteria yang di dalamnya termasuk Cyanobakteri yang dulu dikenal dengan alga hijau-biru. Kelompok Eubakteria dahulu kita kenal juga dengan nama Monera.

Mungkin kita belum banyak menyadari bahwa selama ini kita selalu berhubungan dengan kelompok Prokariota. Pernahkah anda merasakan sakit perut? Salah satu penyebab sakit perut yang paling umum adalah bakteri. Anda juga pasti sudah kenal dan pernah makan keju, yoghurt, atau kecap. Siapakah yang

dapat mengolah bahan baku berupa susu dan kedelai menjadi makanan dan minuman yang lezat itu? Itulah bakteri, salah satu kelompok yang termasuk dalam dunia Prokariota. Contoh-contoh tersebut menunjukkan bahwa kita sudah sangat sering berhubungan dengan kelompok ini, baik hubungan yang menguntungkan maupun hubungan yang merugikan.

Prokariota merupakan makhluk hidup yang paling sederhana terdiri atas satu sel prokariot, yaitu sel yang belum berselaput inti. Virus dan kelompok ini sering dikenal sebagai kerajaan yang tak terlihat, dalam bahasa Inggris disebut “The invisible kingdom”. Disebut demikian karena virus dan prokariota merupakan makhluk hidup yang sangat kecil yang tidak dapat diamati secara langsung dengan mata telanjang, tetapi benar-benar ada dan sangat banyak jumlahnya.

Tubuh kita merupakan salah satu tempat hidup dari jutaan makhluk hidup yang tak terlihat itu. Makhluk-makhluk tersebut dapat ditemukan hampir pada semua lingkungan di bumi ini baik di air, tanah, atau udara. Keberadaan kelompok makhluk hidup tersebut pada lingkungan yang begitu luas menunjukkan bahwa mereka mempunyai peran penting dalam ekosistem bumi. Lebih dari 2.000 spesies Eubakteria berperan penting dalam ekologi maupun dalam kehidupan sehari-hari. Mereka dapat menguraikan materimateri organik sehingga terjadi siklus materi. Khususnya bakteri, juga sangat berperan dalam fiksasi nitrogen, yaitu gas nitrogen di udara yang tadinya tidak dapat diserap makhluk hidup, diubah menjadi amonia atau amonium yang mudah dimanfaatkan makhluk hidup lain melalui tumbuhan. Prokariota khususnya Eubakteria juga dapat melakukan fermentasi menghasilkan bahan makanan yang lebih enak, dan lebih tinggi nilai gizinya, seperti yang dicontohkan di atas. Selain itu, bakteri dapat dimanfaatkan dalam pengolahan limbah, penyamakan kulit dan tekstil, pemisahan bahan tambang dari bijinya dan fungsi-fungsi lain yang tidak kalah penting.

Keberhasilan makhluk hidup ini untuk hidup di segala lingkungan disebabkan oleh kecepatan reproduksi yang tinggi dan kemampuan metabolisme yang beraneka ragam. Dalam kondisi yang baik, bakteri dapat menambah jumlahnya hingga dua kali lipat hanya dalam waktu setengah jam.

3.2 Archaeobacteria

Archaeobacteria (Yunani, *archaio* = kuno). Archaeobacteria merupakan kelompok bakteri yang dinding selnya tidak mengandung peptidoglikan, namun membran plasmanya mengandung lipid. Sebagian besar spesies Archaeobacteria memang menempati lingkungan yang ekstrem yang menyerupai habitat pada bumi

purbakala (bumi kuno). Hal ini dijadikan dasar dalam pengklasifikasiannya. Mereka dapat hidup di tempat yang makhluk hidup lain tidak dapat ditemukan, seperti pada lingkungan yang hampir beku di Antartika atau sebaliknya dapat ditemukan pada sumber air panas dengan temperatur 92⁰C. Selain itu, Archaeobacteria juga dapat ditemukan pada tempat dengan kadar garam atau kadar asam sangat tinggi.

Penemuan kelompok Archaeobacteria ini sekarang banyak menarik perhatian ahli biologi untuk mempelajari gen-gen yang dapat mengode enzim-enzimnya guna dimanfaatkan dalam rekayasa genetik untuk menghasilkan organisme-organisme baru yang dapat hidup di lingkungan ekstrem seperti mereka. Meskipun sel yang menyusun Arkeobakteria dan Eubacteria adalah sama-sama sel prokariot, keduanya masih mempunyai perbedaan mendasar dalam hal biokimia dan fisiologi. Secara umum perbedaan keduanya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 3.1. Perbedaan Archaeobacteria dan Eubacteria

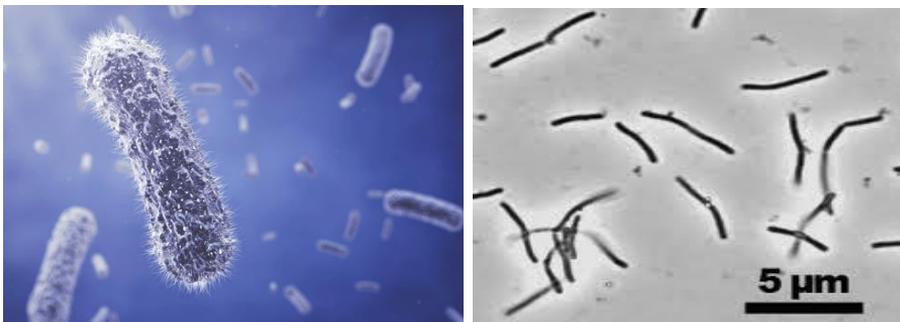
Ciri-ciri	Archaeobacteria	Eubacteria
Selaput inti	Tidak ada	Tidak ada
Organel yang terbungkus membran	Tidak ada	Tidak ada
Peptidoglikan dinding sel	Tidak ada	Ada
Lipid membran	Beberapa hidrokarbon bercabang	Hidrokarbon tidak bercabang
Enzim RNA polymerase	Beberapa jenis	Satu jenis
Asam amino	Metionin	Formil metionin
Intron (bagian gen yang bukan untuk pengkodean)	Ada pada beberapa gen	Tidak ada
Respon terhadap antibiotik streptomycin dan kloramfenikol	Pertumbuhan tidak terhambat	Pertumbuhan terhambat

Archaeobacteria memiliki susunan, struktur, metabolisme, dan urutan asam nukleat yang berbeda dengan Eubacteria. Oleh karena itu, Archaeobacteria dikelompokkan sebagai kingdom terpisah dari Eubacteria meskipun kedua kingdom tersebut sama-sama prokariotik. Berdasarkan lingkungan ekstrimnya, Archaeobacteria dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu bakteri metanogen, bakteri halofil, dan bakteri termoasidofil.

a. Metanogen

Bakteri metanogen adalah bakteri yang menghasilkan metana dari gas hydrogen dan CO₂ atau asam asetat. Metana disebut juga biogas. Bakteri metanogen hidup di lumpur dan rawa sebagai pengurai. Contohnya adalah *Methanobacterium*. Hasil metanogenesis berupa metana, yang keluar sebagai gelembung dari tempat tersebut, dikenal dengan gas rawa. Metanogen juga merupakan pengurai penting yang digunakan dalam pengolahan kotoran. Beberapa petani telah mencoba menggunakan mikroba ini untuk mengubah sampah dan kotoran hewan menjadi metana yang dapat digunakan sebagai bahan bakar berharga. Spesies metanogen lain menempati lingkungan anaerobik di dalam perut hewan dan berperan penting dalam proses nutrisi seperti rayap, dan herbivora lain terutama yang mengandalkan makanan dari selulosa.

Dinamai metanogen karena sesuai dengan metabolisme energinya yang khas, yaitu H₂ digunakan untuk mereduksi CO₂ menjadi metana (CH₄). Pembentukan metana ini hanya dapat terjadi dalam kondisi yang benar-benar tanpa oksigen (anaerobik absolut). Jadi, kelompok ini sangat tidak menoleransi adanya oksigen ketika melakukan proses pembentukan metana (metanogenesis) bahkan akan teracuni dengan adanya oksigen.



Gambar 3.1 *Methanobacterium* sp

Beberapa jenis metanogen, termasuk mereka dari genus *Methanopyrus*, adalah extremophiles, organisme yang berkembang dalam kondisi yang paling ekstrem

sehingga makhluk hidup tidak bisa bertahan dalamnya, seperti mata air panas, ventilasi hidrotermal, tanah gurun yang panas, dan lingkungan bawah tanah yang mendalam. Contoh *Methanobacterium* yang terdapat di alam adalah *Methanobacterium bryantii*, *Methanobacterium formicum*, *Methanobrevibacter arboriphilicus*, *Methanobrevibacter gottschalkii*, *Methanobrevibacter ruminantium* dan *Methanobrevibacter smithii*.

Metanogen dapat berbentuk batang atau bulat. Mereka tidak membentuk kelompok monofiletik, bagaimanapun, berarti bahwa semua metanogen tidak terdiri dari satu nenek moyang tunggal dan semua keturunannya. Ada lebih dari 50 spesies, yang semuanya milik domain Archaea.

Metanogen adalah kelompok yang sangat beragam. Mereka menggunakan sumber karbon, seperti karbon dioksida atau asetat, untuk mendorong metabolisme mereka, yang disebut methanogenesis, bersama dengan hidrogen sebagai agen pereduksi. Oleh karena itu, mereka memiliki manfaat ekologis membuang kelebihan hidrogen dan karbon dari lingkungan anaerobik. Sebuah metanogen yang memetabolisme karbon dioksida diklasifikasikan sebagai hydrogenotrophic, sementara mereka yang memetabolisme asetat disebut acetotrophic atau acetoclastic.

Metanogen melakukan fungsi ekologis penting dengan membantu untuk menghilangkan karbon dioksida dari lingkungan. Mereka melakukannya dengan harga yang cukup besar, namun karena proses methanogenesis juga menghasilkan metana, yang memiliki potensi pemanasan global 21 kali lebih besar dari karbon dioksida. Efek ini untungnya dapat diimbangi melalui penggunaan metana sebagai biofuel.

b. Halofil Ekstrem

Halofil (Yunani, *halo* = garam, *philos* = suka) adalah Archaeobacteria yang hidup di lingkungan dengan kadar garam tinggi. Kelompok mikroba ini hidup di tempat dengan kadar garam tinggi seperti Great Salt Lake dan Laut Mati. Beberapa spesies halofil ekstrem memiliki toleransi terhadap salinitas (kadar garam rendah), sementara spesies lainnya memerlukan suatu lingkungan yang sepuluh kali lebih asin dari air laut, untuk dapat tumbuh. Berbeda dengan kelompok metanogen yang anaerob obligat, kebanyakan dari kelompok ini adalah aerobik obligat atau membutuhkan oksigen untuk hidupnya. Contoh bakteri halofil adalah *Halobacterium*.

c. Termofil Ekstrem

Sesuai dengan namanya, mikroba termofil dapat bertahan hidup dalam lingkungan panas. Kondisi optimum yang dibutuhkan oleh kelompok ini adalah suhu 60⁰C – 80⁰C. Sebagai contoh, genus *Sulfolobus* dapat hidup di mata air panas sulfur di Yellowstone National Park, dan mendapatkan energinya dengan cara mengoksidasi sulfur. Termofil lain yang dapat memetabolisasi sulfur, hidup pada suhu 105⁰ C di daerah dekat lubang hidrotermal di laut dalam. Seorang ahli dari University of California bernama James Lake, meyakini bahwa termofil ekstrem adalah prokariota yang paling dekat hubungan kekerabatannya dengan eukariota (makhluk hidup yang selnya sudah mempunyai selaput inti).

3.3 Eubacteria (Bakteri)

Istilah *Eubacteria* berasal dari bahasa Yunani, *eu* yang artinya sejati. Eubacteria meliputi sebagian besar organisme prokariotik yang dapat hidup di mana pun (kosmopolit). Eubacteria disebut juga Bacteria yang kemudian disederhanakan menjadi bakteri. Eubacteria atau Bacteria (bakteri) digunakan sebagai acuan untuk semua organisme prokariotik baik dari kelompok Archaeobacteria maupun Eubacteria, meskipun Archaeobacteria dan Eubacteria sudah dipisahkan dalam kelompok (*kingdom*) yang berbeda. Terlepas dari masalah taksonomi, baik Archaeobacteria maupun Eubacteria merupakan organisme prokariotik, sehingga pembahasan Archaeobacteria dan Eubacteria digabung dalam satu pokok pembahasan.

Istilah bakteri berasal dari kata *bakterion* yang artinya batang kecil. Bakteri merupakan organisme uniseluler (bersel satu), tidak memiliki membran inti sel (prokariotik), dan pada umumnya memiliki dinding sel tetapi tidak berklorofil. Bakteri ditemukan pertama kali pada tahun 1674, oleh Antony van Leeuwenhoek (seorang ilmuwan dari Belanda, penemu mikroskop lensa tunggal), dan istilah bacteria baru diperkenalkan pada tahun 1828 oleh Ehrenberg. Ilmu yang mempelajari bakteri disebut bakteriologi.

Secara umum ciri-ciri Eubacteria adalah:

1. Merupakan organisme uniseluler
2. Reproduksi : amitosis, konjugasi, transformasi, transduksi
3. Cara hidup bakteri ada yang dapat hidup bebas, parasitik, saprofitik, patogen pada manusia, hewan dan tumbuhan.
4. Membran sel mereka mengandung lemak terdiri dari lemak gliserol-ester

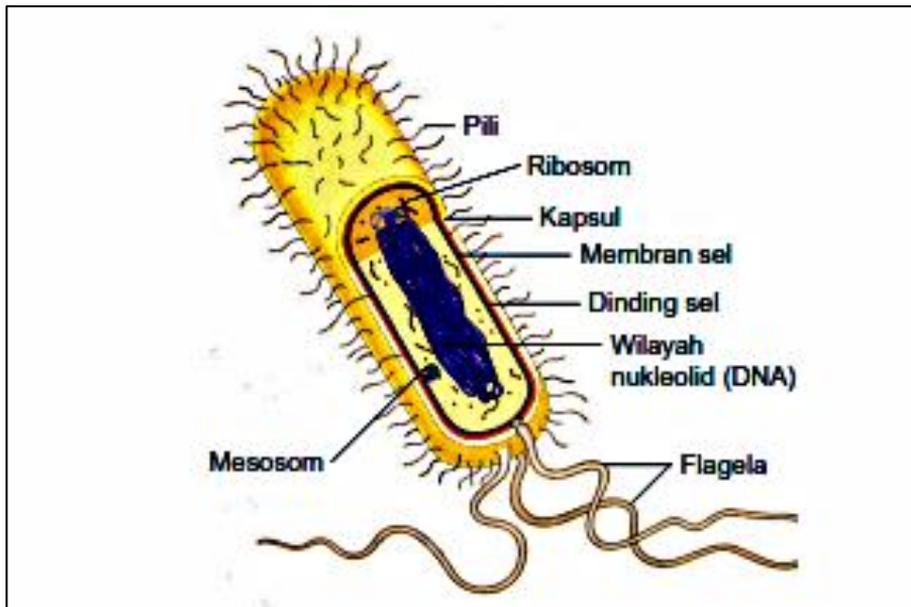
5. Dinding sel terdiri dari Peptidoglikan (murein)
6. Kromosom berbetuk melingkar
7. Pertukaran genetik terjadi melalui transfer DNA searah atau dua arah
8. Ribosom berjenis 70S terdiri dari dua subunit yaitu; 50S-30S dan subunit yang lebih kecil
9. Dapat melakukan transkripsi dan translasi

Bakteri tidak berklorofil kecuali beberapa yang bersifat fotosintetik. Habitatnya tersebar luas di alam, dalam tanah, atmosfer (sampai + 10 km diatas bumi), di dalam lumpur, dan di laut. Bakteri mempunyai bentuk dasar bulat, batang, dan lengkung. Bentuk bakteri juga dapat dipengaruhi oleh umur dan syarat pertumbuhan tertentu. Bakteri dapat mengalami involusi, yaitu perubahan bentuk yang disebabkan faktor makanan, suhu, dan lingkungan yang kurang menguntungkan bagi bakteri. Selain itu dapat mengalami pleomorfi, yaitu bentuk yang bermacam-macam dan teratur. Umumnya bakteri berukuran 0,5-10 μ . Berdasarkan klasifikasi artifisial yang dimuat dalam buku "*Bergey's manual of determinative bacteriology*" tahun 1974, bakteri diklasifikasikan berdasarkan deskripsi sifat morfologi dan fisiologi. Dalam buku itu juga terdapat kunci determinasi untuk mengklasifikasikan isolat bakteri yang baru ditemukan.

3.4 Struksur sel Bakteria

Seperti prokariot (organisme yang tidak memiliki membran inti) pada umumnya, semua bakteri memiliki struktur sel yang relatif sederhana. Salah satu struktur bakteri yang penting adalah dinding sel, yang dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok besar, yaitu bakteri gram negatif dan bakteri gram positif. Banyak bakteri memiliki struktur di luar sel lainnya seperti flagel dan fimbria yang digunakan untuk bergerak, melekat dan konjugasi. Beberapa bakteri juga memiliki kapsul yang berperan dalam melindungi sel bakteri dari kekeringan dan fagositosis. Struktur kapsul inilah yang sering kali menjadi faktor virulensi penyebab penyakit, seperti yang ditemukan pada *Escherichia coli* dan *Streptococcus pneumoniae*. Bakteri juga memiliki kromosom, ribosom, dan beberapa spesies lainnya memiliki granula makanan, vakuola gas, dan magnetosom. Beberapa bakteri mampu membentuk diri menjadi endospora yang membuat mereka mampu bertahan hidup pada lingkungan ekstrem. *Clostridium botulinum* merupakan salah satu contoh bakteri penghasil endospora yang sangat tahan suhu dan tekanan tinggi, dimana

bakteri ini juga termasuk golongan bakteri penyebab keracunan pada makanan kaleng.



Gambar 3.2. Struktur sel bakteri

1) Kapsul

Sel-sel Eubacteria biasanya dikelilingi oleh kapsul terdiri dari polisakarida atau polipeptida. Keberadaannya sangat penting dalam kemampuan sebagai penyebab penyakit dari beberapa bakteri (misalnya *Pneumococcus*). Kapsul ini berfungsi sebagai pelindung. Menyimpan bahan makanan dan bertindak sebagai tempat untuk pembuangan bahan limbah.

2) Dinding sel

Di bawah kapsul adalah dinding sel yang kaku. Dinding sel Eubacteria terdiri dari Peptidoglikan (Polisakarida + Protein). Dinding sel memberikan karakteristik bentuk sel dan juga melindungi sel dari perbedaan tekanan osmotik yang tinggi.

3) Flagela

Mereka pelengkap panjang yang terdiri dari molekul flagellin. Mereka digunakan untuk penggerak ketika mereka bergerak dengan sebuah tindakan

seperti gelombang longitudinal. Setiap sel bakteri dapat memiliki satu, beberapa atau banyak flagella yang terletak pada posisi yang berbeda pada sel.

4) Pili atau fimbriae

Pili berukuran pendek, pelengkap seperti rambut yang timbul dari membran sel dan melampaui dinding sel. Pili terdiri dari protein Pilin atau Fimbrillin. Fungsi fimbriae sebagai organ perlekatan dimana bakteri menempel pada sel tumbuhan atau hewan. Pili memainkan peran penting selama reproduksi Konjugasi.

5) Membran plasma

Ini adalah membran lipid bilayer semi-permeabel. Hal ini terutama terdiri dari lemak dan protein. Hal ini bertanggung jawab untuk transportasi dari spesifik ion, molekul, nutrisi dan limbah melintasi membran.

6) Mesosom

Mereka invaginasi dari membran plasma dalam bentuk vesikel dan tubulus. Mereka meningkatkan luas permukaan untuk transportasi, mengendalikan aktivitas enzim autolitik, membawa situs perlekatan untuk peptida pensinyalan dan terlibat dalam pembentukan septum selama pembelahan sel.

7) Nukleoid

Ini adalah DNA atau materi genetik dari bakteri. Ini terdiri dari DNA double helix yang bagian dalam bentuk cincin DNA yang sangat dilipat tanpa amplop nuklir. DNA bakteri biasanya disebut kromosom atau badan kromatin.

8) Ribosom

Sitoplasma berisi ribosom kecil 70S dari ribosom eukariotik. Mereka memainkan peran sintesis protein penting dengan menerjemahkan pesan genetik dalam m-RNA menjadi protein.

9) Butiran Penyimpanan

Sitoplasma berisi butiran besar bahan penyimpanan. Mereka berfungsi sebagai rumah penyimpanan sel dan senyawa organik. Berbagai jenis butiran penyimpanan ditemukan adalah: butiran Polyphosphate atau butiran Volutin, poli- β -hidroksibutirat, Sulfur inklusi dan butiran polyglucan.

3.5 Penggolongan Bakteri

Penggolongan bakteri dapat dikelompokkan berdasarkan bentuk, cara hidup, sifat gram, kebutuhan oksigen, dan apabila tidak dapat dibedakan menurut ketiganya maka dimasukkan ke dalam kelompok khusus.

1) Berdasarkan cara hidupnya

- ❖ Heterotrof, dibedakan menjadi parasit dan saprofit
- ❖ Autotrof, dibedakan menjadi fotoautotrof dan kemoautotrof

2) Berdasarkan kebutuhan oksigennya

- ❖ Aerob (obligat/fakultatif)

Organisme aerobik atau aerob adalah organisme yang melakukan metabolisme dengan bantuan oksigen. Aerob, dalam proses dikenal sebagai respirasi sel, menggunakan oksigen untuk mengoksidasi substrat (sebagai contoh gula dan lemak) untuk memperoleh energi misal: *Nitrosococcus sp.*, *Nitrosomonassp.* dan *Nitrobacter sp.*

Aerob obligat membutuhkan oksigen untuk melakukan respirasi sel aerobik. Aerob fakultatif dapat menggunakan oksigen tetapi dapat juga menghasilkan energi secara anaerobik. Mikroaerofil adalah organisme yang bisa menggunakan oksigen tetapi dalam konsentrasi yang sangat kecil (mikromolar). Organisme aerotoleran dapat hidup walaupun terdapat oksigen di sekitarnya, tetapi mereka tetap anaerobik karena mereka tidak menggunakan oksigen sebagai terminal electron acceptor (akseptor elektron terminal). Contoh yang dapat diberikan adalah oksidasi glukosa (monosakarida) dalam respirasi aerobik.



Energi yang dilepaskan pada reaksi ini sebesar 2880 kJ per mol, yang disimpan dalam regenerasi 38 ATP dari 38 ADP per glukosa. Angka ini 19 kali lebih besar daripada yang dihasilkan reaksi anaerobik. Organisme eukariotik (semua kecuali bakteri) hanya memperoleh 36 ATP yang diregenerasi dari ADP dalam proses ini. Hal ini disebabkan terdapat membran yang harus dilewati oleh transport aktif.

- ❖ Anaerob (obligat/fakultatif)

Anaerob artinya “hidup tanpa udara”. Perkembangan bakteri anaerob ini terjadi pada tempat-tempat yang sedikit atau sama sekali tidak mengandung oksigen. Kuman-kuman ini normalnya ditemukan di mulut, saluran pencernaan dan vagina serta pada kulit. Umumnya penyakit-penyakit yang disebabkan oleh bakteri anaerob adalah gas gangren, tetanus dan botulisme. Bakteri anaerob

dapat menyebabkan infeksi jika barrier (sawar) normal (seperti kulit, gusi dan dinding usus) mengalami kerusakan akibat pembedahan, jejas atau penyakit. Biasanya sistem kekebalan tubuh akan membunuh bakteri yang masuk ke dalam tubuh, tetapi kadang-kadang bakteri tersebut mampu berkembang dan menyebabkan infeksi. Bagian tubuh yang mengalami kerusakan jaringan (nekrosis) atau suplai aliran darahnya sedikit merupakan tempat-tempat yang disenangi oleh bakteri anaerob untuk tumbuh dan berkembang karena miskin akan oksigen.

3) Berdasarkan bentuknya

❖ Coccus,

- *Mikrococcus*, jika kecil dan tunggal
- *Diplococcus*, jika berganda dua-dua
- *Tetracoccus*, jika bergandengan empat dan membentuk bujur sangkar
- *Sarcina*, jika bergerombol membentuk kubus
- *Staphylococcus*, jika bergerombol
- *Streptococcus*, jika bergandengan membentuk rantai

❖ Basilus

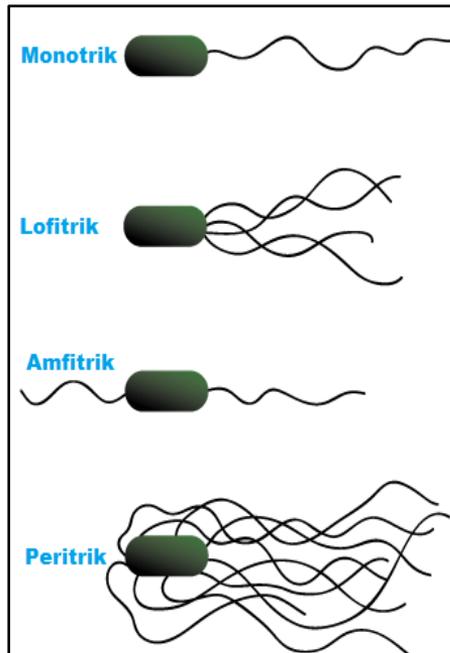
- *Diplobacillus*, jika bergandengan dua-dua
- *Streptobacillus*, jika bergandengan membentuk rantai

❖ Spirillum

- *Vibrio*, (bentuk koma), jika lengkung kurang dari setengah lingkaran (bentuk koma)
- *Spiral*, jika lengkung lebih dari setengah lingkaran
- Spirochete, jika lengkung membentuk struktur yang fleksibel

4) Berdasarkan tempat dan jumlah flagelnya

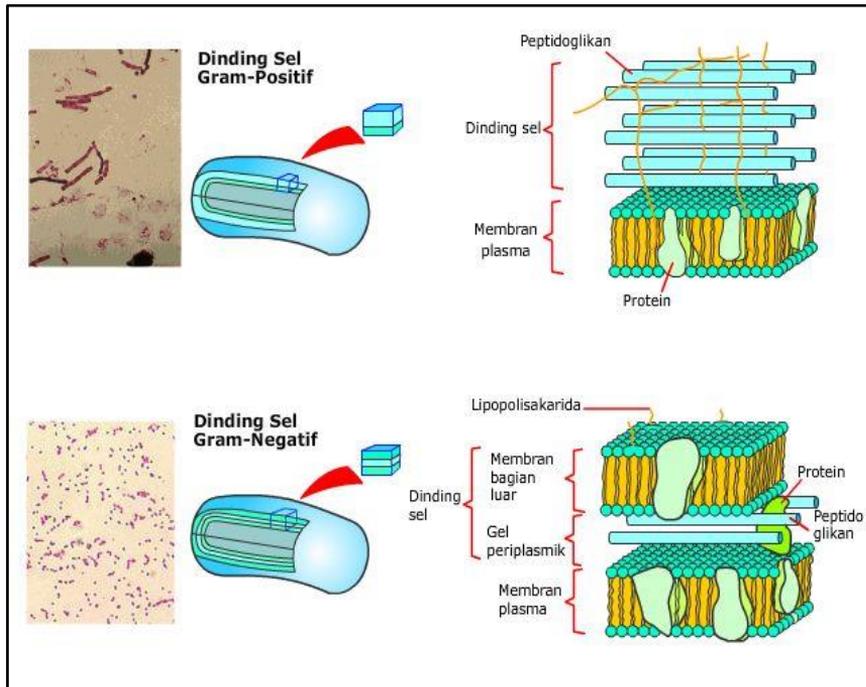
- ❖ Monotrik Atrik, tidak mempunyai flagel.
- ❖ Monotrik, mempunyai satu flagel pada salah satu ujungnya.
- ❖ Lofotrik, mempunyai sejumlah flagel pada salah satu ujungnya.
- ❖ Amfitrik, mempunyai satu flagel pada kedua ujungnya.
- ❖ Peritrik, mempunyai flagel pada seluruh permukaan tubuhnya.



Gambar 3.3. Beberapa tipe flagel pada sel

5) Berdasarkan Pewarnaan Gram

Pewarnaan Gram banyak dilakukan untuk identifikasi bakteri, terutama yang berkaitan dengan kesehatan. Hasil pewarnaan ada dua macam yaitu yang berwarna ungu disebut Gram positif dan yang berwarna merah disebut Gram negatif. Bakteri Gram negatif umumnya dapat menyebabkan sakit. Pada bakteri Gram positif, kandungan Peptidoglikan dinding selnya lebih banyak daripada lipid, dan sebaliknya pada bakteri Gram negatif, pada dinding selnya kandungan lipid lebih banyak daripada peptidoglikan. Bakteri gram-negatif memperlihatkan tiga lapis pembungkus sel, yaitu: membran bagian luar (OM/outer membran), lapisan tengah yang merupakan dinding sel atau lapisan murein, dan membran plasma dalam.



Gambar 3.4. Perbedaan bakteri gram positif dan bakteri gram negatif

3.6 Peran Positif Bakteri

Menurut Schlegel (1994) beberapa bukti mengenai peranan mikrobiologi dapat dikemukakan sebagai proses klasik menggunakan bakteri. Di Jepang dan Indonesia sudah sejak zaman dahulu kacang kedelai diolah dengan menggunakan bantuan fungi, ragi, dan bakteri asam laktat. Bahkan sudah sejak zaman perang dunia pertama fermentasi terarah dengan ragi digunakan untuk membuat gliserin. Asam laktat dan asam sitrat dalam jumlah besar yang diperlukan oleh industri makanan, masing-masing dibuat dengan melibatkan bakteri asam laktat dan cendawan *Aspergillus niger*.

1) Sayuran yang terfermentasi

Hampir semua sayuran dapat mengalami fermentasi bertipe asam laktat, yang biasanya dilakukan oleh berbagai jenis *Streptococcus sp.*, *Lactobacillus sp.*, *Leuconostoc sp.*, dan *Pediococcus sp.* Organisme-organisme ini mengubah gula yang terdapat dalam sayuran menjadi asam laktat dan memberi rasa unik pada sayuran yang terfermentasi. Setelah fermentasi, sayuran semacam itu sering

disebut “*teracarkan*” dan tidak jarang terlihat botol-botol acar bit, acar kacang hijau, atau acar wortel.

2) Saurkraut (kubis asin)

Saurkraut ialah produk fermentasi asam laktat kubis yang diparut. Kubis segar selalu mengandung sejumlah jenis *Leuconostoc* sp. dan *Lactobacillus* sp., sehingga tidak perlu ditambahkan bakteri untuk memulai fermentasi.

3) Zaitun

Zaitun hijau semula diperlakukan dengan 1 sampai 2 persen larutan alkalis selama 24 jam untuk menghilangkan sebagian dari rasa pahit. Setelah dicuci dengan sempurna untuk menghilangkan air alkalis, zaitun diletakkan dalam tong dan direndam dengan larutan garam 6 sampai 9 persen. Fermentasi asam laktat yang kemudian berlanjut berlangsung selama 6 hingga 10 bulan, yang setelah itu zaitun hijau dipilah dan dikemas.

4) Daging terfermentasi

Sosis adalah satu-satunya produk daging terfermentasi. Sosis yang telah diolah kemudian disimpan pada suhu 8°C selama 40 hari atau lebih, yang selama waktu itu terjadi fermentasi asam laktat disertai dehidrasi daging yang cukup. Tentu saja hal ini meningkatkan kadar garam yang bersama dengan asam laktat mencegah pertumbuhan organisme yang merusak.

5) Makanan terfermentasi dari timur

Kecap dibuat dari kedelai yang dimasak kemudian difermentasi. Enzim disekresikan oleh jamur *Aspergillus* sp. yang menghidrolisis karbohidrat dan protein kedelai dan tak diragukan lagi menyebabkan cita rasa kecap yang khas. *Lactobacillus delbrueckii* memfermentasi karbohidrat, yang membentuk cukup asam kojat untuk mencegah perusakan. Bakteri asam laktat yang lain maupun beberapa marga khamir memberikan sumbangan kepada citarasa akhir kecap.

6) Protein sel tunggal

Single cell protein (SCP) mengacu pada mikroorganisme yang digunakan sebagai makanan baik untuk manusia maupun hewan. Protein ini terdiri atas khamir, ganggang atau bakteri, walaupun kebanyakan prosesor SCP pada akhir-akhir ini menggunakan khamir. Produksi SCP memberikan metode pengubahan sumber karbohidrat yang murah menjadi makanan yang dapat dimakan yang

mengandung sampai sebanyak 70 persen protein dan bobot kering maupun kebanyakan vitamin B (Volk, 1990).

Proses menggunakan mikroba fermentasi klasik telah diganti dengan cara baru untuk produksi dan konversi menggunakan mikroba. Senyawa karotenoid dan steroid diperoleh dari fungi. Sejak ditemukan bahwa *Corynebacterium glutamicum* memproduksi glutamat dengan rendemen tinggi dari gula dan garam amonium, maka telah diisolasi berbagai mutan dan dikembangkan proses baru yang memungkinkan pembuatan banyak jenis asam amino, nukleotida, dan senyawa biokimia lain dalam jumlah besar. Bakteri juga diikutsertakan oleh para ahli kimia pada katalisis sebagian proses dalam rangkaian sintesis yang panjang; pektinase untuk penjernihan sari buah dan enzim-enzim lain yang digunakan di industri diperoleh dari biakan bakteri.

Bakteri lain yang menguntungkan misalnya *Enterobacter aerogenes*, *Erwinia herbicola*, *Leuconostoc plantarum* sangat berperan dalam pembuatan sauerkraut (kubis fermentasi). *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus bulgaricus* berperan dalam pembuatan yogurt, *Pedicoccus cerevisiae* dan *Micrococcus sp.* berperan dalam pembuatan sosis. *Acetobacter xylinum* berperan dalam pembuatan *nata de coco*.

3.7 Peran Negatif Bakteri

Berbagai penyakit atau infeksi yang berbeda-beda mungkin terjadi karena memakan makanan yang terkontaminasi dengan organisme patogen. Infeksi makanan terjadi karena memakan makanan yang mengandung organisme hidup yang mampu tumbuh atau bersporulasi dalam usus yang menimbulkan penyakit. Penyakit yang paling mendapat perhatian adalah penyakit-penyakit makanan yang disebabkan oleh organisme yang biasanya dianggap ada. Penyakit-penyakit ini dapat dibagi menjadi dua kelompok besar.

1) Infeksi Makanan

Infeksi makanan terjadi karena memakan terkontaminasi oleh bakteri seperti *Clostridium Perfringens*, *Vibrio parahaemolyticus*, dan sejumlah *Salmonella* yang berlainan.

➤ *Salmonella sp.*

Reservoir utama bagi *Salmonella sp.* ialah saluran pencernaan hewan, meliputi burung, hewan ternak, reptilia, dan manusia. Orang menjadi terinfeksi karena kemasukan makanan atau minuman yang terkontaminasi *Salmonella*. Infeksi melalui makanan terjadi karena masuknya daging yang

terkontaminasi atau melewati tangan sebagai perantara dalam pemindahan *Salmonella* dari sumber yang terinfeksi.

➤ *Clostridium perfringens*

Organisme ini memproduksi berbagai ragam eksotoksin. Membentuk spora apabila berada di dalam usus, dan hanya pada waktu pembentukan endospora dalam usus itulah toksin peracunan makanan diproduksi. Sumber yang paling sering ialah daging atau produk-produk daging. Masuknya masakan daging semacam itu mengakibatkan rasa sakit perut dan diare yang akut sesudah masa inkubasi 8 sampai 24 jam.

➤ *Vibrio parahaemolyticus*

Kerang-kerangan merupakan sumber infeksi saluran pencernaan jika dimasak mentah atau sedikit dimasak. Belum diketahui dengan tepat bagaimana diare yang dihubungkan dengan organisme ini dapat terjadi, tetapi kegawatan infeksi ini dapat dirasakan dengan memikirkan kenyataan bahwa laju kematian karena infeksi *V. Parahaemolyticus* dapat mendekati 7 atau 8 %.

3.8 Langkah pengendalian

Untuk menghindari keracunan makanan salah satu usahanya adalah jangan membiarkan makana terbuka berada pada suhu kamar yang akan memungkinkan mikroorganisme yang mengontaminasi berkembangbiak. Keracunan makanan tidak disebabkan oleh menelan organisme hidup melainkan dengan kemasukan toksin atau substansi beracun yang beracun yang disekresikan ke dalam makanan. Dalam hali yang terakhir, organisme ini mungkin mati setelah pembentukan toksin dalam makanan, tetapi apabila toksin itu sendiri dimusnahkan, peracunan makanan yang hebat dapat terjadi dari memakan makanan itu. Organisme yang menyebabkan peracunan makanan mencakup *S. aureus*, *C. botulium*, *B. cereus*. dan lain-lain.

a) *Staphylococcus aureus*

Peracunan ini disebabkan oleh kokus gram positif kecil, stafilokokus yang sama bertanggung jawab atas banyak masalah infeksi di rumah sakit. Organisme itu mudah tumbuh pada media hara biasa dan walaupun banyak galur memerlukan beberapa asam amino dan satu vitamin B atau lebih, galur-galur ini tidak dapat

dipandang sebagai bakteri yang sukar dipelihara. Ciri peracunan makanan stafilocokus yang sangat menonjol adalah diare yang hebat, muntah-muntah dan sakit perut, sedangkan bantuan yang menonjol adalah masa inkubasinya yang pendek sekitar 2 sampai 4 jam.

b) *Bacillus cereus*

Organisme ini adalah batang besar gram positif yang membentuk spora dan merupakan salah satu anggota suku Bacillaceae saprofit yang paling sering terdapat dimana-mana. Apabila makanan yang di dalamnya terdapat organisme ini, selama 24 jam terjadi rasa sakit perut yang hebat dan diare beberapa jam setelah termakan. Ditemukan di dalam tanah dan pada makanan mentah dan kering, mencakup beras yang belum dimasak.

c) *Clostridium botulinum*

C. botulinum, batang gram positif yang besar dalam suku Bacillaceae, adalah jasad etiologi peracunan makanan yang sangat fatal dan biasanya terjadi setelah menelan eksotoksin yang terbentuk sebelumnya yang dihasilkan oleh organisme ini sewaktu tumbuh dalam makanan.

d) *Epidemiologi botulisme*

Tersebar dalam tanah, pada dasar danau dan pada vegetasi yang membusuk, begitu banyak makanan, sayuran dan daging, terkontaminasi dengan organisme ini. Banyak hewan mati setiap tahun setelah menelan butiran-butiran yang terfermentasi.

e) *Patogenis botulisme*

Gejala pada manusia biasanya mulai setelah masa inkubasi 18 sampai 36 jam dan mencakup mual dan muntah-muntah di samping penglihatan ganda, kesulitan menelan dan beberapa kelumpuhan otot.

f) *Diagnosis botulisme*

Setelah orang memperlihatkan gejala botulisme, mungkin dalam darahnya masih beredar toksin bebas. Mencit sangat peka terhadap toksin ini.

Pencegahan dan pengendalian botulisme

Tidak seperti endospora organisme ini, toksin botulisme sangat labil terhadap suhu. Jadi sayuran kalengan rumahan harus dimasak selama 15 menit sebelum

dihidangkan. Perlakuan semacam itu akan menginaktivasi toksin yang mungkin ada.

Peracunan makanan disebabkan oleh elaborasi eksotoksin bakteri selama pertumbuhannya dalam makanan yang terkontaminasi. Tipe peracunan makanan yang agak berbeda, kadang-kadang disebut infeksi makanan, yang disebabkan oleh efek racun sel bakteri yang ditelan.

Banyak bakteri saprofitik yang hidup pada bahan makanan dan dapat merusak serta meracuni bahan makanan tersebut. Akibat aktivitas tersebut, tidak sedikit kerugian yang ditimbulkannya. Berikut ini beberapa contoh bakteri perusak bahan makanan, yaitu:

- ❖ *Pseudomonas cocovenenans* penghasil asam bongkrek pada tempe bongkrek.
- ❖ *Clostridium botulinum* penghasil toksin pada makanan dan minuman kaleng. Erwinia, *Bacillus* dan
- ❖ *Clostridium* bersifat pektolitik yang menyebabkan busuk air atau busuk lunak (soft rot) pada sayuran dan buah- buahan dan juga dapat menyebabkan hilangnya kemampuan membentuk gel pada sari buah.
- ❖ *Alcaligenes viscolactis* dan *Enterobacter aerogenes* menyebabkan pelendiran pada susu.
- ❖ *Lactobacillus plantarum* menyebabkan pelendiran pada produk buah- buahan, sayuran, cider, sauerkraut, dan bir.

1. Virus memiliki struktur yang sangat berbeda dibandingkan organisme lain oleh karena itu dikelompokkan ke dalam satu sistem yang paling sederhana dari seluruh sistem genetika.
2. Struktur virus terdiri dari gabungan kapsomer yang membentuk lapisan pembungkus DNA atau RNA yang disebut kapsid, struktur tambahan lainnya adalah selubung protein yang menyelubungi kapsid.
3. Ukuran virus ada yang lebih kecil dari ribosom, yaitu sekitar 20 nm dengan jumlah gen virus yang paling besar berukuran 80 nm, yaitu virus ebola. Oleh karena itu, virus hanya dapat diamati dengan mikroskop elektron.
4. Virus hanya dapat menginfeksi sel-sel tertentu saja. Dalam dunia virus berlaku kesesuaian “lock and key” antara protein bagian luar virus dengan molekul reseptor spesifik pada permukaan sel inang.
5. Virus berkembang biak melalui dua mekanisme, yaitu siklus litik dan siklus lisogenik.
6. Virus sangat berbahaya karena mudah sekali bermutasi menjadi lebih ganas dan penyebarannya sangat mudah, sehingga dapat menyebabkan epidemi penyakit.
7. Virus juga dapat bermanfaat karena dapat mengawetkan makanan, produksi insulin, dan pembuatan vaksin yang dapat menyelamatkan banyak nyawa manusia, hewan serta tumbuhan.

Daftar Referensi

- Dwidjoseputo. (2003). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Djambatan. Jakarta.
- Gray ND dan Head IM. (2005). *Microorganisms and Earth Systems; Advances in Geomicrobiology*. Cambridge University Press. p. 42. ISBN 0-521-86222-1.
- Madigan MT; Martinko JM, Dunlap PV, Clark DP. (2009). *Brock Biology of Microorganisms Twelfth Edition*. Pearson Benjamin Cummings. pp. 480–481.
- Maier RM, Pepper IL, Gerba CP. (2009). *Environmental Microbiology, 2nd Edition*. Elsevier. p. 91. ISBN 978-0-12-370519-8.
- Shrieve DC, Loeffler JS. (2010). *Human Radiation Injury*. p.105. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. ISBN 978-1-60547-011-5.
- Pelczar, M. J. (2006). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Jakarta: UI-Press.

4.8 Soal Latihan Pilihan Ganda

- Kandungan spesifik dinding sel bakteri adalah
 - Peptidoglikan
 - Selulosa
 - Kitin
 - Lignin
 - Pectin
- Bakteri dapat hidup pada berbagai macam habitat. Jika keadaan lingkungan tidak sesuai, maka bakteri akan membentuk ...
 - selaput lendir
 - kapsid
 - endospora
 - flagella
 - hifa
- Bakteri aerob yang hidup dalam tanah dan mampu mengoksidasi amoniak menjadi senyawa nitrit atau nitrat adalah
 - Azotobacter sp.*
 - Nitrosomonas sp.*
 - Clostridium sp.*
 - Nitrobacter sp.*
 - Rhizobium sp.*
- Bakteri bersifat prokariotik artinya
 - Tidak mempunyai inti
 - Mempunyai inti banyak
 - Mempunyai bahan inti dan membran inti
 - Mempunyai bahan inti tapi tidak mempunyai membran inti
 - Mempunyai membran inti tapi tidak mempunyai bahan inti
- Penyebab penyakit surra pada ternak adalah.....
 - Trypanosoma evansi*
 - Trypanosoma cruzi*
 - Leishmania donovani*
 - Trypanosoma rhodesiense*
 - Leishmania brasiliensis*
- Bakteri yang memiliki flagela di kedua sisi tubuhnya dikelompokkan kedalam bakteri....
 - Monotrik
 - Ampitrik
 - Eksotrik
 - Peritrik
 - Lopotrik
- Bakteri mempunyai plasmid yang merupakan
 - Enzim
 - Polinukleotida
 - Lemak
 - Protein
 - RNA

8. Penyakit yang disebabkan oleh bakteri berbentuk vibriion adalah
 - a. Tifus
 - b. Kolera
 - c. Lepra
 - d. TBC
 - e. Radang paru-paru
9. Spora pada bakteri berfungsi untuk
 - a. alat reproduksi
 - b. bakal individu baru
 - c. alat pertahanan diri
 - d. alat pencernaan
 - e. alat bergerak
10. Bakteri yang berbentuk seperti koma dan mempunyai bulu cambuk disebut:
 - a. basil
 - b. vibriion
 - c. spiril
 - d. kokus
 - e. streptokokus

Soal Essay

1. Deskripsikan perbedaan struktur bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif, tunjukkan perbedaan yang mendasar antara keduanya!
2. Apa fungsi antibiotik? Mengapa dapat terjadi resistensi Antibiotik pada beberapa bakteri patogen jelaskan!
3. Jika suatu sel bakteri membelah diri dalam tempo setiap 20 menit. Berapakah jumlah sel bakteri setelah disimpan selama 2 jam
4. Mengapa air susu yang difermentasi oleh bakteri akan menjadi asam dan mengental?
5. Antibiotik sejenis Penicillin dikenal efektif membunuh bakteri Gram-positive. Namun kebanyakan bakteri Gram negatif lebih resisten dari antibiotik ini dan beberapa bakteri Gram positif yang patogen pada manusia seperti *Staphylococcus aureus* juga resisten terhadap antibiotik penicillin. Mengapa hal ini bisa terjadi? Jelaskan!
6. Apa fungsi antibiotik? Mengapa dapat terjadi resistensi Antibiotik pada beberapa bakteri patogen jelaskan!

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai konsep virus, ciri-ciri virus, pengelompokan virus, virus pada tumbuhan dan hewan serta manusia.
CPMK	Mahasiswa mampu menjelaskan ciri-ciri virus, struktur dan reproduksi virus serta pengelompokan virus.
Sub-CPMK	Mahasiswa dapat : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menyebutkan ciri-ciri virus ▪ Menjelaskan struktur virus ▪ Menjelaskan fungsi organela pada virus ▪ Mengklasifikasikan kelompok virus ▪ Memberikan contoh virus yang merugikan dan menguntungkan ▪ Mengetahui perkembangan virus ▪ Mengetahui penyebaran dan pencegahan virus

4.1 Pendahuluan

Virus berasal dari kata *virion* (Bahasa latin) yang berarti racun. Ilmu yang mempelajari tentang virus disebut Virologi.. Hampir semua virus dapat menimbulkan penyakit pada organisme lain. Saat ini virus adalah makhluk yang berukuran paling kecil. Virus hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron dan lolos dari saringan bakteri (bakteri filter).

D. Iwanowsky (1892) dan M. Beyerinck (1897) adalah ilmuwan yang menemukan virus, yaitu pada waktu keduanya meneliti penyakit mozaik daun tembakau. Kemudian W. M. Stanley (1935) seorang ilmuwan Amerika melakukan penelitian lebih lanjut dan berhasil mengkristalkan virus penyebab penyakit mozaik daun tembakau (virus TVM). Beliau juga menunjukkan bahwa virus mengandung protein dan asam nukleat.

4.2 Struktur Tubuh

Virus ukurannya sangat kecil dan dapat diketahui melalui saringan (filter) bakteri. Ukuran virus umumnya 0,01- 0,1 μ . Tubuhnya masih belum dapat disebut sebagai sel, hanya tersusun dari selubung protein di bagian luar dan asam nukleat (ARN & ADN) di bagian dalamnya. Berdasarkan asam nukleat yang terdapat pada

virus, kita mengenal virus Asam deoksiribonukleat (DNA) dan Asam ribonukleat (RNA). Virus tidak memiliki organel – organel metabolik seperti ribosom, sitoplasma dan membrane sel. Karenanya virus tidak dapat melakukan sintesis protein dan membentuk ATP seperti makhluk hidup lainnya. Tetapi virus dapat dikristalkan seperti benda mati, dengan kondisi seperti ini maka virus dapat dikatakan berada di perbatasan makhluk hidup dan benda mati.

Virus memiliki sifat-sifat khas dan tidak merupakan jasad yang dapat berdiri sendiri. Virus memperbanyak diri dalam sel inang dan menyebabkan sel-sel itu mati. Virus dianggap sebagai *parasit obligat intraseluler* karena keterbatasan hidupnya yang hanya dapat memperbanyak diri didalam sel – sel hidup dan menyebabkan penyakit. Di dalam inangnya virus bersifat mematikan atau menyebabkan ADN inang menjadi tidak aktif. Kemudian virus menggunakan ADN atau ARN nya sendiri untuk menginteruksi sel – sel inang dan membuat salinan-salinan baru dari virus. Sel inang yang dimaksud adalah sel hidup apa saja, bias sel manusia, hewan, tumbuhan, atau mikroorganisme lain. Sel jasad yang ditumpangi virus akan mempengaruhi sel-sel sehat yang ada didekatnya, dan karenanya dapat mengganggu seluruh aktivitas kompleks sel (misalnya herpes pada kulit, becak-becak daun, becak-becak nekrotik dan sebagainya). Bahan-bahan yang diperlukan untuk membentuk bagian tubuh virus baru, berasal dari sitoplasma sel yang diinfeksi. Suatu virion terdiri atas bahan genetik (RNA atau DNA) yang diselubungi oleh selubung protein. Selubung protein ini disebut kapsid. Asan nukleat yang diselubungi kapsid disebut nukleokapsid. Nukleokapsid ada yang tanpa membrane atau telanjang misalnya pada TMV (*Tobacco Mozaik Virus*) yang menyebabkan penyakit becak daun, Adenovirus serta virus kutil (Warzervirus) dan diselubungi oleh membran pembungkus misalnya pada virus influenza, virus herpes.

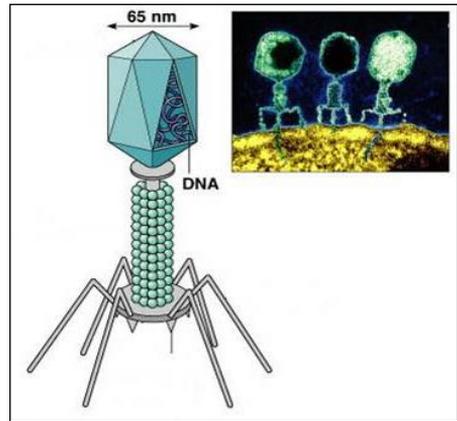
Beberapa jenis virus memiliki unsur tambahan yang membantunya menginfeksi inang. Virus pada hewan memiliki selubung virus, yaitu membran menyelubungi kapsid. Selubung ini mengandung fosfolipid dan protein dari sel inang, tetapi juga mengandung protein dan glikoprotein yang berasal dari virus. Selain protein selubung dan protein kapsid, virus juga membawa beberapa molekul enzim di dalam kapsidnya. Ada pula beberapa jenis bakteriofag yang memiliki ekor protein yang melekat pada "kepala" kapsid. Serabut-serabut ekor tersebut digunakan oleh fag untuk menempel pada suatu bakteri. Partikel lengkap virus disebut virion. Virion berfungsi sebagai alat transportasi gen, sedangkan komponen selubung dan kapsid bertanggung jawab dalam mekanisme penginfeksi sel inang.

Virus memiliki dua bagian utama yaitu:

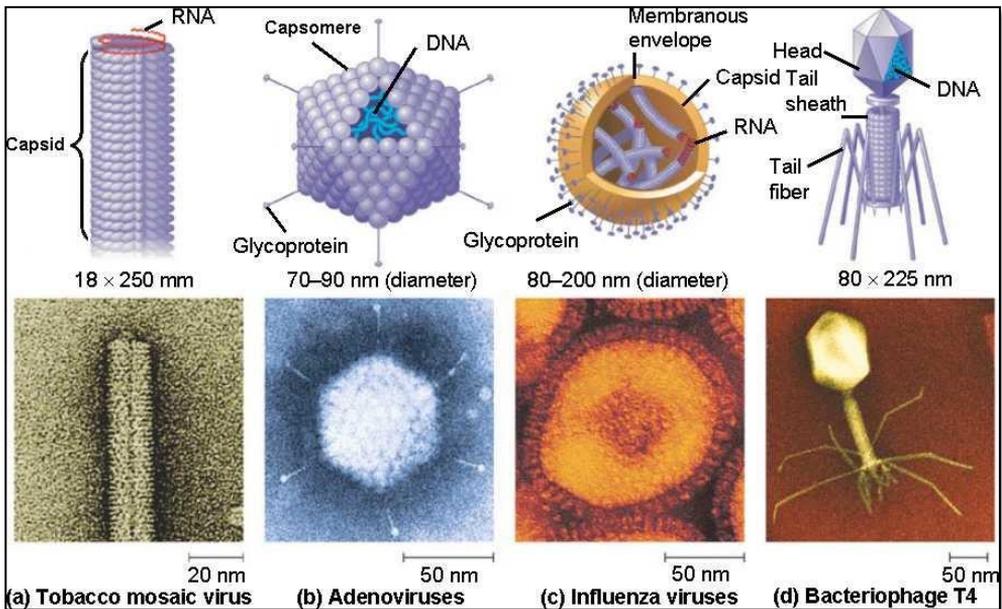
1. Bagian dalam yang terdiri atas materi genetik
2. Bagaian luar yang terdiri atas selubung protein atau biasa disebut dengan kapsid.

Kapsid terdiri atas bagian-bagian yang disebut kapsomer (misalnya pada TMV dapat terdiri atas satu rangkaian polipeptida, atau dapat terdiri atas protein monomer yang identik yang masing-masing terdiri atas rantai polipeptida). Pada umumnya kapsid tersusun simetris. Pada TMV (suatu virus yang berbentuk batang) kapsomernya tersusun dalam bentuk anak tangga uliran spiral. Bentuk dasar virus adalah yang bulat, silindris, kubus, polihedral, seperti huruf T, dan lain-lain.

Kapsid selain melindungi genom juga berfungsi sebagai pemberi bentuk struktur pada virus sehingga dikenal beberapa bentuk virus, misalnya berbentuk batang, berbentuk polyhedral maupun berbentuk huruf T. Pada beberapa virus diketahui memiliki selubung paling luar yang disebut sampul. Sampul ini tersusun atas bahan lipoprotein yaitu suatu derivat dari permukaan membran sel inang, fungsinya untuk membantuk virus menginfeksi inangnya.



Gambar 4.1. Struktur dasar virus fage



Gambar 4.2. Beberapa contoh bentuk dan jenis virus

4.3 Reproduksi Virus

Reproduksi virus sering disebut dengan replikasi/sintesa protein virus, dimana protein adalah materi genetik dasar yang menunjukkan kehidupan. Ketika melakukan replikasi virus mengambil alih metabolisme inangnya dan digunakan untuk membentuk materi genetik virus, virus memanfaatkan enzim, ribosom dan nutrient sel inang untuk menduplikat materi genetik dan protein kapsid. Kemudian terbentuk sejumlah besar virion – virion salinan dan meninggalkan sel inang untuk menginfeksi inang – inang yang lain. Faga atau fage adalah jenis virus yang paling dipahami dibandingkan jenis-jenis virus lainnya, walaupun beberapa faga ini memiliki struktur yang kompleks. Penelitian pada faga ini menghasilkan penemuan bahwa beberapa virus DNA untai ganda yang dapat bereproduksi dengan menggunakan dua mekanisme alternatif, yaitu siklus litik/lisis dan siklus lisogenik.

1. Siklus Litik

Siklus litik atau lisis adalah siklus reproduksi atau replikasi genom virus yang pada akhirnya menyebabkan kematian sel inang. Istilah lisis mengacu pada tahapan akhir dari infeksi, yaitu saat sel inang bakteri lisis atau pecah dan melepaskan faga yang dihasilkan di dalam sel inang tersebut. Virus yang hanya

dapat bereplikasi melalui siklus lisis disebut dengan virus virulen. Setiap siklus litik dalam prosesnya membutuhkan waktu dari 10-60 menit. Replikasi terjadi dalam lima tahapan yaitu tahap pelekatan, penetrasi, sintesis, pematangan dan pelepasan. Tahap-tahap replikasi fage adalah sebagai berikut:

a) Tahap pelekatan (adsorpsi)

Pada tahap ini fage menempel pada reseptor atau bagian tertentu dari permukaan bakteri.

b) Tahap penetrasi

Fage melepas enzim untuk melubangi dinding sel bakteri. Selanjutnya fage menginjeksikan ADN bakteri.

c) Tahap sintesis

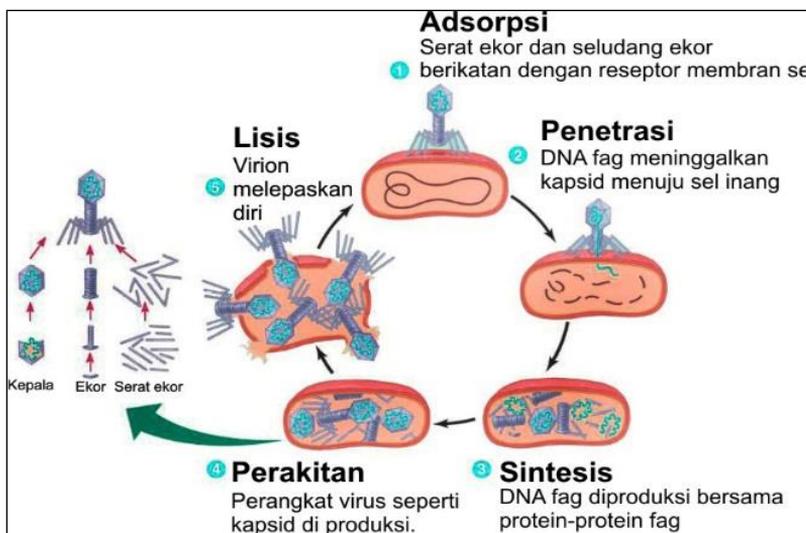
Tahap dimana genom fage secara penuh mengendalikan sel dengan cara mengambil alih system metabolisme dengan tujuan untuk menghasilkan berbagai komponen fage. Fage membuat duplikat genomnya (replikasi ADN) dan salinan protein kapsid.

d) Tahap pematangan

Pada tahap ini terjadi akumulasi antara ADN fage dan kapsid dan menghasilkan ratusan partikel virus (virion). Fage juga memproduksi enzim yang dapat digunakan untuk merusak dinding sel bakteri.

e) Tahap pelepasan

Pada tahap ini dinding sel inang rusak sehingga sel inang pecah (lisis). Kemudian partikel – partikel fage lepas dan sel inangnya mati.



Gambar 4.3. Siklus litik virus

2. Siklus Lisogenik

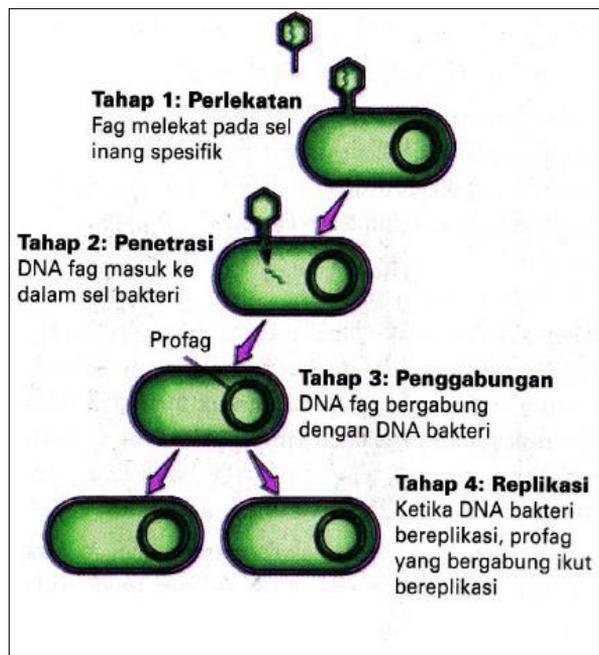
Siklus lisogenik merupakan siklus replikasi genom virus tanpa menghancurkan sel inang, dengan kata lain faga berintegrasi ke dalam kromosom bakteri, integrasi ini disebut *profaga*. Istilah lisogenik mengimplikasikan bahwa profaga pada kondisi tertentu dapat menghasilkan faga aktif yang melisis inangnya dikarenakan adanya pemicu dari lingkungan seperti radiasi atau adanya beberapa zat kimia tertentu. Hal inilah yang menyebabkan virus mengubah mekanisme reproduksi dari cara lisogenik menjadi cara lisis. Pada siklus ini, replikasi fage tidak langsung menghasilkan virus baru. Fage mengalami kondisi tidak aktif dalam melakukan replikasi (masa laten). Selama siklus lisogenik sel inang tidak mengalami lisis (mati).

Seperti halnya pada siklus litik, pada siklus ini juga terjadi melalui beberapa tahap yang beberapa diantaranya sama dengan siklus litik yaitu tahap pelekatan (adsorpsi), penetrasi, sintesis, pematangan dan pelepasan. Pada siklus lisogenik ini terdapat tahap tersendiri yang disebut tahap penggabungan. Tahap penggabungan adalah tahapan dimana terjadi penggabungan (penyisipan) ADN virus yang menyisip pada ADN bakteri, tanpa harus merusak ADN inang. ADN virus yang disisipkan merupakan ADN profage (ADN tidak aktif).

Pada saat bakteri melakukan proses reproduksi dengan membelah diri, ADN bakteri akan membentuk salinan dengan cara replikasi. Ketika proses ini terjadi bakteri membentuk ADN nya sendiri dan salinan profage. Hal ini menyebabkan setiap hasil dari reproduksi bakteri ini akan mengandung ADN bakteri dan ADN virus. Semua sel anakan disebut sel lisogenik.

4.4 Klasifikasi Virus

Klasifikasi dan penamaan virus telah dirintis sejak 1966 oleh *International Commitee on*



Gambar 4.4. Siklus lisogenik virus

Taxonomy of Viruses (ICTV) dan terpisah dari klasifikasi makhluk hidup. Taksonomi virus terdiri atas empat tingkat, yaitu ordo, famili, genus, dan spesies. Virus dapat diklasifikasi menurut morfologi, tropisme dan cara penyebaran, dan genomik fungsional.

1. Klasifikasi virus berdasarkan morfologi

Berdasarkan morfologi, virus dibagi berdasarkan jenis asam nukleat dan juga protein membran terluarnya (sampul) menjadi 4 kelompok, yaitu:

- a) Virus RNA
- b) Virus DNA
- c) Virus berselubung
- d) Virus tidak berselubung

Virus hanya mengandung satu jenis asam nukleat yaitu DNA atau RNA saja. Ribovirus, yaitu virus yang asam nukleatnya berupa RNA. Contoh virus yang termasuk kelompok ribovirus :

- Virus toga (penyebab demam kuning dan ensefalitis);
- Virus arena (penyebab meningitis);
- Virus picorna (penyebab polio);
- Virus orthomyxo (penyebab influenza);
- Virus paramyxo (penyebab pes pada ternak);
- Virus rhabdo (penyebab rabies);
- Virus hepatitis (penyebab hepatitis pada manusia);
- Retrovirus (dapat menyebabkan aids).

Virus RNA merupakan virus yang memiliki materi genetik berupa RNA, kelompok yang tergolong dalam kelompok ini adalah virus kelas III hingga VI. Beberapa contoh familia virus yang termasuk ke dalam kelompok ini adalah Retroviridae, Picornaviridae, Orthomixoviridae, dan Arbovirus.

Virus DNA merupakan virus yang memiliki materi genetik berupa DNA, kelompok yang tergolong dalam kelompok ini adalah virus kelas I, II, VII. Beberapa contoh familia virus yang termasuk ke dalam kelompok ini adalah Herpesviridae, Parvoviridae, dan Poxviridae. Contoh virus jenis deoksiribovirus:

- virus herpes (penyebab herpes);
- virus pox (penyebab kanker seperti leukemia dan limfoma, ada pula yang menyebabkan AIDS);
- virus mozaik (penyebab bercak-bercak pada daun tembakau);
- virus papova (penyebab kutil pada manusia/papiloma).

2. Klasifikasi virus berdasarkan genomik fungsional

Genomik fungsional atau *Functional genomics* merupakan suatu studi tentang gen secara mendalam yang berkaitan erat dengan pemetaan gen, sekuesing dan analisis. Klasifikasi virus berdasarkan Genomik fungsional adalah klasifikasi yang didasarkan pada susunan DNA atau RNA virus secara lebih spesifik. Klasifikasi virus berdasarkan genomik fungsional disebut juga dengan klasifikasi Baltimore.

Berdasarkan fungsi genomnya, virus di klasifikan menjadi 7 kelompok, yaitu:

- Virus Tipe I = DNA utas ganda, contoh: *Adenovirus*, *Hepadnavirus*, *Virus Herpes*, *Pox Virus*.
- Virus Tipe II = DNA utas tunggal, contoh: Papovavirus, Parvovirus
- Virus Tipe III = RNA utas ganda
- Virus Tipe IV = RNA utas tunggal (+), contoh: *Picornavirus*, *Calcivirus*, *Flavivirus*.
- Virus Tipe V = RNA utas tunggal (-), contoh: *Coronavirus*.
- Virus Tipe VI = RNA utas tunggal (+) dengan DNA perantara
- Virus Tipe VII = DNA utas ganda dengan RNA perantara

3. Klasifikasi virus berdasarkan tropisme dan cara penyebaran

Tropisme virus adalah kemampuan interaksi struktur permukaan virus terhadap reseptor permukaan sel inang. Beberapa virus memiliki tropisme jaringan yang luas dan dapat menginfeksi berbagai jenis sel dan jaringan. Virus lainnya dapat menginfeksi terutama jaringan tunggal. Misalnya virus rabies mempengaruhi jaringan terutama saraf.

Cara penyebaran virus juga beragam. Virus menyebar dalam berbagai cara, dapat melalui sentuhan, gigitan hewan, batuk dan bersin, cairan tubuh, makanan atau minuman, hubungan seksual, paparan darah terinfeksi, dan lain sebagainya. Virus mempunyai kemampuan untuk menginfeksi banyak spesies. Dengan mencegah penyebarannya, maka kemungkinan terinfeksi virus menjadi sangat kecil.

Berdasarkan tropisme dan cara penyebaran, virus dibagi menjadi:

- *Virus Enterik*, yaitu virus yang menginfeksi saluran pencernaan atau usus. Parahnya, virus jenis ini juga dapat menyebar menyerang organ tubuh lain. Contohnya adalah virus dari genus polioviruses, coxsackieviruses, dan echoviruses.

- *Virus Respirasi*, adalah virus yang menginfeksi saluran pernafasan. Contohnya adalah virus dari genus pneumovirus.
- *Arbovirus*, adalah istilah yang digunakan untuk sekelompok virus yang ditularkan oleh vektor arthropoda atau nyamuk. Contohnya malaria, dengue, dll.
- *Virus onkogenik*, adalah sejenis virus yang bersifat karsinogenik dan menyebabkan kanker pada hewan dan manusia. Contohnya papillomaviruses, virus Epstein-Barr, dll.

Hepatitis virus adalah sejenis virus yang menginfeksi hati. Contohnya virus hepatitis A, B, C, D, dan E.

4.5 Peranan Virus

Virus sangat dikenal sebagai penyebab penyakit infeksi pada manusia, hewan, dan tumbuhan. Tiap virus secara khusus menyerang sel-sel tertentu dari inangnya. Namun ada beberapa virus yang menguntungkan seperti pembuat antitoksin, melemahkan bakteri pathogen dan memproduksi vaksin.

1. Pembuatan Antitoksin

Antitoksin dapat dibuat dengan menggabungkan DNA virus dan gen yang mempunyai sifat menguntungkan sehingga jika virus menginfeksi bakteri, di dalam sel bakteri tersebut terkandung gen yang menguntungkan. Gen manusia adalah gen yang menguntungkan yang dapat mengendalikan produksi antitoksin. Jika oleh DNA virus, DNA manusia disambungkan dengan DNA bakteri, sel bakteri tersebut akan mengandung gen manusia penghasil antitoksin.

2. Melemahkan Bakteri

Virus yang menyerang bakteri patogen merupakan virus yang menguntungkan. Jika DNA virus lisogenik menginfeksi DNA bakteri patogen, bakteri tersebut menjadi melemah atau tidak berbahaya.

3. Memproduksi Vaksin

Vaksin digunakan manusia untuk memperoleh kekebalan tubuh/antibodi. Vaksin ini sebenarnya merupakan bibit penyakit yang telah dilemahkan dan apabila menyerang manusia tidak akan berbahaya lagi.

Peran virus yang merugikan, penyakit-penyakit yang disebabkan virus antara lain:

1. Pada Tumbuh-tumbuhan

- Mozaik pada kentang Potato Mozaic Virus
- Mozaik pada tomat Tomato Aucuba Mozaic Virus

- Mozaik, ditandai bercak kuning pada tembakau. Disebabkan oleh TMV (*Tobacco Mozaic Virus*)
- CVPD (*Citrus Vein Phloem Degeneration*) penyebab penyakit pada jeruk, yang menyebabkan rusaknya pembuluh angkut (floem).
- Tungro, penyebab penyakit kerdil pada tanaman padi. Vektornya adalah wereng hijau dan wereng cokelat

2. Pada Hewan

- Flu Burung
Disebabkan oleh Virus Avian influenza (H5N1), Virus Avian influenza umumnya menyerang unggas, tetapi dapat pula menyerang burung-burung, hewan, bahkan manusia. Cara mencegah meluasnya penularan flu burung ke manusia, yaitu dengan tindakan pemusnahan (*depopulasi*) terhadap unggas yang terinfeksi virus flu burung. Tetelo pada Unggas.
- Rabies (Anjing Gila)
Penyebab rabies adalah Rabdovirus. Rabies atau penyakit anjing gila disebabkan oleh virus rabies yang menyerang sistem saraf pusat penderita. Virus rabies dapat menginfeksi semua hewan berdarah panas, seperti anjing, serigala, dan kucing. Penularannya dapat melalui gigitan dari hewan yang telah terinfeksi. Masa inkubasinya adalah 10 – 14 hari. Virus rabies juga dapat menginfeksi manusia. Gejala yang ditimbulkan adalah hirdopobia (takut air), sakit kepala, tertawa tanpa sebab, lesu, demam, gugup, dan lumpuh. Pengobatan penyakit rabies dapat dilakukan dengan pemberian vaksin rabies.

3. Penyakit pada Manusia

- AIDS (*Acquired Immune Deficiency Syndrome*)
AIDS adalah penyakit yang menyebabkan menurunnya kekebalan tubuh. Penyakit ini disebabkan oleh virus HIV (*Human Immunodeficiency Virus*). Penyakit itu dapat ditularkan melalui kontak biasa seperti melauli luka-luka di kulit, selaput lendir, hubungan seksual, transfusi darah, penggunaan jarum suntik yang tidak steril, dari ibu yang menderita penyakit AIDS kepada anak yang sedang dikandungnya. Hingga kini belum ada vaksin untuk mencegah penyakit AIDS

- Hepatitis (Pembengkakan Hati)

Disebabkan oleh virus hepatitis. Ada tiga tipe hepatitis, yaitu hepatitis A, hepatitis B, dan hepatitis C. Gejala-gejalanya: demam, mual, muntah-muntah, perubahan warna kulit dan selaput lendir berwarna kuning. Hepatitis A cenderung menimbulkan hepatitis akut, hepatitis B cenderung menimbulkan kronis, hepatitis C cenderung beresiko menderita kanker hati. Penularannya melalui minuman yang terkontaminasi virus, jarum suntik yang tidak steril, dan transfusi darah.

Rangkuman

1. Virus memiliki struktur yang sangat berbeda dibandingkan organisme lain oleh karena itu dikelompokkan ke dalam satu sistem yang paling sederhana dari seluruh sistem genetika.
2. Struktur virus terdiri dari gabungan kapsomer yang membentuk lapisan pembungkus DNA atau RNA yang disebut kapsid, struktur tambahan lainnya adalah selubung protein yang menyelubungi kapsid.
3. Ukuran virus ada yang lebih kecil dari ribosom, yaitu sekitar 20 nm dengan jumlah gen virus yang paling besar berukuran 80 nm, yaitu virus ebola. Oleh karena itu, virus hanya dapat diamati dengan mikroskop elektron.
4. Virus hanya dapat menginfeksi sel-sel tertentu saja. Dalam dunia virus berlaku kesesuaian “*lock and key*” antara protein bagian luar virus dengan molekul reseptor spesifik pada permukaan sel inang.
5. Virus berkembang biak melalui dua mekanisme, yaitu siklus litik dan siklus lisogenik.
6. Virus sangat berbahaya karena mudah sekali bermutasi menjadi lebih ganas dan penyebarannya sangat mudah, sehingga dapat menyebabkan epidemi penyakit.
7. Virus juga dapat bermanfaat karena dapat mengawetkan makanan,

Daftar Referensi

- Akin, H.M. (2005). *Virologi Tumbuhan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Bruce Alberts, Alexander Johnson, Julian Lewis, Martin Raff, Keith Roberts, and Peter Walter. (2007). *Molecular Biology of the Cell*. ISBN 978-0-8153-4105-5.
- Cheng, H.; Hammar, L. (2004). *Cellular Microbiology*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., ISBN 981-238-614-9.
- Cossart, P. 2005. *Cellular Microbiology*. Washington DC: American Society for Microbiology Press, ISBN 1-55581-302-X.
- Crowley, LV. (2010). *An Introduction to Human Disease: Pathology and Pathophysiology*. Sudburry: Jones and Bartlett Publishers, ISBN 978-0-7637-6591-0.
- Mahy, BWJ., Van Regenmortel, MHW. (2010). *Desk Encyclopedia of General Virology*. San Diego: Elsevier. ISBN 978-0-12-375145-1
- Rapley, R. (2005). *Medical Biomedical Handbook*. New Jersey: Humana Press, ISBN 978-1-58829-288-9.
- Wagner. (2008). *Basic Virology*. Australia: Blackwell Publishing, ISBN 2007019839.

4.6 Soal Latihan Pilihan Ganda

1. Seorang ilmuwan bernama menyimpulkan bahwa partikel yang menyerang tembakau tersebut sangat kecil dan hanya dapat hidup pada makhluk hidup yang diserangnya. Akan tetapi teori ini belum berhasil menemukan struktur dan jenis partikel ini.
 - a. Wendell Stanley
 - b. Martinus Beijerinck
 - c. Antony van Leewenhoek
 - d. Dmitri Ivanovski
 - e. Adolf mayer
2. Virus akan menghancurkan sel induk setelah melakukan reproduksi. Pernyataan diatas termasuk dalam infeksi secara ...
 - a. Litik
 - b. Lisogenik
 - c. Fase absorpsi dan infeksi
 - d. Fase penggabungan
 - e. Replikasi
3. Setelah dinding sel terhidrolis (rusak) maka DNA fag masuk ke dalam sel bakteri disebut fase ...
 - a. Fase penetrasi
 - b. Fase absorpsi
 - c. Fase perakitan
 - d. Fase pembebasan
 - e. Fase replikasi dan sintesis.
4. Avian Influenza A (H5NI) penyebab penyakit
 - a. Penyebab tumor pada hewan
 - b. Penyebab rabies
 - c. AIDS
 - d. Penyebab penyakit flu burung
 - e. Penyebab penyakit polio
5. Dari kelompok penyakit ini, yang disebabkan oleh virus adalah
 - a. Cacar, trakom, tifus, influenza
 - b. Influenza, cacar, rabies, polio
 - c. Influenza, kolera, demam berdarah, TBC
 - d. Campak, radang paru-paru, polio, cacar
 - e. Influenza, kolera, demam berdarah, polio
6. Contoh dari Nukleokapsid yang telanjang, *kecuali* ...
 - a. TMV
 - b. Adenovirus
 - c. Virus kutil
 - d. Virus influenza
 - e. Wart virus
7. Berikut ini adalah struktur virus, *kecuali*
 - a. Virus bersifata aseluler
 - b. Virus berukuran lebih kecil dari bakteri
 - c. Virus hanya memiliki RNA dan DNA saja

- d. Bisa di kristalkan
- e. Tubuh tersusun dari asam nukleat
- 8. Penularan penyakit AIDS dapat melalui ...
 - a. Hubungan seksual
 - b. Berjabat tangan
 - c. Saluran pernapasan
 - d. Bersin
 - e. Gigitan nyamuk
- 9. HIV di dalam penderita AIDS mengakibatkan penderita mengalami
 - a. Peningkatan kadar trombosit
 - b. Penurunan kadar trombosit
 - c. Rapuhnya sistem kekebalan
 - d. Menurunnya sistem kekebalan
 - e. Kerusakan hati
- 10. Salah satu sifat dari virus adalah ...
 - a. Inti sel eukariotik
 - b. Inti sel prokariotik
 - c. Sel berbentuk batang
 - d. Tidak memiliki protoplasma
 - e. Sel berbentuk bola

Soal Latihan Essay

1. Jelaskan lima ciri-ciri dari virus!
2. Apakah yang dimaksud dengan genom?
3. Penamaan virus berdasarkan asam nukleat yang dikandungnya sehingga ada yang dikelompokkan menjadi virus RNA dan virus DNA, berikan tiga contoh sari masing-masing kelompok tersebut!
4. Apakah manfaat virus bagi kehidupan?
5. Pada virus flu burung, apa yang dimaksud dengan virus memiliki kisaran inang? Jelaskan dengan contoh!
6. Jelaskan perbedaan siklus litik dan lisogenik!
7. Jelaskan tiga faktor yang menyebabkan virus dapat menjadi masalah global!
8. Sebutkan dan jelaskan struktur virus!
9. Bagaimanakah agar kita tidak terinfeksi penyakit flu burung?
10. Sebutkan masing-masing empat contoh penyakit yang disebabkan oleh virus pada tanaman, hewan dan manusia!

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai pengelompokan Protista yang meliputi Protozoa, Protophyta, jamur lender. Selain itu dibahas juga mengenai ciri-ciri dari masing-masing kelompok Protista dan peranan Protista bagi manusia.
CPMK	Mahasiswa mampu menjelaskan ciri-ciri protista, struktur dan reproduksi protista serta pengelompokan protista.
Sub-CPMK	Mahasiswa dapat : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menyebutkan ciri-ciri anggota Protista ▪ Menyebutkan struktur dan habitat anggota Protista ▪ Menjelaskan cara reproduksi anggota Protista ▪ Mengklasifikasikan kelompok Protista ▪ Memberikan contoh Protista yang merugikan dan menguntungkan

5.1 Pendahuluan

Kata Protista berasal dari bahasa Yunani, yaitu *protistos* yang berarti “yang paling pertama” atau *protos* yang berarti “pertama”. Disebut demikian sebab organisme ini tadinya dianggap sebagai pelopor pertama kehidupan di muka bumi. Protista diyakini telah ada lebih dari 1,5 miliar tahun yang lalu. Protista sebenarnya merupakan sebuah kingdom yang sudah usang, atau sudah tidak digunakan pada taksonomi modern. Dalam taksonomi modern, kingdom ini dipahami sebagai sebuah kelompok parafiletik (*paraphyletic*), yaitu kelompok yang terdiri dari semua keturunan leluhur terakhir yang sama (*last common ancestor*) dikurangi beberapa sub-kelompok monofiletik (*monophyletic*) dari leluhur tersebut.

Protista adalah mikroorganisme eukariota yang bukan hewan, tumbuhan, atau fungi. Mereka pernah dikelompokkan ke dalam satu kerajaan bernama Protista, namun sekarang tidak dipertahankan lagi. Penggunaannya masih digunakan untuk kepentingan kajian ekologi dan morfologi bagi semua organisme eukariotik bersel tunggal yang hidup secara mandiri atau, jika membentuk koloni, bersama-sama namun tidak menunjukkan diferensiasi menjadi jaringan yang berbeda-beda. Dari sudut pandang taksonomi, pengelompokan ini ditinggalkan karena bersifat parafiletik. Protista hidup di hampir semua lingkungan yang mengandung air. Banyak protista, seperti algae, adalah fotosintetik dan produsen primer vital dalam ekosistem, khususnya di laut sebagai bagian dari plankton. Protista lain, seperti

Kinetoplastid dan Apicomplexa, adalah penyakit berbahaya bagi manusia, seperti malaria dan tripanosomiasis.

Protista pertama kali diusulkan oleh Ernst Haeckel. Secara tradisional, protista digolongkan menjadi beberapa kelompok berdasarkan kesamaannya dengan kerajaan yang lebih tinggi yaitu meliputi Protozoa yang menyerupai hewan bersel satu, Protophyta yang menyerupai tumbuhan (mayoritas algae bersel satu), serta jamur lendir dan jamur air yang menyerupai jamur.

Dulu bakteri juga dianggap sebagai protista dalam sistem tiga kerajaan (Animalia, Plantae termasuk jamur, dan Protista). Namun kemudian bakteri dipisah dari protista setelah diketahui bahwa protista adalah prokariotik.

Berdasarkan cara memperoleh makanan, protista dikelompokkan atas:

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

5.2 Habitat Protista

Protista menyerupai hewan merupakan organisme *kosmopolit* (dapat ditemukan dimana saja). Protista dalam bentuk hidup dapat tinggal pada lingkungan yang lembab, seperti tanah, lumut, dan habitat air. Meskipun demikian, bentuk sista memungkinkan Protista menyerupai hewan untuk bertahan hidup pada lingkungan kering. Banyak spesies Protista menyerupai hewan yang simbiosis (bersimbiosis dengan organisme lain), beberapa adalah parasit, dan yang lainnya adalah predator bakteri, ganggang, dan protista lainnya. Protista umumnya hidup bebas dan terdapat di lautan, lingkungan air tawar, atau daratan. Beberapa spesies bersifat parasitik, hidup pada organisme inang. Inang protista yang bersifat parasit dapat berupa organisme sederhana seperti algae, vertebrata yang kompleks, dan manusia. Beberapa spesies dapat tumbuh di dalam tanah atau pada permukaan tumbuh-

tumbuhan. Semua protista memerlukan kelembaban yang tinggi pada habitat apapun. Beberapa jenis protista laut merupakan bagian dari zooplankton. Spesies yang hidup di air tawar dapat berada di danau, sungai, kolam, atau genangan air. Ada pula protista yang tidak bersifat parasit yang hidup di dalam usus termit atau di dalam rumen hewan ruminansia.

5.3 Klasifikasi Protista

Protista dikelompokkan menjadi tiga kelompok besar:

5.3.1 Protista mirip hewan (Protozoa)

Protozoa berasal dari bahasa Yunani, yaitu *protos* yang berarti pertama dan *zoia* (bentuk jamak dari zoion) yang berarti hewan. Protozoa pada mulanya dianggap sebagai hewan primitif, akan tetapi Protozoa kemudian tidak lagi dianggap sebagai hewan primitif melainkan mikroba eukariotik tingkat tinggi.

Protozoa sering disebut hewan bersel satu (uniseluler). Seluruh kegiatan hidupnya dilakukan oleh sel itu sendiri melalui organel-organel yang ada di dalam sel yang secara fungsi mirip dengan sistem organ pada hewan-hewan bersel banyak (metazoa). Seperti algae, protozoa merupakan kelompok lain yang termasuk Protista eukariotik. Walaupun kadang-kadang antara algae dan protozoa kurang jelas perbedaannya. Beberapa organisme mempunyai sifat antara algae dan protozoa.

Sebagai contoh algae hijau Euglenophyta, selnya berflagela dan merupakan sel tunggal yang berklorofil, tetapi dapat mengalami kehilangan klorofil dan kemampuan untuk berfotosintesa. Semua spesies Euglenophyta yang mampu hidup pada nutrien kompleks tanpa adanya cahaya, beberapa ilmuwan memasukkannya ke dalam filum protozoa. Misalnya strain mutan algae genus *Chlamydomonas* yang tidak berklorofil, dapat dikelaskan sebagai protozoa genus *Polytoma*. Hal ini sebagai contoh bagaimana sulitnya membedakan dengan tegas antara algae dan protozoa. Protozoa dibedakan dari prokariot karena ukurannya yang lebih besar, dan selnya eukariotik. Protozoa dibedakan dari algae karena tidak berklorofil, dibedakan dari jamur karena dapat bergerak aktif dan tidak ber dinding sel, serta dibedakan dari jamur lendir karena tidak dapat membentuk badan buah.

Berikut ini adalah ciri-ciri Protozoa:

- Protozoa merupakan hewan bersel tunggal (uniseluler)
- Bersifat eukariotik/berinti sejati (inti dilindungi oleh membran inti) sehingga substansi genetik/ kromosom terpisah dengan sitoplasma karena ada pembatas membran inti (caryotheca)

- Selnya tidak memiliki dinding sel. namun jika lingkungan kurang baik dapat membentuk lapisan pelindung yang tebal disebut Kista/cysta setelah lingkungan baik kista pecah.
- Ukurannya antara 3 – 1000 mikron merupakan organisme mikroskopis bersifat heterotrof artinya makanan tergantung organisme lain (fagosit, saprofit atau parasit)
- Tempat hidupnya adalah tempat yang basah yang kaya zat organik, air tawar atau air laut
- Bentuk tubuh protozoa berbeda-beda pada fase yang berbeda dalam siklus hidupnya.
- Protozoa memiliki alat gerak bermacam-macam antara lain ada yang berupa kaki semu, bulu getar (cillia) atau bulu cambak (flagel).
- Pada umumnya protozoa berkembangbiak dengan membelah diri / pembelahan biner.

Protozoa dapat ditemukan di mana-mana, seperti lingkungan berair dan tanah, umumnya mampu bertahan pada periode kering sebagai kista (cysta) atau spora, dan termasuk beberapa parasit penting. Berdasarkan pergerakannya, protozoa dikelompokkan menjadi:

- Flagellata yang bergerak dengan flagella (rambut cambuk). Contoh: *Trypanosoma sp.*, *Trichomona sp.*
- Rhizopoda yang bergerak dengan pseudopodia (kaki semu/kaki akar) yaitu yang berarti setiap kali dia akan bergerak harus membentuk kaki semu sebelum dapat bergerak dan pembentukan kaki ini dinamakan fase gel. Contoh: *Amoeba sp.*
- Ciliata yang bergerak dengan silia (rambut getar). Contoh: *Paramecium sp.*
- Sporozoa yang tidak memiliki alat; beberapa mampu membentuk spora. Contoh: *Plasmodium sp.*

a. Morfologi Protozoa

Protozoa merupakan organisme uniseluler yang memiliki struktur sel eukariotik. Karena tubuhnya uniseluler (bersel satu) maka segala aktifitas kehidupan seperti pencernaan, sistem ekskresi, sistem gerak, dan lain-lain, dilakukan pada satu sel tersebut. Tubuh (sel) Protista menyerupai hewan tersusun oleh sitoplasma yang dengan satu nukleus (haploid) atau lebih (diploid). Sitoplasma tersebut dibatasi oleh membran tipis yang disebut pelikel. Pelikel ini

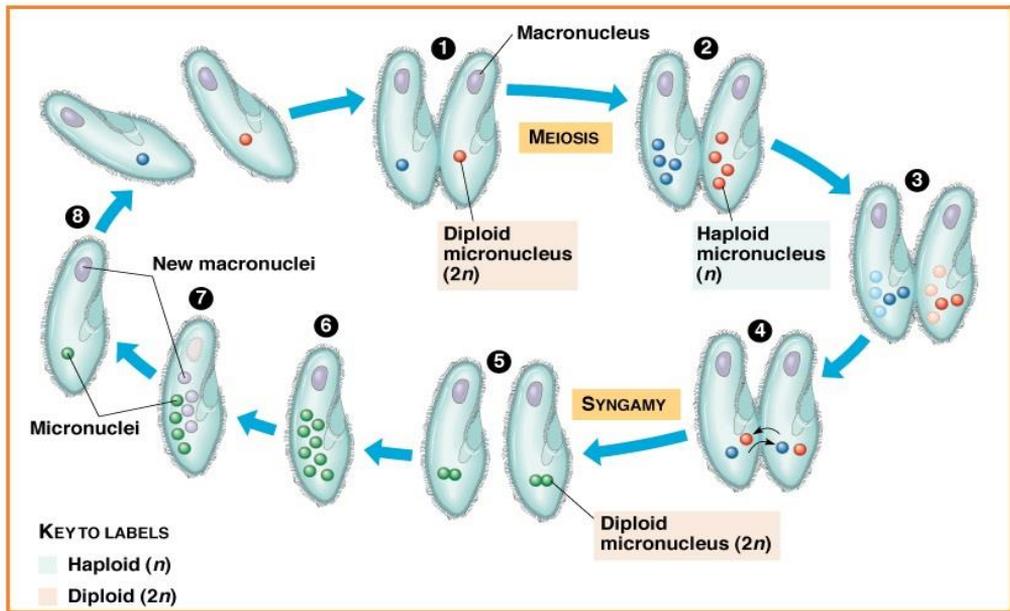
memberikan bentuk pada Protozoa dan juga berfungsi untuk melindungi inti sel dan sitoplasma.

Protozoa tidak mempunyai dinding sel, dan tidak mengandung selulosa atau khitin seperti pada jamur dan algae. Kebanyakan protozoa mempunyai bentuk spesifik, yang ditandai dengan fleksibilitas ektoplasma yang ada dalam membrane sel. Beberapa jenis protozoa seperti Foraminifera mempunyai kerangka luar sangat keras yang tersusun dari Si dan Ca. Beberapa protozoa seperti Diffugia, dapat mengikat partikel mineral untuk membentuk kerangka luar yang keras. Radiolarian dan Heliozoan dapat menghasilkan skeleton. Kerangka luar yang keras ini sering ditemukan dalam bentuk fosil. Kerangka luar Foraminifera tersusun dari CaO_2 sehingga koloninya dalam waktu jutaan tahun dapat membentuk batuan kapur. Semua protozoa mempunyai vakuola kontraktil. Vakuola dapat berperan sebagai pompa untuk mengeluarkan kelebihan air dari sel, atau untuk mengatur tekanan osmosa. Jumlah dan letak vakuola kontraktil berbeda pada setiap spesies.

Protozoa dapat berada dalam bentuk vegetatif (trophozoite), atau bentuk istirahat yang disebut kista. Protozoa pada keadaan yang tidak menguntungkan dapat membentuk kista untuk mempertahankan hidupnya. Saat kista berada pada keadaan yang menguntungkan, maka akan berkecambah menjadi sel vegetatifnya.

b. Reproduksi Protozoa

Protozoa dapat berkembang biak secara seksual dan aseksual. Secara aseksual protozoa dapat mengadakan pembelahan diri menjadi 2 anak sel (biner), tetapi pada Flagelata pembelahan terjadi secara longitudinal dan pada Ciliata secara transversal. Beberapa jenis protozoa membelah diri menjadi banyak sel (schizogony). Pada pembelahan schizogony, inti membelah beberapa kali kemudian diikuti pembelahan sel menjadi banyak sel anakan. Perkembangbiakan secara seksual dapat melalui cara konjugasi, autogami, dan sitogami.



Gambar 5.1 Reproduksi *Flagellata*

Protozoa yang mempunyai habitat atau inang lebih dari satu dapat mempunyai beberapa cara perkembangbiakan. Sebagai contoh spesies *Plasmodium* dapat melakukan schizogony secara aseksual di dalam sel inang manusia, tetapi dalam sel inang nyamuk dapat terjadi perkembangbiakan secara seksual. Protozoa umumnya berada dalam bentuk diploid. Protozoa umumnya mempunyai kemampuan untuk memperbaiki selnya yang rusak atau terpotong. Beberapa Ciliata dapat memperbaiki selnya yang tinggal 10 % dari volume sel asli asalkan inti selnya tetap ada.

c. Klasifikasi Protozoa

Klasifikasi Protozoa berdasarkan alat geraknya. Protozoa dibedakan menjadi 4 yaitu Rhizopoda, Sporozoa, Ciliata, dan Mastigophora.

1) Rhizopoda

- Kebanyakan hidupnya di air tawar dan air laut
- Struktur tubuhnya terdiri atas protoplasma yang dibatasi oleh membran.
- Hewan ini memiliki ciri khusus yaitu alat geraknya yang berupa kaki semu (*pseudopodium*). Kaki semu merupakan penjurulan dari sebagian protoplasma. Geraknya disebut *gerak amoeboid*.
- Berkembangbiak secara vegetatif dengan membelah diri/*pembelahan biner/amitosis*.

- Makanannya diambil dengan cara fagosit dan dicerna pada *vakuola makanan*.
- Alat ekskresinya *vakuola kontraktil* / rongga berdenyut. Vakuola kontraktil juga berfungsi memelihara keseimbangan osmosis sel sehingga mencegah pengembangan di luar batas yang dapat menagkibatkan rhizopoda pecah.
- Pernafasannya dilakukan dengan *difusi* memakai seluruh permukaan tubuhnya.

Contoh spesies kelompok Rhizopoda:

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

2) Sporozoa

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

Reproduksi dengan dua cara yaitu:

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

Contoh-contoh Sporozoa antara lain:

- *Plasmodium vivax*, penyebab penyakit malaria tertiana dengan gejala demam dengan masa sporulasi dalam selang waktu 48 jam.

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

3) Ciliata

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

4) Mastigophora/Flagellata

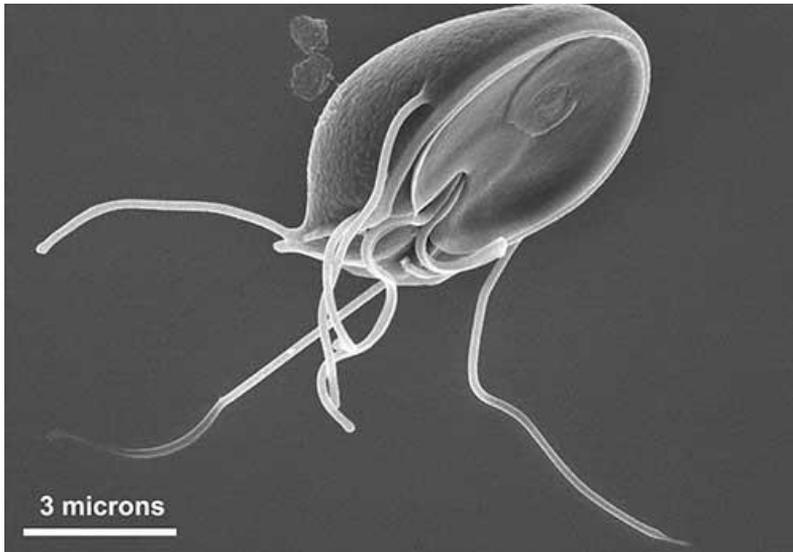
Semua organisme yang tergolong flagellata memiliki flagellum yang berperan sebagai alat gerak. Selain sebagai alat gerak flagellum juga dimanfaatkan membawa masuk makanan ke dalam mulut dan sebagai indera untuk mengetahui keadaan lingkungan.

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

a. Fitoflagellata

- Flagellata yang mampu melakukan fotosintesis karena mempunyai *kromatofora*
- Habitat di perairan bersih dan perairan kotor
- Cara mencerna makanan ada beberapa cara :
 - *holozoik*: memangsa organisme lain lalu mencernanya di dalam tubuhnya
 - *holofitik* : membuat makanan sendiri dari zat anorganik
 - *saprofitik*: mencerna organisme yang telah mati.
- Cara reproduksi aseksual dengan pembelahan biner dan reproduksi seksualnya dengan konjugasi.

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



Gambar 5.2 Contoh bentuk Flagel

b. Zooflagellata/dinoflagellata

- Tidak mempunyai klorofil, sehingga bersifat heterotrof
- Umumnya hidup sebagai parasit pada hewan dan manusia
- Contohnya: *Tripanosoma*, *Leishmania*
- Nama spesies dan penyakit yang ditimbulkan:
 - *Tripanosoma lewisi* parasit pada darah tikus
 - *Tripanosoma cruci* penyebab penyakit cagas (anemia anak)
 - *Tripanosoma evansi* sakit sura (malas) pada ternak, vector lalat *tabanidae*
 - *Tripanosoma brucei* penyakit nagano pada ternak
 - *Tripanosoma gambiense* sakit tidur, vektor lalat *tsetse*
 - *Tripanosoma rhodosiense* sakit tidur, vektor lalat *tsetse*
 - *Tripanosoma vaginalis* keputihan pada vagina
 - *Leishmania donovani* penyebab sakit kalaazar (demam dan anemia)
 - *Leishmania tropika* penyakit kulit

5.3.2 Protista mirip tumbuhan (Protophyta)

Protophyta merupakan kelompok protista yang menyerupai tumbuhan. Umumnya berbentuk seperti algae. Secara umum kelompok ini memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- Bersel satu dan bersel banyak
- Berbentuk lembaran, benang, atau bulat mengelompok (koloni)
- Hidup di air, tembok, genting, atau kulit pohon
- Disebut juga sebagai tumbuhan talus
- Penyerapan zat-zat mineral dilakukan di seluruh permukaan tubuhnya
- Pengangkutan zat di dalam tubuhnya mengalir dari sel satu ke sel lainnya
- Ganggang yang hidup di air merupakan Fitoplankton (=ganggang yang sangat kecil dan hidup melayang-layang di air)
- Berklorofil dan memiliki pigmen warna.

Algae mencakup semua organisme bersel tunggal maupun banyak yang memiliki kloroplas. Termasuk di dalamnya adalah kelompok-kelompok berikut:

- Alga hijau, yang memiliki relasi dengan tumbuhan yang lebih tinggi (Embryophyta). Contoh: *Ulva sp.*
- Alga merah, mencakup banyak alga laut. Contoh: *Porphyra sp.*
- Heterokontophyta, meliputi ganggang coklat, diatom, dan lainnya. Contoh: *Macrocystis sp.*
- Alga keemasan
Alga hijau dan merah, bersama dengan kelompok kecil yang disebut Glaucophyta, sekarang diketahui memiliki hubungan evolusi yang dekat dengan tumbuhan darat berdasarkan bukti-bukti morfologi, fisiologi, dan molekuler, sehingga lebih tepat masuk dalam kelompok Archaeplastida, bersama-sama dengan tumbuhan biasa.

5.3.3 Protista mirip jamur (jamur lendir/dan jamur air)

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

1) Myxomycota (Jamur Lendir)

Jamur lendir tidak berklorofil sehingga bersifat heterotrof sebagai saprofit dan parasit, Fase vegetatifnya menyerupai lendir yang dapat bergerak dan disebut plasmodium, fase generatifnya menghasilkan spora seperti pada jamur. Habitatnya ialah di perairan dan tempat-tempat yang lembab. Beberapa jenis dapat menyebabkan penyakit pada hewan dan tanaman budidaya. Habitat di hutan basah, batang kayu yang membusuk, tanah lembab, kayu lapuk. Contoh jamur ini adalah *Dictyostelium discoideum*. Fase hidupnya ada dua fase yaitu fase hewan (fase berbentuk plasmodium) dan fase tumbuhan (fase plasmodium mengering membentuk tubuh-tubuh buah yang bertangkai).



Gambar 5.3 *Dictyostelium discoideum*

Struktur tubuh vegetatif berbentuk seperti lendir yang disebut plasmodium, yang merupakan massa sitoplasma berinti banyak dan bergerak seperti amoeba istilahnya ameboid. dan memperoleh makanan secara fagosit (memasukkan makanan ke dalam sel dan makanan dicerna di dalam sel pada bagian yang disebut vakuola makanan). Pada fase vegetatif/plasmodium ini dapat bereproduksi secara vegetatif dengan cara pembelahan biner (satu plsmodium membelah menjadi dua plasmodium)

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

dengan bantuan angin. Spora yang berkecambah akan membentuk sel gamet yang bersifat haploid, dan sel gamet ini melakukan singami. Singami adalah peleburan dua gamet yang bentuk dan ukurannya sama (yang tidak dapat dibedakan jantan dan betinanya). Hasil peleburan berupa zigot dan zigot tumbuh dewasa menjadi plasmodium kembali. Jamur lendir terdiri dari lima kelas yaitu:

- Myxomycetes
- Plasmodiophoromycetes
- Acrasiomycetes
- Labyrinthulomycetes
- Oomycetes.

2) Oomycota (Jamur air)

- Habitatnya di tempat yang lembab/perairan
- Jamur air mempunyai hifa yang tidak bersekat (senositik)
- Dinding sel dari selulosa
- Reproduksi vegetatif dengan cara membentuk zoospora yang memiliki dua flagel untuk berenang.
- Reproduksi generatif dengan cara fertilisasi yang akan membentuk zigot yang tumbuh menjadi oospora.
- Contohnya: *Saprolegnia* (parasit pada telur ikan), *Phytophthora* (parasit pada tanaman kentang), *Phytium* (penyebab busuknya kecambah dan busuk akar).

5.4 Peranan Protista

Protista dalam kehidupan manusia dapat memberikan keuntungan dan kerugian. Banyak anggota dari kingdom ini bersifat parasit, baik bagi manusia maupun makhluk hidup lain. *Phytophthora infestans* merupakan Protista mirip jamur yang menginfeksi tanaman kentang sehingga menyebabkan gagal panen dan kelaparan yang hebat di Irlandia pada abad ke-19.

Protista mirip hewan juga kerap menyebabkan masalah bagi manusia. *Entamoeba histolytica*, *Entamoeba coli*, dan *Entamoeba gingivalis* merupakan organisme penyebab beberapa penyakit sekitar mulut dan pencernaan. *Chlorophyta* dan *Dinoflagellata* mampu menyebabkan kematian ribuan ikan di danau atau sungai yang disebut alga bloom dan *red tide*. *Trypanosoma* merupakan parasit pada hewan dan manusia yang menyebabkan penyakit tidur di Afrika. Salah satu

anggota kingdom Protista yang cukup berbahaya adalah Plasmodium, penyebab penyakit malaria.

Walaupun demikian, terdapat banyak manfaat dari anggota Protista. Manfaat terbesar adalah sebagai penghasil oksigen dan sebagai produsen terbesar di laut. Berikut adalah beberapa peranan dalam kehidupan, yaitu:

1. Mengendalikan populasi bakteri, sebagian protozoa memangsa bakteri sebagai makanannya, sehingga dapat mengontrol jumlah populasi bakteri di alam
2. Sumber makanan ikan, di perairan sebagian protozoa berperan sebagai plankton dan bentos yang menjadi makanan hewan air, terutama udang, kepiting, ikan dll.
3. Indikator minyak bumi, fosil *Foraminifera* menjadi petunjuk sumber minyak, gas, dan mineral.
4. Bahan penggosok, endapan radiolarian di dasar laut yang membentuk tanah radiolarian, dapat dijadikan sebagai bahan penggosok.

Rangkuman

1. Protista ini merupakan organisme eukariotik mikroskopis yang memiliki ciri-ciri hewan, tumbuhan atau jamur namun tidak dapat dikelompokkan dalam kingdom animalia, plantae dan fungi. Protista ini menyerupai hewan yang disebut protozoa, yang terdiri dari empat filum yang dibedakan berdasarkan alat geraknya yaitu: Flagellata, Sarcodina, Ciliata, Sporozoa. Sedangkan Protista menyerupai tumbuhan dikelompokkan kedalam Alga atau ganggang. Protista mirip jamur dikelompokkan menjadi dua yaitu Myxomycota (Jamur Lendir), Oomycota (Jamur air).
2. Protozoa ini kebanyakan berukuran mikroskopis, uniseluler, heterotrof, kebanyakan berkembang biak dengan membelah diri dan habitatnya di perairan atau tempat-tempat yang lembab. Protozoa ada yang hidup sebagai saprofit, bersimbiosis dengan organisme lain dan parasit pada tumbuhan, hewan dan manusia., produksi insulin, dan pembuatan vaksin yang dapat menyelamatkan banyak nyawa manusia, hewan serta tumbuhan.

Daftar Referensi

- Agus krisno B, Moch. (2002). *Mikrobiologi Terapan*. UMM Press. Malang.
- Dwidjoseputo. (2003). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Djambatan. Jakarta.
- Irianto, Koes. (2007). *Mikrobiologi*. Bandung: CV.Yrama Widya.
- Hausmann, K., N. Hulsmann, R. Radek. (2003). *Protistology*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchshandlung, Stuttgart.
- Margulis, L., M.J. Chapman. (2009). *Kingdoms and Domains: An Illustrated Guide to the Phyla of Life on Earth*. Amsterdam: Academic Press/Elsevier.
- Pelczar, M. J. (2006). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Jakarta: UI-Press.
- Waluyo. Lud. (2005). *Mikrobiologi Umum*. UMM Press. Malang

5.5 Soal-soal latihan Essay

1. Jelaskan daur hidup Plasmodium dalam tubuh manusia dan tubuh nyamuk!
2. Jelaskan fungsi konjungsi dalam perkembangbiakkan seksual pada paramecium!
3. Sebutkan beberapa anggota protozoa yang menguntungkan bagi kehidupan manusia beserta perannya!
4. Jelaskan perkembangbiakkan seksual pada Oomycotina!
5. Berdasarkan alat geraknya, Protozoa dibagi menjadi berapa kelas? Sebutkan!

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai ciri-ciri Algae, pengelompokan Algae serta peranann Algae mikroskopis bagi kehidupan.
CPMK	Mahasiswa mampu menjelaskan ciri-ciri protista, struktur dan reproduksi protista serta pengelompokan protista.
Sub-CPMK	Mahasiswa dapat : <ul style="list-style-type: none">▪ Menyebutkan ciri-ciri Algae▪ Menyebutkan struktur sel Algae▪ Menjelaskan klasifikasi Algae▪ Menjelaskan cara reproduksi Algae▪ Memberikan contoh Algae yang merugikan dan menguntungkan▪ Mengetahui penyebaran dan habitat Algae

6.1 Pendahuluan

Alga (Algae) adalah eukariotik yang paling sederhana yang merupakan penyusun utama fitoplankton di perairan tawar maupun laut. Alga sebagai tumbuhan tingkat paling rendah memiliki kemampuan tinggi untuk melakukan demineralisasi tersebut di lingkungan perairan. Kebanyakan alga yang hidup diperairan bersifat mikroskopis atau sering disebut mikroalga. Mikroalga inilah yang kemudian menentukan produktifitas primer perairan. Alga dipisahkan dari tumbuhan karena struktur tubuhnya yang masih sederhana. Tidak seperti tanaman, alga bersifat nonvaskuler, karena tidak memiliki sistem transport vaskuler. Fotosistaesis dilakukan dengan mengasimilasi air dan nutrisi langsung dari lingkungan sekitar. Habitat alga umumnya ditempat perairan atau tempat yang lembab. Beberapa genus alga bersimbiosis dengan jamur membentuk lichen.

Ciri-ciri lainnya pada alga adalah, alga ini tidak memiliki akar, batang dan daun sejati. Tubuh seperti ini dinamakan talus. Di dalam sel alga terdapat berbagai plastida yaitu organel sel yang mengandung zat warna (pigmen). Plastida yang terdapat pada alga terutama kloroplas mengandung pigmen klorofil yang berperan

penting dalam proses fotosintesis. Sehingga alga bersifat autotrof karena dapat menyusun sendiri makanannya berupa zat organik dan zat-zat anorganik.

Pigmen lain yang terdapat di dalam sel-sel alga adalah: Fikosianin (warna biru); Xantofil (warna kuning); Karoten (warna keemasan); Fikosantin (warna pirang); Fikoeritrin (warna merah) dan Fikobilin (warna biru kehijauan).

6.2 Struktur Algae

Morfologi algae ada yang berbentuk uniseluler, membentuk koloni, sel berflagel dan sel berfilamen, ada pula yang multiseluler tetapi belum ada pembagian tugas pada komponen selnya. Namun ada pula yang berbentuk menyerupai akar, berbatang dan berdaun. Algae uniseluler (mikroskopik) dapat berupa sel tunggal, atau tumbuh dalam bentuk rantai atau filamen. Ada beberapa jenis algae yang sel-selnya membentuk koloni, misalnya pada *Volvox*, koloni terbentuk dari 500-60.000 sel. Koloni-koloni inilah yang dapat dilihat dengan mata biasa.

Algae memiliki nucleus yang dibatasi membran. Benda-benda lain yang ada di dalamnya adalah pati dan butir-butir seperti pati, tetesan minyak, dan vakuola. Setiap sel mengandung satu atau lebih kloroplas, yang dapat berbentuk pita atau seperti cakram-cakram diskrit (satuan-satuan tersendiri). Di dalam matriks kloroplas terdapat gelembung-gelembung pipih bermembran yang bernama tilakoid. Membran tilakoid berisikan klorofil dan pigmen-pigmen pelengkap yang merupakan situs reaksi cahaya pada fotosintesis.

Algae motil dilengkapi flagella yang dapat tunggal, berpasangan atau bergerombol di ujung anterior (depan) atau posterior (belakang) selnya. Struktur-struktur lain yang dijumpai pada beberapa algae mencakup duri eksterior atau bonggol dan tungkai untuk melekatkan diri pada suatu benda.

Pada umumnya algae bersifat fotosintetik, menggunakan H₂O sebagai donor elektron, pada keadaan tertentu beberapa algae dapat menggunakan H₂ untuk proses fotosintesa tanpa menghasilkan O₂. Sifat fotosintetik pada algae dapat bersifat mutlak (obligat fototrof), jadi algae ini tumbuh di tempat-tempat yang terkena cahaya matahari. Beberapa algae bersifat khemoorganotrof, sehingga dapat mengkatabolisme gula-gula sederhana atau asam organik pada keadaan gelap. Senyawa organik yang banyak digunakan algae adalah asetat, yang dapat digunakan sebagai sumber C dan sumber energi. Algae tertentu dapat mengasimilasi senyawa organik sederhana dengan menggunakan sumber energi cahaya (fotoheterotrof). Pada algae tertentu dapat tidak terjadi proses fotosintesa

sama sekali, dalam hal ini pemenuhan kebutuhan nutrisi didapatkan secara heterotrof.

Pada umumnya algae yang dapat melakukan fotosintesa normal, dapat tumbuh baik dengan cepat dalam keadaan gelap, dengan menghabiskan berbagai senyawa organik hasil fotosintesa. Pada keadaan gelap, proses fotosintesa berubah menjadi proses respirasi. Pada algae heterotrof, pemenuhan kebutuhan energi berasal dari bahan organik yang ada di sekitarnya. Algae yang tidak berding sel dapat memakan bakteri secara fagotrofik. Algae leukofitik adalah algae yang kehilangan kloroplas. Hilangnya kloroplas tersebut bersifat tetap, atau tidak dapat kembali seperti semula. Hal ini banyak terjadi pada algae bersel tunggal seperti diatomae, flagelata, dan algae hijau nonmotil. Algae leukofitik dapat dibuat, misalnya Euglena yang diperlakukan dengan streptomisin atau sinar ultra violet.

6.3 Reproduksi Algae

Ganggang melakukan reproduksi secara aseksual (vegetatif) dan seksual (generatif).

a. Reproduksi Aseksual

❖ Pembelahan biner

Pembelahan sel yang menghasilkan dua sel anakan, masing-masing menjadi individu baru. Reproduksi ini terjadi pada ganggang bersel satu. Pada pembelahan biner, sel induk ganggang membelah menjadi dua bagian yang sama kemudian tumbuh menjadi ganggang baru.

❖ Fragmentasi

Yaitu pecahnya koloni menjadi beberapa bagian. Fragmentasi terjadi pada ganggang multiseluler dan berkoloni berbentuk filamen dan talus. Contohnya adalah *Spirogyra*, *Laminaria*, dan *Sargassum*. Pada fragmentasi, filamen atau talus yang putus dapat tumbuh menjadi ganggang baru.

❖ Pembentukan zoospora

Pembentukan spora terjadi pada ganggang uniseluler maupun ganggang multiseluler. Contohnya adalah *Chlamydomonas* dan *Ulothrix*. Spora dihasilkan dengan cara pembelahan dinding sel induk. Spora akan keluar setelah dinding sel induk pecah dan kemudian tumbuh menjadi ganggang baru yang haploid.

b. Reproduksi Seksual :

Reproduksi seksual, yaitu melalui peleburan gamet jantan dan gamet betina untuk membentuk zigot yang nantinya tumbuh menjadi individu baru. Secara seksual dilakukan dengan cara isogami, anisogami, oogami, dan konjugasi.

- ❖ **Isogami** terjadi jika antara sel betina dan sel kelamin jantan mempunyai ukuran yang sama dan sulit dibedakan.
- ❖ **Anisogami** terjadi jika antara dua sel kelamin yang bentuknya sama, tetapi ukurannya berbeda. Biasanya, sel kelamin jantan berukuran lebih kecil dibandingkan dengan sel kelamin betina.
- ❖ **Oogami** terjadi jika antara sel kelamin jantan dan sel kelamin betina mempunyai bentuk dan ukuran yang berbeda dan mudah dibedakan.

Dari peleburan tiga sel kelamin tersebut, akan terjadi pembuahan yang menghasilkan zigot. Zigot akan terus berkembang menjadi individu baru.

6.4 Klasifikasi Algae

Berdasarkan tipe pigmen fotosintetik yang dihasilkan, bahan cadangan makanan dalam sel, dan sifat morfologi sel, maka algae dikelompokkan menjadi 7 divisio utama, yaitu Chlorophyta, Euglenophyta, Chrysophyta, Pyrrophyta, Rhodophyta, Phaeophyta, dan Cryptophyta.

a. Chlorophyta (Alga Hijau)

Ciri-ciri algae ini adalah berwarna hijau, mempunyai pigmen fotosintetik yang terdiri dari klorofil a dan b seperti pada tumbuhan, karoten, dan beberapa xantofil. Cadangan makanan berupa pati, dinding sel terdiri dari selulosa, xylan, manan, beberapa tidak berdinding sel, dan mempunyai flagela 1 sampai 8 buah. Algae hijau ini banyak terdapat di ekosistem perairan, dan diduga merupakan asal dari tumbuhan. Contoh algae hijau uniseluler yaitu Chlamydomonas dan Volvox, yang bersifat motil karena berflagela, sedangkan algae yang berbentuk filamen adalah genera Ulothrix, Spirogyra dan Ulva. Bentuk Spirogyra sangat khusus karena kloroplasnya yang berbentuk spiral. Anggota algae ini yang sering ditanam sebagai rumput laut yaitu Scenedesmus, dan yang sering digunakan sebagai makanan kesehatan adalah Chlorella.

Pada siklus hidup Chlamydomonas, algae ini mengadakan reproduksi secara seksual dengan peleburan sel yang menghasilkan zygot. Setelah periode dorman akan terjadi meiosis sehingga terbentuk 4 sel yang kemudian memperbanyak diri dengan pembelahan mitosis. Pada perkembangbiakan secara aseksual, sel akan

kehilangan flagela dan kemudian terjadi pembelahan secara mitosis menjadi 4, 8 atau 16 sel. Masing-masing sel keluar dari dinding sel dan kemudian tumbuh flagella.

Perkembangbiakan algae yang berbentuk filamen terutama secara aseksual, yaitu dengan cara fragmentasi. Pada Spirogyra dapat berkembang secara seksual dengan membentuk tabung konjugasi, setelah isi sel melebur akan terbentuk zygot dan berkembang menjadi zygospora, dan pembelahan meiosis terjadi setelah zygospora berkecambah.

Beberapa contoh alga hijau yang sering Anda jumpai di kolam sekitarmu antara lain:

1) Chlorophyta bersel tunggal tidak bergerak

❖ Chlorella

Organisme ini banyak ditemukan sebagai plankton air tawar. Ukuran tubuh mikroskopis, bentuk bulat, berkembangbiak dengan pembelahan sel. Peranannya bagi kehidupan manusia antara lain, digunakan dalam penyelidikan metabolisme di laboratorium. Juga dimanfaatkan sebagai bahan untuk obat-obatan, bahan kosmetik dan bahan makanan. Serbuk Chlorella dalam industri obat-obatan dimasukkan dalam kapsul dan dijual sebagai suplemen makanan dikenal dengan “Sun Chlorella”.

❖ Chlorococcum

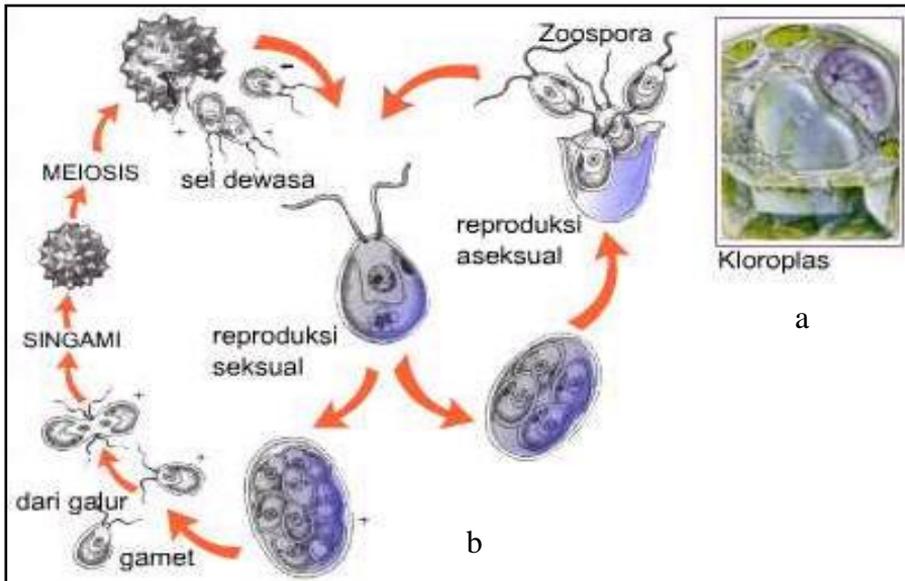
Tubuh bersel satu, tempat hidup air tawar, bentuk bulat telur, setiap sel memiliki satu kloroplas bentuk mangkuk. Reproduksi dengan membentuk zoospora (secara aseksual).

2) Chlorophyta bersel tunggal dapat bergerak

❖ Chlamidomonas

Bentuk sel bulat telur, memiliki 2 flagel sebagai alat gerak, terdapat 1 vacuola, satu nukleus dan kloroplas. Pada kloroplas yang bentuknya seperti mangkuk terdapat stigma (bintik mata) dan pirenoid sebagai tempat pembentukan zat tepung.

Reproduksi aseksual dengan membentuk zoospora dan reproduksi seksual dengan konjugasi (perhatikan gambar berikut ini).



Gambar 6.1. a. Bentuk sel *Chlamydomonas*, b. Daur hidup *Chlamydomonas*

3) Chlorophyta berbentuk koloni tidak bergerak

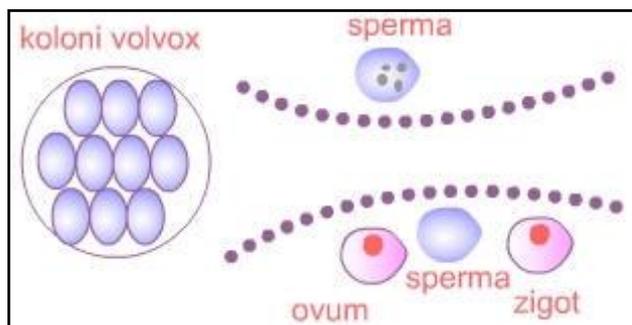
❖ Hydrodictyon

Hydrodictyon banyak ditemukan di dalam air tawar dan koloninya berbentuk seperti jala. Ukuran cukup besar sehingga dapat dilihat dengan mata telanjang. Reproduksi vegetatif dengan zoospora dan fragmentasi. Fragmentasi dilakukan dengan cara melepas sebagian koloninya dan membentuk koloni baru. Sedangkan reproduksi generatif dengan konjugasi.

4) Chlorophyta berbentuk koloni dapat bergerak

❖ Volvox

Volvox ditemukan di air tawar, koloni berbentuk bola jumlah antara 500 - 5000 buah. Tiap sel memiliki 2 flagel dan sebuah bintik mata. Reproduksi aseksual dengan fragmentasi dan seksual dengan konjugasi sel-sel gamet.

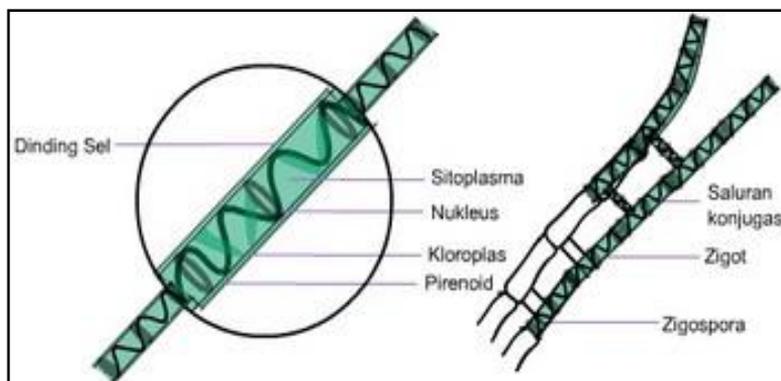


Gambar 6.2. Konjugasi sel gamet *Volvox*

5) Chlorophyta berbentuk benang

❖ *Spyrogyra*

Ganggang ini didapatkan di sekitar kita yaitu di perairan. Bentuk tubuh seperti benang, dalam tiap sel terdapat kloroplas berbentuk spiral dan sebuah inti. Reproduksi vegetatif dengan fragmentasi, sedangkan reproduksi seksual dengan konjugasi. Adapun langkah-langkah konjugasi antara lain dua benang saling berdekatan, sel yang berdekatan saling membentuk tonjolan. Ujung kedua tonjolan yang bersentuhan saling melebur membentuk saluran konjugasi. Lewat saluran itu terjadilah aliran protoplasma dari satu sel ke sel yang lain. Kedua plasma melebur, disebut peristiwa plasmogami dan segera diikuti oleh peleburan inti yang disebut kariogami. Hasil peleburan membentuk zigospora diploid. Zigospora mengalami meiosis dan ditempat yang sesuai berkembang menjadi benang *Spirogyra* baru yang haploid.



Gambar 6.3. Konjugasi pada *Spirogyra*

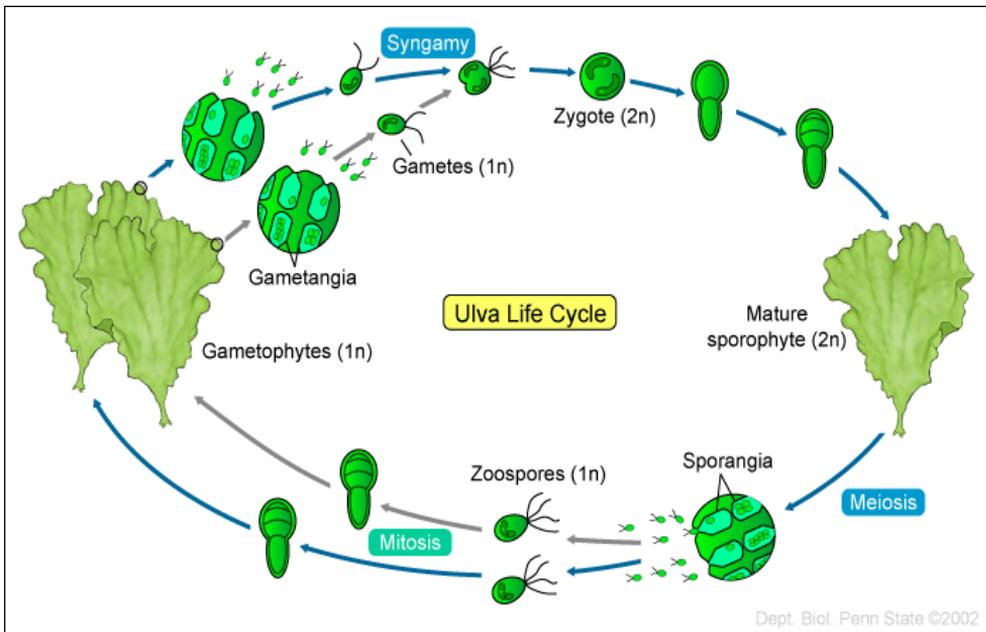
❖ *Oedogonium*

Ganggang ini berbentuk benang, ditemukan di air tawar dan melekat di dasar perairan. Reproduksi vegetatif dilakukan oleh setiap sel menghasilkan sebuah zoospora yang berflagela banyak. Reproduksi generatif adalah salah satu benang membentuk alat kelamin jantan (antiridium) dan menghasilkan gamet jantan (spermatozoid). Pada benang yang lain membentuk alat kelamin betina yang disebut Oogonium. Oogonium akan menghasilkan gamet betina (ovum). Spermatozoid membuahi ovum dan terbentuk zigot. Zigot akan tumbuh membentuk individu baru.

6) Chlorophyta berbentuk lembaran

❖ *Ulva*

Ganggang ini ditemukan di dasar perairan laut dan menempel di dasar, bentuk seperti lembaran daun. Berkembangbiak secara vegetatif dengan menghasilkan spora dan spora tumbuh menjadi *Ulva* yang haploid (n), *Ulva* haploid disebut gametofit haploid. Kemudian secara generatif menghasilkan gamet jantan dan gamet betina. Pertemuan gamet jantan dan gamet betina akan menghasilkan zigot (Z_{2n}). Zigot berkembang menjadi *Ulva* yang diploid disebut sporofit. Selanjutnya sporofit membentuk spora yang haploid setelah mengalami meiosis. Selanjutnya mengalami mitosis dan menghasilkan gametofit haploid (perhatikan gambar di bawah).

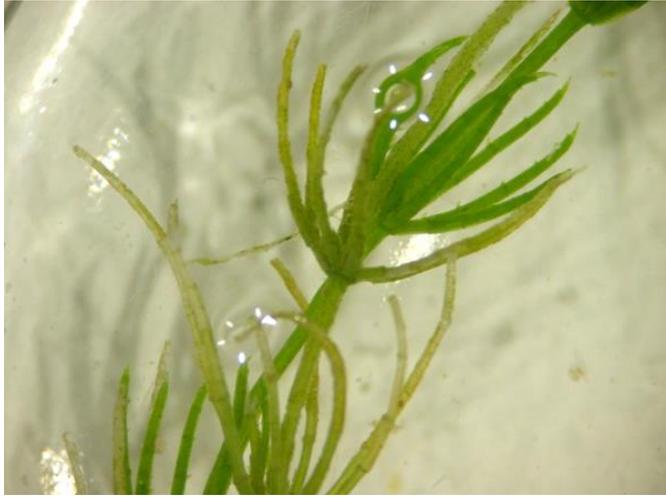


Gambar 6.4. Siklus hidup *Ulva*

❖ *Chara*

Chara hidup di air tawar terutama melekat pada batu-batuan. Bentuk talus seperti tumbuhan tinggi, menyerupai batang, yang beruas-ruas dan bercabang-cabang, berukuran kecil. Pada ruasnya terdapat nukula dan globula. Di dalam nukula terdapat arkegonium dan menghasilkan ovum. Di dalam globula terdapat anteridium yang memproduksi spermatozoid.

Spermatozoid akan membuahi ovum dan menghasilkan zigospora yang berdinding sel. Pada reproduksi secara vegetatif dilakukan dengan cara fragmentasi.



Gambar 6.5. *Chara sp.*

b. Euglenophyta

Euglenophyta dimasukkan dalam kelompok alga hijau oleh beberapa ahli taksonomi dan dimasukkan ke dalam golongan protozoa oleh sebagian ahli lainnya dikarenakan organisme ini memiliki sifat-sifat tanaman sekaligus hewan. Organisme ini merupakan organisme eukaryotik dengan struktur-struktur tubuh yang dapat dijumpai pada sebagian besar alga, namun mereka juga memiliki kerongkongan sehingga mereka dapat memasukkan partikel ke dalam tubuhnya. Mereka memiliki satu flagella yang panjang dan biasanya berenang dengan cara menarik diri mereka melalui air. Beberapa di antaranya melakukan gerakan amoeboid.

Organisme ini tidak memiliki dinding sel, namun mereka memiliki lapisan luar yang keras yang tersusun dari protein yaitu pellicle, yang memiliki fungsi yang sama seperti dinding sel. Euglenophyta memiliki chlorophyl a dan b beberapa carotenoid serta xantofil dan biasanya mereka terlihat berwarna hijau rumput. Euglena umum ditemukan di perairan yang kaya akan nutrisi. Perbedaan dengan alga hijau adalah cadangan makanannya yang berupa paramylon, yaitu polimer glukosa dengan ikatan B13. Semua anggota alga ini uniseluler, mempunyai 1-3 flagela dengan letak apikal atau subapikal, dan mempunyai membran plasma dengan struktur fleksibel yang disebut pelikel. Euglenophyta kebanyakan hidup di

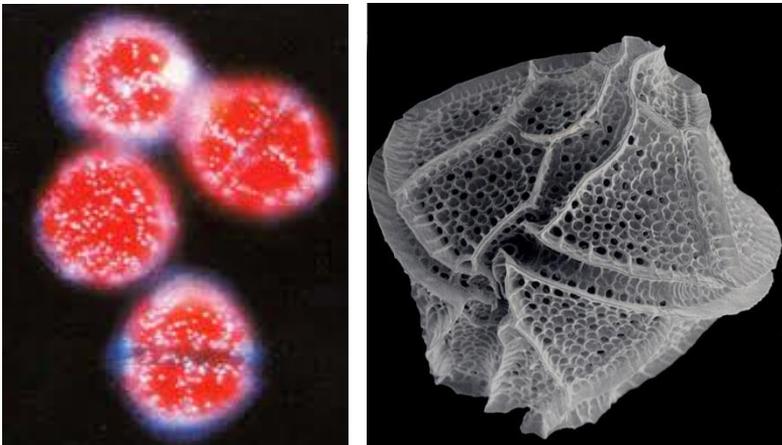
perairan atau tanah. Perkembangbiakannya dengan membelah diri, dan tidak dapat berkembangbiak secara seksual.

Algae *Euglena gracilis* mempunyai 2 flagela yang tidak sama panjang, dan bintik mata yang berwarna merah karena berisi karotenoid. Bintik mata berfungsi sebagai penerima cahaya untuk mengatur gerak aktif, sebagai respon sel terhadap arah dan intensitas cahaya. Algae ini tidak ber dinding sel sehingga lentur. Sebagian besar spesiesnya memiliki tubuh memanjang dengan lebar 10-15 mm dan panjang 50-150 mm, dan biasanya memiliki sebuah titik mata merah. Pada umumnya *Euglena* tidak digunakan sebagai pakan.

c. Pyrrophyta

Anggota algae ini juga sering disebut dinoflagelata, yang merupakan suatu kelompok organisme uniseluler yang unik yang memiliki dua flagella, mempunyai pigmen fotosintetik berupa klorofil a dan c, karoten dan beberapa jenis mengandung xantofil. Cadangan makanan terdiri atas pati atau minyak, dinding sel tersusun dari selulosa dan ada yang sangat keras disebut teka, tetapi ada yang tidak ber dinding sel.

Pyrrophyta umumnya berwarna merah atau coklat, karena adanya pigmen xantofil dan selnya berbentuk uniseluler. Algae ini terutama hidup di laut, beberapa anggotanya dapat mengeluarkan cahaya bioluminesen, maka sering disebut fire algae. Contoh algae ini *Gonyaulax polyedra*, yang menghasilkan toksin berwarna merah atau merah coklat yang dapat mematikan hewan-hewan laut.



Gambar 6.6. *Gonyaulax polyedra*

Dinoflagelata tertentu dapat tumbuh dengan memakan bakteri dan spesies algae lain. Beberapa spesies algae ini tidak mempunyai klorofil, dan bersifat heterotrof.

Anggota algae ini ada yang bersifat mikсотrofik, selain mampu mengadakan metabolisme sebagai heterotrof juga bersifat sebagai fotoautotrof.

d. Chrysophyta

Algae ini mempunyai pigmen yang berbeda-beda sehingga ada yang disebut algae kuning hijau (Xanthophyceae), dan algae keemasan (Chrysophyceae). Diatomae yang termasuk Bacillariophyceae juga termasuk anggota algae ini. Pigmen fotosintetik terdiri atas klorofil a dan c, karoten, fukoxantin, dan beberapa xantofil. Bahan cadangan makanan algae ini berupa krisolaminarin, yaitu polimer glukosa dengan ikatan B. Dinding selnya tersusun dari selulosa, silika, dan kalsium karbonat. Pada beberapa jenis algae ini mempunyai 1 atau 2 flagela.

Dinding sel diatomae yang keras disebut frustule. Ada 2 macam bentuk frustule, yaitu centric dan pennate. Diatomae dengan bentuk pennate yang tidak berflagela, ada yang dapat bergerak diatas substrat padat karena adanya raphe. Raphe adalah celah memanjang dan sempit pada dinding sel sebagai tempat keluarnya sitoplasma. Gerakan timbul karena adanya arus protoplasma tersebut.

Dinding sel diatomae merupakan dua bagian yang saling menutupi. Dinding sel yang keras ini menjadi masalah saat mengadakan perkembangbiakan secara aseksual, yaitu dengan cara membelah diri secara longitudinal. Sel baru hasil pembelahan terdiri setengah bagian sel sebelum pembelahan yang ditutup dengan setengah bagian sel yang baru terbentuk. Akibatnya setelah beberapa kali membelah, maka sel hasil pembelahan semakin mengecil ukurannya, kurang lebih 30 % lebih kecil dibandingkan dengan sel hasil perkembangbiakan secara seksual.

e. Phaeophyta (Alga Coklat)

Phaeophyta disebut juga algae coklat, warna ini disebabkan xantofil yang dihasilkan melebihi karoten dan klorofil. Algae ini mempunyai pigmen fotosintetik yang terdiri atas klorofil a dan c, karoten, fukoxantin dan xantofil. Cadangan makanan di dalam selnya berupa laminarin dan manitol, dengan dinding sel tersusun dari selulosa, asam alginat, dan mukopolisakarida sulfat. Algae ini berflagela dua yang tidak sama, dengan letak lateral.

Anggota kelompok ini terdiri lebih dari 200 genera dan 1500 spesies, terutama hidup di permukaan laut yang dingin. Organisasi selnya multiseluler, dan dapat membentuk morfologi yang sangat besar dan kompleks seperti tumbuhan. Terdapat struktur seperti akar (hold fast), seperti daun (blade), seperti batang (stipe), dan pengapung (bladder), tetapi tidak ada sistem transport nutrisi dan

cadangan makanan. Di tengah stipe terdapat sel-sel memanjang seperti jaringan vaskuler pada tumbuhan. Sel-sel tersebut berfungsi untuk membantu memindahkan karbohidrat hasil fotosintesa, dari blade ke tempat sel-sel yang kurang aktif fotosintesanya seperti stipe dan hold fast.

Anggota algae ini yang banyak hidup di laut adalah genera *Sargassum*, *Macrocystis*, *Nereocystis*, dan *Laminaria*. Algae coklat ini dapat tumbuh dengan sangat cepat, misalnya *Nereocystis* dapat mencapai panjang 40 meter dalam satu musim. Kebanyakan cara perkembangbiakan algae coklat sama dengan algae hijau *Ulva*. Genera *Fucus* umumnya tumbuh di batu-batuan, dan dapat melapukkan batuan tersebut.



Gambar 6.7. *Nereocystis luetkeana*

Jenis tertentu algae ini dapat digunakan untuk biosorpsi, atau penyerapan logam berat oleh biomassa. Hal ini disebabkan karena kandungan polisakarida pada dinding selnya dapat bersifat sebagai resin penukar ion (ion exchange). Algae ini juga dapat digunakan sebagai indikator adanya pencemaran logam berat seperti Cadmium, Cu, dan Pb, misalnya algae *Fucus vesiculosus*. Beberapa jenis algae coklat seperti *Macrocystis*, banyak mengandung bahan algin pada dinding selnya. Bahan algin ini mempunyai nilai ekonomis untuk bahan pembuat stabiliser dan emulsifier pada cat, tekstil, kertas, bahan makanan, dan bahan lain.

f. Rhodophyta (Alga Merah)

Sering disebut sebagai algae merah, karena pigmen fotosintetik didominasi oleh fikoeitritin. Pigmen lain terdiri atas klorofil a, dan pada beberapa jenis mempunyai klorofil d, fikosianin, karoten, dan beberapa xantofil. Bahan cadangan makanan di dalam selnya berupa pati floridean, yaitu polisakarida yang mirip amilopektin. Algae ini mempunyai dinding sel berupa selulosa, xylan, dan galaktan. Alat gerak yang berupa flagela tidak ada. Umumnya algae merah hidup

di lautan, terutama di daerah tropis, beberapa spesies hidup di daerah dingin. Adanya klorofil a, fikoeritrin dan fikosianin atau fikobilin merah, menyebabkan algae ini dapat mengabsorpsi dengan baik sinar hijau, violet dan biru yang dapat menembus air dalam. Jadi algae merahpun dapat tumbuh sampai kedalaman lebih dari 175 meter di perairan. Algae merah kebanyakan tumbuh menempel pada batuan dan substrat lain atau lagae lain, tetapi ada juga yang hidup mengapung dengan bebas.



Gambar 6.8. *Polysiphonia brodiei*

Dinding selnya terdiri dua lapis, lapisan bagian dalam kasar (*rigid*) dan menyerupai mikrofibril, sedangkan bagian luar berbentuk lapisan mucilaginous. Pada dinding selnya terdapat berbagai macam bahan selain selulosa, yaitu polisakarida sulfat, agar dan karagenin. Pada algae pembentuk karang, dapat mengumpulkan CaCO_3 di dalam dinding selnya, oleh karenanya jenis algae ini berperan penting dalam proses pembentukan karang.

g. Cryptophyta (Alga Keemasan)

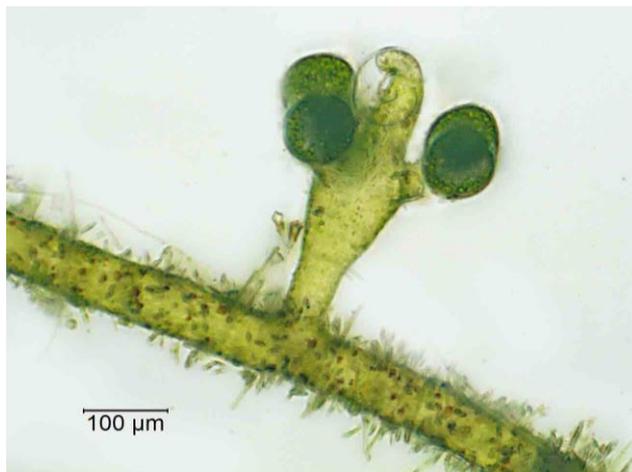
Algae ini mempunyai pigmen fotosintetik klorofil a dan c, karoten, fikobilin dan xantofil yang terdiri dari aloxantin, krokoxantin, dan monadoxantin. Cadangan makanan terdiri pati, dinding selnya tidak mengandung selulosa, dan berflagela dua yang tidak sama dengan letak subapikal. Algae ini hidup di air tawar dan air laut. Anggotanya sangat sedikit apabila dibandingkan dengan algae lain. Semua spesies kelompok ini memiliki flagel, bersifat motil, dan memiliki satu atau dua kloroplast. Cryptophyta berkembang biak secara aseksual, yaitu dengan pembelahan sel secara longitudinal. Tubuh ada yang bersel satu dan ada yang bersel banyak. Alga ini digolongkan ke dalam 3 kelas, yaitu: Kelas alga Hijau-

Kuning (Xanthophyceae), Kelas alga keemasan (Chrysophyceae) dan Kelas Diatom (Bacillariophyceae).

1) Kelas alga Hijau-Kuning

Alga ini memiliki klorofil (pigmen hijau) dan xantofil (pigmen kuning) karena itu warnanya hijau kekuning-kuningan. Contoh: *Vaucheria*. *Vaucheria* tersusun atas banyak sel yang berbentuk benang, bercabang tapi tidak bersekat. Filamen mempunyai banyak inti dan disebut Coenocytic.

Berkembangbiak secara seksual yaitu dengan oogami artinya terjadi peleburan spermatozoid yang dihasilkan anteridium dengan ovum yang dihasilkan oogonium membentuk zigot. Zigot tumbuh menjadi filamen baru. Reproduksi secara vegetatif dengan membentuk zoospora. Zoospora terlepas dari induknya mengembara dan jatuh di tempat yang cocok menjadi filamen baru.



Gambar 6.9. *Vaucheria* sp.

2) Kelas Alga Coklat-Keemasan (Chrysophyceae)

Alga ini memiliki pigmen keemasan (karoten) dan klorofil. Tubuh ada yang bersel satu, contohnya *Ochromonas* dan bentuk koloni, contohnya *Synura*.

3) Kelas Diatom (Bacillariophyceae)

Diatom banyak ditemukan dipermukaan tanah basah misal, sawah, got atau parit. Tanah yang mengandung diatom berwarna kuning keemasan. Tubuh ada yang uniseluler dan koloni. Dinding sel tersusun atas dua belahan yaitu kotak (hipoteca) dan tutup (epiteca). Reproduksi secara aseksual yaitu dengan cara membelah diri. Contohnya: *Navicula*, *Pannularia* dan *Cyclotella*.



Gambar 6.10. *Cyclotella* sp.

6.5 Peranan Algae

Ganggang dapat memberikan berbagai manfaat bagi kehidupan manusia. Manfaat ganggang bagi kehidupan manusia adalah sebagai berikut:

- a. Ganggang hijau merupakan sumber fitoplankton yang digunakan sebagai pakan ikan dan hewan air lainnya. Dapat dikatakan bahwa pada ekosistem perairan, ganggang hijau adalah yang merupakan produsen bagi hewan-hewan air lainnya.
- b. Ganggang cokelat (*Macrocystis pyrifera*) mengandung yodium, Na, P, N, dan Ca yang dapat dimanfaatkan sebagai suplemen untuk hewan ternak. Selain itu, ganggang cokelat yang mengandung asam alginat dapat dimanfaatkan sebagai pengental produk makanan, industri, dan alat-alat kecantikan (*Laminaria*, *Macrocystis*, *Ascophylum*, dan *Fucus*).
- c. Ganggang merah dapat dimanfaatkan untuk suplemen makanan, sumber makanan seperti agar.
- d. Dinding sel diatom mengandung zat kersik sehingga ganggang keemasan sering disebut juga ganggang kersik. Zat kersik ini sangat berguna bagi industri, seperti bahan penggosok, penyaring, industri kaca, dan bahan isolasi.
- e. Ganggang merah dapat dimanfaatkan untuk makanan suplemen kesehatan (*Porphyra*), sumber makanan (*Rhodymenia palmata*), pembuatan agar (*Gellidium*), dan penghasil karagenan (pengental es krim). Di Jepang, *Porphyra* (ganggang merah) digunakan sebagai bahan pangan.

- f. Di semua lingkungan menghasilkan gas oksigen selama fotosintesis. Pada unit pengolahan limbah, gas ini merupakan gas penting untuk degradasi limbah oleh bakteri aerob.

Ganggang juga memberikan peranan yang merugikan, berikut adalah contoh peranan ganggang dalam kehidupan;

- a. Beberapa jenis menghasilkan racun. Racun dihasilkan secara ekstraseluler atau dilepaskan pada saat terjadi blooming ganggang, yaitu populasi ganggang yang sangat padat hingga menutupi permukaan perairan. *Gymnodinium* dan *Gonyaulax* menghasilkan neurotoksin yang mematikan binatang akuatik.
- b. Ganggang *Prototheca wickerhamii* merupakan patogen yang menyerang manusia yaitu dapat menyebabkan peradangan persendian. Beberapa ganggang yang terbawa udara menyebabkan alergi.
- c. Beberapa jenis misalnya *Cephaleuros* menyerang daun teh, kopi, lada, cengkeh, jeruk, dan lain-lain di daerah tropik dan menimbulkan banyak kerusakan.
- d. Dinding sel diatom yang mengandung zat kersik. Zat kersik ini dalam dunia industry dimanfaatkan untuk bahan penggosok, bahan isolasi dan kaca industri.

Rangkuman

- Ganggang (Alga) merupakan protista mirip tumbuhan. Ganggang menimbulkan air sawah, air kolam, air danau, atau akuarium tampak berwarna hijau. Namun, masyarakat menyangka bahwa ganggang adalah lumut. Padahal ganggang berbeda dengan lumut. Lumut tidak terendam di air, sedangkan ganggang hidup dalam air. Jika di pegang, lumut akan terasa seperti beludru dan lebih kering, sedangkan ganggang akan terasa basah, licin atau berlendir. Di laut, ganggang mudah ditemukan, dan biasanya terdampar di pantai, berbentuk menyerupai tumbuhan yang berwarna-warni (hijau, kuning, merah atau coklat). Biasanya orang awam menyebutnya dengan rumput laut. Protozoa ini kebanyakan berukuran mikroskopis, uniseluler, heterotrof, kebanyakan berkembang biak dengan membelah diri dan habitatnya di perairan atau tempat-tempat yang lembab. Protozoa ada yang hidup sebagai saprofit, bersimbiosis dengan organisme lain dan parasit pada tumbuhan, hewan dan manusia., produksi insulin, dan pembuatan vaksin yang dapat menyelamatkan banyak nyawa manusia, hewan serta tumbuhan.
- Berdasarkan tipe pigmen fotosintetik yang dihasilkan, bahan cadangan makanandi dalam sel, dan sifat morfologi sel, maka algae dikelompokkan menjadi 7 divisio utama, yaitu Chlorophyta, Euglenophyta, Chrysophyta, Pyrrophyta, Rhodophyta, Phaeophyta, dan Cryptophyta.

Daftar Referensi

- Irianto, Koes. (2007). *Mikrobiologi*. Bandung: CV.Yrama Widya.
- Hausmann, K., N. Hulsmann, R. Radek. (2003). *Protistology*. Schweizerbart'sche Verlagsbuchshandlung, Stuttgart.
- Lembi, C.A.; Waaland, J.R. (1988). *Algae and Human Affairs*. Cambridge: Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-32115-0
- Pelczar, M. J. (2006). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Jakarta: UI-Press.
- Van den Hoek, C., D.G. Mann, and H.M. Jahns (1995). *Algae: an introduction to phycology*. Cambridge University Press
- Waluyo. Lud. (2005). *Mikrobiologi Umum*. UMM Press. Malang

6.6 Soal-soal latihan Essay

1. Jelaskan alasan tubuh Alga disebut talus?
2. Apakah dasar penggolongan Alga? Sebutkan penggolongannya?
3. Apakah fungsi plastida dan pigmen?
4. Jelaskan manfaat Chlorella!
5. Sebutkan Alga yang bermanfaat bagi kehidupan manusia?
6. Apakah persamaan jamur lendir dengan ciri-ciri kelompok jamur sejati? Mengapa jamur lendir digolongkan protista? Jelaskan!

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai ciri-ciri Fungi mikroskopis, pengelompokan Fungi serta peranann fungi mikroskopis bagi kehidupan. Dibahas pula mengenai cendawan mikoriza.
CPMK	Mahasiswa mampu menjelaskan ciri-ciri fungi, struktur dan reproduksi fungi serta pengelompokan fungi.
Sub-CPMK	Mahasiswa dapat : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menyebutkan ciri-ciri fungi ▪ Menyebutkan struktur sel fungi ▪ Mejelaskan klasifikasi fungi ▪ Mejelaskan cara reproduksi fungi ▪ Mejelaskan cendawan mikoriza ▪ Memberikan contoh fungi yang merugikan dan menguntungkan ▪ Mengetahui penyebaran dan habitat fungi

7.1 Pendahuluan

Jamur adalah organisme yang memperoleh makanan dari sisa organisme lain (saprofit) atau dengan mengabsorpsi nutrisi dari organisme yang masih hidup (parasit). Selnya dilapisi dengan dinding sel yang tersusun atas selulosa dan kitin. Jamur sering juga disebut sebagai cendawan merupakan organisme yang tidak mempunyai klorofil sehingga bersifat heterotrof. Struktur tubuhnya ada yang uniseluler dan multiseluler. Tubuhnya terdiri dari benang-benang yang disebut hifa. Hifa dapat membentuk anyaman bercabang-cabang yang disebut miselium. Reproduksi jamur dilakukan secara vegetatif dan generatif. Jamur menyerap zat organik dari lingkungan melalui hifa dan miseliumnya untuk memperoleh makanannya. Setelah itu, menyimpannya dalam bentuk glikogen. Jamur merupakan konsumen, maka dari itu jamur bergantung pada substrat yang menyediakan karbohidrat, protein, vitamin, dan senyawa kimia lainnya. Semua zat itu diperoleh dari lingkungannya. Sebagai makhluk heterotrof, jamur dapat bersifat parasit obligat, parasit fakultatif, atau saprofit.

Cara hidup jamur lainnya adalah melakukan simbiosis mutualisme. Jamur yang hidup bersimbiosis, selain menyerap makanan dari organisme lain juga

menghasilkan zat tertentu yang bermanfaat bagi simbiotannya. Simbiosis mutualisme jamur dengan tanaman dapat dilihat pada mikoriza, yaitu jamur yang hidup di akar tanaman. Jamur berhabitat pada bermacam-macam lingkungan dan berasosiasi dengan banyak organisme. Meskipun kebanyakan hidup di darat, beberapa jamur ada yang hidup di air dan berasosiasi dengan organisme air.

7.2 Reproduksi Fungi

Reproduksi jamur termasuk rumit, hal tersebut mencerminkan perbedaan cara hidup dan susunan genetik di dalam kerajaan makhluk hidup. Diperkirakan sepertiga dari seluruh jamur berkembang biak menggunakan lebih dari satu metode propagasi; misalnya, reproduksi dapat terjadi dalam dua tahap yang terdiferensiasi dengan baik dalam siklus hidup spesies, teleomorph dan anamorph. Reproduksi cendawan diketahui rumit, karena suatu jenis dapat hidup dalam jangka waktu lama dalam daur hidup aseksual saja atau daur hidup seksual saja. Beberapa kelompok cendawan bahkan tidak diketahui salah satu dari daur hidupnya. Kerumitan ini biasanya dimiliki oleh kelompok Basidiomycota dan Ascomycota. Akibat hal ini, para taksonom fungi menerapkan sistem penamaan ganda, yaitu dengan menerima dua nama spesies yang masing-masing untuk fase aseksual (**anamorf**) dan untuk fase seksual (**teleomorf**). Apabila telah diketahui kedua fase itu untuk satu jenis cendawan, nama yang diterapkan untuk jenis ini adalah holomorf. Jenis-jenis cendawan dengan nama ganda ini biasanya adalah cendawan dengan pengaruh ekonomi tinggi, seperti cendawan racun atau menjadi penyakit tanaman pertanian.

Kondisi lingkungan memicu keadaan perkembangan yang ditentukan secara genetik yang mengarah pada penciptaan struktur khusus untuk reproduksi seksual atau aseksual. Struktur ini membantu reproduksi dengan menyebarkan secara efisien spora atau spora yang mengandung propagul. Reproduksi seksual diawali dengan penyatuan hifa dari dua organisme jamur yang berbeda. Penyatuan terbagi dalam dua tahapan, yaitu plasmogami (penyatuan sitoplasma) dan kariogami (penyatuan inti sel). Sebenarnya, dalam kondisi normal jamur cenderung melakukan reproduksi aseksual (tanpa kawin) untuk menghasilkan spora aseksual. Namun ketika kondisi lingkungan kurang menguntungkan, misalnya ketika sumber makanan menipis atau suhu yang berubah dengan ekstrim, jamur akan mulai melakukan reproduksi seksualnya.

7.3 Klasifikasi Fungi

Dahulu Kingdom fungi diklasifikasikan menjadi 4 divisi, yaitu askomycota, zigomycota, basidiomycota, dan deuteromycota. Pembagian jamur dalam 4 divisi ini didasari oleh organ yang terbentuk setelah reproduksi seksual (kawin) yang dilakukan jamur.

Pada tahun 2007, klasifikasi Kingdom Fungi mengalami perkembangan. Hal ini sebagai hasil upaya penelitian kolaboratif skala besar yang melibatkan puluhan ahli mikologi dan ilmuwan lainnya yang mengerjakan taksonomi jamur. Beberapa ahli membagi kingdom fungi menjadi tujuh filum, yaitu Microsporidia, Chytridiomycota, Blastocladiomycota, Neocallimastigomycota, Glomeromycota, Ascomycota, dan Basidiomycota. Dua di antaranya yaitu Ascomycota dan Basidiomycota merupakan cabang yang mewakili subkingdom Dikarya, yaitu kelompok yang paling kaya dan akrab spesies, termasuk semua jamur, kebanyakan jamur pembusukan makanan, kebanyakan jamur patogen tanaman, dan bir, anggur, dan roti ragi. Philippe Silar (2016), mengemukakan cladogram yang menyertainya menggambarkan taksa jamur utama dan hubungannya dengan organisme opisthokont dan unikont.

7.3.1 Microsporidia

Analisis filogenetik telah menunjukkan bahwa Microsporidia, parasit uniseluler hewan dan protista, adalah jamur endobiotik yang cukup baru dan sangat baru (hidup di dalam jaringan spesies lain). Satu penelitian di tahun 2006 menyimpulkan bahwa Microsporidia adalah kelompok saudara terhadap jamur sejati. Artinya, mereka adalah satu-satunya kerabat evolusioner terdekat. Hibbett dan rekannya menyarankan agar analisis ini tidak berbenturan dengan klasifikasi jamur mereka. Walaupun Microsporidia diangkat ke status filum, diketahui bahwa analisis lebih lanjut diperlukan untuk memperjelas hubungan evolusioner dalam kelompok ini.

Microsporidia merupakan kelompok parasit pembentuk-spora uniseluler. Mereka pernah dianggap protozoa atau protista, tetapi sekarang dikenal sebagai fungi. atau kelompok saudara fungi. Microsporidia terbatas pada inang hewan, dan semua kelompok utama binatang merupakan tuan rumah microsporidia. Kebanyakan menginfeksi serangga, tetapi ada yang termasuk golongan krustasea dan ikan. Spesies bernama microsporidia biasanya menginfeksi satu spesies. Beberapa spesies, yang sebagian besar adalah oportunistik, juga menginfeksi manusia. Contoh anggota dari Microsporidia

7.3.2 Chytridiomycota

Chytridiomycota umumnya dikenal sebagai chytrids. Jamur ini didistribusikan ke seluruh dunia. Chytrids dan kerabat dekat mereka Neocallimastigomycota dan Blastocladiomycota (di bawah) adalah satu-satunya jamur dengan motilitas aktif, menghasilkan zoospora yang mampu melakukan gerakan aktif melalui fase berair dengan satu flagel, yang memimpin ahli taksonomi awal untuk mengklasifikasikannya sebagai protista. Filogenies molekuler, yang disimpulkan dari urutan rRNA pada ribosom, menunjukkan bahwa Chytrids adalah kelompok basal yang berbeda dari filum jamur lainnya, yang terdiri dari empat klon besar dengan bukti sugestif untuk paraphyly atau polyphyly.

7.3.3 Blastocladiomycota

Blastocladiomycota sebelumnya dianggap sebagai klem taksonomi di dalam Chytridiomycota. Data molekuler terakhir dan karakteristik ultrastruktural, bagaimanapun, menempatkan Blastocladiomycota sebagai clade saudara ke Zygomycota, Glomeromycota, dan Dikarya (Ascomycota dan Basidiomycota). Blastocladiomycetes adalah saprotrop yang mendapatkan makan dari bahan organik yang membusuk, dan mereka adalah parasit dari semua kelompok eukariotik. Tidak seperti keluarga dekat mereka, chytrids, yang sebagian besar menunjukkan meiosis zigotik, blastocladiomycetes mengalami meiosis sporik.

7.3.4 Neocallimastigomycota

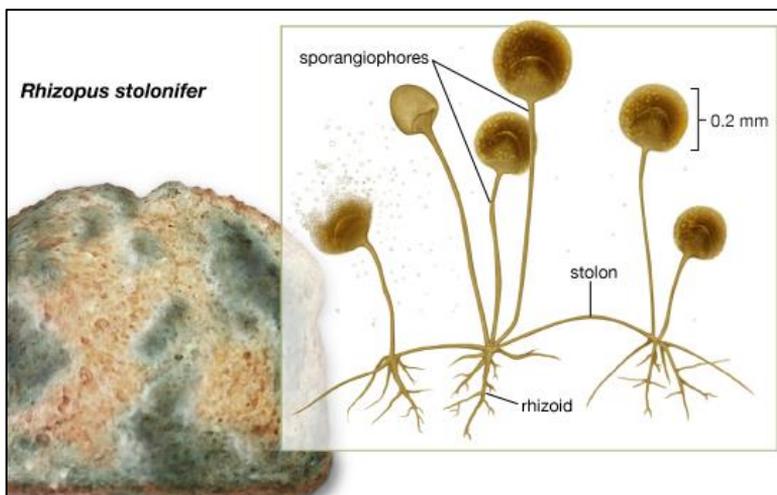
Neocallimastigomycota sebelumnya ditempatkan di filum Chytridomycota. Anggota filum kecil ini adalah organisme anaerobik, hidup dalam sistem pencernaan mamalia herbivora yang lebih besar dan di lingkungan terestrial dan perairan lainnya yang diperkaya dengan selulosa (misalnya, tempat pembuangan sampah domestik). Mereka kekurangan mitokondria tetapi mengandung hidrogenosom dari asal mitokondria. Seperti pada chytrids terkait, neocallimastigomycetes membentuk zoospora yang posterior uniflagellate atau polyflagellate.

Tampilan mikroskopis dari lapisan sel keabu-abuan tembus pandang, beberapa mengandung bola berwarna gelap kecil. Mikoriza arbuskular terlihat di bawah mikroskop. Sel korteks akar rami yang mengandung arbuscules berpasangan.

Bagian melintang dari struktur berbentuk cangkir yang menunjukkan lokasi pengembangan asma meiotik (tepi atas cangkir, sisi kiri, panah menunjuk ke dua sel kelabu yang berisi empat dan dua lingkaran kecil), hifa steril (tepi atas cangkir, sisi kanan, panah menunjuk ke sel putih dengan satu lingkaran kecil di dalamnya), dan asci dewasa (tepi atas cangkir, menunjuk ke dua sel abu-abu dengan delapan lingkaran kecil di dalamnya). Diagram apothecium (struktur reproduksi khas seperti Ascomycetes) yang menunjukkan jaringan steril serta asci berkembang dan matang.

7.3.5 Glomeromycota

Anggota Glomeromycota membentuk mikoriza arbuskular, suatu bentuk simbiosis mutualis dimana hifa jamur menyerang sel akar tanaman dan kedua spesies mendapatkan keuntungan dari peningkatan pasokan nutrisi. Semua spesies Glomeromycota yang dikenal bereproduksi secara aseksual. Hubungan simbiosis antara Glomeromycota dan tanaman kuno, dengan bukti yang mencapai 400 juta tahun yang lalu. Dahulu bagian dari Zygomycota (umumnya dikenal sebagai cetakan 'gula' dan 'pin'), Glomeromycota diangkat ke status filum pada tahun 2001 dan sekarang menggantikan zygomycota filus yang lebih tua. Jamur yang ditempatkan di Zygomycota sekarang dipindahkan ke Glomeromycota, atau subphyla incertae sedis Mucoromycotina, Kickxellomycotina, Zoopagomycotina dan Entomophthoromycotina. Beberapa contoh jamur yang terkenal sebelumnya di Zygomycota termasuk cetakan roti hitam (*Rhizopus stolonifer*), dan spesies *Pilobolus*, yang mampu mengeluarkan spora beberapa meter melalui udara. Genera yang relevan secara medis meliputi *Mucor*, *Rhizomucor*, dan *Rhizopus*.

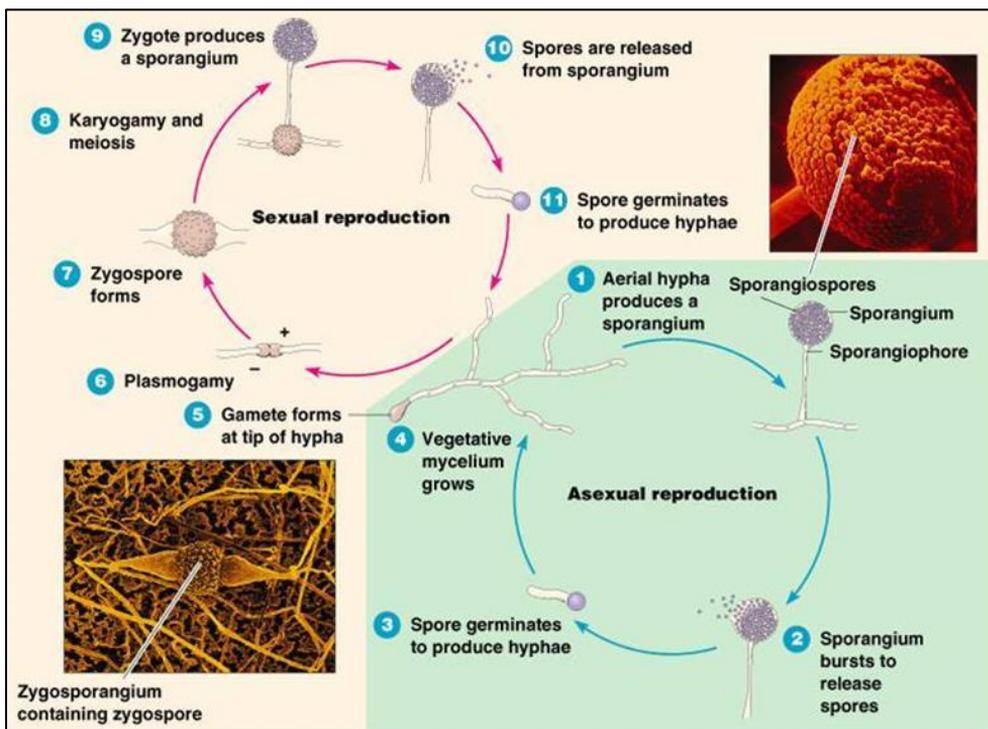


Gambar 7.1. *Rhizopus orizae*

Apabila anda membiarkan roti tawar dalam tempat terbuka selama beberapa hari, maka di atas roti tersebut akan tumbuh jamur yang berwarna hitam-hitaman yang disebut *Rhizopus stolonifer*. Warna hitam yang muncul merupakan sporangium (kotak spora) hasil reproduksi aseksual dari zigomycota tersebut. Contoh lainnya adalah *Rhizopus oryzae* (jamur tempe) yang biasa digunakan untuk memadatkan kedelai pada pembuatan tempe.

Zigomycota merupakan jamur yang memiliki hifa senositik (hifa yang tidak bersekat). Reproduksi aseksual dilakukan dengan membentuk sporangium yang di dalamnya terdapat spora aseksual yang sifatnya haploid (n) dan memiliki komposisi genetik yang serupa. Namun dalam kondisi ekstrim, jamur ini akan melakukan reproduksi seksual untuk menghasilkan spora seksual.

Reproduksi seksual zigomycota diawali dengan menyatunya hifa dari dua organisme jamur yang berbeda. Penyatuan hifa hifa ini akan membentuk struktur yang disebut zigosporangium. Dari zigosporangium tersebut akan muncul sporangium yang berisi spora dengan sifat haploid (n) namun dengan sifat genetik yang berbeda-beda.

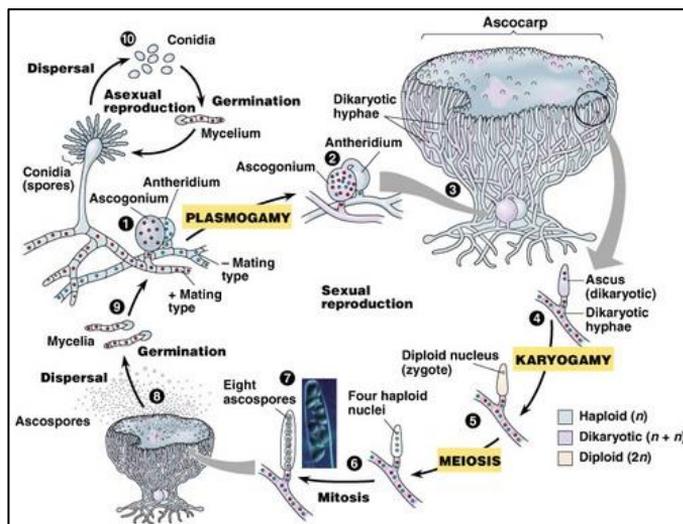


Gambar 7.2. Reproduksi jamur Zigomycota

7.3.6 Ascomycota

Ascomycota yang umumnya dikenal sebagai jamur kantung atau ascomycetes, merupakan kelompok taksonomi terbesar di dalam Eumycota. Disebut juga jamur kantung karena dapat membentuk tubuh buah (askokarp) yang bentuknya mirip kantung. Jamur ini membentuk spora meiotik yang disebut ascospores, yang tertutup dalam struktur seperti kantung khusus yang disebut ascus. Filum ini mencakup morel, beberapa jamur dan truffle, ragi uniseluler (Genus *Saccharomyces*, *Kluyveromyces*, *Pichia*, dan *Candida*), dan banyak jamur filamen yang hidup sebagai saprotrof, parasit, dan simbolis mutualistik (misalnya lumut). Genera penting dari Ascomycetes filamentous meliputi *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, dan *Claviceps*. Banyak spesies ascomycete hanya diamati menjalani reproduksi aseksual (disebut spesies anamorphic), namun analisis data molekuler sering dapat mengidentifikasi teleomorph terdekat mereka di Ascomycota. Karena produk meiosis dipertahankan dalam ascus aspa, ascomycetes telah digunakan untuk menjelaskan prinsip genetika dan keturunan (misalnya, *Neurospora crassa*)

Jamur ini hidup di lingkungan yang beragam, mulai dari darat, laut, dan air tawar. Askomycota merupakan jamur dengan hifa senositik. Contoh jamur ini adalah jamur-jamur yang bersimbiosis dengan alga membentuk lumut kerak (lichenes). Contoh lain adalah *Morchella esculenta* yang bersimbiosis mutualisme dengan akar tumbuhan membentuk mikoriza. Jamur *Penicillium notatum*, adalah askomycota yang bermanfaat dalam dunia kesehatan karena mampu menghasilkan antibiotik penisilin.



Gambar 7.3. Reproduksi jamur Askomycota

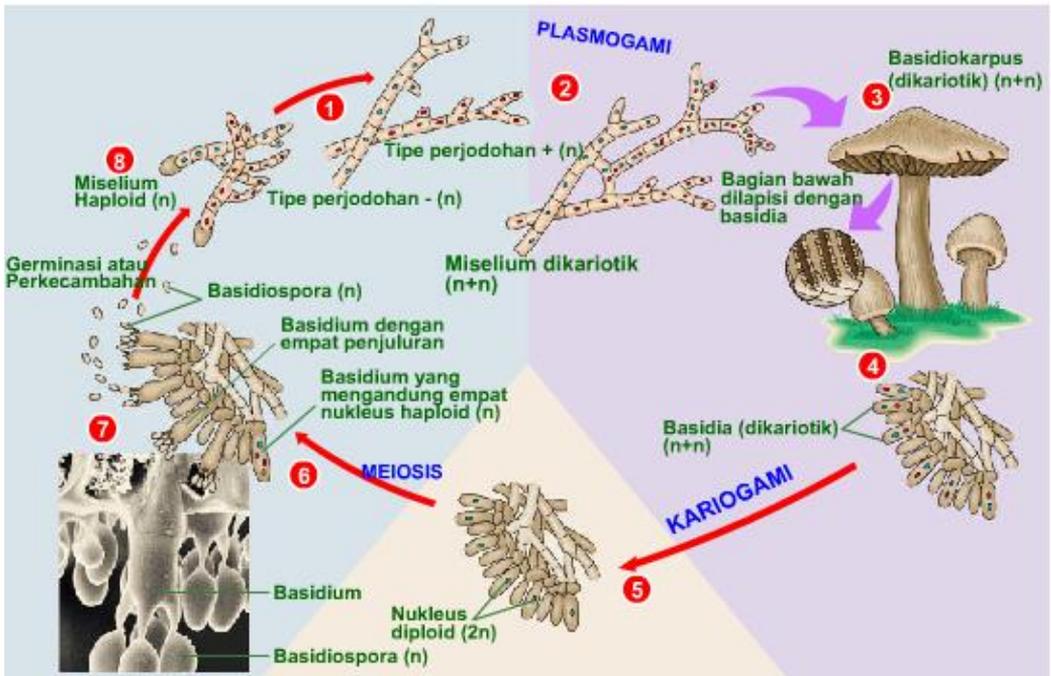
Reproduksi seksual dilakukan dengan membentuk spora yang telanjang (tidak dilindungi sporangium) yang disebut konidia. Perkembangan seksual diawali dengan penyatuan hifa yang kemudian akan membentuk tubuh buah yang bentuknya mirip dengan kantung menghadap ke atas. Di permukaan atas kantung tersebut akan terbentuk askus yang didalamnya berkembang askospora sebagai spora seksual. Dalam setiap askus akan dihasilkan delapan askospora yang bersifat haploid (n) dengan sifat genetik yang berbeda-beda.

7.3.7 Basidiomycota

Basidiomycota merupakan filum besar dari kingdom Fungi yang memiliki anggota yang beragam. Basidiomycota biasanya berupa jamur filamen yang terdiri dari hifa. Sebagian besar spesies bereproduksi secara seksual dengan organ berbentuk spora berbentuk bola (*basidium*) yang biasanya menghasilkan empat spora seksual (*basidiospora*). Basidia ditanggung pada tubuh buah (*basidiocarps*), yang besar dan mencolok di semua kecuali ragi, karat, dan smuts. Kelompok Basidiomycota disebut juga dengan jamur gada. Kelompok ini beranggotakan jamur-jamur yang umum dikonsumsi dan dibudidayakan manusia seperti *Pleurotus ostreatus* (jamur tiram), *Volvariella volvacea* (jamur merang), dan *Auricularia polytricha* (jamur kuping). Bagian yang dimakan manusia merupakan bentuk dari tubuh buah basidiomycota. Mereka tumbuh pada sisa organisme yang telah mati dan lapuk, namun sebagian ada juga yang membentuk mikoriza dan ada yang bersifat parasit. Contoh lain anggota dari kelompok ini adalah *Lycoperdon pyriforme*, *Tremella mesenterica* dan *Crucibulum vulgare*.



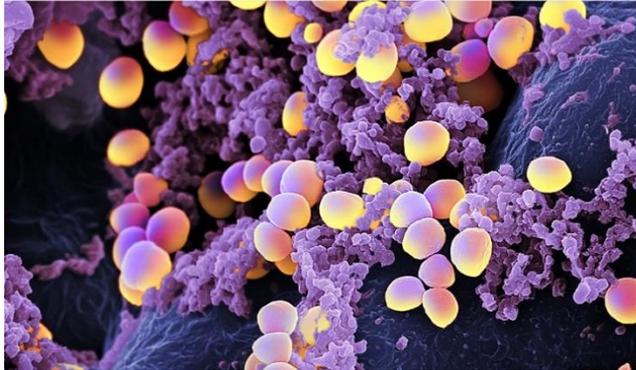
Gambar 7.4. *Lycoperdon pyriforme*, *Tremella mesenterica* dan *Crucibulum vulgare*



Gambar 7.5. Reproduksi jamur Basidiomycota

7.4 Peranan Fungi

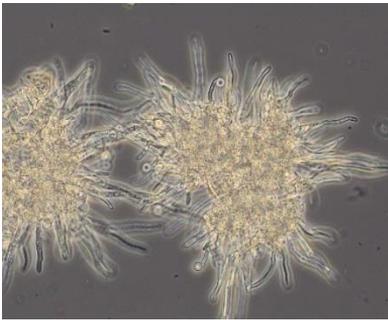
Banyak spesies menghasilkan metabolit yang merupakan sumber utama obat aktif secara farmakologi. Yang sangat penting adalah antibiotik, termasuk penisilin, kelompok antibiotik β -laktam yang terkait secara struktural yang disintesis dari peptida kecil. Meskipun penisilin alami seperti penisilin G (diproduksi oleh *Penicillium chrysogenum*) memiliki spektrum aktivitas biologis yang relatif sempit, berbagai macam penisilin lainnya dapat diproduksi dengan modifikasi kimia dari penisilin alami. Penisilin modern adalah senyawa semisintetik, yang awalnya diperoleh dari kultur fermentasi, namun kemudian diubah secara struktural untuk sifat yang diinginkan. Antibiotik lain yang diproduksi oleh jamur meliputi: ciclosporin, yang biasa digunakan sebagai immunosupresan selama operasi transplantasi; dan asam fusidat, digunakan untuk membantu mengendalikan infeksi bakteri *Staphylococcus aureus* yang resisten methicillin.



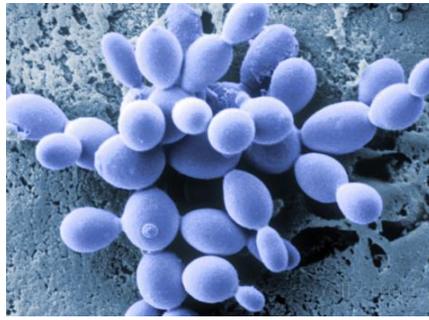
Gambar 7.6. *Staphylococcus aureus*

Penggunaan antibiotik yang luas untuk pengobatan penyakit bakteri, seperti tuberkulosis, sifilis, kusta, dan lain-lain dimulai pada awal abad ke-20 dan terus berlanjut sampai saat ini. Di alam, antibiotik dari jamur atau bakteri muncul untuk memainkan peran ganda: pada konsentrasi tinggi mereka bertindak sebagai pertahanan kimia melawan persaingan dengan mikroorganisme lain di lingkungan yang kaya spesies, seperti rhizosfer, dan pada konsentrasi rendah sebagai molekul penginduksi kuorum untuk intra atau interspecies signaling. Obat lain yang diproduksi oleh jamur termasuk griseofulvin yang diisolasi dari *Penicillium griseofulvum*, digunakan untuk mengobati infeksi jamur dan statin (HMG-CoA reductase inhibitor), digunakan untuk menghambat sintesis kolesterol. Contoh statin yang ditemukan pada jamur meliputi mevastatin dari *Penicillium citrinum* dan lovastatin dari *Aspergillus terreus* dan jamur tiram.

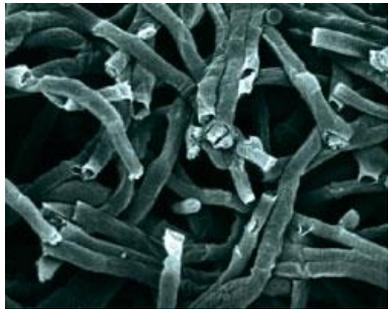
Saccharomyces cerevisiae merupakan jamur uniseluler yang digunakan untuk membuat roti dan produk berbasis gandum lainnya, seperti adonan pizza dan pangsit. Spesies ragi dari genus *Saccharomyces* juga digunakan untuk menghasilkan minuman beralkohol melalui fermentasi. *Aspergillus oryzae* adalah bahan penting dalam pembuatan bir Shoyu (kecap) dan sake, dan pembuatan miso. Sementara spesies *Rhizopus* digunakan untuk membuat tempe. Beberapa dari jamur ini adalah spesies domestikasi yang dibiakkan atau dipilih sesuai dengan kemampuannya untuk memfermentasi makanan tanpa menghasilkan mikotoksin berbahaya yang diproduksi oleh *Aspergilli*. Makanan merk Quorn di UK merupakan makanan pengganti daging yang terbuat dari *Fusarium venenatum*.



Aspergillus terreus



Saccharomyces cerevisiae



Fusarium venenatum



Penicillium citrinum

Rangkuman

- Fungi merupakan kelompok organisme eukariot, kebanyakan multiseluler namun ada yang uniseluler dengan ciri khas yakni talusnya berupa benang-benang hifa yang membentuk miselium dan memperoleh makanan dengan cara menyerap zat organik secara langsung (bersifat heterotrof).
- Jamur Multiseluler talusnya berupa benang-benang hifa yang membentuk miselium. Hifa ada yang bersekat dan ada yang tidak bersekat dengan satu atau banyak inti. Terdapat hifa makanan dan hifa reproduktif.
- Berdasarkan Struktur Alat Reproduksi Seksualnya fungi diklasifikasikan menjadi 6 filum yaitu Chytridiomycota, Zygomycota, Glomeromycota, Ascomycota, Basidiomycota dan Deuteromycota.
- Deuteromycota merupakan kelompok jamur yang belum diketahui tingkat reproduksi seksualnya.
- Mikoriza merupakan simbiosis jamur dengan akar tanaman tingkat tinggi. Terdapat dua jenis mikoriza yaitu endomikoriza dan ektomikoriza. Simbiosis itu bersifat saling menguntungkan karena jamur memperoleh makanan sedangkan tumbuhan dibantu penyerapan air dan unsur hara.
- Lumut Kerak Merupakan simbiosis ganggang dengan jamur, jamur disebut mikobion yakni dari golongan Ascomycota dan Basidiomycota, sedangkan ganggang disebut fikobion yakni dari golongan Cyanobacteria atau Chlorophyta. Simbiosis pada lumut kerak bersifat saling menguntungkan.

Daftar Referensi

- Agus krisno B, Moch. (2002). *Mikrobiologi Terapan*. UMM Press. Malang.
- Dwidjoseputo. (2003). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Djambatan. Jakarta.
- Irianto, Koes. (2007). *Mikrobiologi*. Bandung: CV.Yrama Widya.
- Hausmann, K., N. Hulsmann, R. Radek. (2003). *Protistology. Schweizerbart'sche Verlagsbuchshandlung, Stuttgart*.
- Margulis, L., M.J. Chapman. (2009). *Kingdoms and Domains: An Illustrated Guide to the Phyla of Life on Earth*. Amsterdam: Academic Press/Elsevier.
- Pelczar, M. J. (2006). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Jakarta: UI-Press.
- Waluyo. Lud. (2005). *Mikrobiologi Umum*. UMM Press. Malang

7.5 Soal-soal latihan

- Berikut ini yang bukan merupakan hal yang membedakan jamur dengan tumbuhan yaitu ...
 - Reproduksi
 - Cara makan
 - Struktur tubuh
 - Bergerak pasif
 - Pertumbuhan
- Perhatikan uraian di bawah ini!
 - Saprofit
 - Autotrof
 - Heterotrof
 - Mutual
 - Mempunyai klorofilBerdasarkan uraian di atas merupakan cara memperoleh makan, fungi memiliki sifat sebagai ...
 - 1, 3 dan 5
 - 1, 2 dan 3
 - 2, 3 dan 4
 - 1, 3 dan 5
 - 1, 3 dan 4
- Sebagai makhluk heterotrof, sifat jamur yaitu ...
 - Hidup di daerah lembab
 - Bisa membuat makanan sendiri
 - Bergantung pada inangnya
 - Mempunyai klorofil
 - Bisa berfotosintesis
- Dibawah ini yang tidak termasuk jenis jamur yang termasuk Zygomycotina adalah...
 - Penicillium sp.*
 - Rhizopus orizae*
 - Cunninghamella*
 - Pilobolus*
 - Glomus*
- Reproduksi jamur secara vegetatif yaitu ...
 - Membelah diri
 - Konjugasi
 - Ascus
 - Budding
 - Basidium
- Nama lain dari deuteromycotina yaitu jamur ..
 - tiram merah
 - tidak sempurna
 - air
 - lendir
 - tiram putih

7. Contoh spesies dari Deuteromycotina yaitu ..
- Gonoderma sp*
 - Penicillium sp*
 - Neurospora sitophila*
 - Tinea versicolor*
 - Gigaspora*
8. Dibawah ini merupakan salah satu bentuk simbiosis jamur yaitu ..
- Miselium
 - Zygomycotina
 - Ascomycotina
 - Basidiomycotina
 - Mikoriza
9. Dibawah ini yang tidak termasuk jamur yang menguntungkan bagi kehidupan manusia, adalah...
- Lycoperdon perlatum*
 - Volvariella volvacea*
 - Albugo
 - Higroporus
 - Saccharomyces*
10. Dibawah ini jenis jamur yang merugikan bagi kehidupan manusia yaitu ..
- Lycoperdon perlatum*
 - Volvariella volvacea*
 - Albugo*
 - Higroporus*
 - Saccharomyces*
11. Jamur tidak mempunyai kormus, tetapi hanya mempunyai....
- cabang
 - talus
 - akar
 - daun
 - batang
12. Berikut ini yang merupakan pernyataan yang benar yaitu
- anteridium mengandung inti yang haploid
 - anteridium mengandung dua inti
 - inti askogonium berpindah tempat ke anteridium
 - askogonium mengandung dua inti
 - askus dapat terbentuk dari hifa haploid
13. Kumpulan benang-benang halus pada jamur dinamakan
- spora
 - sporangium
 - miselium
 - askospora
 - basidiospora
14. Jamur yang ada di darat bisa memproduksi spora yang terbentuk dari sel-sel khusus yang dinamakan
- basidium
 - sorus
 - miselium
 - hifa
 - askus

15. Jamur dapat berkembang biak secara aseksual dengan membentuk
 - a. hifa
 - b. konidium
 - c. gemma
 - d. sporangium
 - e. sorus
16. Dengan adanya Mikoriza pada akar, tumbuhan pinus akan memperoleh....
 - a. toksin untuk mengusir hama
 - b. karbon dioksida
 - c. enzim pencernaan makanan
 - d. bahan-bahan organik
 - e. air dan bahan organik
17. Sekat yang menonjol dalam sporangium pada *Mucor mucedo* dinamakan....
 - a. basidium
 - b. konidium
 - c. kulomela
 - d. sporangium
 - e. sorus
18. Spora yang bisa bergerak di air dengan menggunakan flagel dinamakan
 - a. sporofit
 - b. oospore
 - c. gemma
 - d. sporangium
 - e. zoospora
19. Salah satu contoh jamur Zygomycota yaitu jamur
 - a. tape
 - b. tempe
 - c. merang
 - d. ragi
 - e. kuping
20. Dinding sel pada jamur Zygomycota mengandung zat
 - a. fiositin
 - b. sitokitin
 - c. selulosa
 - d. kitin
 - e. tanduk
21. Meskipun tidak sedang bersimbiosis dengan lumut, ganggang tetap dapat hidup mandiri. Hal ini terjadi karena ganggang dapat
 - a. hidup secara heterotrof
 - b. berfotosintesis
 - c. hidup secara fotoautotrof
 - d. hidup secara saprofit
 - e. berkembang biak dengan membelah diri
22. Berikut ini yang bukan merupakan perkembangbiakan jamur secara aseksual yaitu
 - a. peleburan sel
 - d. pembentukan konidia

- b. fragmentasi
c. pertunasan
- e. pembentukan spora
23. Perbedaan yang menonjol antara Oomycota dan Zygomycota yaitu
- a. reproduksi aseksualnya
b. pencernaan makanannya
c. struktur hifanya
- d. reproduksi seksualnya
e. jawaban c dan d benar
24. Jamur yang bersifat makroskopik termasuk dalam divisi jamur
- a. Myxomicota
b. Ascomycota
c. Deuteromycota
- d. Basidiomycota
e. Zygomycota
25. Berikut ini yang bukan termasuk jamur dari divisi Basidiomycota yaitu jamur....
- a. pinisilin
b. beracun
c. tempe
- d. tiram
e. kuping
26. Di bawah ini yang bukan termasuk ciri-ciri jamur Basidiomycota yaitu
- a. jamur ganoderma
b. hifa bersekat melintang
c. reproduksi aseksual dengan konidia
d. reproduksi seksual menghasilkan basidium
e. merupakan jamur makroskopik
27. Penyakit kaki atlet diakibatkan oleh jamur dari divisi
- a. Phicomycota
b. Deuteromycota
c. Ascomycota
- d. Basidiomycota
e. Zygomycota
28. Aspergillus bisa hidup secara
- a. autotroph
b. mandiri atau bebas
c. bersimbiosis
- d. saprofit
e. parasit
29. Talus yang berbentuk seperti kerak merupakan ciri lumut kerak yang bertipe
- a. Fruktosa
b. Foliosa
c. Krustosa
- d. fruktikosa
e. Variola
30. Berikut ini yang bukan termasuk manfaat lumut kerak bagi manusia yaitu
- a. tumbuhan yevinfis
b. dibuat obat
- d. dibuat kertas lakmus
e. indikator pencemaran air

- c. penambah rasa atau aroma
31. Jamur tidak bisa digolongkan ke dalam dunia tumbuhan karena
- tidak memiliki klorofil
 - memiliki dinding sel
 - bersifat autotrof
 - memiliki hifa
 - memiliki spora
32. Jenis jamur ada yang memiliki hifa tidak bersekat dan ada pula yang bersekat. Pada hifa yang bersekat, inti selnya tersebar dalam sitoplasma yang dinamakan
- Parasite
 - Sinositik
 - Haustorium
 - Saprofit
 - Konidiospora
33. Berikut ini yang bukan merupakan macam spora aseksual pada jamur adalah
- Sporangiospor
 - Konidiospora
 - Oospora
 - Basidiospora
 - Artrospora
34. Klasifikasi jamur dikelompokkan atas dasar
- ciri biokimia
 - ciri morfologi
 - ciri fisiologi
 - ciri reproduksi
 - habitatnya
35. Jamur yang berperan dalam pembuatan tempe yaitu
- Rhizopus
 - Aspergillus
 - Mucor
 - Penicillin
 - Therospora
36. Berikut ini yang tidak termasuk ciri-ciri jamur adalah ...
- Ada yang mempunyai zat warna
 - Eukariot
 - Mempunyai dinding sel
 - Mempunyai klorofil
 - Bersifat heterotrof
37. Dalam klasifikasi dua kingdom, jamur termasuk ke dalam jenis tumbuhan, hal ini dikarenakan tumbuhan dan jamur mempunyai kesamaan dalam hal-hal berikut, kecuali..
- Eukariot
 - Mempunyai dinding sel
 - Tidak bisa bergerak aktif
 - Mempunyai membran sel
 - Mendapatkan makanan secara autotrof
38. Dinding sel jamur sebagian besar tersusun atas...
- Glukan
 - Kitin
 - Ion-ion anorganik
 - Lipid

- c. Polifospat
39. Bagian tubuh jamur yang berfungsi untuk menyerap makanan yaitu...
- Septum
 - Spora
 - Miselium vegetatif
 - Miselium generatif
 - Badan buah
40. Jamur mendapatkan nutrisi dengan cara di bawah ini, kecuali..
- Bersimbiosis dengan organisme lain
 - Membusukan materi organik
 - Mensekresikan enzim hingga makanan rusak
 - Bersifat parasit pada tumbuhan atau hewan
 - Menyebarkan toksin hingga makanan beracun
41. Berikut ini yang berfungsi sebagai spora aseksual ascomycota yaitu...
- Oospora
 - Konidiospora
 - Zigospora
 - Askospora
 - Basidiospora
42. Contoh jamur berikut ini yang termasuk jamur Ascomycota uniseluler yaitu ...
- Rhizopus nigricans*
 - Saccharomyces cereviecea*
 - Pucciana graminis*
 - Neurospora crassa*
 - Mucor mucedo*
43. Roti yang berjamur sebaiknya dibuang karena mengandung toksin yang diproduksi oleh...
- Rhizopus
 - Penicillium
 - Fusarium
 - Aspergillus
 - Rosellina
44. Jamur yang dinamfaatkan untuk pembuatan tempe yaitu ...
- Rhizopus oryzae*
 - Amanita muscaria*
 - Penicillium natatum*
 - Saccharomyces cereviecea*
 - Neuspora crassa*
45. Pada jamur merang, bagian yang kita makan yaitu ...
- Hifa
 - Basidiokarp
 - Basidiospora
 - Miselium
 - Basidium
46. Yang dimaksud dengan ragi pada pembuatan tempe adalah ...
- Basidium dari *Saccharomyces cereviecea*
 - Hifa dari *Saccharomyces cereviecea*
 - Sissa tape yang sudah dikeringkan.
 - Spora dari *Saccharomyces cereviecea*

- e. Tubuh buah dari *Saccharomyces cerevisiae*
47. Di bawah ini merupakan jenis jamur yang merugikan, kecuali..
- | | |
|----------------------------------|------------------------------|
| a. <i>Penicillium notatum</i> | d. <i>Amanita muscaria</i> |
| b. <i>Auricularia polytricha</i> | e. <i>Saccharomyces tuac</i> |
| c. <i>Rhizopus oryzae</i> | |
48. Kelompok jamur Deutecomycetes dinamakan jamur tak sempurna karena cara reproduksi...
- aseksual hanya membentuk kuncup
 - aseksual dan seksuannya bekum diketahui
 - aseksual belum diketahui
 - aseksual belum diketahui
 - seksual unik
49. Keuntungan yang didapatkan jamur dalam simbiosis dengan ganggang yaitu...
- | | |
|------------------------------|-----------------------------|
| a. Memberikan kelembapan | d. Mendapatkan air |
| b. Mendapatkan zat organik | e. Memberikan zat anorganik |
| c. Mendapatkan bahan organik | |
50. Jamur dari kelas Ascomycota yang berkembang biak dengan tunas biasanya digunakan manusia untuk...
- | | |
|-----------------------|------------------|
| a. Membuat antibiotic | d. Membuat tempe |
| b. Membuat roti | e. Membuat keju |
| c. Membuat kecap | |
51. Hubungan mutualistik antar jamur dengan akar tanaman membentuk...
- | | |
|-----------|-------------|
| a. Spora | d. Mikoriza |
| b. Lichen | e. Miselium |
| c. Hifa | |
52. Jamur dikelompokkan menjadi tiga divisi berdasarkan spora seksual yang dihasilkan. Berikut ini hubungan antara jenis jamur dan spora seksual yang dihasilkan, hubungan yang tidak benar adalah..
- Auricularia volvacea* –basidiospora
 - Rhizopus stolonifer* – zigospora
 - Saccharomyces cerevisiae* – askospora
 - Mucor mucedo* – zigospora
 - Puccinia graminis* – askospora
53. Berikut ini adalah spora seksual pada jamur, adalah..
- | | |
|--------------|-----------------|
| a. Oospora | d. Askospora |
| b. Zigospora | e. Konidiospora |

c. Basidiospra

54. Lumut kerak yang merupakan bentuk simbiosis antara ganggang dan jamur bisa bereproduksi sehingga menghasilkan kembali lumut kerak. Cara reproduksi yang dilakukan yaitu...
- a. Aseksual dengan menggunakan soledia
 - b. Seksual dengan menggunakan spora
 - c. Seksual dengan masing-masing membentuk arkhegonium dan antheridium
 - d. Seksual dengan menggunakan soledia
 - e. Aseksual dengan menggunakan spora

Kunci Jawaban:

1. D 11. B 21. B 31. A 41. B 51. D
2. E 12. A 22. E 32. B 42. B 52. E
3. C 13. C 23. E 33. D 43. A 53. D
4. A 14. E 24. D 34. D 44. A 54. B
5. D 15. B 25. C 35. A 45. B
6. B 16. E 26. E 36. D 46. D
7. D 17. C 27. B 37. D 47. D
8. E 18. E 28. D 38. B 48. C
9. C 19. B 29. C 39. C 49. C
10. C 20. D 30. E 40. E 50. B

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai pertumbuhan dan proses metabolisme pada mikroorganisme dan proses penyusunan energi pada mikroorganisme.
CPMK	Mahasiswa mampu menjelaskan cara pertumbuhan dan proses metabolisme pada mikroorganisme.
Sub-CPMK	Mahasiswa dapat: <ul style="list-style-type: none">▪ Menjelaskan proses pertumbuhan mikroorganisme▪ Menyebutkan komponen media pertumbuhan untuk mikroorganisme▪ menjelaskan jenis media pertumbuhan dan cara menghitung laju pertumbuhan mikroorganisme▪ Menjelaskan fase pertumbuhan mikroorganisme▪ Menyebutkan faktor-faktor pertumbuhan mikroorganisme▪ Menjelaskan proses penyusunan energi pada mikroorganisme▪ Membedakan proses anabolisme dan katabolisme pada mikroorganisme▪ Menyebutkan komponen penyusun energi

A. PERTUMBUHAN MIKROORGANISME

8.1 Pendahuluan

Pertumbuhan merupakan penambahan kuantitas konstituen seluler dan struktur organisme yang dapat dinyatakan dengan ukuran, diikuti penambahan jumlah, penambahan ukuran sel, penambahan berat atau massa dan parameter lain. Sebagai hasil penambahan ukuran dan pembelahan sel atau penambahan jumlah sel maka terjadi pertumbuhan populasi mikroba.

Pertumbuhan yang umum digunakan untuk bakteri serta mikroorganisme lain dan biasanya mengacu pada perubahan di dalam hasil panen sel (pertambahan total massa sel) dan bukan perubahan individu organisme. Inokulum hampir selalu mengandung ribuan organisme, yaitu pertumbuhan menyatakan pertambahan jumlah atau massa melebihi yang ada di dalam inokulum asalnya. Selama fase pertumbuhan seimbang (balanced growth) yang akan diuraikan kemudian,

pertambahan massa bakteri berbanding lurus (proporsional) dengan pertambahan komponen selular yang lain seperti DNA, RNA, dan protein, sehingga muncullah berbagai cara untuk mengembangkan pengukuran bagi pertumbuhan bakteri.

Selang waktu yang diperlukan bagi sel untuk membelah diri atau untuk populasi menjadi dua kali lipat dikenal sebagai waktu generasi. Tidak semua spesies bakteri mempunyai waktu generasi yang sama. Waktu generasi untuk suatu spesies bakteri tertentu juga tidak sama pada segala kondisi. Waktu generasi sangat bergantung pada cukup tidaknya nutrien di dalam medium serta pada sesuai tidaknya kondisi fisik.

Waktu generasi bakteri dapat ditentukan dengan pemeriksaan mikroskopik langsung. Tetapi metode yang lebih praktis dan umum ialah menginokulasi suatu medium dengan bakteri dalam jumlah yang diketahui, membiarkan mereka tumbuh pada kondisi optimum, dan menentukan populasi pada interval waktu tertentu secara berkala. Data percobaan yang dibutuhkan untuk menghitung waktu generasi ialah:

- a) Jumlah bakteri yang ada pada mulanya, yaitu di dalam inokulum
- b) Jumlah bakteri yang ada pada waktu tertentu
- c) Interval waktu

8.2 Pertumbuhan Mikroorganisme

Pertumbuhan mikroorganisme yang bersel satu berbeda dengan mikroorganisme yang bersel banyak (multiseluler). Pada mikroorganisme yang bersel satu (uniseluler) pertumbuhan ditandai dengan bertambahnya sel tersebut. Setiap sel tunggal setelah mencapai ukuran tertentu akan membelah menjadi mikroorganisme yang lengkap, mempunyai bentuk dan sifat fisiologis yang sama. Pertumbuhan jasad hidup dapat ditinjau dari dua segi, yaitu pertumbuhan sel secara individu dan pertumbuhan kelompok sebagai satu populasi. Pertumbuhan sel diartikan sebagai adanya penambahan volume serta bagian-bagian sel lainnya, yang diartikan pula sebagai penambahan kuantitas isi dan kandungan didalam selnya. Pertumbuhan populasi merupakan akibat dari adanya pertumbuhan individu, misal dari satu sel menjadi dua, dari dua menjadi empat, empat menjadi delapan, dan seterusnya hingga berjumlah banyak.

Pada mikroorganisme, pertumbuhan individu (sel) dapat berubah langsung menjadi pertumbuhan populasi. Sehingga batas antara pertumbuhan sel sebagai individu serta satu kesatuan populasi yang kemudian terjadi kadang-kadang karena terlalu cepat perubahannya, sulit untuk diamati dan dibedakan. Pada pertumbuhan populasi bakteri misalnya, merupakan penggambaran jumlah sel atau massa sel

yang terjadi pada saat tertentu. Kadang-kadang didapatkan bahwa konsentrasi sel sesuai dengan jumlah sel perunit volume, sedang kerapatan sel adalah jumlah materi perunit volume.

Penambahan dan pertumbuhan jumlah sel mikroorganisme pada umumnya dapat digambarkan dalam bentuk kurva pertumbuhan. Kurva tersebut merupakan penjabaran dari penambahan jumlah sel dalam waktu tertentu, misal bernilai b , maka:

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

Dengan perhitungan logaritma, persamaan dapat dituliskan menjadi:

$$\begin{aligned}\log b &= \log 10a + a \log 102 \\ &= \log 10a + 0,301 n \\ &= \log 10b - \log 10a \\ \text{atau } n &= 0,301\end{aligned}$$

Pertumbuhan bakteri dalam biak statik akan mengikuti kurva pertumbuhan. Jika bakteri ditanam dalam suatu larutan biak, maka bakteri akan terus tumbuh sampai salah satu faktor mencapai minimum dan pertumbuhan menjadi terbatas. Pertumbuhan biak bakteri dengan mudah dapat dinyatakan secara grafik dengan logaritme jumlah sel hidup terhadap waktu. Suatu kurva pertumbuhan punya bentuk sigmoid dan dapat dibedakan dalam beberapa tahap pertumbuhan. Ada beberapa tahap pertumbuhan yaitu: terdapat kurva pertumbuhan atau gambar.

8.3 Fase Pertumbuhan Mikroorganisme

Secara umum fase-fase pertumbuhan mikroorganisme adalah sebagai berikut:

a. Fase lag (fase masa persiapan, fase adaptasi, adaptation phase)

Pada fase ini laju pertumbuhan belum memperlihatkan pertumbuhan ekponensial, tetapi dalam tahap masa persiapan. Hal ini tergantung dari kondisi permulaan, apabila mikroorganisme yang ditanami pada substrat atau medium yang sesuai, maka pertumbuhan akan terjadi. Namun sebaliknya apabila diinokulasikan mikroorganisme yang sudah tua meskipun makanannya cocok, maka pertumbuhannya mikroorganisme ini membutuhkan masa persiapan atau fase lag. Waktu yang diperlukan pada fase ini digunakan untuk mensintesa enzim. Sehingga mencapai konsentrasi yang cukup untuk melaksanakan pertumbuhan

ekponensial. Fase ini berlangsung beberapa jam hingga beberapa hari, tergantung dari jenis mikroorganisme serta lingkungan yang hidup.

Selama fase ini perubahan bentuk dan pertumbuhan jumlah individu tidak secara nyata terlihat. Karena fase ini dapat juga dinamakan sebagai fase adaptasi (penyesuaian) ataupun fase-pengaturan jasad untuk suatu aktivitas didalam lingkungan yang mungkin baru. Sehingga grafik selama fase ini umumnya mendatar.

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

$$\begin{aligned} G &= t / n \\ &= 0,301 \\ \log_{10} a - \log_{10} b \end{aligned}$$

b. Fase Log (fase logaritme, fase eksponensial, logaritma phase)

Pada setiap akhir persiapan sel mikroorganisme akan membelah diri. Masa ini disebut masa pertumbuhan, yang setiap selnya tidak sama dalam waktu masa persiapan. Sehingga secara berangsur-angsur kenaikan jumlah populasi sel mikroorganisme ini mencapai masa akhir fase pertumbuhan mikroorganisme.

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

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

Kalau faktor-faktor di atas optimal, maka peningkatan kurva akan nampak tajam seperti gambar. Pada fase ini pertumbuhan secara teratur telah tercapai. Maka pertumbuhan secara eksponensial akan tercapai. Pada fase ini menunjukkan kemampuan mikroorganisme berkembang biak secara maksimal. Setiap sel mempunyai kemampuan hidup dan berkembang biak secara tepat. Fase pengurangan pertumbuhan akan terlihat berupa keadaan puncak dari fase logaritmik sebelum mencapai fase stasioner, dimana penambahan jumlah individu mulai berkurang atau menurun yang disebabkan oleh banyak faktor, antara lain berkurangnya sumber nutrisi di dalam media tercapainya jumlah kejenuhan pertumbuhan jasad. Fase tumbuh reda akan terlihat dimana fase logaritma mencapai puncaknya, maka zat-zat makanan yang diproduksi oleh setiap sel

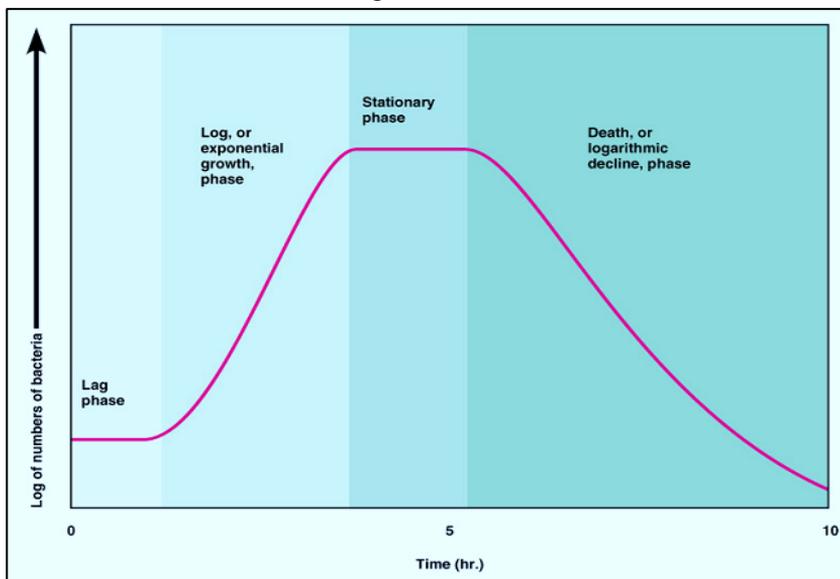
mikroorganisme akan mengakibatkan pertumbuhan mikroorganisme, sehingga pada masa pertumbuhan ini reda atau dikatakan sebagai fase tumbuh reda.

c. Fase stasioner

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

d. Fase kematian

Fase ini diawali setelah jumlah mikroorganisme yang di hasilkan mencapai jumlah yang konstan, sehingga jumlah akhir mikroorganisme tetap maksimum pada masa tertentu. Setelah masa dilampaui, maka secara perlahan-lahan jumlah sel yang mati melebihi jumlah sel yang hidup. Fase ini disebut fase kematian dipercepat. Fase kematian dipercepat mengalami penurunan jumlah sel, karena jumlah sel mikroorganisme mati. Namun penurunan jumlah sel tidak mencapai nol, sebab sebagian kecil sel yang mampu beradaptasi dan tetap hidup dalam beberapa saat waktu tertentu. Pada fase ini merupakan akhir dari suatu kurva dimana jumlah individu secara tajam akan menurun sehingga grafik tampaknya akan kembali ke titik awal lagi.



Gambar 8.1. Grafik pertumbuhan mikrobia

Pertumbuhan pada Arkhaea dan bakteri, merupakan pertambahan volume dan ukuran sel, juga sebagai pertambahan jumlah sel. Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri antara lain:

- a. **Nutrien**, dibutuhkan sebagai sumber energi dan untuk menyusun komponen sel. Nutrien yang dibutuhkan antara lain karbon, nitrogen, mineral dan vitamin.
- b. **Air**, merupakan komponen terbesar penyusun sel (70-80%), dibutuhkan dalam reaksi metabolisme.
- c. **pH**, bakteri dapat tumbuh dengan baik umumnya pada kisaran pH 3-6. pH optimum dimana terjadi pertumbuhan maksimum sekitar 6,5-7,5 (pH netral).
- d. **Temperatur**. berpengaruh pada proses metabolisme (mempengaruhi aktivitas enzim, bila suhu terlalu tinggi bahkan bisa merusak enzim) dan proses pembelahan sel. Berdasarkan rentang temperatur dimana dapat terjadi pertumbuhan, bakteri dikelompokkan menjadi tiga yaitu:
 1. Kelompok **psikrofilik**, rentang suhu -5 sampai 30°C, optimum pada 10-20°C
 2. Kelompok **mesofilik**, rentang suhu 10-45°C, optimum pada 20-40°C
 3. Kelompok **termofilik**, rentang suhu 25-80°C, optimum pada 50-60°C

8.4 Metode Pengukuran Pertumbuhan

Dalam pertumbuhannya bakteri memiliki suhu optimum dimana pada suhu tersebut pertumbuhan bakteri menjadi maksimal. Dengan membuat grafik pertumbuhan suatu mikroorganisme, maka dapat dilihat bahwa suhu optimum biasanya dekat puncak range suhu. Di atas suhu ini kecepatan tumbuh mikroorganisme akan berkurang. Metode pengukuran pertumbuhan yang sering digunakan adalah dengan menentukan jumlah sel yang hidup dengan jalan menghitung koloni pada pelat agar dan menentukan jumlah total sel/jumlah massa sel. Selain itu dapat dilakukan dengan cara metode langsung dan metode tidak langsung. Dalam menentukan jumlah sel yang hidup dapat dilakukan penghitungan langsung sel secara mikroskopik, melalui 3 jenis metode yaitu metode pelat sebar, pelat tuang dan *most-probable number* (MPN). Sedang untuk menentukan jumlah total sel dapat menggunakan alat yang khusus yaitu bejana Petrof-Hausser atau hemositometer. Penentuan jumlah total sel juga dapat dilakukan dengan metode turbidimetri yang menentukan volume sel mampat, berat sel, besarnya sel atau koloni, dan satu atau lebih produk metabolit. Penentuan kuantitatif metabolit ini dapat dilakukan dengan metode Kjeldahl.

Cara perhitungan yang paling umum menggunakan cara pengenceran. Cara pengenceran pada prinsipnya menyiapkan beberapa buah tabung yang berisi seri

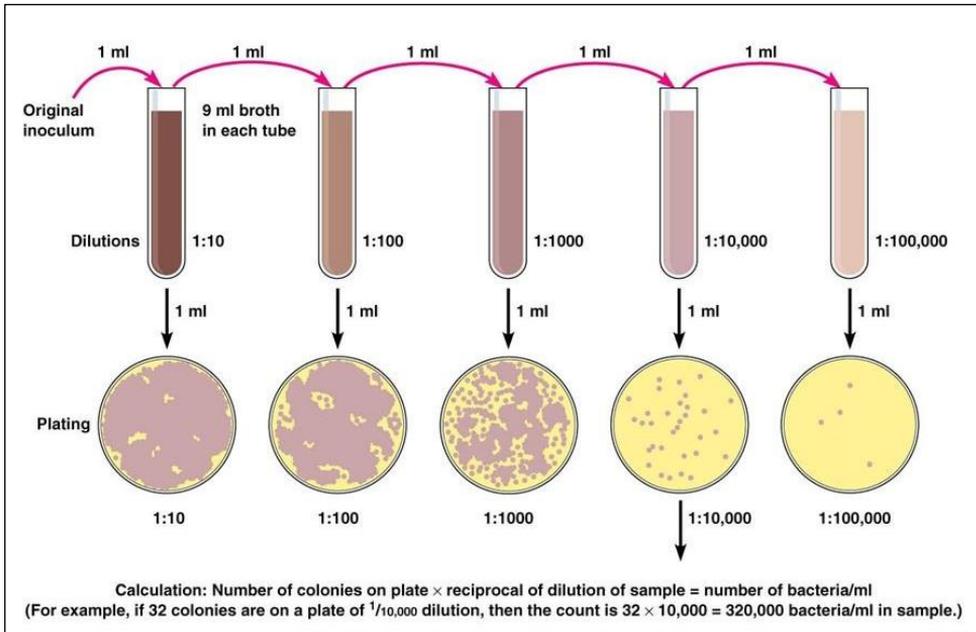
pengenceran, kemudian masing-masing tabung dihitung jumlah selnya. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan, misalnya: 1). Menghitung sel hidup dengan cara ditanam pada media padat, 2). Menghitung dengan ruang hitung dan 3). Menghitung dengan turbidimeter.

1) Menghitung sel hidup dengan cara ditanam pada media padat.

Perhitungan melalui pengenceran dan diteruskan dengan menumbuhkan pada media kultur. Ada dua cara menumbuhkan pada media kultur, yakni: bentang rata (spread-plate) dan tabur tuang rata (*pour-plate*). Cara spread-plate dilaksanakan dengan meneteskan 100 µl suspensi sampel di atas medium kultur padat kemudian dibentang rata menggunakan batang gelas bentuk huruf L. Cara *pour-plate* dilaksanakan dengan meneteskan 100 µl suspensi sampel di dalam cawan petri kemudian dituangi medium cair dan digoyang-goyang supaya sampel bercampur homogen dengan medium kultur (lihat gambar 8.2).

Koloni yang tumbuh dianggap berasal dari satu sel atau satu potong propagul. **Propagul** adalah individu atau bagian darinya yang mampu tumbuh menjadi individu baru. Oleh karena itu jumlah koloni yang tumbuh pada medium kultur cara ini akan sama dengan jumlah sel atau propagul yang ditanam. Dengan demikian jumlah sel atau jumlah propagul dalam g gram bahan dapat dikonversikan menggunakan rumus:

JS = a.g.d^s, dengan arti lambang JS = jumlah sel, a = jumlah koloni dalam satuan medium, g = berat atau volume bahan yang diencerkan, sedangkan d = faktor pengenceran, dan pangkat s = jumlah pengenceran. Sebagai contoh pada gambar di atas, medium terakhir ditumbuhi 5 koloni (a), berat bahan 10 gram (g), faktor pengenceran 10 (d), dan jumlah pengenceran 8, sehingga jumlah sel = $5 \cdot 10 \cdot 10^8 = 5 \times 10^9$ sel per 10 gram bahan atau $5 \cdot 10^8$ sel/g bahan. Perhitungan melalui pengenceran yang diteruskan dengan menumbuhkannya dalam medium kultur merupakan cara yang mudah dan murah tetapi sel yang terhitung hanya sel-sel yang hidup. Sel-sel yang tidak terpisah akan tumbuh menjadi satu koloni, oleh karena itu pengencerannya harus benar-benar mengakibatkan antara sel yang satu dengan sel yang lainnya saling terpisah.

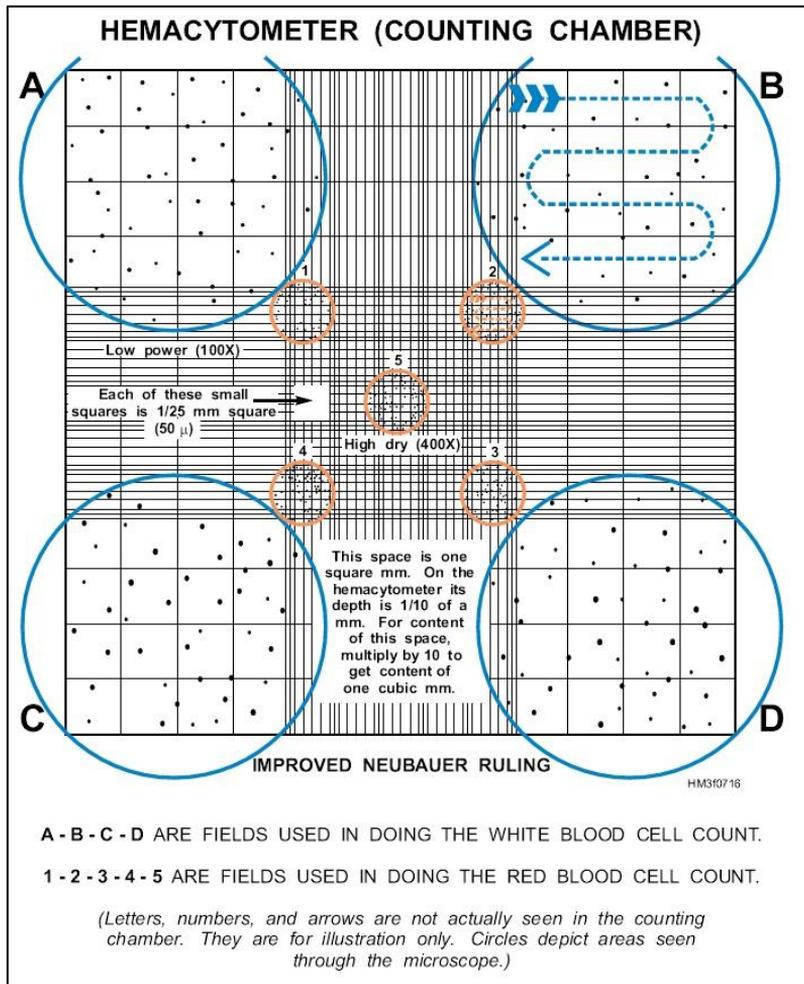


Gambar 8.2. Penghitungan koloni bakteri

Kelebihan dari *pour-plate method* adalah volume sampel dapat mencapai 1 ml. Kekurangan dari *pour-plate method* adalah organisme yang akan dihitung jumlahnya harus kuat menghadapi suhu dari agar. Selain itu, pengamatan perhitungan juga harus diamati dengan baik-baik, sebab koloninya dapat tumbuh didalam medium juga (aerob dan anaerob).

2) Menghitung dengan ruang hitung.

Perhitungan sel menggunakan ruang hitung dilakukan dengan menggunakan suspensi hasil pengenceran ditetaskan ke dalam ruang hitung kemudian ditutup menggunakan gelas penutup preparat. Hindari terjadinya gelembung udara pada waktu menutup ruang hitung. Ruang hitung yang digunakan biasanya berupa hemasitometer atau ruang penghitung sel-sel darah merah (lihat gambar di bawah).



Gambar 8.3. Penghitungan mikroorganisme dengan Haemositometer mikrobial

Pemeriksaan selanjutnya dilakukan di bawah mikroskop dengan cara menghitung jumlah sel yang ada di dalam ruang hitung. Ada tiga macam ruang hitung yang dapat digunakan dengan ukuran ruang yang saling berbeda. Perhitungan akan lebih mewakili dari jumlah sel yang sebenarnya jika menggunakan semua macam ruang hitung dan sistem pengencerannya yang benar-benar homogen, sehingga hasil rata-rata menjadi lebih akurat.

a. Jika yang digunakan kotak kecil

$$\text{Volume 1 kotak kecil (KK)} = 0,05 \text{ mm} \times 0,05 \text{ mm} \times 0,1 \text{ mm} = 25 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3$$

Jika jumlah sel dalam 1 KK = X_K sel

maka $25 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3 = X_K \text{ sel}$

$$1.\text{mm}^3 = \frac{X_K \cdot 10^5}{25} = 4.000 X_K$$

Jadi dalam 1 ml suspensi = $1.000 \times 4.000 X_K$

dRumus menggunakan KK \longrightarrow 1 ml = 4 juta $\times X_K$

b. Jika yang digunakan kotak panjang

Volume 1 kotak panjang (KP) = $0,25 \text{ mm} \times 0,05 \text{ mm} \times 0,1 \text{ mm} = 125 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3$

Jika jumlah sel dalam 1 KP = $X_p \text{ sel}$

maka $125 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3 = X_p \text{ sel}$

$$1.\text{mm}^3 = \frac{X_p \cdot 10^5}{125} = 800X_K$$

Jadi dalam 1 ml suspensi = $1.000 \times 800 X_K$

Rumus menggunakan KP \longrightarrow 1 ml = $800.000 \times X_p$

c. Jika yang digunakan kotak besar

Volume 1 kotak besar (KB) = $0,25 \text{ mm} \times 0,25 \text{ mm} \times 0,1 \text{ mm} = 625 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3$

Jika jumlah sel dalam 1 KB = $X_B \text{ sel}$

maka $625 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3 = X_B \text{ sel}$

$$1.\text{mm}^3 = \frac{X_B \cdot 10^5}{625} = 160X_p$$

Jadi dalam 1 ml suspensi = $1.000 \times 160 X_K$

Rumus menggunakan KB \longrightarrow 1 ml = $160.000 \times X_p$

3) Menghitung dengan turbidimeter.

Turbidimetri merupakan metode yang cepat untuk menghitung jumlah bakteri dalam suatu larutan menggunakan spektrofotometer. Bakteri menyerap cahaya sebanding dengan volume total sel (ditentukan oleh ukuran dan jumlah).

Ketika mikroba bertambah jumlahnya atau semakin besar ukurannya dalam biakan cair, terjadi peningkatan kekeruhan dalam biakan. Kekeruhan dapat disebut optical density (absorpsi cahaya, biasanya diukur pada panjang gelombang 520 nm – 700 nm). Untuk mikroba tertentu, kurva standar dapat memperlihatkan jumlah organisme/ml (ditentukan dengan metode hitungan cawan) hingga pengukuran optical density (ditentukan dengan spektrofotometer).

8.5 Media Pertumbuhan Mikroorganismen

Sejumlah besar mikroorganismen yang tidak banyak tuntutan, misalnya banyak *Pseudomonas* dalam tanah dan air, dan juga *Escherichia coli* tumbuh subur dalam larutan biak sesuai susunannya. Selain susunan pertumbuhannya banyak mikroorganismen masih memerlukan unsur-unsur lain yakni unsur pelengkap, vitamin-vitamin dan unsur senyawa tambahan lain. Sesuatu larutan biak yang dapat dibuat dari senyawa-senyawa kimia tertentu, disebut **media biak sintetik**. Harus diusahakan agar untuk setiap mikroorganismen dapat ditetapkan kebutuhan bahan makanan minuman dan mengembangkan medium minimum yang tidak mengandung lebih banyak komponen daripada yang diperlukan untuk pertumbuhan. Jenis-jenis yang mempunyai tuntutan tinggi memerlukan sejumlah besar zat pelengkap. Untuk *Leuconostoc mesenteroides* telah mengembangkan suatu medium sintetik yang mengandung lebih dari 40 komponen.

Media biak kompleks. Untuk banyak mikroorganismen bertuntutan tinggi belum dikenal benar bahan-bahan makanan yang diperlukan. Orang membiakkannya dalam larutan biak yang mengandung ekstrak ragi, otolizat ragi, pepton atau ekstrak daging. Untuk beberapa kelompok organismen lazim juga digunakan: rempah-rempah, dekok rumput kering, sari buah prem, sari wortel, santan dan untuk cendawan koprofil juga sari perasan tahi kuda. Mengingat biaya, larutan-larutan biak tidak dibentuk dari senyawa-senyawa murni tetapi lebih disukai untuk menggunakan zat-zat kompleks, seperti air dadih, melase, air rendaman jagung atau ekstrak kedele, yang sebagai produk sisa tersedia dengan harga murah. Media biak seperti ini disebut media biak kompleks.

Media biak padat. Untuk membuat biak padat pada larutan biak cair ditambahkan bahan pematat yang memberi konsistensi seperti selai pada larutan air. Hanya untuk keperluan tertentu masih digunakan gelatin, karena sudah mencair pada suhu 26-30°C dan banyak mikroorganismen mampu mencairkan gelatin. Bahan pematat yang hampir ideal adalah agar. Agar adalah polisakarida dengan susunan kompleks dan terajut kuat berasal dari ganggang laut. Agar hanya dipengaruhi oleh sejumlah kecil bakteri. Bila diperlukan media biak padat tanpa komponen-komponen organik, maka dipakai silikagel sebagai bahan pematat.

Pembiakan mikroba dalam laboratorium memerlukan medium yang berisi zat hara serta lingkungan pertumbuhan yang sesuai dengan mikroorganismen. Zat hara digunakan oleh mikroorganismen untuk pertumbuhan, sintesis sel, keperluan energi dalam metabolisme, dan pergerakan. Lazimnya, medium biakan berisi air, sumber energi, zat hara sebagai sumber karbon, nitrogen, sulfur, fosfat, oksigen,

hidrogen serta unsur-unsur sekelumit (*trace elements*). Media terbagi menjadi 3 golongan besar, yakni:

a. Berdasarkan konsistensinya

- **Media padat**, terbagi media agar miring, agar deep, misalnya: agar buylon, agar endo, agar ss, dan sebagainya.
- **Media setengah padat**: agar buylon setengah padat (buylon=kaldu).
- **Media cair** : air buylon, air pepton, deret gula-gula.

Media padat diperoleh dengan menambahkan agar. Agar berasal dari ganggang digunakan sebagai bahan pematat karena tidak diuraikan oleh mikroba, dan membeku pada suhu di atas 45°C. Media setengah padat digunakan untuk melihat gerak kuman secara mikroskopik.

b. Berdasarkan komposisi atau susunan bahannya

1) Media sintetis

Yakni media yang mempunyai kadungan dan isi bahan yang telah diketahui secara terperinci. Media sintetik sering digunakan untuk mempelajari sifat faal dan genetika mikroorganismenya. Senyawa anorganik dan organik ditambahkan dalam media sintetik harus murni, sehingga harganya mahal. Contoh: cairan Hanks, Locke, Thyrode, Eagle.

2) Media non-sintetis

Merupakan media yang mengandung bahan-bahan yang tidak diketahui secara pasti baik kadar maupun susunannya. Contohnya: ekstrak daging, pepton, ekstrak ragi, kaldu daging. Seringkali dalam media ini ditambahkan darah, serum, vitamin, asam amino, atau nukleosida.

3) Media semi-sintetis

Misalnya, cairan Hanks yang ditambahkan serum (laboratorium virologi).

c. Berdasarkan sifat fisiologik dan biologik kuman dan untuk tujuan isolasi

1) Media persemaian (nutrient media), yaitu media yang sangat kaya akan zat makanan dan mempunyai susunan bahan sedemikian rupa sehingga hanya menyuburkan satu jenis kuman yang dicari saja. Contoh: perbenihan Kauffmann untuk persemaian *Salmonella typhi*.

2) Media eksklusif adalah media yang hanya memungkinkan tumbuhnya satu jenis kuman saja, sedangkan yang lainnya dihambat atau dimatikan. Contoh: perbenihan Dieudonne atau air pepton alkalis yang mempunyai pH yang tinggi sehingga kuman lain tidak dapat tumbuh, kecuali *Vibrio*.

- 3) **Media selekti/ elektif** yakni media yang mempunyai susunan bahan sedemikian rupa sehingga kuman tertentu dapat tumbuh tetapi dengan masing-masing koloni yang sangat khas. Contoh: agar endo, untuk kuman golongan coli (*coliform*) akan berwarna merah, sedangkan *Salmonella* koloninya tidak berwarna. Media yang selain mengandung nutrisi juga ditambah suatu zat tertentu sehingga media tersebut dapat menekan pertumbuhan mikroba lain dan merangsang pertumbuhan mikroba yang diinginkan. Contohnya adalah Luria Bertani Medium yang ditambah Amphisilin untuk merangsang *E. coli* resisten antibiotik dan menghambat kontaminan yang peka, Ampiciline. Salt broth yang ditambah NaCl 4% untuk membunuh *Streptococcus agalactiae* yang toleran terhadap garam.
- 4) **Media untuk isolasi.** Media ini mengandung semua senyawa esensial untuk pertumbuhan mikroba, misalnya Nutrient Broth, Blood Agar.
- 5) **Media diperkaya (enrichment).** Media diperkaya adalah media yang mengandung komponen dasar untuk pertumbuhan mikroba dan ditambah komponen kompleks seperti darah, serum, kuning telur. Media diperkaya juga bersifat selektif untuk mikroba tertentu. Bakteri yang ditumbuhkan dalam media ini tidak hanya membutuhkan nutrisi sederhana untuk berkembang biak, tetapi membutuhkan komponen kompleks, misalnya Blood Tellurite Agar, Bile Agar, Serum Agar, dll.
- 6) **Media untuk karakterisasi bakteri.** Media yang digunakan untuk mengetahui kemampuan spesifik suatu mikroba. Kadang-kadang indikator ditambahkan untuk menunjukkan adanya perubahan kimia. Contohnya adalah Nitrate Broth, Lactose Broth, Arginine Agar.

B. METABOLISME MIKROORGANISME

8.6 Pendahuluan

Dalam kehidupan, makhluk hidup memerlukan energi yang diperoleh dari proses metabolisme. Metabolisme terjadi pada semua makhluk hidup termasuk kehidupan mikroba. Metabolisme ialah semua reaksi yang mencakup semua proses kimiawi yang terjadi di dalam sel yang menghasilkan energi dan menggunakan energi untuk sintesis komponen-komponen sel dan untuk kegiatan-kegiatan seluler. Seperti untuk pertumbuhan, pembelahan sel, pembaruan komponen sel, dan lain-lain. Kegiatan kimiawi yang dilakukan oleh sel amatlah rumit. Dalam melakukan setiap aktivitas sel dalam tubuh sangatlah berkaitan erat dengan kerja enzim sebagai substansi yang ada dalam sel yang jumlahnya amat kecil dan

mampu menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan yang berkaitan dengan proses-proses seluler dan kehidupan. Semua aktivitas metabolisme prosesnya dikatalisis oleh enzim. Jadi kehidupan tidak akan terjadi tanpa adanya enzim dalam tubuh makhluk hidup. Suatu proses reaksi kimia yang terjadi dapat menghasilkan energi dan dapat pula memerlukan energi untuk membantu terjadinya reaksi tersebut.

Bila dalam suatu reaksi menghasilkan energi maka disebut reaksi eksergonik dan apabila untuk dapat berlangsungnya suatu reaksi diperlukan energi reaksi ini disebut reaksi endergonik. Kegiatan metabolisme meliputi proses perubahan yang dilakukan untuk sederetan reaksi enzim yang berurutan. Untuk mempercepat laju reaksi-reaksi diperlukan enzim-enzim tertentu pada setiap tahapan reaksi.

Ada dua proses pada makhluk hidup yang dikategorikan metabolisme, yakni Anabolisme dan Katabolisme. Anabolisme ialah suatu reaksi sintesis, reaksi yang mempersatukan beberapa molekul kecil menjadi molekul yang besar, contohnya ialah sintesis protein dari asam amino atau sintesis molekul glikogen dari molekul-molekul glukosa. Contoh populer lainnya adalah fotosintesis.

Energi yang digunakan dalam reaksi anabolisme merupakan hasil dari proses katabolisme. Dengan demikian proses katabolisme dan anabolisme selalu berhubungan. Energi di dalam sel di simpan dalam bentuk ATP. Selain untuk proses anabolisme, mikroba membutuhkan energi untuk berbagai aktivitas hidupnya.

Keanekaragaman jenis mikroba sangat tinggi yaitu meliputi kingdom Protista dan monera, maka metabolisme mikroba pun sangat bervariasi. Perbedaan metabolisme juga terjadi karena mikroba menggunakan sumber energi dan karbon dalam bentuk yang berbeda.

Tabel 8.1. Perbedaan metabolisme mikroorganisme

No	Kelompok	Sumber energi	Sumber karbon	Contoh
1	Kemoheterotrof	Oksidasi senyawa organik	Senyawa organik dari organisme lain	Sebagian besar bakteri, protozoa, fungi
2	Kemoautotrof	Oksidasi senyawa an- organik untuk fiksasi CO ₂	CO ₂	Bakteri nitrifikasi, bakteri besi, bakteri sulfur, Archaeobakteria hidrotermal

3	Fotoheterotrof	Cahaya	Senyawa organik dari organisme lain	Bakteri non sulfur hijau dan ungu
4	Fotoautotrof	Cahaya	CO ₂	Cyanobakteria, bakteri sulfur hijau dan ungu, algae

8.7 Tujuan Metabolisme dan Peranan Enzim

Metabolisme di dalam sel mikroba bertujuan untuk:

- a. Mendapatkan energi kimia dari molekul bahan bakar
- b. Mengubah nutrisi menjadi senyawa pembangun
- c. Menyusun senyawa pembangun menjadi protein, asam nukleat, lipid dan komponen lainnya
- d. Membentuk dan mendegradasi biomolekul yang dibutuhkan sel

Mengingat panjangnya rangkaian reaksi pada proses katabolisme dan anabolisme, maka setiap reaksi kimia harus berlangsung sangat cepat. Oleh karena itu diperlukan enzim. Enzim adalah protein yang memiliki kemampuan mempercepat reaksi kimia (katalisator). Reaksi yang berlangsung dengan bantuan enzim disebut reaksi enzimatik. Enzim dapat meningkatkan kecepatan reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi molekul pada saat terjadi reaksi.

8.8 Fungsi dan Bentuk Energi

Setiap sel hidup memerlukan energi untuk berbagai aktivitas antara lain :

- a. Menyusun struktur sel seperti dinding sel, membran plasma, flagel
- b. Sintesis enzim, asam nukleat, polisakarida, fosfolipida dan penyusun sel lainnya
- c. Memperbaiki kerusakan sel dan menjaganya dalam keadaan berfungsi
- d. Pertumbuhan dan perbanyakan sel
- e. Mengumpulkan nutrisi dan membuang sisa metabolisme
- f. Pergerakan sel

Bentuk energi yang siap pakai dan paling banyak digunakan dalam sel adalah ATP. ATP terdiri dari 1 molekul gula ribose, 1 molekul adenin dan 3 gugus fosfat. Energi terdapat terutama pada ikatan antara fosfat dan akan dilepaskan jika ikatan terputus. Pada sel mikroba, pembentukan ATP dapat berlangsung melalui proses

fosforilasi, yaitu penambahan satu gugus fosfat pada ADP sehingga menghasilkan ATP. Terdapat 3 cara fosforilasi yaitu :

- 1) Fosforilasi tingkat substrat adalah proses yang memindahkan gugus fosfat dari suatu senyawa ke ADP. Contoh pembentukan ATP pada glikolisis dan siklus krebs
- 2) Fosforilasi oksidatif adalah proses fosforilasi yang menggunakan energi yang berasal dari serangkaian oksidasi senyawa organik
- 3) Fotofosforilasi adalah proses fosforilasi yang menggunakan energi cahaya contoh pembentukan ATP pada proses fotosintesis tahap 1.

Proses metabolisme juga melibatkan nukleotida sebagai molekul pembawa elektron, misalnya *Nikotinamid Adenin Dinukleotida* (NAD) dan *Flavin Adenin Dinukleotida* (FAD) yang terlibat dalam perpindahan energi melalui reaksi oksidasi dan reduksi. Dalam bentuk teroksidasi (NAD⁺ dan FAD⁺) kedua molekul dinukleotida tersebut siap direduksi (menerima electron) sehingga menghasilkan bentuk tereduksi (NADH dan FADH₂). Molekul yang mereduksi (reduktor) NAD⁺ akan mengalami oksidasi. Selanjutnya NADH dan FADH₂ akan melepaskan elektron pada reaksi reduksi-oksidasi berikutnya.

8.9 Katabolisme Pada Mikroba

Katabolisme ialah suatu reaksi dekomposisi (pemecahan), yang memecahkan molekul-molekul besar menjadi molekul kecil. Proses katabolisme terjadi di dalam sel. Karena mikroba ada yang memiliki struktur sel eukariot dan ada yang prokariot, maka lokasi proses katabolisme dapat berbeda. Pada mikroba eukariot, proses katabolisme diawali di sitoplasma, kemudian dilanjutkan di mitokondria. Sedangkan pada sel prokariot yang tidak memiliki mitokondria, proses katabolisme diawali di sitoplasma dan membrane sel. Tahapan proses katabolisme yang terjadi pada tempat-tempat tersebut adalah berikut:

a. Eukariot

Sitoplasma : glikolisis, fermentasi

Mitokondria : dekarboksilasi oksidatif, siklus krebs, rantai respiratoris

b. Prokariot

Sitoplasma : glikolisis, fermentasi, siklus krebs

Membran plasma : dekarboksilasi oksidatif, rantai respiratoris

Katabolisme menghasilkan generasi energi potensial dalam bentuk *adenosin trifosfat* (ATP) dan reduksi Koenzim, seperti *nikotinamida adenin dinukleotida*

(NADH), *nicotinamide adenin dinukleotida fosfat* (NADPH) dan *flavin adenin dinukleotida* (FADH₂), dan panas. Mikroorganisme memiliki keragaman dalam proses metabolisme untuk menghasilkan ATP dan koenzim tereduksi. Reaksi katabolisme ini menghasilkan energi (reaksi eksergonik). Misalnya pada respirasi yang menguraikan karbohidrat menjadi asam piruvat dan energi, pembakaran molekul glukosa menjadi air dan CO₂ atau protein dihidrolisis menjadi asam amino.

1. Respirasi

Respirasi merupakan proses terjadinya pembongkaran suatu zat makanan sehingga menghasilkan energi yang diperlukan oleh mikroorganisme tersebut. Jika oksigen yang diperlukan dalam proses respirasi maka disebut respirasi aerob. Ada juga spesies bakteri yang mampu melakukan respirasi tanpa adanya oksigen, maka peristiwa itu disebut respirasi anaerob.

a. Respirasi aerob

Respirasi aerob merupakan serangkaian reaksi enzimatik yang mengubah glukosa secara sempurna menjadi CO₂, H₂O dan menghasilkan energi. Menurut penyelidikan energi yang terlepas sebagai hasil pembakaran 1 gram glukosa adalah 675 Kkal. Dalam respirasi aerob, glukosa dioksidasi oleh oksigen, dan reaksi kimianya dapat digambarkan sebagai berikut:



Dalam kenyataan reaksi yang terjadi tidak sesederhana itu. Banyak tahap reaksi yang terjadi dari awal hingga terbentuknya energi. Reaksi-reaksi tersebut dibedakan menjadi tiga tahap yakni glikolisis, siklus kreb (*the tricarboxylic acid cycle*) dan transfer elektron.

1) Glikolisis

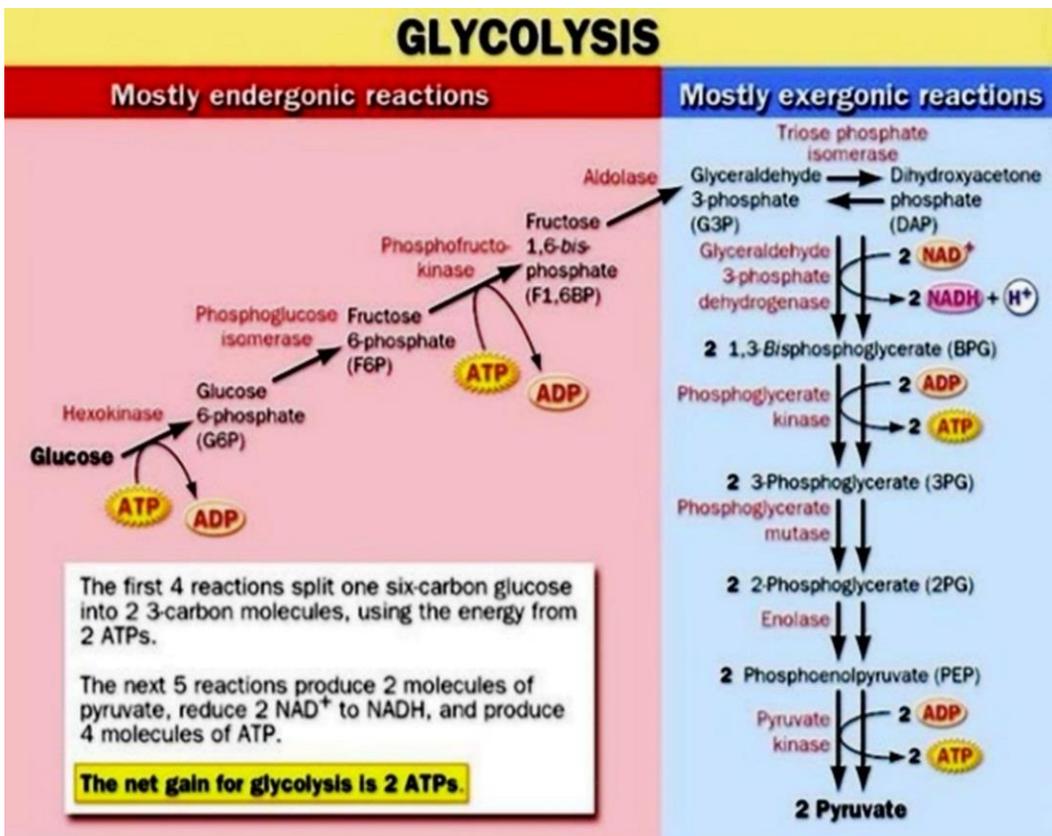
Rangkaian reaksi glikolisis terjadi pada mikroba eukariot, berbagai bakteri anaerob dan anaerob fakultatif. Bakteri yang tergolong dalam Archaeobacteria dan sejumlah *Pseudomonas*, tidak menjalankan glikolisis. Glikolisis merupakan tahap pertama dalam proses katabolisme karbohidrat dan jalur utama dalam pemecahan glukosa. Persamaan reaksi glikolisis adalah sebagai berikut:



Glikolisis terdiri dari 10 tahap reaksi yang masing-masing dikatalisis oleh enzim berbeda. Selama glikolisis, 1 molekul glukosa dipecah menjadi 2 molekul asam piruvat dan 2 molekul ATP melalui reaksi fosforilasi tingkat substrat.

Selama proses glikolisis, terjadi 4 peristiwa penting yaitu :

- Pada tahap awal (tahap 6 karbon) terjadi penambahan 2 fosfat sehingga molekul glukosa tidak dapat meninggalkan sel. Pada bagian akhir tahap 6 karbon, fruktosa 1,6 bifosfat akan di pecah menjadi 2 yaitu Dihydroxyacetone phosphate dan senyawa 3 karbon yang terfosforilasi (gliseraldehid 3-P/G3P)
- Pada tahap G3P, reaksi fosforilasi menghasilkan 2 ATP karena tahap awal glikolisis berlangsung 2 kali, maka setiap kali tahap G3P terjadi di hasilkan 4 ATP. Hasil bersih ATP selama glikolisis adalah 4 ATP -2 ATP yang di gunakan pada tahap awal tersisa 2 molekul ATP.
- Setiap kali tahap 3 karbon berlangsung, terjadi fosforilasi NAD^+ menghasilkan NADH. Tahap 3 karbon berlangsung 2 kali maka di hasilkan 2 NADH.
- Pada akhir glikolisis senyawa karbon yang di hasilkan berupa 2 molekul asetil -ko A



Gambar 8.4 Proses Glikolisis

Setiap organisme mempunyai perbedaan jalur glikolisis yang menjadi kunci pembeda organisme tersebut. Jalur glikolisis dibagi menjadi empat yakni:

1) Jalur EMP (*The Embden-Mayerhof-Parnas*).

Jalur EMP merupakan jalur yang banyak ditemukan di semua kelompok organisme, termasuk jamur, yeasts dan bakteri. Jalur ini dapat beroperasi di bawah kondisi anaerobik atau aerobik dan terdiri dari 10 enzim-katalis reaksi terletak di dalam matriks sitoplasma. Kunci pembeda ketiga jalur lainnya (heksokinase, fosfofruktokinase dan kinase piruvat) yakni reaksi terjadi secara reversibel. Sedangkan jalur EMP reaksinya yang terjadi yakni secara *irreversible*.

Untuk setiap molekul glukosa dioksidasi menjadi dua piruvat molekul, keuntungan bersih hanya 2 ATP, karena yang konsumsi dalam reaksi sebelumnya.



2) Jalur PP (*The Pentose Phosphate*)

The fosfat pentosa (PP) atau jalur heksosa jalur monofosfat ditemukan di banyak bakteri dan sebagian besar organisme eukariotik. Jalur ini seringkali beroperasi pada waktu yang sama dengan jalur EMP. Dalam ragi, misalnya, 10-20% glukosa (lebih selama pertumbuhan pesat) yang terdegradasi melalui jalur PP, dan sisanya katabolisme dari jalur EMP. Jalur PP bisa berfungsi pada kondisi aerobik atau anaerobik, baik katabolik maupun anabolik. Jalur ini sangat penting dalam penyediaan NADPH, terutama untuk digunakan untuk langkah reduktif dalam proses anabolik, intermediet untuk asam amino aromatik sintesis, terutama erythrose-4-fosfat; pentosa, terutama ribosa untuk biosintesis asam nukleat, dan biosintesis intermediet lainnya. Gula pentosa seperti xylose juga dapat dikatabolisme melalui jalur ini.

Jalur PP merupakan siklus dan seperti semua jalur glycolytic, enzim ini berada di matrik sitoplasma. Ini dimulai dengan oksidasi dua langkah glucose 6-phosphate (G₆P) ke pentose (C5) fosfat, ribulosa 5-fosfat (Rump), melalui 6-phosphogluconate. Proses Ini melibatkan satu karbon yang hilang sebagai CO₂ dan pembentukan dua NADPH. Setelah fase oksidatif ini, RuMP mengalami serangkaian penataan ulang menjadi serangkaian dua-karbon dan tiga-karbon pertukaran fragmen, kemudian dikatalisis oleh enzim transketolase dan

transaldolase. Untuk setiap tiga unit glukosa yang diproses menghasilkan satu GAP, enam NADPH dan dua fruktosa 6-fosfat (F₆P). Molekul F₆P dikonversi kembali ke G₆P untuk mempertahankan operasi dari siklus. GAP dapat dioksidasi menjadi piruvat dengan jalur EMP enzim atau juga dapat dikembalikan ke awal jalur melalui konversi dari dua GAP satu G₆P.



3) Jalur ED (*The Entner-doudoroff*)

Jalur ED adalah jalur metabolisme yang relatif sedikit digunakan oleh mikroorganisme yang tidak memiliki EMP jalur. Kebanyakan bakteri Gram-negatif, termasuk spesies *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Xanthomonas* dan *Zymomonas*, tapi jarang dalam jamur. Jalur dimulai dengan pembentukan 6-phosphogluconate, seperti di jalur PP. Meskipun kemudian mengalami dehidrasi, bukan teroksidasi, untuk membentuk 2-okso-3-deoksi-6-phosphogluconate. Molekul enam-karbon dipecah oleh Aldolase untuk membentuk dua senyawa C₃, piruvat dan GAP, dan terakhir juga dapat dikonversi menjadi piruvat. Secara keseluruhan, dari glukosa setiap molekul dimetabolisme, pada jalur yang dapat menghasilkan dua molekul piruvat, satu ATP, satu NADH dan satu NADPH, yang merupakan hasil energi yang lebih rendah daripada jalur EMP.

4) Jalur PK (*Phosphoketolase*)

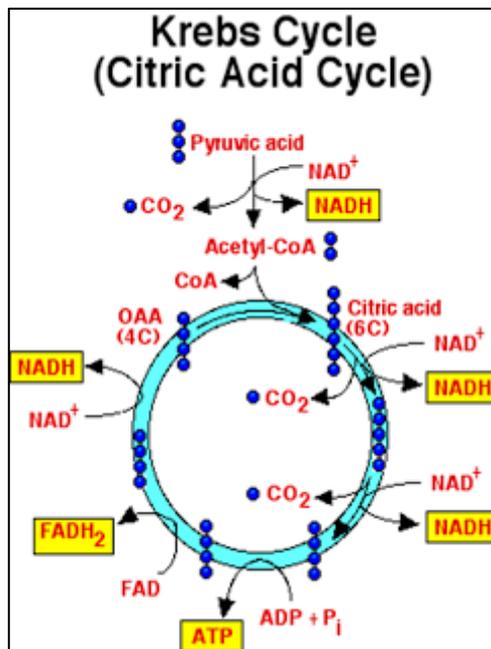
The phosphoketolase (PK) atau jalur Warburg-Dickens jalur metabolisme yang ditemukan di beberapa bakteri asam laktat, terutama dari spesies *Lactobacillus* dan *Leuconostoc*. Ini melibatkan oksidasi dan dekarboksilasi glukosa 6-fosfat ke pantat, seperti di jalur PP. RuMP yang berisomer dengan xylulose fosfat 5-(C₅) dan dibelah oleh phosphoketolase menjadi GAP (C₂) dan asetil fosfat (C₂). Pada akhirnya dikonversike laktat dan kedua ke etanol. Jalur ini menghasilkan hanya setengahATP dibandingkan dengan jalur EMP. Namun, tidak dimungkinkan pembentukan pentosa dari heksosagula untuk sintesis asam nukleat dan katabolisme pentose.

5) Siklus Krebs

Tricarboxylic acid cycle (Siklus Krebs) merupakan serangkaian reaksi metabolisme yang mengubah asetil koA yang direaksikan dengan asam oksaloasetat (4C) menjadi asam sitrat (6C). Selanjutnya asam oksaloasetat

memasuki daur menjadi berbagai macam zat yang akhirnya akan membentuk oksaloasetat lagi.

Asetil KoA masuk Siklus Krebs bersama empat molekul karbon (oksaloasetat). Selanjutnya menjadi senyawa enam carbon atau asam sitrat. Selama berturut-turut, dua atom karbon dari asetil KoA teroksidasi menjadi dua molekul CO₂, meninggalkan empat Oksaloasetat untuk menerima asetil KoA lainnya. Siklus ini beberapa energi di keluarkan dari oksidasi asam sitrat yang digunakan untuk memproduksi satu molekul ATP. Kebanyakan energi ditranfer oleh empat pasangan elektron dari tiga molekul NAD⁺ (membentuk NADH + H⁺) dan satu molekul FAD (membentuk FADH₂). Energi dari elektron ini kemudian digunakan untuk membentuk ATP pada sistem transport elektron. Pada jalanya satu asetil KoA menghasilkan 12 molekul ATP kemudian dioksidasi oleh Siklus Krebs. Sejak dua molekul asetil KoA diproduksi untuk masing-masing oksidasi glukosa, energi akhir yang dihasilkan dari Siklus Krebs adalah 12 molekul ATP.



Gambar 8.5. Siklus Krebs

6) Transfer Elektron

Setelah proses tricarboxylic acid maka yang terakhir adalah proses transfer elektron. Transfer elektron merupakan reaksi pemindahan elektron melalui reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Karena respirasi membutuhkan jumlah ATP dari proses oksidasi NADH dan FADH. Maka dibutuhkan senyawa senyawa yang memiliki potensial reduksi rendah sebagai akseptor elektron, dan O₂ sangat ideal sebagai akseptor. Elektron yang berasal dari oksidasi substrat NADH atau FADH₂, melalui serangkaian redoks atau reduksi-oksidasi reaksi, lalu ke terminal akseptor. Dalam proses ini, energi dilepaskan selama aliran elektron digunakan untuk membuat gradien proton.

Energi yang ditangkap dalam ikatan energi yang tinggi ketika P (fosfat) anorganik bergabung dengan molekul ADP untuk membentuk ATP. Proses ini disebut *fosforilasi oksidatif*. Energi (ATP) dalam sistem transpor elektron terbentuk melalui reaksi fosforilasi oksidatif, Energi yang dihasilkan oleh oksidasi 1 mol NADH atau NADPH₂ dapat digunakan untuk membentuk 3 mol ATP. Reaksinya sebagai berikut.



Keseluruhan proses oksidasi sempurna glukosa secara aerob berlangsung dalam rangkaian proses yang di dahului glikolisis dan di lanjutkan dengan respirasi sel. Setiap proses dalam respirasi sel menghasilkan energy dalam berbagai bentuk, yang kemudian akan di ubah menjadi ATP. Sehingga keseluruhan proses respirasi sel dapat ditulis dalam persamaan reaksi sebagai berikut:



Tabel 8.2. Jumlah ATP dalam respirasi aerob

No	Tahap	Tempat	Substrat	Hasil
1	Glikolisis	Sitoplasma	C ₆ H ₁₂ O ₆	2 ATP, 2 Asam piruvat, 2 NADH
2	Dekarboksilasi oksidatif	Mitokondria	Asam piruvat	Asetil CO-A
3	Siklus asam sitrat	Matriks mitokondria	Asetil CO-A	NADH ₂ + ATP
4	Transpor elektron	Membran dalam mitokondria	NADH ₂ dan FADH ₂	30 ATP + 4 ATP + H ₂ O + CO ₂

5	Siklus Krebs	Matriks mitokondria	Glukosa	34 ATP
---	--------------	---------------------	---------	--------

b. Respirasi anaerob

Beberapa bakteri fakultatif anaerob dan obligatif anaerob melakukan respirasi anaerob. Dengan melibatkan electron transport system (ETS), tetapi terminal akseptor elektron selain oksigen. Contoh respirasi anaerob berikut:

1) Respirasi Nitrat

Respirasi nitrat dilakukan oleh bakteri anaerob fakultatif. Potensi redoks nitrat adalah +0.42 Volt, dibandingkan dengan oksigen yang potensial redoksnya +0,82 volt. Akibatnya, lebih sedikit energi yang digunakan dibandingkan dengan oksigen sebagai terminal akseptor elektron dan molekul lebih sedikit ATP yang terbentuk. Proses ini memiliki beberapa langkah, yang mana nitrat direduksi menjadi nitrit dan nitrogen oksida menjadi dinitrogen, yang disebut sebagai *dissimilatory*. Reaksi Nitrate reduction atau *denitrifikasi* adalah sebagai berikut:



Denitrifikasi dilakukan oleh spesies *Pseudomonas*, *Paracoccus denitrificans* dan *Thiobacillus denitrificans*. Sedangkan bakteri fakultatif Anaerob seperti, *E. coli* dan sejenisnya, yang hanya mereduksi nitrat menjadi nitrit, dan enzim.

2) Respirasi Sulphat

Respirasi sulfat dilakukan oleh sebagian kecil bakteri heterotrophic, yang semuanya oligatif anaerob, seperti bakteri dari spesies *Desulfovibrio*. Bakteri ini membutuhkan sulfat sebagai aseptor proton dan tereduksi menjadi sulfit. Reaksi sulphate respiration sebagai berikut:



3) Fermentasi

Berbagai mikroba melanjutkan proses glikolisis dengan proses fermentasi. Fermentasi laktat yang terjadi pada bakteri *Lactobacillus*, tidak mengurangi jumlah karbon dan energy tetapi menghasilkan NAD^+ yang dapat di gunakan untuk glikolisis supaya memperoleh 8 ATP. Demikian pula yang terjadi pada fermentasi alkohol selain terjadi pengurangan atom karbon yang dilepaskan dalam bentuk CO_2 .

Tabel 8.3. Jenis fermentasi berdasarkan senyawa hasil akhir dan contoh mikroba

No	Jenis Fermentasi	Contoh Mikroba
1	Fermentasi homolaktik	<i>Lactobacillus, Streptococcus</i>
2	Fermentasi berbagai asam: as. laktat, as. asetat, as. suksinat, etanol	Kelompok Enterobacteriaceae
3	Fermentasi butanediol	<i>Salmonella, Shigella, E.Coli</i>
4	Fermentasi asam butirat	<i>Clostridium</i>
5	Fermentasi butanol-aseton	<i>Clostridium</i>
6	Fermentasi asam propionate	<i>Propionibacterium</i>

8.10 Anabolisme Pada Mikroba

Anabolisme adalah suatu proses reaksi kimia yang membentuk suatu molekul besar dari molekul yang lebih kecil. Dan selama proses anabolisme membutuhkan energy dalam reaksinya. Atau dapat dikatakan segala bentuk sintesa dalam mikroorganisme.

Proses metabolisme mikroorganisme dapat dibedakan menjadi dua berdasarkan sumber energinya yaitu fototrof dan kemotrof. Sedangkan apabila berdasarkan kemampuan mendapat sumber karbonnya menjadi dua juga yaitu *Autotrof* dan *heterotrof*. Mikroorganisme fototrof adalah mikroorganisme yang menggunakan cahaya sebagai sumber energi utamanya. Fototrof dibagi menjadi dua yakni: *fotoautotrof* dan *Fotoheterotrof*.

1. Fotosintesis pada Eukariot

Pada mikroba eukariot, fotosintesa terjadi pada kloroplas yaitu salah satu plastida dengan pigmen berwarna hijau (klorofil). Bentuk kloroplas dari samping menyerupai lensa, cembung pada satu sisi dan pada sisi lainnya cekung atau datar. Kloroplas memiliki 3 membran yaitu membran luar, membran dalam dan membran tilakoid. Selain itu pada kloroplas juga terdapat 3 ruang yaitu ruang antar membran, stroma dan ruang tilakoid atau lokulus.

Membran luar membatasi sitosol dengan ruang antar membran dan membran dalam yang membatasi ruang antar membran dan stroma. Pada membran dalam terdapat beberapa protein pembawa untuk melewatkan berbagai molekul seperti fosfat, fosfoglisarat, dihidroksi aseton fosfat, dikarboksilat dan ATP. Membran tilakoid membatasi stroma dengan ruang tilakoid.

Keping tilakoid merupakan membran tilakoid yang tersusun berbentuk seperti kantung pipih. Pada membran tilakoid terdapat system penyerapan energy cahaya untuk fotosintesis berupa fotosistem I dan fotosistem II. Fotosistem I dan II terdiri atas pigmen-pigmen seperti klorofil a, klorofil b dan karotenoid. Kedua fotosistem di bedakan oleh komposisi pigmen yang dimilikinya. Selain itu pada membran tilakoid juga terdapat rantai transport electron dan ATP sintetase.

Lumen keping tilakoid yang satu bergabung dengan lumen keping yang lain membentuk ruang ketiga yang disebut ruang tilakoid (lokulus). Tumpukan keping tilakoid di sebut granum (jamak; grana).

Fotosintesis ialah perubahan bentuk energy dari energy cahaya menjadi energy kimia dalam senyawa organic, melalui pembentukan glukosadan oksigen dari senyawa anorganik CO₂ dan H₂O, yang berlangsung secara enzimatik. Fotosintesis berlangsung dalam 2 tahap yaitu transfer elektron dan fiksasi CO₂.

a) Transfer Elektron / Reaksi Terang

Peristiwa ini terjadi di grana yaitu pada membran tilakoidnya. Transfer electron di dahului oleh peristiwa fotolisis, yaitu pemecahan molekul air yang menghasilkan electron. Selain itu terjadi fotofosforilasi yaitu penangkapan energy matahari berupa foton yang kemudian digunakan untuk pembentukan ATP.

Energi matahari diterima fotosistem I dan II yang terdiri dari pigmen terutama klorofil. Akibatnya, electron hasil fotolisis mendapat energy (eksitasi) sehingga dapat berpindah dari satu protein membrane ke protein membran lainnya yang terdapat di membran tilakoid, di antaranya plastoquinin, kompleks sitokrom, plastosianin dan ferodoksin. Terakhir electron digunakan NADP reductase untuk membentuk NADPH dan H⁺ di stroma.

Selama perpindahan electron, sejumlah ion H⁺ di lepaskan ke ruang tilakoid. Selanjutnya ion H⁺ berpindah ke stroma melalui ATP sintase. Akibatnya terjadi fosforilasi ADP menghasilkan ATP. Dengan demikian tahap transfer electron menghasilkan ATP dan NADPH + H⁺.

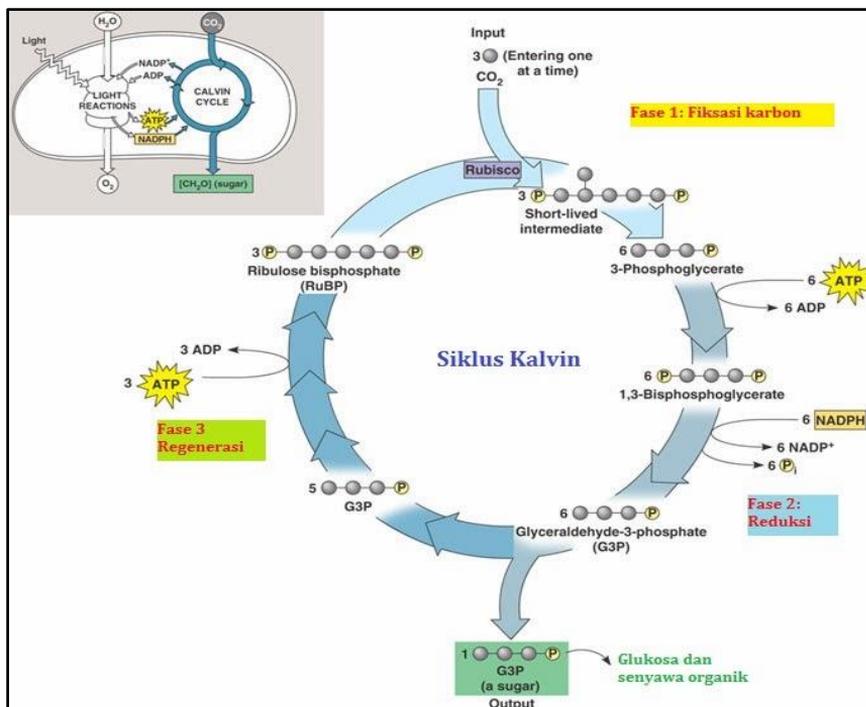
b) Fiksasi CO₂ / Reaksi Gelap

Fiksasi CO₂ merupakan peristiwa pengikatan gas CO₂ dari udara dan merubahnya menjadi senyawa organic melalui siklus Calvin Benson. Peristiwa fiksasi CO₂ terjadi di stroma dan membutuhkan:

- 1) CO₂ berupa gas yang berasal dari udara dan masuk ke kloroplas melalui stomata daun sampai menembus membran plasma

- 2) ATP dan NADPH + H⁺ yang merupakan hasil reaksi transfer electron
- 3) RuBP (Ribulosa bifosfat) merupakan senyawa 5 karbon yang tersedia di stroma
- 4) Enzim tersedia di stroma

Melalui siklus Calvin-Benson, 6 CO₂ di rubah menjadi 2 molekul fosfogliseraldehid (PGAL), selain itu juga akan menghasilkan RuBP yang akan di gunakan untuk siklus berikutnya. Selanjutnya kedua PGAL keluar dari kloroplas menuju sitosol untuk dibentuk menjadi glukosa.



Gambar 8.6. Siklus Calvin-Benson

2. Fotosintesis pada Prokariot

Mikroba prokariot yang melakukan fotosintesis yaitu sianobakteri, bakteri hijau dan ungu serta halobacteria. Sianobakteri melangsungkan fotosintesis oksigenik (menghasilkan oksigen) yang serupa dengan fotosintesis pada tumbuhan. Bakteri hijau dan ungu melaksanakan fotosintesis anoxygenik (tidak menghasilkan oksigen), yang terjadi di kromatofor. Kromatofor terdiri dari struktur berbentuk lamella yang dapat melakukan penyerapan cahaya. Bakteri halofilik melakukan fosforilasi non fotosintesis yang menggunakan pigmen bakteriorodopsin untuk merubah energy cahaya menjadi ATP.

Cyanobakteri memiliki klorofil a yang serupa dengan yang terdapat pada sel tumbuhan. Sedangkan bakteri hijau dan ungu memiliki pigmen klorofil yang disebut bakterioklorofil dan pigmen fikobilin. Semua bakteri fotosintetik dapat melaksanakan proses fotofosforilasi siklik. Pada fotofosforilasi siklik, elektron yang tereksitasi berpindah dari protein transfer elektron yang satu ke protein transfer elektron yang lain, kemudian kembali ke fotosistem semula. Seperti fotosintesis pada sel eukariot, selanjutnya energi kimia yang diperoleh dari proses fotofosforilasi digunakan untuk fiksasi CO₂

Fotosintesis pada mikroba eukariot berlangsung secara oksigenik, dengan ciri-ciri sebagai berikut:

- a) Ditemukan pada Cyanobacteria (ganggang biru-hijau) dan mikroba eukariot (Algae)
- b) Menggunakan H₂O sebagai donor elektron yang kemudian dioksidasi menghasilkan O₂
- c) Menggunakan 2 fotosistem yaitu PSII dan PSI
- d) Tujuan utama reaksi terang yaitu menghasilkan NADPH dan ATP untuk proses fiksasi karbon

Berbagai jenis bakteri melaksanakan fotosintesis secara anoksigenik dengan ciri-ciri sebagai berikut:

- a) Sumber donor elektron
 - H₂S pada bakteri ungu, sulfur ungu dan hijau
 - H₂ atau senyawa organik pada bakteri non sulfur ungu dan hijau
- b) Menggunakan 1 fotosistem, pada bakteri hijau fotosistem serupa dengan PSI sedangkan pada bakteri ungu, fotosistem serupa dengan PSII
- c) Tujuan utama fotosintesis yaitu produksi ATP melalui fotofosforilasi siklik (dengan 1 fotosistem)
- d) Terjadi pada bakteri sulfur hijau (contoh; *Chlorobium*), bakteri non sulfur hijau (contoh: *Chloroflexus*), bakteri sulfur ungu (contoh: *Chromatium*), bakteri non sulfur ungu (contoh: *Rhodobacter*).

Cyanobacteria dan bakteri ungu melaksanakan fiksasi CO₂ yang serupa dengan mikroba eukariot, sedangkan bakteri hijau dan metanogen tidak melakukan dekarboksilasi RuBP.

Rangkuman

- Pertumbuhan dapat didefinisikan sebagai penambahan secara teratur semua komponen di dalam sel hidup. Pada organisme multiseluler, pertumbuhan adalah peningkatan jumlah sel perorganisme, dimana ukuran sel juga menjadi lebih besar. Pada organisme uniseluler yang disebut pertumbuhan adalah penambahan jumlah sel, yang berarti juga penambahan jumlah organisme.
- Proses pertumbuhan mikroorganisme dipengaruhi oleh ketersediaan energi, sumber karbon, sumber nitrogen, elemen non-metal, elemen metal, vitamin, air dan factor lingkungan.
- Fase pertumbuhan mikroorganisme dibagi menjadi empat fase yaitu fase lag, fase log, fase stasioner dan fase kematian.
- Untuk menghitung jumlah mikroorganisme dapat dilakukan dengan berbagai metode, diantaranya adalah *pour-plate*, *most-probable number* (MPN), Hemasitometer dan Turbidimeter.
- Anabolisme ialah suatu reaksi sintesis, reaksi yang mempersatukan beberapa molekul kecil menjadi molekul yang besar, contohnya ialah sintesis protein dari asam amino atau sintesis molekul glikogen dari molekul-molekul glukosa. Contoh populer lainnya adalah fotosintesis.
- Katabolisme adalah reaksi penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan enzim. Contoh katabolisme adalah respirasi sel.
- Proses katabolisme dan anabolisme selalu berhubungan. Energi di dalam sel di simpan dalam bentuk ATP.
- Selain untuk proses anabolisme, mikroba membutuhkan energi untuk berbagai aktivitas hidupnya.

Daftar Referensi

- Black, Jacquelyn G. 2002. *Microbiology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Dwidjoesepuro. 1998. *Dasar-dasar mikrobiologi*. Unipress: Jakarta
- Fardiaz Srikandi. 1992. *Mikrobiologi Pangan 1*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Lay, Bibiana W., Hastowo, Sugyo. 1992. *Mikrobiologi Edisi I*. Rajawali Press. Jakarta
- Pelczar, M.J. & E.C.S. Chan. 1986. *Dasar-Dasar Mikrobiologi 1*. Penterjemah Ratna Siri Hadioetomo dkk. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Schlegel Hans G. 1994. *Mikrobiologi Umum Edisi keenam*. Penterjemah Tedjo Baskoro Gajah Mada University Press. Yogyakarta

8.11 Soal-soal latihan

Petunjuk: Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan uraian yang benar dan jelas!

1. Sebutkan ciri-ciri fotosintesis anoksigenik pada bakteri!
2. Tuliskan persamaan reaksi dari proses respirasi sel!
3. Tuliskan rincian energi yang di hasilkan dalam proses oksidasi sempurna 1 molekul glukosa!
4. Pada katabolisme mikroba, sesudah proses glikolisis akan melanjutkan proses respirasi atau fermentasi yang tergantung pada beberapa hal, sebutkan faktor-faktor itu!
5. Sebutkan tujuan metabolisme di dalam sel mikroba!
6. Sebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri!
7. Sebutkan macam-macam media berdasarkan komposisinya!
8. Sebutkan pengelompokan bakteri berdasarkan suhunya!
9. Buatlah gambar grafik pertumbuhan bakteri pada kultur tertutup!
10. Bagaimanakah metode pengukuran pertumbuhan bakteri?
11. Bagaimanakah persyaratan nutrisi bagi pertumbuhan bakteri? Unsur-unsur apakah yang dibutuhkannya? Apa fungsi setiap unsur tersebut?
12. Bagaimanakah klasifikasi medium pertumbuhan bakteri? Berikan beberapa contoh medium pertumbuhan bakteri?
13. Apa fungsi pewarnaan pada bakteri? Sebutkan tahapan-tahapan pada pewarnaan Gram?

Deskripsi	Pada bab ini akan dibahas mengenai peranan atau pemanfaatan mikroorganisme dalam bidang pangan, industri dan kesehatan serta pengendalian mikroorganisme
CPMK	Mahasiswa mampu menjelaskan peranan atau manfaat mikroorganisme dalam bidang tanah dan air serta pertanian serta pengendalian mikroorganisme
Sub-CPMK	Mahasiswa dapat : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Menjelaskan manfaat mikroorganisme dalam bidang pangan, industri dan kesehatan ▪ Mendeskripsikan cara pemanfaatan mikroorganisme bidang pangan, industri dan kesehatan ▪ Memberikan contoh mikroorganisme yang bermanfaat bagi kehidupan manusia

9.1 Pendahuluan

Peran mikroorganisme baik yang menguntungkan maupun yang merugikan secara nyata menjadi bukti terjadinya interaksi antara mikroba dengan makhluk hidup lainnya. Kebanyakan orang tidak menyadari hal itu karena ukuran mikroorganisme yang sangat kecil sehingga tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Mikroorganisme hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Alat ini memungkinkan untuk mengamati bentuk dan struktur sel-sel mikroorganisme dengan lebih jelas.

Peran mikroorganisme sangat erat kaitannya dengan kehidupan sehari-hari. Perannya dalam kehidupan sehari-hari dapat dilihat secara nyata, baik yang menguntungkan maupun yang merugikan. Lingkungan hidup mikroba salah satunya adalah tubuh manusia. Sadar atau tidak, banyak diantara mikroorganisme yang menghuni dan mendapatkan nutrisi dari tubuh manusia. Beberapa jenis mikroba dapat menyebabkan penyakit baik pada manusia, hewan, maupun tumbuhan, sedangkan yang lainnya terlibat langsung dalam kegiatan sehari-hari manusia baik dalam bidang pangan, industri, dan pertanian. Menurut Pelczar (2010), menyatakan bahwasanya dunia mikroorganisme terdiri dari lima kelompok organisme: bakteri, protozoa, virus, serta algae, dan cendawan mikroskopis.

9.2 Peran Mikroorganisme dalam Bidang Pangan

Bahan makanan banyak mengandung unsur-unsur penting yang yang banyak dibutuhkan oleh mikroorganisme. Mikroba membutuhkan karbon, vitamin, mineral, nitrogen, fosfat, serta bahan-bahan yang dapat mendorong pertumbuhan mikroba. Selain unsur-unsur diatas, mikroorganisme juga membutuhkan unsur mikro seperti Ca, Mn, Na, Mg, Zn, Co, Fe, dan Cu. Bahan makanan terdiri dari protein, karbohidrat, lemak, vitamin dan mineral. Mikroba dapat membusukkan protein dan menguraikannya menjadi unsur-unsur yang lebih sederhana. Selain itu, mikroorganisme juga dapat memfermentasikan karbohidrat menjadi alkohol, serta menjadikan minyak dan lemak berbau tengik.

Beberapa mikroba dapat menyebabkan penyakit dan menghasilkan racun pada makanan sehingga dapat menyebabkan keracunan makanan. Hal ini dikarenakan bakteri atau mikroorganisme tertentu dapat menghasilkan toksin atau racun. Menurut Pelczar & Chan (2012), menyatakan bahwasanya meskipun banyak mikroorganisme tidak berbahaya bagi manusia, beberapa mikroorganisme pencemar dapat mengakibatkan kerusakan, dan yang lain menimbulkan penyakit atau menghasilkan racun yang menyebabkan keracunan makanan. Beberapa mikroorganisme bersifat menguntungkan; misalnya dapat menghasilkan produk-produk makanan khusus seperti keju dan acar, keduanya enak dimakan dan tidak mudah rusak. Disamping itu mikroorganisme pun dapat merupakan makanan tambahan bagi manusia dan hewan. Sesungguhnya, mikroorganisme bahkan merupakan sumber makanan pilihan yang menarik.

Dampak positif maupun negatif yang ditimbulkan oleh aktivitas-aktivitas mikroorganisme dapat dirasakan baik secara langsung maupun secara tidak langsung oleh umat manusia. Kerusakan-kerusakan yang terjadi pada makanan merupakan salah satu contoh kerugian yang disebabkan oleh mikroorganisme. Hal ini menjadikan perubahan pada makanan baik dari segi rasa, warna, dan bau serta nutrisi yang terkandung didalamnya. Selain itu, mikroorganisme juga memiliki peran yang menguntungkan dalam kehidupan manusia. Hal ini sebagaimana pernyataan Pelczar dan Chan diatas, bahwa mikroorganisme dapat digunakan dalam pembuatan produk makanan yang memiliki rasa yang lezat serta memiliki ketahanan yang cukup baik. Keuntungan lain yang diperoleh dari pemanfaatan mikroba adalah makanan tambahan yang berupa mikroba itu sendiri.

Peran Merugikan Mikroorganisme

Beberapa kerugian yang disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme pada umumnya dapat mengakibatkan perubahan susunan makanan atau kerusakan pada

makanan yang dapat menurunkan nilai mutu dari suatu bahan pangan ataupun makanan itu sendiri. Selain itu, dapat pula berupa penyakit-penyakit baik yang menular maupun yang tidak menular, serta dapat pula berupa keracunan makanan akibat dari kontaminasi mikroorganisme pada bahan pangan.

Kerusakan makanan dapat terjadi pada makanan yang tidak dikalengkan maupun makanan yang berkaleng. Pelczar & Chan (2012:895-896) menyajikan beberapa contoh kerusakan pada makanan yang tidak berkaleng beserta mikroba yang terlibat didalamnya pada tabel dibawah ini.

Tabel 9.1 Contoh mikroorganisme merugikan

Makanan	Tipe Kerusakan	Beberapa Mikroorganisme yang Terlibat
Roti	Bulukan	<i>Rhizopus nigricans</i>
		<i>Penicillium</i>
		<i>Aspergillus niger</i>
Sirop	Menyerabut	<i>Bacillus subtilis</i>
	Menyerabut	<i>Enterobacter aerogenes</i>
	Rasa Khamir	<i>Saccharomyces</i>
		<i>Zygosaccharomyces</i>
	Merah muda	<i>Micrococcus roseus</i>
	Bulukan	<i>Aspergillus</i>
<i>Penicillium</i>		
Buah-buahan dan sayur-mayur segar	Busuk lunak	<i>Rhizopus</i>
		<i>Erwinia</i>
	Busuk berkapang kelabu	<i>Botrytis</i>
Busuk berkapang hitam	<i>Aspergillus niger</i>	
Acar, sauerkraut	Lapisan khamir, khamir merah muda	<i>Rhodotorula</i>
Daging segar	Pembusukan	<i>Alcaligenes</i>
		<i>Clostridium</i>
		<i>Proteus vulgaris</i>
		<i>Pseudomonas fluorescens</i>

Daging yang diawetkan	Bulukan	<i>Aspergillus</i>
		<i>Rhizopus</i>
Ikan	Rasa asam	<i>Penicillium</i>
		<i>Pseudomonas</i>
	Hijau, lendir	<i>Micrococcus</i>
		<i>Lactobacillus</i>
Telur	Berubah warna	<i>Leuconostoc</i>
	Pembusukan	<i>Pseudomonas</i>
		<i>Alcaligenes</i>
	Busuk hijau	<i>Flavobacterium</i>
Air jeruk pekat	Busuk tak berwarna	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
		<i>Pseudomonas</i>
	Busuk hitam	<i>Alcaligenes</i>
Daging unggas	Rasa tidak enak	<i>Proteus</i>
		<i>Lactobacillus</i>
		<i>Leuconostoc</i>
	Lendir, bau	<i>Acetobacter</i>
		<i>Pseudomonas</i>
		<i>Alcaligenes</i>

Selain kerusakan makanan seperti pada tabel diatas, hal lain yang perlu diperhatikan adalah racun yang diproduksi oleh kelompok mikroorganisme tertentu. Toksin yang mereka hasilkan dapat berupa enterotoksin maupun neurotoksin. Enterotoksin merupakan toksin yang mengganggu alat pencernaan, sedangkan neurotoksin merupakan toksin atau racun yang mengganggu urat saraf. Beberapa jamur yang mengontaminasi makanan mampu memproduksi mikotoksin yang dapat meracuni manusia. Beberapa jamur yang memproduksi mikotoksin adalah *Aspergillus flavus* dan *Aspergillus parasiticus* memproduksi aflatoxin, *Penicillium cyclopium*, *Penicillium martensii*, *Aspergillus ochraceus*, dan *Aspergillus melleus* memproduksi asam penisilat.

Peran Menguntungkan Mikroorganisme

Selain beberapa peran merugikan mikroba diatas, peran menguntungkan mikroorganisme juga merupakan hal penting yang perlu diketahui. Peran mikroorganisme yang menguntungkan bagi manusia sebagaimana telah disinggung diatas, diantaranya adalah pembuatan produk pangan yang lebih tahan

lama, serta menjadikan mikroba sebagai makanan tambahan baik bagi manusia maupun hewan. Produk pangan yang diolah dengan bantuan mikroba dapat dibagi menjadi produk persusuan dan produk makanan fermentasi selain persusuan. Pelczar & Chan (2012), menyatakan beberapa produk susu yang difermentasikan oleh mikroorganisme dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 9.2 Contoh mikroorganisme menguntungkan

Bahan Makanan Hasil Fermentasi	Bahan Asal	Mikroorganisme yang berperan
Sauerkraut (Sayur asin kubis)	Irisan kubis	Tahap awal :
		<i>Enterobacter cloacae</i>
		<i>Erwinia herbicola</i>
		Tahap intermediat :
		<i>Leuconostoc mesenteroides</i>
		Tahap akhir :
Acar	Ketimun	Fermentasi awal :
		<i>Leuconostoc mesenteroides</i>
		<i>Streptococcus faecalis</i>
		<i>Pediococcus cerevisiae</i>
		Fermentasi lanjut :
		<i>Lactobacillus brevis</i>
Buah zaitun hijau	Buah zaitun	Tahap awal :
		<i>Leuconostoc mesenteroides</i>
		Tahap intermediat :
		<i>Lactobacillus plantarum</i>
		<i>L. brevis</i>
		Tahap akhir :
Susis	Daging sapi dan babi	<i>Pediococcus cerevisiae</i>
		<i>Micrococcus spp.</i>

9.3 Peran Mikroorganisme dalam Bidang Industri

Mikroorganisme dapat dipandang sebagai pabrik kimia mini oleh karena kemampuannya yang beragam dalam menciptakan perubahan-perubahan kimiawi. Beberapa substansi alamiah dapat diubah oleh beberapa mikroorganisme. Mikroorganisme dapat mengubah bahan mentah menjadi suatu produk baru yang bernilai ekonomis. Pemanfaatan mikroba dalam bidang industri telah banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Berbagai produk yang bermanfaat bagi kehidupan manusia telah banyak diproduksi secara komersial. Pemanfaatan mikroba dalam bidang industri antara lain produksi cuka, pembuatan alkohol, ragi roti, gasohol, produksi penisilin, produksi enzim, pengubahan steroid, hingga pemanfaatan mikroba dalam bidang mikrobiologi perminyakan dan pertambangan. Produk industri dengan kualitas yang diinginkan dapat dihasilkan dengan dilakukannya koordinasi metabolisme. Peran koordinasi metabolisme merupakan proses yang sangat penting dalam hal mikrobiologi industri. Hal ini dikarenakan dengan adanya koordinasi metabolisme dapat diharapkan kinerja produksi menjadi meningkat, baik dari segi kualitas maupun kuantitas dalam waktu yang relatif cepat. Ada 7 cara koordinasi mikroorganisme yang dapat digunakan dalam industri mikrobial, yaitu sebagai berikut:

a) Induksi

Induksi enzim didefinisikan sebagai peningkatan relatif kecepatan sintesis sebuah enzim tertentu, yang dihasilkan dari eksposur sel terhadap suatu bahan kimiawi yaitu suatu penginduksi (induser). Enzim-enzim yang dapat menginduksi dibutuhkan jika mikroorganisme berada dalam medium yang terbatas nutrisinya, misalnya hanya sebuah polisakarida sebuah oligosakarida, atau sebuah asam amino sebagai sumber satu-satunya karbon atau energi.

b) Pengaturan (represi) Katabolit

Represi katabolit dapat didefinisikan sebagai penurunan relatif kecepatan sintesis suatu enzim khusus, yang dihasilkan dari eksposur terhadap suatu sumber karbon yang diasimilasi secara cepat. Kasus yang klasik adalah represi katabolit *β*-galaktosidase oleh pertumbuhan *Escherisia coli* pada glukosa.

c) Pengaturan Umpan Balik

Enzim-enzim degeneratif umumnya diatur oleh proses-proses induksi dan pengaturan katabolit, sedangkan enzim-enzim biosintetik yang mengubah senyawaan-senyawaan kompleks makromolekul umumnya dikontrol oleh pengaturan umpan balik. Terdapat dua cara pengaturan umpan balik, yaitu penghambatan umpan balik (*inhibition*) dan sistem represi umpan balik (*repression*).

d) Pengaturan pada Jalur Bercabang (*Branched Pathway*)

Suatu masalah akan timbul jika mikroorganisme membentuk lebih dari satu produk akhir dari suatu sekuen metabolik yang umum, yang bercabang di satu atau lebih titik percabanga. Dalam kasus seperti ini sel harus memiliki mekanisme pencegahan suatu produk akhir dari interferensi dengan produksi senyawa lain yang diturunkan dari sekuen metabolik umum. Tanpa mekanisme seperti itu situasi akan menjadi kacau.

e) Pengaturan Asam Amino pada Sintesis RNA

Pada saat sebuah urutan asam amino kehabisan masukan asam amino pada medium pertumbuhannya, maka bukan hanya sintesis protein yang terhenti, tetapi juga sintesis RNA. Kontrol sintesis RNA oleh asam amino bersifat ekonomis untuk sel, karena pembentukan RNA pada saat tidak terjadi sintesis protein merupakan suatu pemborosan yang sia-sia.

f) Pengaturan Muatan Energi

Banyak reaksi metabolisme antara memberikan masukan energi dalam bentuk ATP, dengan demikian tidak mengherankan menemukan jalur Embden-Meyerhof dan siklus krebs yang diatur oleh keseimbangan antara ATP, ADP, dan AMP di dalam sel. Muatan energi = $(ATP + 0,5 ADP) / (ATP + ADP + AMP)$, tidak hanya mengatur kegiatan enzim-enzim katabolik yang menghasilkan pembentukan ATP, tetapi juga pada enzim-enzim biosintetik yang menggunakan ATP.

g) Kontrol Permeabilitas

Salah satu tambahan selain pengontrolan metabolik, sel mikroorganisme ternyata memiliki mekanisme selektif yang lain dan penting untuk ekonomi kehidupannya, yaitu kontrol permeabilitas. Penahan permeabilitas utama adalah membran sel. Lapisan tebal sekeliling membran sel memberikan kekuatan, kecuali untuk molekul-molekul besar yang membiarkan sebagian besar aktivitas selektifnya kepada membran. Pengaturan metabolik mencegah sintesis yang berlebihan dari metabolik-metabolik dan makromolekul-makromolekul penting untuk kehidupan sel.

Industri mikrobial dapat menjadi solusi dalam pemecahan masalah ekonomi. Produk-produk yang dihasilkan oleh sel-sel mikroorganisme sebagaimana telah disinggung diatas, merupakan produk yang bernilai ekonomis dan bermanfaat bagi kehidupan manusia apabila dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya. Produk yang baik dihasilkan dari perlakuan yang baik pula. Sebagaimana pernyataan Budiyanto diatas, salah satu faktor yang dapat mempengaruhi hasil produksi koordinasi metabolisme mikroba. Tanpa adanya koordinasi metabolisme mikroba,

kemungkinan besar produk yang dihasilkan akan mengalami kerusakan atau memiliki mutu yang rendah. Hal ini juga akan berpengaruh terhadap nilai jual dari produk industri mikrobial yang dihasilkan. Pelczar & Chan (2012:927), beberapa produk industri mikrobial selain antibiotik dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 9.3 Contoh peran mikroorganisme di bidang industri

Produk	Bakteri	Kegunaan
Aseton-Butanol	<i>Clostridium acetobutylicum</i> dan yang lain	Pelarut; pembuatan bahan kimia
2,3-Butanediol	<i>Bacillus polymyxa</i>	Pelarut, pelembab, intermediat kimia
	<i>Enterobacter aerogenes</i>	
Dihidroksiaseton	<i>Gluconobacter suboxydans</i>	Bahan kimia halus
Asam-2-ketoglukonat	<i>Pseudomonas spp.</i>	Intermediat untuk asam D-araboaskorbat
Asam-5-ketoglukonat	<i>G. suboxydans</i>	Intermediat untuk asam tartarat
Asam laktat	<i>Lactobacillus delbrueckii</i>	Produk pangan; tekstil; dan penatu; pembuatan bahan kimia; menghilangkan kapur dari kulit binatang.
Amilase bakteri	<i>Bacillus subtilis</i>	Memodifikasi pati; merekat kertas; melepaskan perekat pada tekstil.
Protease bakteri	<i>B. subtilis</i>	Memperhalus struktur dan urat kulit binatang; melepaskan serat; penghilang noda; pengempuk daging.
Dekstran	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Stabilisator dalam produk pangan; pengganti plasma darah.
Sorbose	<i>G. suboxydans</i>	Pembuatan asam askorbat

Kobalamin	<i>Streptomyces alivaceus</i> ; <i>Propionibacterium freudenreichii</i>	Pengobatan anemia perniciosus; pelengkap makanan dan makanan ternak
Asam glutamat	<i>Brevibacterium spp.</i>	Aditif makanan
Lisin	<i>Micrococcus glutamicus</i>	Aditif makanan ternak
Streptokinase	<i>Streptococcus hemolyticus</i>	Penggunaan medis (melarutkan gumpalan darah)
Streptodornase		

9.4 Peran Mikroorganisme dalam Bidang Pertanian

Mikroorganisme memiliki peran menguntungkan maupun peran merugikan dalam bidang pertanian. Beberapa jenis mikroba dapat menyebabkan penyakit pada tanaman budidaya sehingga tidak jarang para petani mengalami kerugian yang cukup besar. Menurut Budiyo (2004:185), “beberapa bakteri yang menyebabkan penyakit pada tanaman adalah *Xanthomonas citri* penyebab penyakit batang jeruk, *Agrobacterium tumefaciens* penyebab penyakit batang kopi dan *Erwinia tracheiphila* penyebab penyakit busuk daun labu”.

Sementara itu, beberapa jenis mikroba lainnya memiliki peran yang cukup penting dalam siklus mineral dalam tanah. Peran penting lainnya dari mikroorganisme tanah adalah sebagai biopestisida. Menurut Budiyo (2004:187), “....secara ekologi, penggunaan biopestisida ini sangat menguntungkan jika dibandingkan dengan penggunaan pestisida. Hal ini dikarenakan adanya efek residu pestisida terhadap manusia termasuk manusia. Bakteri-bakteri tertentu dapat menghasilkan endotoksin yang dapat meracuni serangga hama tanaman tertentu”.

Peran Merugikan Mikroorganisme

Jasad renik yang merugikan merupakan agen penyebab penyakit yang timbul pada tanaman. Selain itu, beberapa mikroorganisme di atas juga mampu menyebabkan kerusakan mikrobiologik pada benda-benda tekstil maupun benda-benda logam. Jenis mikroorganisme yang dapat dianggap sebagai golongan yang paling besar dan paling penting adalah cendawan. Beberapa jenis cendawan

penyebab penyakit diantaranya adalah *Plasmodiophora brassicae* penyebab kematian pada akar-akar kubis, *Phytophthora infestans*, *Aphanomyces laevis*, *Synchytrium endobioticum*, dan lain sebagainya.

Selain cendawan, virus juga merupakan mikroorganisme patogen yang dapat menimbulkan berbagai masalah dan penyakit pada berbagai jenis tanaman. Virus umumnya merupakan parasit yang hanya dapat berkembang biak didalam sel hidup. Ukuran virus jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan bakteri maupun cendawan. Beberapa jenis virus yang dapat menyebabkan penyakit pada tanaman antara lain virus mosaik, virus tungro, dan masih banyak lagi.

Menurut Waluyo (2009:289), menyatakan bahwasanya hanya diketahui sedikit pengaruh virus sebagai mikroorganisme secara ekologis dalam tanah, kecuali sebagai partikel yang dorman yang tidak memiliki kemampuan parasitik. Virus tanaman dapat bertahan hidup dalam tanah, sementara itu virus insekta berkurang infektifnya selama setahun. Penyakit akibat virus dapat ditularkan oleh nematoda dan fungi.

Peran Menguntungkan Mikroorganisme

Selain berperan merugikan bagi tanaman, Mikroorganisme tanah juga memiliki peran penting yang bermanfaat bagi tanaman. Salah satu peran yang menguntungkan dari mikroorganisme adalah sebagai penghasil antibiotik. Mikroorganisme yang berperan dalam pembuatan antibiotik adalah golongan Actinomycetes yang merupakan salah satu prokariota yang memiliki bentuk menyerupai jamur. Antibiotika adalah molekul organik yang mempunyai kemampuan sebagai antimikrobia. Antibiotik biasanya diambil dari metabolit intermediat yang pembentukannya melalui biosintesis yang bertahap. Misalnya, ada lebih 30 tahap biosintesis streptomisin.

Mikroorganisme lain yang berperan penting dalam mikrobiologi pertanian adalah fungi. Fungi termasuk kedalam eukariota yang biasanya bentuknya berupa filamen dan berukuran lebih besar daripada bakteri. Fungi merupakan agen utama (primer) dalam penguraian bahan-bahan organik. Fungi mendegradasi molekul kompleks seperti selulosa, hemiselulosa, pektin, pati, dan lignin". Senyawa-senyawa tersebut merupakan jenis-jenis senyawa yang sulit diuraikan. Hal ini dikarenakan susunan kompleks senyawa tersebut.

Peran lain dari fungi adalah bertindak sebagai nutrisi ke bentuk biomassa mikrobia. Mereka membantu mengikat agregat tanah. Fungi atau jamur dapat mendekomposisi nutrisi dalam bentuk senyawa organik, sebagaimana telah

disebutkan diatas. Selain dua mikroorganisme diatas mikroba lain yang berperan positif dalam bidang pertanian adalah alga.

Peran alga dalam tanah berhubungan langsung dengan tingkat kesuburan pada tanah. Kesuburan tanah berkaitan langsung dengan kelimpahan alga. Hal ini karena, alga dapat memproduksi karbohidrat sendiri, sehingga nutrisi tanah seperti N, P, dan K membantu pertumbuhan alga. Herbisida dapat juga dikurangi oleh populasi alga dalam lingkungan tanah.

Mikroorganisme juga berperan dalam siklus mineral dalam tanah. Peran inilah yang menjadikan mikroba dapat dikatakan sebagai salah satu agen penyubur dalam tanah. Siklus-siklus mineral tersebut antara lain siklus sulfur, siklus fosfor, siklus besi dan mangan, siklus nitrogen, dan siklus karbon. Mineral-mineral diatas merupakan unsur penting yang sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup lainnya baik manusia, hewan, maupun tumbuhan.

9.5 Pengendalian Mikroorganisme

Peran mikroorganisme dalam kehidupan sangat penting. Teknologi mikrobiologis telah memecahkan sekelumit permasalahan manusia. Pengadaan energi, pangan, obat-obatan merupakan hasil dari peranan mikroorganisme. Namun mikroorganisme dapat menyebabkan permasalahan, hal itu nampak dari kemampuannya menginfeksi manusia, hewan, serta tanaman yang menimbulkan penyakit. Bukan hanya itu, aktifitas negatif menimbulkan rusaknya bahan makanan hingga berakibat tidak dapat di konsumsi bahkan beracun. Karena itu perlu adanya suatu usaha mengendalikan mikroba. Kontrol terhadap pertumbuhan mikroorganisme dapat dilakukan dengan cara membunuh mikroorganisme, atau menghambat pertumbuhannya. Kontrol terhadap pertumbuhan dapat dilakukan secara kimia, fisika dan biologi.

9.5.1 Pengendalian Secara Kimia

Secara kimia, menggunakan senyawa kimia untuk mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme. Senyawa kimia yang dapat mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme, dapat dibedakan menjadi antiseptik, desinfektan, dan bahan kemoterapeutik/antibiotik. Antiseptik: substansi kimia yang digunakan pada jaringan hidup yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisma. Desinfektan merupakan substansi kimia yang dapat menghambat pertumbuhan sel vegetatif pada materi yang tidak hidup. Bahan kemoterapeutik merupakan substansi

kimia yang dapat merusak/menghambat pertumbuhan mikroorganisme dalam jaringan hidup, dihasilkan oleh mikroorganisme.

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam memilih bahan kimia sebagai senyawa antimikroba adalah sebagai berikut:

- 1) Memiliki kemampuan untuk mematikan mikroorganisme dalam konsentrasi rendah pada spectrum luas, sehingga dapat membunuh berbagai mikroorganisme.
- 2) Bisa larut dalam air atau pelarut lain sampai taraf yang diperlukan secara efektif.
- 3) Memiliki stabilitas tinggi, jika dibiarkan dalam waktu relatif lama tidak kehilangan sifat antimikrobanya.
- 4) Bersifat letal bagi mikroorganisme, tetapi aman bagi manusia maupun hewan.
- 5) Bersifat homogen, sehingga komposisi selalu sama untuk setiap aplikasi dosis takaran.
- 6) Senyawa tersedia dalam jumlah besar dengan harga yang pantas.
- 7) Sifat bahan harus serasi.
- 8) Dapat menentukan tipe mikroorganisme yang akan dibasmi.
- 9) Aman terhadap lingkungan.

9.5.2 Pengendalian Secara Fisika

Pengendalian mikroorganisme pathogen dapat dilakukan dengan mengontrol atau mengatur keadaan lingkungan.

1) Suhu rendah

Suhu rendah tidak membunuh mikroorganisme tetapi menghambat perkembangbiakannya. Dengan demikian pertumbuhan mikroorganisme semakin berkurang seiring dengan semakin rendahnya suhu, dan akhirnya di bawah “suhu pertumbuhan minimum” perkembangbiakannya akan berhenti.

Suhu terlalu rendah hingga di bawah suhu optimum pertumbuhan dapat menekan laju metabolisme *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, dan *Bacillus cereus* hingga laju terhenti. Namun, beberapa mikroba mempunyai kemampuan untuk dapat bertahan hidup pada keadaan yang sangat dingin. Mikroba yang ada pada kondisi beku dianggap dorman karena tidak terdeteksi adanya aktifitas metabolik. Hal ini merupakan dasar bagi berhasilnya pengawetan pangan dengan suhu rendah

2) Pengerinan

Pengerinan identik dengan pengurangan aktivitas air. Pada aw kurang dari 0,70 pertumbuhan agen penyebab infeksi dan intoksikasi tidak perlu dikuatirkan lagi.

Pada produk yang dikeringkan, mikroorganisme berada dalam keadaan “tidur” atau dengan perkataan lain berada dalam fase lag yang diperpanjang. Bila terjadi rekonstruksi (penyerapan air kembali) maka flora yang ada dalam bahan makanan dapat kembali beraktivitas. Secara umum pengeringan dibedakan menjadi pengeringan di bawah tekanan udara dan pengeringan vakum. Proses yang khusus adalah kombinasi antara pembekuan dan penghilangan air dengan atau tanpa vakum. Pengeringan dengan udara dilakukan dalam udara yang bergerak, dalam ruang pengeringan yang dipanaskan, dll.

Faktor yang mempengaruhi lamanya mikroorganisme mati setelah dilakukan pengeringan:

- a. macam mikroorganismenya
- b. Bahan pembawa yang akan dipakai untuk mengeringkan mikroorganisme
- c. Kesempurnaan proses pengeringan
- d. Kondisi fisik (cahaya, suhu, kelembaban yang dikenakan pada organisme yang dikeringkan).

3) Radiasi

Radiasi Ultraviolet merupakan unsur bakterisidal utama pada sinar matahari yang menyebabkan perubahan-perubahan di dalam sel berupa:

- Denaturasi protein
- Kerusakan DNA
- Hambatan replikasi DNA
- Pembentukan H₂O₂ dan peroksida organik di dalam pembenihan
- Merangsang pembentukan kolisin pada kuman kolisigenik dengan merusak penghambatnya di dalam sitoplasma.

Lampu ultraviolet dipergunakan untuk:

- Membunuh mikroorganisme
- Membuat vaksin kuman dan virus
- Mencegah infeksi melalui udara pada ruang bedah, tempat-tempat umum dan laboratorium bakteriologis.

Radiasi sinar ultraviolet dapat mengurangi atau menginaktifkan jenis kapang perusak pada gandum seperti, *Penicillium rubrum* dan *Penicillium purpurogenum* yang terdapat dalam udara penyimpanan gandum (Siagian 2002). Proses ini dilakukan pada gandum karena kadar air gandum yang rendah, sehingga proses ini mampu menghambat aktifitas pertumbuhan mikroba pada gandum.

Radiasi sinar-X dan pengion memiliki kapasitas lebih besar untuk menginduksikan perubahan-perubahan yang mematikan pada DNA sel. Cara ini berguna untuk

sterilisasi barang-barang sekali pakai misalnya benang bedah, semperit sekali pakai, pembalut lekat dan lain-lain.

4) Filtrasi

Cara sterilisasi ini berguna untuk:

- Larutan antibiotika, serum, larutan karbohidrat dan lain-lainnya
- Memisahkan kuman dari toksin dan bakterifage
- Menyaring kuman yang jumlahnya sedikit di dalam suatu cairan.

Kerugian cara penyaringan:

Virus dan mikoplasma dapat melewati saringan kuman, sehingga serum yang telah di saring tidak cukup aman untuk dipakai didalam klinik karena mungkin masih mengandung virus atau mikoplasma.

Jenis-jenis saringan kuman ialah:

- Tabung porselen misalnya Berkefeld atau Chamberland
- Filter piringan asbes misalnya Seitz
- Filter dari gelas berlubang
- Filter membran atau koloidon

5) Pembersihan secara fisik

Hal yang harus dilakukan ketika mengolah dan menyajikan makanan untuk mencegah penularan penyakit menular yaitu:

- a. Selalu mencuci tangan sebelum memegang makanan, minuman dan peralatan. Karena tangan dapat memindahkan kuman (bibit penyakit) dari sampah, daging mentah, piring kotor ataupun dari kotoran hidung maupun tenggorokan kedalam makanan.
- b. Memotong kuku agar tetap pendek dan tidak menggunakan cat kuku dan selalu mencuci tangan menggunakan sabun dan air hangat. Gosok tangan terutama dibawah kuku selama 20 detik dengan sabun, kemudian bersihkan dengan menggunakan air hangat. Jika tidak ada kertas toilet bisa menggunakan pengering tangan dan tidak boleh menggunakan apron (celemek) atau lap cuci untuk mengeringkan tangan. Pencucian tangan perlu dilakukan kembali setelah menggunakan kamar kecil ataupun setelah kontak dengan cairan tubuh ketika batuk atau bersin, setelah makan, merokok, memegang daging mentah, membuang sampah atau memindahkan piring kotor.

9.5.3 Pengendalian Secara Biologi

Pengendalian mikroorganisme juga dapat dilakukan dengan cara biologi yaitu dengan antibiotik. Antibiotik adalah suatu zat yang dihasilkan oleh sesuatu mikroba terutama fungi / jamur yang berkhasiat dapat menghambat atau membasmi mikroba, khususnya adalah mikroba yang dapat menyebabkan suatu penyakit. Secara medis, antibiotika merupakan senyawa mikroorganisme seperti jamur atau bakteri tertentu yang telah "dijinakkan" dan bila dimasukkan ke dalam tubuh dapat menjadi penyembuh yang ampuh. Cara Kerja Antibiotik berperang melawan bakteri-bakteri di dalam tubuh.

Pemakaian antibiotik yang salah dapat menimbulkan sejumlah kerugian. Selain karena mahal dan meningkatnya efek samping, dapat terjadi resistensi antibiotik yang sangat mengganggu apabila orang tersebut menderita infeksi berat di kemudian hari. Pemakaian antibiotik berlebihan dapat mengaburkan diagnosis yang seharusnya, sehingga penyakit pasien tidak tertangani dengan baik. Antibiotik berlebihan juga dapat mengganggu sistem imunitas. Untuk itulah pentingnya mengetahui tata cara aturan minum antibiotik yang benar dan tepat juga. Antibiotik dapat digunakan untuk kebutuhan profilaksis (pencegahan infeksi). Antibiotik profilaksis diberikan dalam jangka pendek (24 jam atau kurang), dengan pilihan antibiotik sesuai pengalaman klinis. Dalam menginterpretasikan hasil kultur, perlu diingat bahwa segera setelah terapi antibiotik dimulai, koloni flora normal bakteri pada kulit, rongga mulut, dan sputum akan berubah. Koloni semacam ini tidak perlu diberantas dengan antibiotik spektrum luas, karena justru akan menimbulkan munculnya mikroorganisme multiresisten. Jadi penggantian antibiotik menjadi antibiotik spektrum luas setelah hasil kultur diperoleh, tidak perlu dilakukan. Infeksi baru biasanya ditandai dengan demam yang muncul mendadak dengan pola demam yang berubah dan ditemukannya leukositosis dengan *shift to the left*.

1. Prinsip-prinsip penggunaan antibiotik yang perlu diperhatikan.

- a) Penegakan diagnosis infeksi perlu dibedakan antara infeksi bakterial dan infeksi viral. Selain itu juga perlu dicari tahu dari mana infeksi bersumber. Misalnya pada pneumonia bakterial, etiologi terseringnya adalah *Streptococcus pneumoniae*.
- b) Dalam setiap kasus infeksi berat, apabila memungkinkan lakukan pengambilan spesimen (seperti darah, sputum, pus, urin, atau usapan/swab) untuk diperiksa di laboratorium. Pemeriksaan yang dilakukan di sini antara lain kultur bakteri,

sensitivitas antibiotik, pemeriksaan mikroskopis, dan pewarnaan Gram. Namun pada kenyataannya, praktik semacam ini agak jarang dilakukan karena membutuhkan waktu lebih lama untuk memastikan mikroorganisme penyebab dan antibiotik yang paling tepat untuk infeksi tersebut.

- c) Selama menunggu hasil kultur, terapi antibiotik empiris sangat penting untuk diberikan kepada pasien yang sakit berat. Kelemahan cara ini adalah dapat mengganggu diagnosis etiologik berikutnya, dan dapat memberi hasil negatif palsu pada identifikasi mikroorganisme infeksius setelah pemberian antibiotik (apabila diperlukan).
- d) Pertimbangkan penggunaan antibiotik dalam terapi kasus gastroenteritis atau infeksi kulit, karena kedua jenis infeksi tersebut jarang memerlukan antibiotik.
- e) Perhatikan pola bakteri penyebab infeksi nosokomial setempat. Bakteri yang sering menyebabkan infeksi nosokomial antara lain MRSA (*meticillin-resistant Staphylococcus aureus*) dan *Pseudomonas sp*; namun distribusinya berbeda-beda di berbagai tempat. Terapi untuk infeksi MRSA adalah vankomisin, dan infeksi *Pseudomonas* dengan golongan penisilin spektrum luas.
- f) Antibiotik tertentu dapat menimbulkan keracunan sehubungan dengan kadar yang terlalu tinggi dalam darah, sehingga kadarnya dalam plasma perlu dipantau terus (misalnya gentamisin). Nilai keberhasilan terapi secara klinis atau secara mikrobiologis (kultur ulang).

2. Pemilihan antibiotik harus mempertimbangkan dosis dan cara pemberian obat.

- a) Mikroorganisme: paling sensitif terhadap antibiotik mana saja. Hal ini dapat diketahui dari uji sensitivitas, namun dapat diperkirakan berdasarkan spektrum antibiotik atau dugaan klinis apabila sensitivitas atau jenis mikroorganisme belum diketahui.
- b) Faktor pasien: umur, ada/tidaknya alergi, fungsi hati, fungsi ginjal, kondisi imunologis, hamil/tidak, dan faktor genetik.
- c) Berat/tidaknya infeksi: mempengaruhi jenis obat yang dipilih dan cara pemberiannya. Sebagian antibiotik tidak begitu baik diabsorpsi apabila diberikan peroral, misalnya aminoglikosida. Pada pasien sakit berat, pemberian antibiotik biasanya dilakukan secara parenteral.
- d) Tempat infeksi: antibiotik seringkali tidak dapat menembus rongga abses dengan baik, karena itu abses biasanya memerlukan drainase di samping terapi

antibiotik. Antibiotik tertentu (misalnya aminoglikosida) tidak dapat menembus duramater, sehingga tidak digunakan untuk meningitis.

- e) Adanya benda asing (misalnya katup prostetik, pecahan kaca) dapat mengurangi respons jaringan terhadap antibiotik.
- f) Untuk terapi awal dalam kasus infeksi, antibiotik spektrum luas lebih baik digunakan lebih dahulu, sampai hasil kultur tersedia. Apabila antibiotik spektrum sempit yang digunakan dulul maka basil gram negatif, kokus gram positif, dan fungi yang resisten mulai mendominasi dan terapi selanjutnya menjadi sulit. Setelah hasil kultur diperoleh, barulah digunakan antibiotik spektrum sempit yang spesifik untuk bakteri yang bersangkutan.
- g) Ganti antibiotik spektrum luas menjadi antibiotik spektrum sempit setelah terapi berlangsung 3 hari, untuk mencegah penurunan imunitas pejamu.

Rangkuman

- Mikroorganisme memiliki peranan yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini dikarenakan kemampuan mikroorganisme dalam mengubah susunan kimia suatu bahan atau unsur yang terdapat di lingkungan sekitar. Kemampuan mikroba tersebut dimanfaatkan oleh manusia dalam berbagai keperluan seperti pangan, industri, dan pertanian.
- Penerapan dalam bidang pangan berupa produk-produk pangan yang berkualitas dan tahan lama, serta pengembangan teknik sterilisasi dan pengawetan bahan pangan. Bidang industri menghasilkan produk-produk penting yang berguna dalam pembuatan bahan kimia, maupun antibiotik.
- Mekanisme kerja agen anti mikroba dengan mengganggu metabolisme sel mikroba, mengganggu permeabilitas membran sel mikroba, mengganggu sintesis dinding sel, menghambat sintesis protein sel mikroba, menghambat sintesis atau merusak asam nukleat sel mikroba.
- Pengendalian penyakit secara hayati tidak lain adalah mengurangi laju perkembangan penyakit melalui penurunan daya hidup patogen, menurunkan jumlah propagul yang diproduksi serta mengurangi penyebaran inokulum.
- Pengendalian terhadap pertumbuhan mikroorganisme dapat dilakukan dengan cara membunuh mikroorganisme, atau menghambat pertumbuhannya. Kontrol terhadap pertumbuhan dapat dilakukan secara fisika, kimia dan biologi.

Daftar Referensi

- Black, Jacquelyn G. 2002. *Microbiology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Dwidjoesepuro. 1998. *Dasar-dasar mikrobiologi*. Unipress: Jakarta
- Fardiaz Srikandi. 1992. *Mikrobiologi Pangan 1*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Lay, Bibiana W., Hastowo, Sugyo. 1992. *Mikrobiologi Edisi I*. Rajawali Press. Jakarta
- Pelczar, M.J. & E.C.S. Chan. 1986. *Dasar-Dasar Mikrobiologi 1*. Penterjemah Ratna Siri Hadioetomo dkk. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Kusnadi, dkk. 2003. *Mikrobiologi (Common Teksbook)*. Biologi FPMIPA UPI, IMSTEP.
- Schlegel Hans G. 1994. *Mikrobiologi Umum Edisi keenam*. Penterjemah Tedjo Baskoro Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Southwick FS. Anti-Infective Therapy, in Southwick FS (eds). *Infectious Diseases: A Clinical Short Course, 2nd edition*, New York: McGraw-Hill Companies, 2007.

9.6 Soal-soal latihan Pilihan Ganda

1. Berdasarkan mekanisme aksinya, antibiotik dibedakan menjadi lima, kecuali...
 - a. Antibiotik yang menghambat sintesis metabolit esensial
 - b. Antibiotik yang menghambat sintesis dinding sel
 - c. Antibiotik yang menghambat sintesis asam nukleat (DNA/RNA)
 - d. Antibiotik yang menghambat sintesis ribosom
2. Substansi kimia yang diperoleh dari oleh mikroorganisme dan substansi itu dalam jumlah yang sedikit pun mempunyai daya penghambat kegiatan mikroorganisme yang lain disebut?
 - a. Antibiotik
 - b. Antimikroba
 - c. Antiseptik
 - d. Antibakteri
3. Antibiotik bakterisida mengandung senyawa aktif yang secara langsung membunuh bakteri disebut antibiotik?
 - a. Bakterisida (bactericide)
 - b. Bakteriostatik (bacteriostatic)
 - c. Bakteriotik
 - d. Bakteriologi
4. Untuk membunuh bakteri, antibiotik Bakteriostatik menargetkan bagian sel, yaitu
 - a. Dinding sel luar, membran sel bagian dalam, serta susunan kimia bakteri.
 - b. Dinding sel luar, membran sel bagian luar serta susunan kimia bakteri.
 - c. Dinding sel dalam, membran sel bagian dalam serta susunan DNA/RNA
 - d. Dinding sel dalam, membran sel bagian luar serta susunan DNA/RNA
5. Penicillins adalah antibiotik pertama yang ditemukan oleh.....
 - a. Alexander Fleming
 - b. Rene Laennec
 - c. Benyamin Franklin
 - d. Gottlich Daimler
6. Jenis antibiotik Penicillins adalah kelas antibiotik kelompok agen bakterisida yang terdiri, kecuali
 - a. Penisilin G
 - b. Penisilin V
 - c. Ampisilin dan tikarsilin
 - d. Cephalosporins

7. Macrolides adalah antibiotik yang dapat mencegah (.....) bakteri.
 - a. Menghambat pertumbuhan
 - b. Perkembangan
 - c. Kematian
 - d. Biosintesis
8. Cara kerja dari antibiotik berikut yang menghambat sintesis protein dan digunakan pada penyakit akibat kuman *Salmonella* adalah ...
 - a. Chloramphenicol
 - b. Quinolone
 - c. Fluoroquinolones
 - d. Aminoglycosides
9. Efek samping dari Quinolone yaitu ...
 - a. Sakit kepala, vertigo, dan insomnia
 - b. Mual dan diare
 - c. Demam dan saluran pencernaan
 - d. Angiodema atau kolitis pseudomembranosus
10. Antibiotik spektrum luas efektif membunuh jenis bakteri patogen seperti antibiotik ...
 - a. Tetracycline
 - b. Glycylcycline
 - c. Oxazolidinone
 - d. Macrolide

Kunci Jawaban Soal Pilihan Ganda.

1. D
2. B
3. A
4. A
5. A
6. D
7. D
8. A
9. A
10. A

Latihan Soal Essay!

1. Secara umum ada dua macam cara untuk mengendalikan mikroorganisme, cara-cara apa saja itu dan beri contoh masing-masing dengan kelebihan dan kekurangannya!
2. Untuk mengendalikan mikroba diperlukan jenis pengendalian yang sesuai, mengapa demikian? Beri contohnya!
3. Jelaskan Mekanisme matinya mikroba oleh panas.
4. Mengapa pemanasan dengan uap lebih disukai daripada pemanasan kering?
5. Buktikan dengan fakta bahwa jenis mikroorganisme yang berbeda butuh mikroba yang berbeda untuk membasminya, dan mengapa begitu?

Jawaban soal essay!

1. Secara Fisika

Contoh: Pembakaran atau insenerasi, semua mikroba mati, Pemanasan, Radiasi, Penyaringan / filtrasi (filter dengan ukuran pori 0,22 mikroM), Pengeringan, Tekanan osmosis, Pendinginan

- Kelebihan:

Proses pengendalian mikroorganismenya lebih cepat atau menghemat waktu, Lebih praktis.

- Kekurangan:

Ada beberapa pengendalian secara fisika ini yang tidak dapat mematikan spora (misal: untuk bahan cairan infuse sebaiknya tidak menggunakan autoklaf karena dapat merusak cairan infuse tersebut).

Secara Kimia

Contohnya: penggunaan deterjen dan senyawa aldehide.

2. Mikroba mempunyai sifat serta daya tahan atau retensi yang berbeda pula, tergantung struktur mikroba, lingkungan mikroba, serta cara hidupnya. Hal tersebut dapat digunakan untuk menentukan jenis pengendalian apa yang sesuai, pengendalian fisika atau pengendalian kimia. Contoh: spora dapat dikendalikan dengan fenol sedangkan klorin tidak dapat untuk mengendalikan spora.
3. Sel mikroba yang aktif jika dipanaskan dengan suhu tinggi lambat laun akan berkurang secara eksponen. Selain itu pada temperatur tinggi protein dan enzim pada mikroba akan mengalami denaturasi yang akan menyebabkan terhentinya metabolisme pada mikroba tersebut. Jika suhu dinaikkan mikroba akan mati.

4. Karena pemanasan dengan uap membutuhkan energi yang lebih rendah daripada pemanasan kering. Selain itu uap merupakan pembawa energi termal paling efektif dan semua lapisan pelindung luar mikroorganisme dapat dilunakkan sehingga memungkinkan terjadinya koagulasi dan denaturasi sel. Uap panas juga bersifat non-toksik dan mudah diperoleh, serta relatif mudah dikontrol.
5. Suatu jenis mikroorganisme berbeda memerlukan antimikroba yang berbeda pula, misalnya saja faktanya seorang terkena batuk, dan tidak kunjung sembuh disebabkan obat yang diberikan tidak mampu memusnahkan mikroba yang menginfeksi, sehingga dapat ditentukan obat apa yang sesuai, misalnya bila bakteri yang menyerang adalah *Bordetella Pertusis*, maka anti bakteri yang tepat adalah Kloramfenikol atau Ampicilin, dan tidak cocok apabila Tetrasiklin.

GLOSARIUM

Aerob	Organisme/mikroorganisme yang dapat hidup dengan memerlukan oksigen untuk pertumbuhannya.
Amoeboid	Gerak seperti amuba, berubah-ubah bentuk dan bergerak dengan pseudopodia. Istilah ini biasanya digunakan untuk sifat plasmodium dan sel renang Myxomycetes dan zoospore beberapa Phycomycetes.
Amorf, Amorphous	Tidak mempunyai bentuk tertentu.
Anamorph	Tingkat aseksual pada siklus hidup jamur pleomorphic.
Anaerob	Organisme/mikroorganisme yang hidup tidak memerlukan oksigen untuk pertumbuhannya.
Antimikroba	obat pembasmi mikroba, khususnya mikroba yang merugikan manusia. Dalam pembicaraan di sini, yang dimaksud dengan mikroba terbatas pada jasad renik yang tidak termasuk kelompok parasit.
Antisepsis	Proses pengurangan jumlah mikroorganisme pada kulit, selaput lendir atau jaringan tubuh lain menggunakan anti mikroba.
Antiseptik	Bahan kimia yang mencegah pertumbuhan dengan menghambat pertumbuhan atau memusnahkan mikroorganisme, digunakan untuk bagian tubuh pada jaringan hidup terutama kulit.
Annulus	Suatu cincin yang didapat mengelilingi tangkai suatu jamur tertentu.
Aseptis	Suatu keadaan yang di dalamnya bebas dari segala macam bentuk kehidupan (mikroorganisme) yang dapat menginfeksi atau mengkontaminasi.
Aspergillosis	Penyakit yang disebabkan oleh berbagai species Aspergillus. Dengan ciri adanya bintik-bintik pada berbagai bagian dari tubuh, umumnya terdapat pada insekta, hewan (burung) juga manusia.
Autotrof	Organisme yang dapat memproduksi bahan organik dari bahan anorganik di alam/ organisme yang dapat membuat makanan sendiri dengan bantuan energy seperti energy cahaya matahari dan kimia.

Bakteri gram-positif	Bakteri yang mempertahankan zat warna metil ungu sewaktu proses pewarnaan Gram
Basidium/basidia	Suatu sel yang biasanya terminal yang didalamnya berlangsung karyogamy disusun oleh miosis, kemudian nuclei haploid bergerak melalui perpanjangan dindingnya dan terpisah menjadi spora yang meruncing dan asimetrik dalam jumlah tertentu.
Bakteriofage	Virus yang hidup dalam sel bakteri/ menyerang bakteri
Basipetal	Suatu rantai spora, dengan spora yang termuda pada dasarnya.
Centrum	Pusat; jumlah total dari struktur dalam dinding ascocarp.
Chitin	Suatu polisakarida mengandung N yang terdapat dalam dinding sel banyak jamur.
Colony/koloni	Kumpulan individu dari species yang sama, hidup berkelompok. Pada jamur biasanya berupa hifa yang berasal dari satu titik tumbuh dan membentuk thallus yang membulat.
Conjugate/konjugat	Berpasangan/berhubungan.
Dikaryon	Keadaan binukleat suatu diplont sesudah plasmogamy dan sebelum karyogamy, dimana nuclei terpisah secara pembelahan konjugasi; sepasang nuclei yang masing-masing berasal dari sel induk berlainan.
Disinfeksi	Proses pemusnahan mikroorganisme patogen dengan penggunaan disinfektan.
Disinfektan	Zat yang dapat membunuh atau menghambat pertumbuhan bakteri
Eukaryon	Inti yang berdinding, mempunyai nucleolus dan bahan inti/kromatin yang membentuk kromosom.
Eucarpic/eucarpous	Istilah untuk reproduksi yang hanya memerlukan sebagian dari thallus untuk pembentukan fruktifikasi, sedangkan sisanya tetap berfungsi sebagai thallus asimilatif.
Fakultative/fakultatif	Istilah untuk parasitisme. Kadangkala parasit facultative adalah organisme yang biasanya hidup

	saproba tetapi pada keadaan yang menguntungkan dapat menjadi parasit.
Fakultatif Anaerob	Organisme yang dapat menggunakan oksigen bebas atau dapat tumbuh secara anaerob
Fakultatif Parasit	Istilah untuk organisme yang biasanya hidup sebagai saprofit tetapi dibawah kondisi tertentu dapat hidup sebagai parasit.
Filogenetik	Studi yang membahas tentang hubungan kekerabatan antar berbagai macam organisme melalui analisis molekuler dan morfologi
Gangren	Kondisi serius yang muncul ketika banyak jaringan tubuh mengalami nekrosis atau mati. Kondisi ini terjadi setelah seseorang mengalami luka, infeksi, atau masalah kesehatan kronis yang memengaruhi sirkulasi darah.
Germ cube	Tabung perkecambahan, struktur yang berbentuk tabung yang dikeluarkan oleh spora saat berkecambah, Umumnya terus tumbuh menjadi hifa.
Germ tube	Struktur mirip hifa, pendek yang berkembang dari suatu tipe spora tertentu pada waktu perkecambahan.
Gram negatif	Suatu teknik pewarnaan dinding sel pada bakteri yang terdiri dari lapisan peptidoglycan yang tipis, lipid yang lebih tinggi dan menghasilkan warna merah.
Glycogen	Makanan cadangan yang terdapat dalam cytoplasma.
Halophiles	Extremophile organisme yang berkembang dalam lingkungan dengan konsentrasi yang sangat tinggi garam
Hapteron	Kumpulan hifa adhesive pada dasar tali funiculus dari Nidulariaceae.
Hemi	Awalan yang berarti sebagian atau setengah
Haustorium	Percabangan spesial dari hifa yang berfungsi sebagai alat pelekat dan peresapan zat makanan dalam sel inang.
Heterothallic	Mempunyai thallic yang dapat dibedakan ke dalam dua atau lebih galur yang morfologik sama tetapi tidak memungkinkan terjadinya kopulasi sesamanya kecuali

	dengan galur lain, untuk pembentukan zigot atau sel dikaryotik.
Homeostasis	Kemampuan atau kecenderungan dari suatu organisme atau sel untuk menjaga keseimbangan internal dengan menyesuaikan proses fisiologis
Host	Inang. Organisme hidup dimana jamur hidup diatas atau didalamnya.
Hypha, hifa	Struktur yang menyerupai benang-benang mikroskopik pada jamur
Idiomorph	Suatu bentuk alyernatif dari locus genetik yang kurang jelas rangkaian homologynya dengan alella.
Infectious	Kemampuan memproduksi propagule yang dapat tersebar dari stu inang ke inang lainnya dan mampu menginfeksi inang tersebut.
Infective	Suatu agen yang dapat inokulasi dan menyebar (inokulum).
Inkubasi	Penjagaan biakan bakteri dalam kondisi yang menguntungkan bagi pertumbuhan atau pembiakan (kultivasi) bakteri yang dilakukan di dalam tabung atau cawan petri.
Inokulasi	Pemindahan sel-sel mikroorganisme dari biakan ke medium steril dengan jarum atau lingkaran inokulasi yang steril.
Inokulum	Populasi mikroorganisme yang di inokulasikan; suatu unit dari patogen yang dapat memulai suatu infeksi.
Isogamy	Percampuran gamet yang morfologinya sama
Isolasi	Memisahkan satu sel mikroorganisme dari mikroorganisme lainnya dalam media untuk menghasilkan satu koloni.
Isolat	Bentuk perlakuan untuk meningkatkan produk
Kapang	Jamur renik yang biasa tumbuh pada benda organik lembab, diantaranya ada yang disebut “kapang oncom”, kapang roti, kapang tempe.
Karyogamy	Percampuran antara dua nuclei/inti sesudah plasmogamy.

Lichen	Suatu kombinasi dari alga atau cyanobacterium dan suatu jamur dimana kedua komponen bersatu/bergabung untuk membentuk apa yang terlihat sebagai satu individu.
Miosis	Proses dimana sel heterokaryotik menjadi monokaryotik.
Microcyst	Protoplast yang terhenti aktivitasnya dan berubah menjadi cyst, seperti terdapat pada amuba dari Myxomycota, Distyosteliomycetes atau Acrosiomycoata.
Mesophile	organisme yang tumbuh paling baik di suhu moderat, tidak terlalu panas atau terlalu dingin, biasanya antara 15°C dan 40°C (77°F dan 104°F)
Methanogens	Mikroorganisme yang menghasilkan metana sebagai produk sampingan metabolik dalam kondisi anoxic
Mikroaerofilik	Mikroorganisme yang hidup paling baik dengan tekanan oksigen yang dikurangi/ rendah.
Miselium	Kumpulan benang-benang hifa yang menyusun tubuh jamur.
Mold	Jamur renik tertentu yang mempunyai fase asimilatif berbagai warna seperti biru, hijau, hitam, putih dll; kapang
Monomorphic, monomorfik	Hanya membentuk satu macam zoospore.
Mushroom	Istilah umum bagi agaric berdaging dan golongan jamur lain yang berdaging.
Mutualisme	Simbiosis antara dua organisme yang menguntungkan satu dengan yang lainnya.
Mycorrhiza	Suatu asosiasi simbiotik antara hifa jamur tertentu dan organ penyerap, khususnya akar tanaman. atau asosiasi simbiotik antara jamur dan akar tanaman/tumbuhan.
Mycotoxin	Suatu racun/toxin yang dihasilkan oleh jamur, lebih spesifik lagi toxin yang dikeluarkan oleh Ascomycetes tertentu.
Necrosis	Kematian sel-sel atau tanaman

Obligate parasite, parasit obligat	Suatu organisme yang dialam, mendapatkan makanan hanya dari protoplasma organisme hidup. Biasanya tidak dapat ditumbuhkan pada media tidak hidup/media buatan.
Oidia, oidium	Konidium yang dibentuk dalam suatu rantai pada "oidiophora"; dapat berfungsi sebagai spora.
Oogamy	Heterogamy antara telur non motil sperma motil dan kecil.
Ooplast	Suatu berlahan ikatan membrane selular dalam oospora dari beberapa Oomycetes.
Operculum	Penutup, terdapat pada sporangium atau ascus.
Parasit, parasite	Organisme yang hidup pada organisme lain dan mendapat makanan dari organisme yang ditumpanginya tersebut.
Parasit fakultatif, Fakultatif parasite	Dapat hidup sebagai saproba, dapat ditumbuhkan pada media sintetik.
Parasit obligat, obligate parasite	Hanya dapat hidup sebagai parasit, belum dapat ditumbuhkan pada media sintetik.
Pathogenic, pathogenik	Dapat menyebabkan penyakit.
Peptidoglikan	susunan yang terdiri dari polimer besar dan terbuat dari N-asetil glukosamin dan asam N-asetil muramat yang saling berikatan silang (cross linking) dengan ikatan kovalen
Plasmid	Cincin DNA kecil dalam sitoplasma yang biasa terpadat pada bakteri.
Rhizoid	Suatu thallus yang pendek, bercabang, menyerupai akar.
Rhizomorph	Suatu anyaman hifa yang padat dan biasanya tahan terhadap keadaan buruk.
Septum	Suatu dinding persilangan pada gifa yang berkembang secara centripetal.
Sterigma; Sterigmata	Suatu cabang hifa yang kecil atau struktur yang menyangga sporangium.

Stroma, stromata	Suatu struktur somatic yang kompak (jalinan hifa yang cukup padat dan berfungsi sebagai bantalan).
Teleomorph	Tahapan seksual dalam siklus hidup jamur yang meliputi tahapan seksual dan aseksual (anamorph dan holomorph).
Termofilik	Organisme yang suhu pertumbuhan optimumnya biasanya di atas 55°C atau 65°C.
Thallus, thalli	Istilah umum untuk bagian vegetatif dari tumbuhan-tumbuhan yang tidak berpembuluh (non-vascular); pada fungi seluruh fase asimilatif individu.
Vaksin	Produk yang mengandung antigen, yang terdiri atas organism pathogen yang dimatikan, organisme hidup yang tidak virulen (dilemahkan), atau eksotoksin yang tidak diaktifkan (toksoid).

Daftar Pustaka

- Anni Maczulak. (2014). *Encyclopedia of Microbiology*. Fact on File Science Lybrary. New York
- Dworkin, M., Falkow, S., Rosenberg, E., Schleifer, K.-H., Stackebrandt., (2006). *The Prokaryotes: A Handbook on the Biology of Bacteria*. Springer-Verlag. New York.
- Granoff, S. & Webster, R.G. (1999). *Encyclopedia of Virology: 2nd ed.* Academic Press. San Diego.
- Lud Waluyo. (2016). *Mikrobiologi Umum*. UMMM Press. Malang.
- Madigan, *et al.* (1995). *Biology of Microorganisms*. Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- Mark Brundrett. (2014). Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biol. Rev.* Vol. 79:473–495; DOI: 10.1017/S1464793103006316.
- Metting, F.B. (1993). *Soil Microbial Ecology Application in Agriculture and Environment Management*. Marcel Dekker. Inc. New York
- Michael J. Pelczar, Jr dan E.C.S. Chan. (1986). *Elements of Microbiology*. McGraw – Hill Book Company. New York.
- Moretti, Antonio, Susca, Antonia. (2017). *Mycotoxigenic Fungi: Methods and Protocols*. Humana Press. New York.
- Syamsunir Adam. (2002). *Dasar-Dasar Mikrobiologi Parasitologi untuk Perawat*. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Tidona.C. A. & Darai G. (2002). *The Springer Index of Viruses*. Springer. Berlin.
- Varma, Ajit, Kharkwal, Amit C. (2009). *Symbiotic Fungi: Principles and Practice*. Springer-Verlag. Berlin

Biografi Penulis



Susilo, M.Si. lahir di kota Karanganyar, Jawa Tengah pada bulan Februari 1985. Mengawali karirnya sebagai dosen di Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Muhammadiyah Prof. DR. Hamka sejak 2011. Mata kuliah yang diampu antara lain Mikrobiologi Dasar, Kultur Jaringan Tanaman, dan Bioteknologi. Beliau menempuh pendidikan S1 jurusan Pendidikan Biologi di FKIP Universitas Muhammadiyah Surakarta (UMS) pada tahun 2003. Kemudian melanjutkan studi Magister (S2) di Universitas Sebelas Maret Surakarta dengan mengambil jurusan Biosain dan selesai pada tahun 2010. Sejak di bangku SMP, beliau tertarik dengan ilmu hayati. Sejak menjadi dosen beliau aktif melakukan penelitian. Berbagai karya ilmiah telah diterbitkan baik pada jurnal nasional terakreditasi, internasional, maupun internasional bereputasi. Pada tahun 2020, beliau juga pernah mendapat penghargaan sebagai dosen muda berprestasi dibidang publikasi.



Penerbit:

Ahlimedia Press (Anggota IKAPI)

Jl. Ki Ageng Gribig, Gang Kaserin MU No. 36
Kota Malang 65138, Telp: +628523277747
www.ahlimediapress.com

ISBN 978-623-413-217-5

