

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/361547463>

DASAR MIKROBIOLOGI PANGAN

Book · June 2022

CITATIONS
0

READS
5,256

4 authors, including:



Apriyanto Mulono
Islamic University of Indragiri

153 PUBLICATIONS 434 CITATIONS

SEE PROFILE



Hermiza Mardesci
Universitas Islam Indragiri

48 PUBLICATIONS 166 CITATIONS

SEE PROFILE

Dr. Mulono Apriyanto, STP. MP.
Rifni Novitasari, STP. MP.
Dr. Hermiza Mardeci, STP.MP.
Yulianti, S.Pd. M.Si.

DASAR MIKROBIOLOGI PANGAN



DASAR MIKROBIOLOGI PANGAN

Mikrobiologi adalah ilmu yang mempelajari tentang mikroba, jasad renik. Mikrobiologi adalah salah satu cabang ilmu dari biologi, dan memerlukan ilmu pendukung kimia, fisika dan biokimia. Mikrobiologi sering disebut ilmu praktek dari biokimia. Substansi yang disampaikan meliputi pengertian tentang mikrobiologi, Teknik Dasar Mikrobiologi, jenis mikrobiologi, nutrisi dan pertumbuhan, pengendalian mikroorganisme dan genetika mikroorganisme. Buku ajar ini diharapkan peserta didik mampu memahami dan menjelaskan mikrobiologi dan pertumbuhan serta jenisnya.



Dr. Mulono Apriyanto STP. MP., Lahir di Yogyakarta. Saat ini sebagai dosen Fakultas Pertanian Universitas Islam Indragiri. Beberapa kemampuan di bidang pertanian dan pengolahan hasil pertanian. Penilai kompetensi di bidang pertanian dan auditor di Indonesia Sustainable Palm Oil (ISPO).



Rifni Novitasari, S. TP., MP., Lahir di Jakarta tahun 1976. Pendidikan S1 di Universitas Andalas Padang (UNAND) Fakultas Pertanian Jurusan Teknologi Pangan (Teknologi Hasil Pertanian) tahun 1995, S2 di UNAND pada Tahun 2005 pada Prodi Teknologi Pertanian (Teknologi Industri Pertanian).



Dr. Hermiza Mardesci, S.TP., M.P., lahir di Tandikat, 8 Oktober 1979. Pendidikan S1 diselesaikan di Universitas Andalas pada Tahun 2003, pendidikan S2 juga diselesaikan di Universitas Andalas pada Tahun 2009, dan pendidikan S3 juga diselesaikan di Universitas Andalas pada Tahun 2020.



Yulianti, S.Pd., M.Si., Lahir di Pulau Kijang pada tahun 1990. Setelah tamat SMA N 1 Reteh, Pulau Kijang, tahun 2007, Penulis melanjutkan pendidikan S-1 di UIN Sultan Syarif Kasim Riau. Pendidikan S-2 di tempuh di Universitas Andalas dan selesai pada tahun 2014.



Penerbit : CV. AA. RIZKY
Alamat : Jl. Raya Ciruas Petir,
Puri Citra Blok B2 No. 34 Pipitan
Kec. Walantaka - Serang Banten
E-mail : aa.rizkypress@gmail.com
Website : www.aarizky.com

ISBN 978-623-405-114-8



DASAR MIKROBIOLOGI PANGAN

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Pasal 72

1. Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

DASAR MIKROBIOLOGI PANGAN

Dr. Mulono Apriyanto, STP. MP.

Rifni Novitasari, STP. MP.

Dr. Hermiza Mardeci, STP.MP.

Yulianti, S.Pd. M.Si.



**PENERBIT:
CV. AA. RIZKY
2022**

DASAR MIKROBIOLOGI PANGAN

© Penerbit CV. AA RIZKY

Penulis:

Dr. Mulono Apriyanto, STP. MP.

Rifni Novitasari, STP. MP.

Dr. Hermiza Mardeci, STP.MP.

Yulianti, S.Pd. M.Si.

Editor: Dr. Mulono Apriyanto, STP. MP.

Desain Cover & Tata Letak:

Tim Kreasi CV. AA. Rizky

Cetakan Pertama, Juni 2022

Penerbit:

CV. AA. RIZKY

Jl. Raya Ciruas Petir, Puri Citra Blok B2 No. 34
Kecamatan Walantaka, Kota Serang - Banten, 42183

Hp. 0819-06050622, Website : www.aarizky.com

E-mail: aa.rizkypress@gmail.com

Anggota IKAPI

No. 035/BANTEN/2019

ISBN : 978-623-405-114-8

xii + 182 hlm, 23 cm x 15,5 cm

Copyright © 2022 Hak Cipta pada Penulis

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan cara
apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit.

PRAKATA

Puji dan syukur kita panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat-Nya sehingga buku bahan ajar DASAR MIKROBIOLOGI PANGAN. Buku ajar ini diharapkan dapat bermanfaat bagi tenaga pengajar maupun peserta didik jurusan Teknologi Pangan. Buku ajar ini merupakan salah satu upaya meningkatkan mutu hasil pendidikan. Buku ajar ini diberikan sebagai mata kuliah dasar keahlian guna menunjang mata kuliah keahlian lainnya terutama mikrobiologi.

Substansi yang disampaikan meliputi pengertian tentang mikrobiologi, Teknik Dasar Mikrobiologi, jenis mikrobiologi, nutrisi dan pertumbuhan, pengendalian mikroorganisme dan genetika mikroorganisme. Buku ajar ini diharapkan peserta didik mampu memahami dan menjelaskan mikrobiologi dan pertumbuhan serta jenisnya. Kami menghargai dan mengucapkan terima kasih atas usaha penyusunan sehingga bahan ajar ini dapat diterbitkan.

Kami menyadari buku ajar ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu kami harapkan dari semua pihak untuk memberi sumbangan pemikiran baik kritik maupun saran untuk perbaikan bahan ajar ini sehingga pada penyusunan berikutnya akan lebih baik.

Indragiri Hilir, Juni 2022

Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB 1 PENGANTAR MIKROBIOLOGI.....	1
1.1. Pengertian Mikrobiologi.....	1
1.2. Sejarah Perkembangan Mikrobiologi.....	2
1.3. Penggolongan Mikroba Diantara Jasad Hidup...	7
1.4. Ciri Umum Mikroba	8
1.5. Peranan Mikrobiologi.....	9
Kesimpulan.....	11
Soal Evaluasi	11
Daftar Pustaka.....	12
BAB 2 METODE DASAR MEMPELAJARI MIKROBIOLOGI	15
2.1 Teknik Dasar Mikrobiologi	15
2.2 Sterilisasi Dan Pembuatan Media	16
2.3 Media Pertumbuhan Mikroba	17
2.4 Teknik Isolasi dan Pembenihan Mikroorganisme.....	20
2.5 Pewarnaan Mikroba	22
Kesimpulan.....	24
Soal Evaluasi	24
Daftar Pustaka.....	25
BAB 3 ORGANISME PROKARIOTIK DAN EUKARIOTIK	27
3.1 Pendahuluan.....	27
3.2 Sel Eukariotik	28
3.3 Klasifikasi Bakteri.....	34
Kesimpulan.....	40
Soal Evaluasi	40
Daftar Pustaka.....	41
BAB 4 BAKTERI	43
4.1 Pendahuluan	43
4.2 Klasifikasi Bakteri.....	44

	Kesimpulan	48
	Soal Evaluasi	49
	Daftar Pustaka	49
BAB 5	JAMUR/FUNGI	51
	5.1 Pendahuluan.....	51
	5.2 Perkembangbiakan Jamur.....	53
	5.3 Klasifikasi Jamur	54
	5.4 Identifikasi Jamur Benang	58
	5.5 Khamir.....	59
	5.6 Peranan Fungi bagi Kehidupan.....	66
	Kesimpulan	68
	Soal Evaluasi	68
	Daftar Pustaka	69
BAB 6	PROTOZOA	71
	6.1 Ciri-ciri Umum Protozoa	71
	6.2 Klasifikasi Protozoa.....	75
	Kesimpulan	78
	Soal Evaluasi	78
	Daftar Pustaka	78
BAB 7	VIRUS.....	81
	7.1 Sejarah Virus.....	81
	7.2 Pengertian Virus.....	82
	7.3 Bentuk dan Ukuran virus.....	83
	7.4 Klasifikasi Virus	85
	7.5 Replikasi Virus.....	88
	7.6 Peran Dan Penyakit Akibat Virus	92
	Kesimpulan	105
	Soal Evaluasi	106
	Daftar Pustaka	106
BAB 8	NUTRISI DAN MEDIUM KULTUR MIKROBA	109
	8.1 Fungsi Nutrisi Untuk Mikroba	110
	8.2 Penggolongan Mikroba Berdasarkan Nutrisi Dan Oksigen.....	112
	8.3 Interaksi Antar Jasad Dalam Menggunakan Nutrien.....	114
	8.4 Medium Pertumbuhan Mikroba.....	115
	8.5 Macam Medium Pertumbuhan	116
	8.6 Fase-Fase Pertumbuhan Mikroorganism.....	117

8.7	Kecepatan Pertumbuhan Mikroorganisme Dan Waktu Lipat Dua	119
8.8	Macam-Macam Metode Pengukuran Pertumbuhan Mikroorganisme	120
8.9	Faktor-Faktor Lingkungan Pertumbuhan Mikroorganisme.....	121
8.10	Syarat Ideal Memilih Senyawa Anti Mikroba Dan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kerja Anti Mikroba.....	124
	Kesimpulan.....	125
	Soal Evaluasi	126
	Daftar Pustaka.....	127
BAB 9	PENGARUH FAKTOR LUAR TERHADAP PERTUMBUHAN MIKROBA	129
9.1	Pendahuluan.....	129
9.2	Faktor Eksternal yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroba	130
	Kesimpulan.....	138
	Soal Evaluasi	139
	Daftar Pustaka.....	141
BAB 10	METABOLISME MIKROORGANISME.....	143
10.1	Pendahuluan.....	143
10.2	Pengertian Metabolisme.....	144
10.3	Peran Enzim pada Proses Metabolisme.....	145
10.4	Prinsip Menghasilkan Energi pada Mikroba.....	149
10.5	Katabolisme.....	149
10.6	Anabolisme (Biosintesis).....	165
	Kesimpulan.....	167
	Soal Evaluasi	168
	Daftar Pustaka.....	168
BAB 11	PERANAN MIKROORGANISME DALAM KEHIDUPAN.....	171
11.1	Pendahuluan.....	171
11.2	Bidang Pertanian.....	172
11.3	Bidang Pangan	173
11.4	Bidang Kesehatan.....	174
11.5	Bidang Industri	175
11.6	Bidang Lingkungan	176

Kesimpulan	177
Soal Evaluasi	178
Daftar Pustaka	178
TENTANG PENULIS.....	181

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Klasifikasi Virus berdasarkan Asam Nukleat.....	86
Tabel 2	Nama Virus dan Penyakit yang Ditimbulkan Berdasarkan Tempat Perkembangbiakan	103
Tabel 3	Penggolongan Jasad Renik Berdasarkan Sumber Karbon Dan Sumber Energi.....	113
Tabel 4	Enam Kelompok Enzim	145
Tabel 5	Perbedaan Akseptor Elektron Terakhir pada Respirasi Aerob dan Anaerob.....	160
Tabel 6	Produk Makanan Yang Memanfaatkan Mikroorganisme Dengan Teknik Fermentasi	174

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Teknik Aseptik Pemindahan Biakan Mikroorganisme.....	16
Gambar 2	Cara Pengambilan Sampel Air.....	21
Gambar 3	Pengenceran Bertingkat.....	21
Gambar 4	Ringkasan Struktur Sel Prokariotik.....	29
Gambar 5	Struktur Anatomi Sel Prokariotik.....	29
Gambar 6	Molekul Lipid Membran Membentuk Pola Mosaik.....	31
Gambar 7	Morfologi Miselium dan Hifa Jamur Multiseluler.....	53
Gambar 8	Siklus Reproduksi <i>Basidiomycetes</i>	57
Gambar 9	Jenis Jamur Sel Khamir.....	59
Gambar 10	Morfologi Mikro Fungi.....	60
Gambar 11	Struktur Sel Ragi <i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	60
Gambar 12	Pembelahan Sel Mitosis pada Ragi.....	61
Gambar 13	Reproduksi Seksual Jamur.....	63
Gambar 14	Reproduksi Seksual Jamur <i>Ascomycota</i>	64
Gambar 15	Struktur Jamur <i>Basidiomycota</i>	65
Gambar 16	Morfologi <i>Trichonympha</i>	76
Gambar 17	Morfologi Amoeba.....	76
Gambar 18	Morfologi Plasmodium dalam Sel Darah Merah..	77
Gambar 19	Bentuk Virus.....	83
Gambar 20	Susunan Tubuh Virus.....	85
Gambar 21	Reproduksi Virus Secara Umum.....	89
Gambar 22	Mekanisme Virus Penyebab Kanker pada Manusia.....	105
Gambar 23	Pertumbuhan Mikroba Di Dalam Media Cair.....	114
Gambar 24	Kurva Pertumbuhan Mikroba.....	117
Gambar 25	Frekuensi Waktu Generasi Pada Berbagai Mikroorganisme.....	120
Gambar 26	Pertumbuhan Eubacteria Per Jam Terhadap Suhu.....	132
Gambar 27	Pertumbuhan Tipe Eubacteria terhadap Oksigen.....	133
Gambar 28	Metabolisme Mikroba.....	144
Gambar 29	Interaksi antara Enzim dan Substrat.....	145

Gambar 30 Peran Energi dalam Menurunkan Energi Aktivasi	147
Gambar 31 Pengaruh Temperatur terhadap Kerja Enzim	147
Gambar 32 Pengaruh pH terhadap Kerja Enzim	148
Gambar 33 Pengaruh Inhibitor pada Enzim	149
Gambar 34 Keragaman Sumber Energi Mikroba	150
Gambar 35 Proses Memperoleh Energi Kemoorganotropik...	152
Gambar 36 Tiga Tahapan Respirasi Aerobik dari Jalur Polisakarida, Protein dan Fosfolipid.....	153
Gambar 37 Proses Transfer Elektron	156
Gambar 38 Jenis-jenis Fermentasi Berdasarkan Reaksinya	162
Gambar 39 Katabolisme Lemak Melalui Jalur β Oksidasi	163
Gambar 40 Reaksi Deaminasi pada Katabolisme Protein.....	164
Gambar 41 Proses Mendapatkan Energi oleh Bakteri Kemolitotrof.....	164

BAB 1 PENGANTAR MIKROBIOLOGI

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub Pokok Bahasan
1	Mahasiswa menjelaskan pengertian tentang Pengertian Mikrobiologi, Sejarah Perkembangan Mikrobiologi, Penggolongan mikroba diantara jasad hidup, Ciri Umum Mikroba, Peranan Mikrobiologi,	Pengantar Mikrobiologi	1.1. Pengertian Mikrobiologi 1.2. Sejarah Perkembangan Mikrobiologi 1.3. Penggolongan mikroba diantara jasad hidup 1.4. Ciri Umum Mikroba 1.5. Peranan Mikrobiologi

1.1. Pengertian Mikrobiologi

Mikrobiologi adalah ilmu yang mempelajari tentang mikroba, jasad renik. Mikrobiologi adalah salah satu cabang ilmu dari biologi, dan memerlukan ilmu pendukung kimia, fisika dan biokimia. Mikrobiologi sering disebut ilmu praktek dari biokimia. Dalam mikrobiologi diberikan pengertian dasar tentang sejarah penemuan mikroba, macam-macam mikroba di alam, struktur sel mikroba dan fungsinya, metabolisme mikroba secara umum, pertumbuhan mikroba dan faktor lingkungan, mikrobiologi terapan di bidang lingkungan dan pertanian (Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986).

Mahkluk hidup yang tergolong mikroorganisme adalah virus, *Archaeobacteria*, *Eubacteria*, jamur mikroskopis, protozoa, ganggang/alga mikroskopis dan cacing parasit mikroskopis (Park dan Artur, 2001). Mikrobiologi merupakan salah satu kompleks terbesar dari ilmu biologi yang berhubungan dengan berbagai

disiplin ilmu dalam biologi. Selain mempelajari tentang kehidupan mikroba, mikrobiologi juga berkaitan dengan interaksi antara mikroba dengan manusia dan mikroba dengan lingkungan. Contoh interaksi di atas, yakni; genetika, metabolisme, infeksi, penyakit, terapi obat, imunologi (kekebalan), rekayasa genetika, industri, pertanian, dan ekologi. Kehidupan mikroba sangatlah luas, seperti; di tanah, air, udara, makanan busuk, kulit manusia, kulit hewan, dll. Dalam Kehidupan, banyak mikroba yang diketahui menguntungkan dan juga tidak sedikit mikroba yang merugikan tumbuhan, hewan dan manusia (Sujudi, 2010). Suatu contoh: manusia bisa mengalami flu disebabkan oleh virus influenza. Industri tape dan kecap bisa membuat tape dan kecap dengan bantuan mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* dan *Aspergillus wentii*. Dokter spesialis penyakit diabetes, dapat memanfaatkan peran *E. Coli* untuk pembuatan insulin, dll. Perlu diketahui bahwa mikrobiologi akan terus berkembang sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di dunia.

1.2. Sejarah Perkembangan Mikrobiologi

Awal perkembangan ilmu mikrobiologi dimulai sejak ditemukan mikroskop. Dunia jasad renik baru ditemukan 300 tahun yang lalu. Penemu mikroskop pertama adalah Antony Van Leeuwenhoek (1632-1732), dia adalah seorang mahasiswa ilmu pengetahuan alam berkebangsaan Belanda yang memiliki hobi mengasah lensa. Mikroskop Leewenhoek mempunyai pembesaran hingga 300 kali. Dia menyebutkan adanya “*animalculus*” sebuah makhluk asing dari air yang dilihat dengan mikroskop buatannya. Kemudian penemuan Leeuwenhoek disampaikan kepada “*royal society*” di Inggris antara tahun (1674-1683) ia melaporkan hal-hal yang diamatinya kepada lembaga tersebut. Robert Hooke (1635-1703) sebagai salah seorang anggota “*Royal Society*”, menyatakan bahwa penemuan Leeuwenhoek dalam mikroskop buatannya adalah protozoa, spora, jamur, dan sel tumbuhan (Pratiwi, 2008). Beberapa pendapat tentang asal usul mikroba, Aristoteles berpendapat, bahwa makhluk-makhluk kecil itu terjadi begitu saja dari benda yang mati. Hal ini sependapat dengan Needham (1745-1750) mengadakan eksperimen dengan rebusan padi-padian, daging, dll.

Hasil eksperimen bahwa meskipun air rebusan disimpan rapat-rapat dalam botol tertutup namun tetap timbul mikroorganisme. Berdasarkan eksperimen tersebut muncullah teori “*abiogenesis*” (a: tidak, bios: hidup, genesis: kejadian); artinya kehidupan baru timbul dari benda mati atau mikroba tersebut timbul dengan sendirinya dari benda-benda mati. Teori “*abiogenesis*” disebut juga dengan teori generatio spontanea (makhluk-makhluk baru terjadi begitu saja).

Era Abiogenesis, yakni memanfaatkan mikroskop untuk menemukan makhluk hidup yang berasal dari benda tak hidup (bahan-bahan mati) seperti: hewan kecil muncul dari rendaman jerami/air danau/air kolam, tikus muncul dari tumpukan baju/jerami, koloni kuman yang muncul dari potongan daging (Nasution dan Rasyid, 2009). Era Biogenesis (1665-1799), pembuktian mengenai asal muasal makhluk hidup. Era ini menyimpulkan bahwa makhluk hidup itu berasal dari benih yang ada di udara. Era ini disebut juga era peruntuhan teori abiogenesis. Beberapa ahli yang menolak teori abiogenesis diantaranya Spallanzani (1729-1799), melakukan eksperimen dengan merebus air daging tersebut ditutupnya rapat-rapat dalam botol, hasilnya tidak diperoleh mikroorganisme baru. Eksperimen Spallanzani dilanjutkan oleh Schulze pada tahun 1836 melalui eksperimen dengan mengalirkan udara lewat pipa yang dipanasi, kemudian hasilnya tidak diperoleh mikroorganisme.

Muncul ilmuwan baru dari Francis Louis Pasteur (1822-1895), seorang ahli kimia yang menaruh perhatian pada mikroorganisme. Pasteur melakukan serangkaian eksperimen dengan menggunakan bejana leher angsa. Bejana ini diisi dengan kaldu kemudian dipanaskan. Udara dapat dengan bebas melewati pipa leher angsa tersebut tetapi tidak ditemukan adanya mikroorganisme di kaldu. Dalam hal ini mikroba beserta debu/asap akan mengendap pada bagian tabung yang berbentuk U sehingga tidak dapat mencapai kaldu Pasteur menemukan bahwa mikroorganisme terbawa debu oleh udara dan ia menyimpulkan bahwa semakin bersih/murni udara yang masuk ke dalam bejana, semakin sedikit kontaminasi yang terjadi. Pasteur dapat meyakinkan bahwa kehidupan baru tidak timbul dari benda mati, maka disimpulkan dengan *Omne vivum ex ovo, omne ex vivo*; yang

berarti “semua kehidupan berasal dari telur dan semua telur berasal dari sesuatu yang hidup”. Pendapat demikian juga dikenal dengan teori biogenesis artinya makhluk hidup berasal dari makhluk hidup.

Berdasarkan penemuannya maka Louis Pasteur dikenal sebagai seorang pelopor mikrobiologi. Penemuan Louis Pasteur adalah: 1) udara mengandung mikroba yang pembagiannya tidak merata, 2) cara pembebasan cairan dan bahan- bahan dari mikroba dikenal sebagai sterilisasi.

Di era ini, Pasteur berusaha memperkuat teori biogenesis yang ada pada era sebelumnya. Pasteur berpandangan bahwa mikroba ditemukan dalam udara yang tersebar secara tidak merata. Dia melakukan penelitian dalam Laboratorium untuk menguji pandangannya. Peralatan Lab yang hingga kini dikenal pada era Pasteur ialah labu berbentuk “leher angsa”. Melalui labu tersebut, akhirnya Pasteur dapat memperkuat teori biogenesis yang menyatakan bahwa makhluk hidup sekarang berasal dari makhluk hidup sebelumnya. Di era ini, juga ditemukan suatu teknik dalam membunuh mikroba yang dikenal dengan teknik sterilisasi yaitu suatu teknik dengan pemanasan dan tekanan tinggi. Selain teknik sterilisasi, ditemukan kisaran panas yang mampu membunuh bakteri adalah sebesar 62°C. Pada Era ini, juga ditemukan mikroba-mikroba yang mampu mengubah (mentransformasi) bahan organik melalui teknik fermentasi, seperti: pemanfaatan bakteri dalam pembuatan yoghurt dan yakult, pemanfaatan jamur mikroskopis dalam pembuatan tape, tempe, keju, roti, dll (Person (2004).

Pendukung teori abiogenesis diantara Fransisco Redi (1665), 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 disentuh oleh lalat. Jadi dapat disimpulkan bahwa ulat tidak secara spontan berkembang dari daging. Percobaan lain yang dilakukan oleh Lazzaro Spalanzani memberi bukti kuat bahwa mikroba tidak muncul dengan sendirinya, pada percobaan menggunakan kaldu ternyata pemanasan dapat menyebabkan animalculus tidak tumbuh. .Percobaan ini juga dapat menunjukkan bahwa perkembangan mikroba di dalam

suatu bahan, dalam arti terbatas menyebabkan terjadinya perubahan kimiawi pada bahan tersebut.

Pada pertengahan abad 19 sampai abad 20 perkembangan mikrobiologi dengan dimulai penelitian oleh Pasteur, Robert Koch, dan Serge Winogradsky. Pasteur (1822-1895), yang mengawali pemisahan kristal asam tartarat ke dalam isomer bayangan lensa. Isomer bayangan lensa adalah senyawa yang menyerupai rumus kimia yang pasti, tetapi tidak memiliki konfigurasi. Kemudian Pasteur tertarik pada industri minuman anggur dan perubahan yang terjadi selama fermentasi. Salah satu prosesnya melalui pasteurisasi, dimana pasteurisasi merupakan suatu proses pemanasan bertahap cairan dengan yang digunakan dalam mikrobiologi untuk membantu dalam proses pembuatan anggur. Pasteurisasi adalah cara untuk mematikan beberapa jenis mikroba tertentu dengan menggunakan uap air panas, suhunya kurang lebih 62°C.

Dikenal dengan Era Robert Koch (1843-1910), sebuah penelitian yang mampu mengisolasi kuman dari organisme yang sakit dan menyempurnakan teknik kultur kuman serta teknik identifikasi kuman yang terisolasi (Person, 2004). Koch menjadi inspirasi bagi para peneliti karena dia mencetuskan 4 postulat yang membuka pikiran semua peneliti-peneliti selanjutnya. Kesimpulan 4 postulat Koch ialah: (1) mikroba tertentu selalu ditemukan pada organisme yang sakit, (2) mikroba dapat diisolasi dari organisme yang sakit dan dapat ditumbuhkan menjadi biakan murni pada medium di Laboratorium, (3) biakan murni mikroba bila diberikan pada organisme sehat dapat menimbulkan penyakit dan (4) mikroba dapat diisolasi kembali dari organisme yang telah terinfeksi. Era Antibiotik (1940-1960), penemuan antibiotik dari berbagai mikroba, seperti; penisilin dari jamur *Penicillium notatum*, vaksin virus, dan teknologi kultur sel hewan (Mirzawati, 2015).

Era Pasca Antibiotik (1960-1975), penemuan struktur DNA “double helix” oleh Watson dan Crick, penemuan enzim restriksi endonuklease, penemuan fragment DNA virus dan DNA E. coli. Tahun 1980-1982, penetapan kloning insulin manusia dengan bantuan DNA bakteri E. coli untuk mengobati penderita diabetes melitus.

Meskipun ada kelemahannya, tetapi postulat-postulat ini tetap digunakan sebagai prosedur rutin pada bakteriologi modern, karena itulah Robert Koch dikenal sebagai bapak bakteriologi modern. Beberapa mikroorganisme tidak dapat diisolasi dan ditumbuhkan pada biakan murni, Misalnya basil tipus (*Salmonella typhosa*) dapat dipecahkan menjadi murni, tetapi hasil yang diambil dari pecahan murni itu tidak mampu menimbulkan patogenitas pada hewan yang sehat. Pada tahun 1872-1912 Joseph Lister, seorang ahli bedah Inggris mencari cara menjauhkan mikroba dari luka dan torehan dengan cara menggunakan asam karbolat (fenol) untuk meredakan perlekapan bedah dan menyempit ruang bedah. Luka yang dilindungi dengan cara ini jarang terkena infeksi dan cepat sembuh. Dengan berhasilnya teknik tersebut sampai saat ini yang mendasari prinsip teknik aseptik masa kini yang digunakan untuk mencegah masuknya mikroba ke dalam luka.

Mengenai perkembangan mikrobiologi dapat disimpulkan, bahwa mikrobiologi maju dengan pesatnya, setelah:

1. Penemuan serta penyempurnaan mikroskop
2. Jatuhnya teori abiogenesis
3. Orang yakin bahwa pembusukan disebabkan oleh mikroorganisme
4. Telah dibuktikan bahwa penyakit disebabkan oleh bibit penyakit (Madigan, et al. 2017).

Pemanfaatan sekuen rRNA dan PCR di bidang Mikrobiologi mempermudah para peneliti untuk mendeteksi secara cepat dan akurat. Saat ini, aplikasi teknik PCR sangatlah luas, seperti; isolasi gen bakteri, DNA sequencing, diagnosa influenza A (H1N1), deteksi infeksi gonore, deteksi infeksi Klamidia, dan deteksi infeksi Trikomoniasis Vaginal (Widowati, 2013). Aplikasi mikrobiologi molekuler juga merambah pada penelitian farmakologi yang bertujuan menemukan antibiotik melalui teknik genom mikroba untuk antibiotik target (Fan dan McDevitt, 2002). Di sisi lain, bidang pertanian banyak yang memanfaatkan mikroba sebagai Bio insektisida untuk meningkatkan hasil panen dan penanggulangan penyakit tanaman. Selain pengendalian hama tanaman, mikroba juga dapat digunakan untuk menekan pertumbuhan serangga vektor parasit yang menyebabkan penyakit pada manusia, seperti: pengendalian

nyamuk *Aedes*, *Anopheles*, dan *Culex*. Di bawah ini adalah aplikasi molekuler dalam penelitian mikrobiologi masa kini.

1. Fatimawali (2013), mampu mendeteksi bakteri resisten merkuri isolat S3.2.2 yang diperoleh dari limbah tambang rakyat dengan metode amplifikasi 16S rRNA dengan teknik PCR.
2. Radji dkk (2010), mampu mendeteksi cepat bakteri *Escherichia coli* dalam sampel air dengan metode PCR menggunakan Primer 16E1 dan 16E2.
3. Lina dkk (2004), menggunakan uji PCR untuk deteksi virus Hepatitis C.
4. Putra dkk (2013), mendeteksi variasi gejala penyakit Citrus Vein Phloem Degeneration (CVPD) pada beberapa jenis daun tanaman jeruk dengan aplikasi teknik PCR.
5. Taringan (2011), mampu mendeteksi agen penyakit dengan menggunakan PCR-ELOSA (Polymerase Chain Reaction Enzyme Linked Oligonukleotide Sorbent Assay).
6. Dwiytno (2010), mampu mengidentifikasi bakteri patogen pada produk perikanan dengan teknik molekuler (reaksi polimerase berantai/PCR).
7. Himawan dkk (2010), mampu mendeteksi *Candidatus Liberibacter asiaticus*, penyebab Huanglongbing pada jeruk Siem dengan menggunakan PCR.
8. Menezes dkk (2013), mampu mengenali 162 protein macrophage penginfeksi *Leishmaniae* dengan metode proteomik.
9. Prayitna (2014), mampu mengendalikan larva nyamuk *Aedes aegypti* dan *Culex quinquesfasciatus* dengan menggunakan bioinsektisida entomopatogen entomopatogen dapat menyumbat saluran pencernaan dan pernapasan larva nyamuk, sehingga larva mengalami kematian disebabkan kekurangan nutrisi dan oksigen.

1.3. Penggolongan Mikroba Diantara Jasad Hidup

Secara klasik jasad hidup digolongkan menjadi dunia tumbuhan (*plantae*) dan hewan (*animalia*). Jasad hidup yang ukuran 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, sulit penggolongan juga disebabkan adanya mikroba yang mempunyai sifat *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, Whitakah, 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/ganggang, protozoa, jamur atau fungi, dan bakteri yang mempunyai sifat uniseluler, sonositik atau multiseluler tanpa berdiferensiasi jaringan.

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 multi nukleat yaitu Divisio Fungi, Divisio Plantae, dan Divisio Animalia.

Sedangkan Woese menggolongkan jasad hidup terutama berdasarkan susunan kimia makromolekul yang terdapat di dalam sel. Pembagiannya yaitu terdiri Archaeobacteria, eukaryota (protozoa, fungi, tumbuhan, dan hewan) dan eubacteria.

1.4. Ciri Umum Mikroba

Mikroba di dalam secara umum berperan sebagai produsen, konsumen, maupun produsen. Jasad produsen menghasilkan bahan organik dari bahan anorganik dengan energi sinar matahari. Mikroba yang berperan sebagai produsen adalah algae dan bakteri fotosintetis. Jasad konsumen menggunakan bahan organik yang dihasilkan oleh produsen. Contoh mikroba konsumen adalah protozoa. Jasad redusen menguraikan bahan organik dan sisa-sisa jasad hidup yang mati menjadi unsur-unsur kimia (mineralisasi bahan organik), sehingga di alam terjadi siklus unsur-unsur kimia. Contoh mikroba redusen adalah bakteri dan jamur (*fungi*).

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. 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:

1. Prokariota (jasad prokariotik/primitif), yaitu jasad yang perkembangan selnya belum sempurna.
2. Eukariota (jasad eukariotik), yaitu jasad yang perkembangan selnya telah sempurna.

Selain yang bersifat seluler, ada mikroba yang bersifat non seluler, yaitu virus. Virus adalah jasad hidup yang bersifat parasit obligat, berukuran super kecil atau submikroskopik. Virus hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron. Struktur virus terutama terdiri dari bahan genetik. Virus bukan berbentuk sel dan tidak dapat membentuk energi sendiri serta tidak dapat berbiak tanpa menggunakan jasad hidup lain.

1.5. Peranan Mikrobiologi

Di dalam mikrobiologi pertanian, sarjana-sarjana seperti; Schlosing dan Muntz (Perancis, 1873), Hellrieger dan Wilfarth (Jerman, 1887), Winogradsky (Rusia, 1889), Beyerinck (Belanda, 1890) menemukan bakteri yang dapat menyusun nitrat dari amonia dari persenyawaan yang organik. Walksman (Amerika Serikat, 1940) terkenal ia menemukan *Streptomyces*, suatu mikroorganisme tanah yang menghasilkan streptomisin.

Di dalam bakteriologi kedokteran seorang ahli bernama Varro bangsa Romawi, mempunyai pendapat bahwa penyakit tertentu itu disebabkan oleh sesuatu yang dibawa oleh udara yang masuk ke dalam tubuh manusia melali mulut atau hidung.

Holmes (1843) dan Semmelweis (1947) berpendapat bahwa tangan atau alat yang digunakan oleh dokter yang menolong bayi lahir atau oleh dokter mengadakan pembedahan

itu perlu sekali didesinfeksi terlebih dulu agar supaya tidak membawakan bibit penyakit kepada pasien.

Pollender (1843) dan Davaine (1850) menemukan adanya mikroorganisme di dalam darah ternak yang menderita anthrax, sedang darah yang mengandung mikroorganisme tersebut dapat menjangkiti ternak yang sehat. Brauell (1857) berhasil pula menularkan penyakit anthrax kepada ternak yang sehat dengan jalan inokulasi. Pesatnya kemajuan bakteriologi kedokteran dari hasil penelitian Robert Koch dalam mengadakan piaraan murni. Pencegahan penyakit dengan menggunakan vaksin (bibit penyakit yang sudah dilemahkan) serta pengobatan dengan berbagai macam serum (serum adalah plasma darah yang dalam hal ini mengandung zat penolak).

Secara spesifik manfaat mikroorganisme diantaranya sebagai berikut:

1. Penggunaan mikroba dibidang pembuatan makanan seperti khamir untuk membuat anggur dan roti, bakteri asam laktat untuk yoghurt dan kefir, bakteri asam asetat untuk vinegar, jamur *Aspergillus* sp. Untuk kecap dan jamur *Rhizopus* sp. untuk tempe.
2. Penggunaan mikroba dibidang kedokteran untuk produksi *Penicillium* sp. streptomisin oleh actinomycetes *Streptomyces* sp.
3. Penggunaan mikroba untuk proses-proses baru misalnya karotenoid, dan steroid oleh jamur, asam glutamat oleh mutan *Corynebacterium glutamicum* pembuatan enzim amilase, proteinase, pektinase, dll
4. Penggunaan mikroba dalam teknik genetika modern seperti untuk pemindahan gen dari manusia, binatang, atau tumbuhan ke dalam sel mikroba, penghasilan hormon, antigen, antibodi dan senyawa lain misalnya insulin, interferon, dll.
5. Penggunaan mikroba di bidang pertanian, misalnya untuk pupuk hayati (*biofertilizer*), biopeptisida, pengomposan dan sebagainya.
6. Penggunaan mikroba di bidang pertambangan seperti untuk proses leaching di tambang emas, desulfurisasi batubara maupun untuk proses penambangan minyak bumi.

7. Penggunaan mikroba di bidang lingkungan, misalnya untuk mengatasi pencemaran limbah organik maupun anorganik termasuk logam berat dan senyawa xenobiotik (Pelczar, dan Chan, 1986).

Kesimpulan

Mikrobiologi berkembang sangat pesat berdasarkan perkembangan ilmu dan teknologi. Mikroskop adalah alat bantu untuk melihat mikroba yang sangat diperlukan oleh ahli mikrobiologi. Perkembangan pada tingkat optik membuat mikroskop menjadi alat yang sangat berjasa dalam mempelajari mikroba. Pengendalian mikroba pada aspek pertumbuhan dan perkembangbiakan dengan teknik sterilisasi sangatlah penting dalam eksperimen mikrobiologi. Terutama sumbangan dari Koch mengenai 4 postulatnya yang berperan sangat besar pada mikrobiologi. Berdasar postulat Koch, sekarang mikrobiologi berkembang sangat pesat. Di Era molekuler untuk mempelajari mikrobiologi, para peneliti sudah menggunakan peralatan canggih dan metode yang cepat serta akurat. Metode sekuen rRNA (Metagenomik), teknik PCR (Polymerase Chain Reaction), teknik proteomik dan teknik antibiotik target pada genom mikroba yang semuanya merupakan contoh dari aplikasi mikrobiologi molekuler pada zaman sekarang.

Soal Evaluasi

1. Berikut ini yang tergolong mikroorganisme, kecuali ...
 - a. Alga
 - b. Bakteri
 - c. Protozoa
 - d. Mushroom
2. Di bawah ini adalah mikroorganisme yang dapat melakukan fotosintesis di lingkungan perairan?
 - a. Alga
 - b. Bakteri
 - c. Cyanobacteria
 - d. Jawaban a dan c benar
3. Perbedaan umum antara sel prokariotik dan sel eukariotik?
 - a. Ukuran sel eukariotik lebih besar dari sel prokariotik
 - b. Ada tidaknya pigmen di sel eukariotik
 - c. Munculnya inti di sel eukariotik
 - d. Kehadiran dinding sel di sel prokariotik

4. Peralatan Laboratorium di bawah ini yang ditemukan oleh Leeuwehoek?
 - a. Cawan petri
 - b. Kaca pembesar
 - c. Mikroskop
 - d. Kaca benda
5. Teori Abiogenesis menyatakan bahwa ...
 - a. Organisme berasal dari benda tak hidup
 - b. Pengembangan bentuk kehidupan sekarang dari bentuk kehidupan sebelumnya
 - c. Pengembangan teknik aseptis
 - d. Teori tentang penyakit
6. Seorang ilmuwan yang meruntuhkan teori generatio spontanea adalah ...
 - a. Joseph Lister
 - b. Francesco Redi
 - c. Robert Koch
 - d. Louis Pasteur
7. Di bawah ini adalah temuan Koch, kecuali ...
 - a. Di tubuh hewan yang sakit selalu ditemukan mikroba penyebab penyakit
 - b. Mikroba penyebab penyakit dapat diisolasi
 - c. Mikroba dapat ditumbuhkan pada medium di Lab
 - d. Biakan mikroba murni tidak dapat menginfeksi tubuh hewan sehat
8. Era ditemukannya antibiotik dan vaksin dari mikroba menguntungkan adalah
 - a. Era pra antibiotik
 - b. Era antibiotik
 - c. Era pasca antibiotik
 - d. Era molekuler
9. Temuan pertama yang membuka peluang para peneliti untuk meneliti mikrobiologi pada tingkat molekuler ...
 - a. Teknik kultur sel hewan
 - b. DNA double helix
 - c. Sekuen ribosomal RNA
 - d. Teknik PCR

Daftar Pustaka

- Apriyanto Mulono. 2021. *Buku Ajar Kimia Pangan*, Nuta Media
- Black, Jacquelyn G. 2008. *Microbiology: Principles and Explorations (7th Edition)*. Marymount University, Arlington, Virginia.

- Campbell, Neil. A., Reece, Jane. B., Urry, Lisa. A., Cain, Michael. L., Wasserman, Steven. A., Minorsky, Peter. V., and Jackson, Robert. B. 2008. *Biologi* (Edisi Kedelapan, Jilid 2). Jakarta: Erlangga.
- Carlile, Michael J., Watkinson, Sarah C., and Gooday, Graham W. 2001. *The Fungi*. London: ACADEMIC PRESS.
- Carter, John., and Saunders, Venetia. 2007. *Virology: Principles and Applications*. Liverpool John Moores University, UK: England.
- Deacon, J. W. 2006. *Fungal Biology* (4th edition). Australia: BlackWell Publishing.
- Dwiyitno. 2010. Identifikasi Bakteri Patogen Pada Produk Perikanan dengan Teknik Molekuler (*Jurnal Squalen*, Vol. 5, No. 2-Agustus 2010). Balai Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan.
- Fan, Frank., and McDevitt, Damien. 2002. Microbial Genomics for Antibiotic Target Discovery. Methods In Microbiology, Volume 33. Microbial, Musculoskeletal and Proliferative Diseases CEDD, GlaxoSmithKline, South Collegeville Road, USA.
- Fatimawali. 2013. Identifikasi Mikrobiologi dan Analisis Gen 16S rRNA Bakteri Resisten Merkuri Isolat S3.2.2 yang Diperoleh dari Limbah Tambang Rakyat (*Pharmakon: Jurnal Ilmiah Farmasi* Vol.2, No.04-November 2013, ISSN 2302-2493). Manado: Program Studi Farmasi FMIPA UNSRAT.
- Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, *Dasar-Dasar Mikrobiologi*, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta
- Pratiwi, T. Silvia. 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Yogyakarta. Erlangga

BAB 2

METODE DASAR MEMPELAJARI MIKROBIOLOGI

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub pokok Bahasan
2	Mahasiswa menjelaskan pengertian tentang Metode Dasar Mempelajari Mikrobiologi	Metode Dasar mempelajari Mikrobiologi	2.1. Teknik Dasar Mikrobiologi 2.2. Sterilisasi Dan Pembuatan Media 2.3. Media Pertumbuhan Mikroba 2.4. Teknik Isolasi Dan Pembenuhan Mikroorganisme 2.5. Pewarnaan Mikroba

2.1. Teknik Dasar Mikrobiologi

Ada beberapa teknik dasar di dalam analisa mikrobiologi yang harus diketahui, meliputi: teknik transfer aseptis, teknik agar slants (agar miring), turbiditas media broth (pengeruhan kaldu), teknik dilusi (pengenceran), teknik pour-plate (lempeng tuang), teknik spread plate (lempeng sebar), teknik streak plate (lempeng gores).

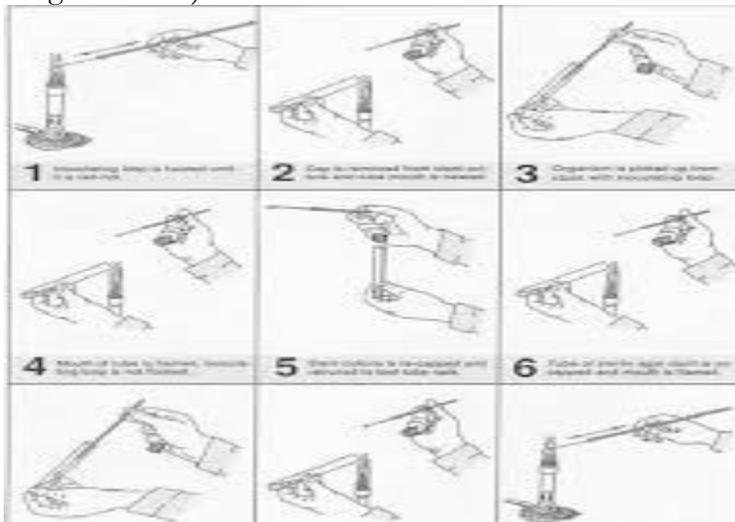
Teknik Transper Aseptis

Salah satu metode dalam mikrobiologi adalah kerja secara steril. Kerja secara steril dan aseptis sangat penting diperhatikan dalam melakukan praktikum atau penelitian di laboratorium mikrobiologi. Kerja secara steril bekerja pada kondisi terbebas dari sema bentuk hidup mikroorganisme, termasuk endospora bakteri. Kerja secara aseptis juga bekerja pada kondisi tercegah dari serangan agen infeksi yang dapat menginfeksi jaringan atau material yang steril. Teknik aseptik ini bermanfaat untuk

mencegah terjadinya kontaminasi mikroorganisme yang tidak diinginkan pada kultur biakan murni. Sebelum melakukan proses pembuatan kultur biakan murni, seluruh peralatan yang digunakan harus dalam keadaan steril. Selanjutnya alat-alat yang telah steril tersebut digunakan dan ditangani berdasarkan teknik aseptik untuk meminimalisir peluang masuknya mikroorganisme jenis lain ke dalam kultur biakan murni.

Dari dalam teknik transfer aseptis ada beberapa teknik yang harus dipahami yaitu:

- *Inoculating* (inokulasi) dengan jarum ose.
- *Pipetting* (mentransfer dengan pipet)
- *Alkohol flaming* (mentransfer dengan folesep yang dibakar dengan alkohol)..



Gambar 1 Teknik Aseptik Pemindahan Biakan Mikroorganisme

2.2. Sterilisasi Dan Pembuatan Media

Satu tahapan penting yang harus dilakukan dan merupakan aturan standar selama melaksanakan praktikum atau kerja mikrobiologi adalah sterilisasi. Sterilisasi adalah suatu proses pembebasan suatu bahan atau alat dari semua bentuk organisme hidup. Sterilisasi dapat dilakukan tergantung dari bahan atau alat yang akan di steril. Sterilisasi dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu:

Macam-macam Sterilisasi

Sterilisasi dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu cara mekanik, cara fisik, dan cara kimiawi.

1. Sterilisasi cara mekanik (filtrasi) menggunakan suatu saringan yang berpori sangat kecil (0.22 mikron atau 0.45 mikron) sehingga mikroba tertahan pada saringan tersebut. Proses ini ditujukan untuk sterilisasi bahan yang peka panas, misalnya larutan enzim dan antibiotik. Sterilisasi secara fisik dapat dilakukan dengan pemanasan dan penyinaran.
 - a. Pemanasan
 - Pemijaran (dengan api langsung): membakar alat pada api secara langsung, contoh alat: jarum inokulum (jarum ose), pinset, batang L.
 - Panas kering: sterilisasi dengan oven kira-kira 60-180°C. Sterilisasi panas kering cocok untuk alat yang terbuat dari kaca, misalnya erlenmeyer, tabung reaksi, cawan.
 - Uap air panas: konsep ini mirip dengan mengukus. Bahan yang mengandung air lebih tepat menggunakan metode ini supaya tidak terjadi dehidrasi.
 - Uap air panas bertekanan: menggunakan autoklaf.
 - b. Penyinaran dengan Ultra Violet (UV)

Sinar UV juga dapat digunakan untuk proses sterilisasi, misalnya untuk membunuh mikroba yang menempel pada permukaan interior Safety Cabinet dengan disinari lampu UV.
2. Sterilisasi secara kimiawi biasanya menggunakan senyawa desinfektan, antara lain alkohol.

2.3. Media Pertumbuhan Mikroba

Medium adalah suatu bahan yang terdiri atas campuran nutrisi yang dipakai untuk menumbuhkan mikroba. Selain untuk pembuatan mikroba, medium dapat pula digunakan untuk melakukan isolasi, memperbanyak, pengujian sifat-sifat fisiologi dan perhitungan mikroba. Dalam proses pembuatan media harus di sterilisasi dan menerapkan metode aseptis untuk menghindari kontaminasi pada media.

Media adalah suatu substrat untuk menumbuhkan bakteri yang menjadi padat dan tetap tembus pandang pada suhu

inkubasi. Sedangkan medium adalah suatu bahan nutrisi tempat menumbuhkan bakteri di laboratorium.

Macam-macam Media Pertumbuhan

Media pertumbuhan mikroba dapat dibedakan berdasarkan sifat fisiknya, komposisi media dan tujuan kegunaannya.

1. Berdasarkan sifat fisiknya media pertumbuhan dapat dibedakan atas 3 yaitu:
 - a) Media padat: media yang komposisinya agar 15 % sehingga setelah dingin media menjadi padat.
 - b) Media setengah padat : media yang komposisi agar 0,3-0,4% sehingga menjadi sedikit kenyal, tidak padat, tidak begitu cair.

Media semi solid dibuat dengan tujuan: 1) supaya pertumbuhan mikroba dapat menyebar ke seluruh media, tetapi tidak mengalami pencampuran sempurna jika tergoyang. Misalnya, bakteri yang tumbuh pada media Nitrogen free Bromthymol Blue (NfB) semisolid akan membentuk cincin hijau kebiruan di bawah permukaan media jika media ini cair maka cincin ini dapat dengan mudah hancur. 2) untuk mencegah/menekan difusi oksigen, misalnya pada media Nitrate Broth, kondisi anaerob atau sedikit oksigen meningkatkan metabolisme nitrat, tetapi bakteri ini juga diharuskan tumbuh merata di seluruh media

- c) Media cair: media yang tidak mengandung agar contohnya nutrient broth (NB), lactose broth (LB)
2. Berdasarkan komposisinya medium pertumbuhan dikelompokkan dalam:
 - a) Medium sintesis yaitu; media yang komposisi zat kimianya (glukosa, agar, dll) diketahui secara jelas dan pasti; misalnya Glucose Agar, Mac Conkey Agar.
 - b) Medium semi sintesis yaitu; media yang sebagian komposisinya diketahui secara pasti contoh PDA yang terdiri dari agar, dekstrosa, dan ekstra kentang (ekstra kentang tidak diketahui apa komposisi senyawanya).

- c) Medium non sintesis yaitu; medium yang dibuat langsung dari bahan dasarnya dengan komposisi yang tidak dapat diketahui secara pasti. Contoh: tomato juice agar, Brain Heart Infusion Agar, Pancreatic Extract.
3. Berdasarkan tujuan penggunaannya:
- a) Media untuk isolasi; umumnya media yang mengandung semua unsur esensial untuk pertumbuhan; contoh: NA
 - b) Medium Selektif; medium yang selain mengandung nutrisi juga mengandung senyawa tertentu yang berfungsi untuk menghambat atau menekan pertumbuhan mikroba bukan sasaran. Contoh: media Luria Bertani yang ditambah Amphisilin untuk merangsang *E. coli* resisten antibiotik dan menghambat kontaminan yang peka Amphisilin. Salt broth yang ditambah NaCl 4% untuk membunuh *Streptococcus agalactiae* yang toleran terhadap garam.
 - c) Medium diperkaya: medium yang mengandung bahan dasar untuk pertumbuhan mikrobia tetapi ditambah komponen kompleks lainnya seperti serum, kuning telur atau lainnya.
 - d) Medium untuk peremajaan kultur.
 - e) Medium untuk karakterisasi bakteri digunakan untuk mengetahui kemampuan spesifik suatu mikroba. Kadang-kadang indikator ditambahkan untuk menunjukkan adanya perubahan kimia. Contohnya, Nitrate Broth, Lactose Broth, Arginine Agar.
 - f) Media diferensial bertujuan untuk mengidentifikasi mikroba dari campurannya berdasarkan karakter spesifik yang ditunjukkan pada media diferensial, misalnya Triple Sugar Iron Agar (TSIA) yang mampu memilih Enterobacteria berdasarkan bentuk, warna, ukuran koloni, dan perubahan warna media di sekeliling koloni.

Syarat-syarat medium supaya mikroba dapat tumbuh biak yaitu:

- Medium harus mengandung semua nutrisi yang mudah digunakan oleh mikroba
- Medium harus mempunyai tekanan osmosis, tegangan muka, pH
- Medium tidak mengandung zat-zat penghambat
- Medium harus steril

2.4. Teknik Isolasi Dan Pembenihan Mikroorganisme

Pada lingkungan alami mikroba tidak hidup sendiri melainkan bersama-sama baik itu dari spesies yang berbeda maupun dari jenis makhluk hidup yang bukan kelompok mikroba. Jenis mikroba tersebut dapat diketahui, dengan melakukan pemisahan dari makhluk hidup lainnya, yang dikenal dengan istilah isolasi. Adapun cara yang umum digunakan untuk isolasi adalah cara suspensi. Cara suspensi maksudnya adalah sampel mikroba yang telah diambil, dibuat suspensi baru kemudian suspensi itu ditumbuhkan pada media agar tertentu. Cara ini bertujuan agar pertumbuhan mikroba dari sampel pada saat ditumbuhkan pada media agar, tidak terlalu menumpuk (*crowded*).

Isolat murni dapat diperoleh, bila dilakukan isolasi secara bertahap menggunakan media yang tepat, misal: Nutrien Agar untuk bakteri dan Potato Dextrose Agar untuk mengisolasi khamir dan kapang. Setiap pertumbuhan koloni yang menunjukkan kenampakan berbeda harus ditumbuhkan ulang pada media agar baru dan dilakukan isolasi kembali (*reisolasi*). Isolasi adalah proses atau kegiatan memisahkan mikroba dari campurannya sehingga didapatkan kultur murni.

1. Teknik Pengambilan Sampel

Sebelum melakukan isolasi terlebih dahulu dilakukan pengambilan sampel. Botol atau alat gelas lain yang digunakan untuk mengambil sampel hendaknya disterilkan lebih dahulu.

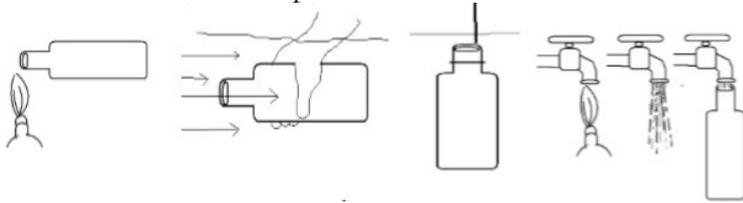
a. Sampel tanah

Jika mikroba yang diinginkan kemungkinan berada di dalam tanah maka cara pengambilannya disesuaikan dengan tujuan dan kebutuhan. Misalnya, apabila yang diinginkan mikroba rhizosfer maka sampel diambil dari sekitar perakaran dekat permukaan hingga ujung perakaran.

b. Sampel Air

Pengambilan sampel air bergantung kepada keadaan air itu sendiri. Jika berasal dari air sungai yang mengalir maka botol dicelupkan miring dengan bibir botol melawan arus air. Apabila pengambilan sampel dilakukan pada air yang tenang, botol dapat dicelupkan dengan tali, jika ingin mengambil sampel dari air kran maka sebelumnya kran

dialirkan dulu beberapa saat dan mulut kran dibakar.



Gambar 2 Cara Pengambilan Sampel Air

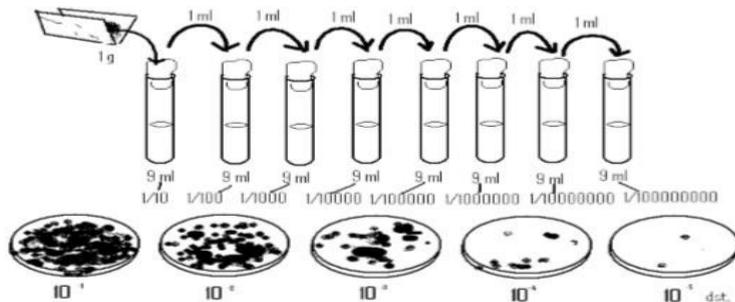
2. Isolasi Dengan Cara Pengenceran

a. Preparasi Suspensi

Sampel yang telah diambil kemudian disuspensikan dalam akuades steril. Tujuan dari teknik ini pada prinsipnya adalah melarutkan atau melepaskan mikroba dari substratnya ke dalam air sehingga lebih mudah penanganannya.

b. Teknik Pengenceran Bertingkat

Tujuan dari pengenceran bertingkat, yaitu memperkecil atau mengurangi jumlah mikroba yang tersuspensi dalam cairan. Penentuan besarnya atau banyaknya tingkat pengenceran tergantung kepada perkiraan jumlah mikroba dalam sampel. Digunakan perbandingan 1 : 9 untuk sampel dan pengenceran pertama, selanjutnya sehingga pengenceran berikutnya mengandung $1/10$ sel mikroba dari pengenceran sebelumnya.



Gambar 3 Pengenceran Bertingkat

c. Teknik Penanaman

1) Teknik penanaman dari suspensi

Teknik penanaman ini merupakan lanjutan dari pengenceran bertingkat. Pengambilan suspensi dapat

diambil dari pengenceran mana saja, tetapi biasanya untuk tujuan isolasi (mendapatkan koloni tunggal) diambil beberapa tabung pengenceran terakhir.

- *Spread Plate* (agar tabur ulas)
Spread plate adalah teknik menanam dengan menyebarkan suspensi bakteri di permukaan agar diperoleh kultur murni.

- *Pour Plate* (agar tuang)
Teknik ini menggunakan agar yang belum padat ($> 45^{\circ}\text{C}$) untuk dituang bersama suspensi bakteri ke dalam cawan petri kemudian dihomogenkan dan dibiarkan memadat. Hal ini akan menyebarkan sel-sel bakteri tidak hanya pada permukaan agar saja melainkan sel terendam agar (di dalam agar) sehingga terdapat sel yang tumbuh di permukaan agar yang kaya O_2 dan ada yang tumbuh di dalam agar yang tidak begitu banyak mengandung oksigen.

2) Teknik penanaman dengan goresan (streak)

Bertujuan untuk mengisolasi mikroba dari campurannya atau meremajakan kultur ke dalam media baru.

a) Goresan Sinambung

b) Goresan T.

c) Goresan Kuadran (*streak quadrant*).

2.5. Pewarnaan Mikroba

Prinsip dasar dari pewarnaan ini adalah ikatan ion antara komponen seluler dari bakteri dengan senyawa aktif dari pewarna yang disebut kromogen. Terjadi ikatan ion karena adanya muatan listrik baik pada komponen seluler maupun pada pewarna. Berdasarkan adanya muatan ini maka dapat dibedakan pewarna asam dan pewarna basa.

Pewarna asam dapat terjadi bila senyawa pewarna bermuatan negatif. Dalam kondisi pH mendekati netral dinding sel bakteri cenderung bermuatan negatif, sehingga pewarna asam yang bermuatan negatif akan ditolak oleh dinding sel, maka sel tidak berwarna. Pewarna asam ini disebut juga pewarna negatif. Contoh pewarna asam misalnya: tinta cina, larutan nigrosin, asam

pikrat, eosin dan lain-lain. Pewarna basa bisa terjadi bila senyawa pewarna bermuatan positif. Sehingga akan diikat oleh dinding sel bakteri jadi berwarna dan terlihat. Contoh dari pewarna basa misalnya : metilen blue, Kristal violet, safranin, dan lain-lain.

Teknik pewarna asam basa ini hanya menggunakan satu jenis senyawa pewarna, teknik ini disebut pewarna sederhana. Pewarna sederhana ini diperlukan untuk mengamati morfologi, baik bentuk maupun susunan sel. Teknik pewarna yang lain adalah pewarna diferensial, yang menggunakan senyawa lebih dari satu jenis. Diperlukan untuk mengelompokkan bakteri misalnya, bakteri Gram positif atau bakteri tahan asam dan tidak tahan asam, juga diperlukan untuk mengamati struktur bakteri seperti flagella, kapsula, spora dan nukleus.

Teknik pewarnaan bukan pekerjaan yang sulit tapi perlu ketelitian dan kecermatan bekerja serta mengikuti aturan yang berlaku yakni sbb:

1. Mempersiapkan kaca obyek. Kaca obyek ini harus bersih dan bebas lemak untuk membuat apusan bakteri yang akan diwarnai.
2. Mempersiapkan apusan. Apusan yang baik adalah yang tipis dan kering, terlihat seperti lapisan yang tipis. Apusan ini dapat berasal dari cairan atau padat.
 - ❖ Biakan cair. Suspensi sel sebanyak satu atau dua macam jarum inokulasi diletakkan pada kaca obyek, lalu diapuskan pada kaca obyek selebar 1-2 cm. biarkan mongering di udara atau di atas api kecil dengan jarak 25 cm.
 - ❖ Biakan padat, bakteri yang dikultur pada medium padat tidak dapat langsung dibuat apusan seperti dari biakan cair, tapi harus diencerkan dulu. Letakkan setetes air pada kaca obyek, lalu dengan jarum inokulasi ambil bakteri dari biakan padat, letakkan pada tetesan air dan apuskan. Biarkan mongering di udara.
 - ❖ Fiksasi dengan pemanasan. Apusan bakteri pada kaca obyek bila tidak diletakkan secara kuat, dapat terhapus pada waktu proses pewarnaan lebih lanjut. Proses peletakan apusan pada kaca obyek dapat dilakukan diantaranya dengan cara memanaskan di atas api.

Pewarnaan Spora

Spora pada bakteri merupakan struktur yang tahan terhadap panas dan bahan kimia. Spora dibentuk oleh bakteri tertentu untuk mengatasi lingkungan yang tidak menguntungkan bagi bakteri. Contoh bakteri yang membentuk spora adalah *Bacillus*, *Clostridium*, *Thermactinomyces* dan *sporocasina*. Spora terbentuk di dalam sel sehingga disebut sebagai endospore. Dalam sel bakteri hanya terdapat satu spora.

Kesimpulan

Teknik dasar analisa mikrobiologi meliputi; teknik transfer aseptis, teknik agar slants (agar miring), turbiditas media broth (pengeruhan kaldu), teknik dilusi (pengenceran), teknik pour-plate (lempeng tuang), teknik spread plate (lempeng sebar), teknik streak plate (lempeng gores). Tahapan penyiapan media harus melakukan sterilisasi. Sterilisasi merupakan proses pembebasan suatu bahan atau alat dari semua bentuk organisme hidup. Sterilisasi dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu cara mekanik, cara fisik, dan cara kimiawi. Medium adalah suatu bahan yang terdiri atas campuran nutrisi yang dipakai untuk menumbuhkan mikroba. Media adalah suatu substrat untuk menumbuhkan bakteri yang menjadi padat dan tetap tembus pandang pada suhu inkubasi. Cara yang umum digunakan untuk isolasi adalah cara suspensi. Cara suspensi maksudnya adalah sampel mikroba yang telah diambil, dibuat suspensi baru kemudian suspensi itu ditumbuhkan pada media agar tertentu.

Soal Evaluasi

1. Apakah media pertumbuhan bakteri lebih baik menggunakan media padat atau cair?
2. Apakah perbedaan media pertumbuhan padat dan media cair !
3. Jelaskan cara pewarnaan pada bakteri !

Daftar Pustaka

- Black, Jacquelyn G. 2008. *Microbiology: Principles and Explorations* (7th Edition). Marymount University, Arlington, Virginia.
- Campbell, Neil. A., Reece, Jane. B., Urry, Lisa. A., Cain, Michael. L., Wasserman, Steven. A., Minorsky, Peter. V., and Jackson, Robert. B. 2008. *Biologi* (Edisi Kedelapan, Jilid 2). Jakarta: Erlangga.
- Carlile, Michael J., Watkinson, Sarah C., and Gooday, Graham W. 2001. *The Fungi*. London: ACADEMIC PRESS.
- Carter, John., and Saunders, Venetia. 2007. *Virology: Principles and Applications*. Liverpool John Moores University, UK: England.
- Deacon, J. W. 2006. *Fungal Biology* (4th edition). Australia: BlackWell Publishing.
- Dwiyitno. 2010. Identifikasi Bakteri Patogen Pada Produk Perikanan dengan Teknik Molekuler (*Jurnal Squalen*, Vol. 5, No. 2-Agustus 2010). Balai Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan.
- Fan, Frank., and McDevitt, Damien. 2002. Microbial Genomics for Antibiotic Target Discovery. *Methods In Microbiology*, Volume 33. Microbial, Musculoskeletal and Proliferative Diseases CEDD, GlaxoSmithKline, South Collegeville Road, USA.
- Fatimawali. 2013. Identifikasi Mikrobiologi dan Analisis Gen 16S rRNA Bakteri Resisten Merkuri Isolat S3.2.2 yang Diperoleh dari Limbah Tambang Rakyat (*Pharmakon: Jurnal Ilmiah Farmasi* Vol.2, No.04-November 2013, ISSN 2302-2493). Manado: Program Studi Farmasi FMIPA UNSRAT.

Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, Dasar-Dasar Mikrobiologi, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta

Pratiwi, T. Silvia. 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Yogyakarta. Erlangga

BAB 3

ORGANISME PROKARIOTIK DAN EUKARIOTIK

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub pokok Bahasan
3	Mahasiswa menjelaskan pengertian tentang Organisme Prokariotik dan Ekuariotik	Organisme Prokariotik dan Eukaryotic	3.1 Pendahuluan 3.2 Sel Prokariotik 3.3 Sel Ekuariotik

3.1 Pendahuluan

Organisme yang berukuran kecil dan sederhana sangatlah berlimpah jumlahnya dan bertempat dimana-mana. Mereka berperan penting dalam kehidupan manusia dan juga menjaga keseimbangan lingkungan. Sering kali kita melihat lantai kotor dengan bercak-bercak. Busuknya sayur, buah, dan makanan. Pemberantasan penyakit menular yang menyerang manusia seperti; tuberkulosis, kolera, dan tetanus. Pembuatan makanan fermentasi yaitu; tempe, kecap, yogurt, keju dan roti. Pembuatan vitamin dan obat-obatan oleh pabrik-pabrik industri. Usaha meningkatkan hasil panen dan pengendalian penyakit tanaman di bidang pertanian. Peningkatan gizi makanan di bidang pangan. Terapi obat dan diagnostik infeksi penyakit di bidang kedokteran. Usaha memulihkan air dan tanah yang sedang tercemar agar kembali normal.

Unit fisik terkecil dari organisme hidup adalah sel. 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 cyanobacteria di satu pihak dengan sel hewan dan tumbuhan di lain pihak.

Ada dua tipe sel yaitu: sel prokariotik dan sel eukariotik. Sel prokariotik merupakan tipe sel pada bakteri dan sianobakteria/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 tanaman serta hewan.

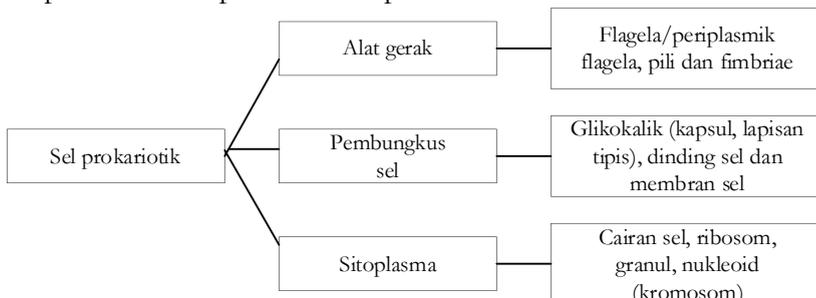
3.2. Sel Prokariotik

Sel prokariotik merupakan sel pertama yang menempati bumi. Sel ini memiliki kemampuan beradaptasi yang tinggi, sehingga mampu bertahan hidup walaupun dalam kondisi-kondisi yang tidak menguntungkannya. Sel prokariotik adalah sel yang memiliki materi genetik (kromosom-DNA) namun materi genetik tersebut belum dibungkus oleh membran inti sel dan juga belum memiliki struktur membran tertutup. Semua prokariot adalah organisme bersel tunggal, seperti semua bakteri (*Archaeobacteria* dan *Eubacteria*). Materi genetik (DNA) sel prokariotik tidak dikelilingi oleh membran nukleus.

Umumnya prokariot berukuran lebih kecil dari sel-sel eukariot lainnya, namun tidak lebih kecil dari virus. Prokariot berukuran berkisar 0,5-2,0 μm , lebih kecil dari eritrosit manusia yang berukuran sekitar 7,5 μm . Prokariot (bakteri) memiliki rasio volume permukaan yang besar. Besarnya rasio volume permukaan ini membuat hubungan bagian internal sel dan permukaan tidak jauh, sehingga nutrisi mudah dan cepat mencapai semua bagian sel. Prokariotik memiliki 3 macam bentuk, yaitu: bentuk bulat, batang, dan spiral. Bentuk bulat dari sel bakteri disebut coccus. Bentuk batang pada sel bakteri disebut bacillus. Bentuk spiral disebut vibrio. Namun selain 3 bentuk di atas, terkadang ditemukan bentuk bakteri seperti bentuk irregular (tidak teratur) dan lobe (berlekuk).

Inti sel prokariotik tidak mempunyai membran. Bahan genetis terdapat di dalam sitoplasma, berupa untai ganda (*double helix*) DNA berbentuk lingkaran yang tertutup. "Kromosom" bakteri pada umumnya hanya satu, tetapi juga mempunyai satu atau lebih molekul DNA yang melingkar (sirkuler) yang disebut plasmid. Sel prokariotik tidak mengandung organel yang dikelilingi oleh membran. Ribosom yang dimiliki sel prokariot

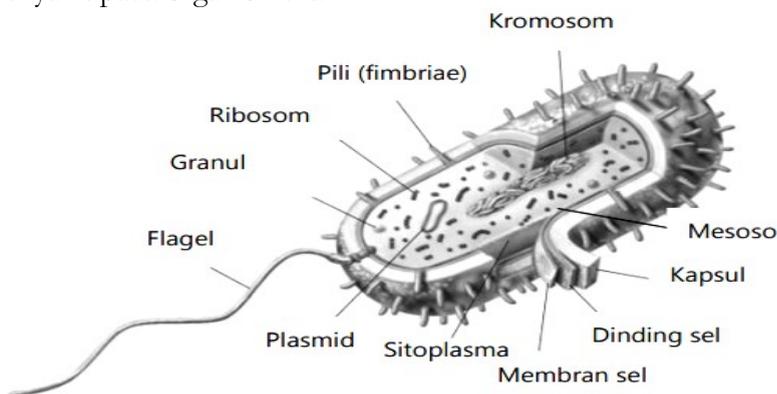
lebih kecil yaitu berukuran 70 S. Secara umum ringkasan struktur sel prokariotik dapat di lihat seperti Gambar 4.



Gambar 4 Ringkasan Struktur Sel Prokariotik
(Sumber: Park dan Arthur, 2001)

Kapsul (*Glikokalik*)

Lapisan molekul eksternal yang berbatasan dengan dinding sel. Kapsul berfungsi sebagai pelindung, perekat dan reseptor. Kapsul tersusun dari polisakarida, polipeptida dan gabungan dari keduanya. Kapsul berbentuk lapisan tipis. Kapsul prokariot dapat diketahui dengan pewarnaan negatif (negative staining). Kapsul tidak dapat ditemukan di semua sel prokariotik, namun pada beberapa sel prokariot saja. Sel prokariotik yang memiliki kapsul memiliki kemampuan untuk menyebabkan penyakit pada organisme lain.



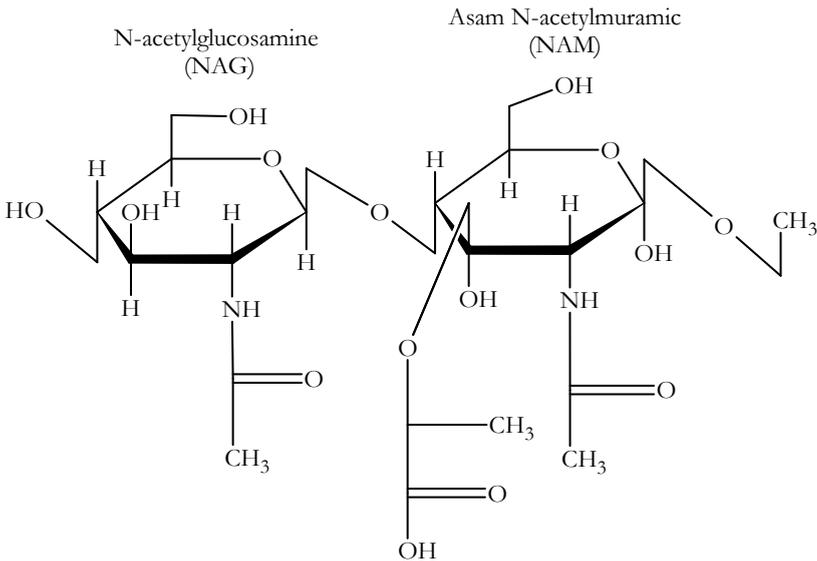
Gambar 5 Struktur Anatomi Sel Prokariotik
(Sumber: Black, 2008)

Dinding Sel

Dinding sel berfungsi memberi dukungan struktural dan bentuk untuk sel. Archaeobacteria dan Eubacteria merupakan sel prokariotik yang memiliki perbedaan pada dinding selnya yaitu ada tidaknya peptidoglika. Peptidoglikan tersusun dari disakarida yang terbuat dari monosakarida seperti N-acetylglucosamine (NAG) dan asam N-acetylmuramic (NAM).

Membran Sel (Membran Plasma)

Selaput tipis yang tersusun atas lipid dan protein. Membran sel bersifat selektif permeabel dengan mekanisme khusus. Pada Membran sel terdapat enzim respirasi dan enzim pembentuk energi (ATP sintase). Membran sel berfungsi mengelilingi sitoplasma dan mengontrol transpor bahan/zat ke dalam dan keluar dari cairan sel (Park dan Arthur, 2001). Struktur membran sel seperti model cairan mosaik (fluid-mosaic model). Model tersebut memproyeksikan bahwa fosfolipid pada membran sel tenggelam dalam cairan dan protein tersebar diantara molekul lipid membran membentuk pola mosaik (Black, 2008).



Gambar 6 Molekul Lipid Membran Membentuk Pola Mosaik

Flagel

Alat gerak yang melekat pada basal tubuh dan mengandung filamen panjang yang dapat berputar. Gerakan berputar pada filamen panjang menyebabkan sel maju dan bergerak bebas (Park dan Arthur, 2001). Beberapa prokariot (sel bakteri) memiliki satu flagel atau lebih dari satu flagel. Prokariot dengan satu flagel yang terletak di ujung sel disebut monotrikus. Prokariot dengan dua flagel yang terletak satu di ujung dan ujung lainnya disebut amfitrikus. Prokariot dengan lebih dari dua flagel pada satu atau kedua ujungnya disebut lopotrikus. Prokariot dengan banyak flagel di permukaan selnya disebut peritrikus, sedangkan prokariot yang tidak memiliki flagel disebut atrikus (Black, 2008).

Pili

Pemanjangan membran sel yang memiliki rongga. Pili berfungsi untuk mentransfer DNA ke sel lain saat melakukan reproduksi seksual dan pengikat (adhesi) pada permukaan sel organisme lain (Park dan Arthur, 2001). Pili tersusun dari subunit dan protein pilin. Prokariot dapat memiliki dua jenis pili, yaitu: pili konjugasi (conjugation pili) dan pili pelekat (attachment pili). Pili konjugasi disebut juga dengan pili seks, sedangkan pili pelekat disebut fimbriae.

Fimbriae

Rambut-rambut di permukaan sel yang memiliki struktur khusus. Fimbriae disebut pili pelekat (*attachment pili*). Fimbriae berfungsi untuk melekatkan sel prokariotik patogen pada permukaan sel organisme lain untuk menimbulkan penyakit. Contoh; beberapa sel prokariotik mampu melekat pada eritrosit karena fimbriaenya dan membuat eritrosit menggumpal/hemaglutinasi.

Kromosom

Tempat dimana molekul DNA berada. Molekul DNA diringkas sedemikian hingga menjadi sebuah paket. Kromosom pada sel prokariotik berbentuk sirkular (melingkar). DNA merupakan kode genetik yang berkaitan dengan faktor keturunan

sel. DNA berfungsi mengatur metabolisme sel dan mewariskan sifat pada generasi berikutnya. Kromosom terletak di daerah yang lebih terang dari pada sitoplasma yang mengelilinginya, tempat itu disebut nukleoid jenuh.

Plasmid

Plasmid merupakan Sekuen DNA ekstra-kromosomal kecil berbentuk melingkar yang tidak terintegrasi ke dalam kromosom yang terletak di nukleoid. Plasmid akan diperbanyak dan diwariskan pada generasi berikutnya. Plasmid juga tidak berkaitan dalam pertumbuhan dan metabolisme prokariot, akan tetapi sering berperan dalam menolak obat-obatan dan memproduksi racun serta enzim. Di bidang molekuler, plasmid merupakan agen penting dalam teknik rekayasa genetika modern. Pada sel prokariotik ditemukan adanya plasmid F dan plasmid R. Plasmid F (*plasmid fertilitasi*) berfungsi untuk mendonorkan DNA pada sel lain selama proses konjugasi. Sedangkan, Plasmid R (*plasmid resistensi*) berfungsi pertahanan terhadap antibiotik.

Ribosom

Partikel kecil yang terdiri atas protein dan RNA. Ribosom berfungsi sebagai tempat sintesis protein sel. Ribosom berlimpah dalam sitoplasma sel prokariotik, ribosom juga sering dikelompokkan dalam rantai panjang yang disebut poliribosom. Bentuk ribosom bulat, padat dan mengandung subunit besar (50 Svedberg) dan subunit kecil (20 Svedberg).

Mesosom

Perpanjangan membran sel yang berupa lipatan ke arah sitoplasma. Lipatan akan membentuk kantong di sitoplasma. Mesosom berfungsi meningkatkan luas permukaan sel. Mesosom bersama dengan membran sel berperan penting dalam aktivitas metabolisme sel. Seperti produksi ATP melalui peran enzim-enzim respirasi dan ATPsintase yang terdapat pada membran sel.

Granul

Tempat penyimpanan nutrien, seperti: lemak, fosfat, glikogen. Nutrien disimpan dalam bentuk kristal padat atau

partikel yang bisa diambil bila diperlukan. Berbagai butiran secara kolektif disebut bahan tambahan (inklusi), beberapa dikenal granul dan lainnya disebut vesikel. Struktur granul tidak diselubungi membran dan mengandung zat yang dipadatkan.

Zat dalam granul juga tidak mudah larut dalam sitoplasma. Setiap granul mengandung zat tertentu, seperti: glikogen atau polifosfat. Glikogen digunakan untuk energi, sedangkan polifosfat memberi pasokan fosfat untuk berbagai proses metabolisme sel prokariot.

Sitoplasma

Sitoplasma adalah cairan setengah kental yang ada di dalam sel prokariotik. Sitoplasma terdiri dari air dan zat terlarut, seperti enzim dan protein, karbohidrat, lipid dan berbagai ion anorganik. Selain zat dan senyawa di atas, di sitoplasma juga dapat ditemukan plasmid, ribosom, mesosom dan granul. Reaksi metabolisme, yaitu anabolisme maupun katabolisme banyak terjadi di tempat ini.

Endospora

Endospora ditemukan ketika bakteri dalam kondisi ekstrim sebagai bentuk pertahanan diri sel prokariotik agar tetap hidup. Endospora merupakan bentuk dormansi yang dihasilkan oleh prokariot seperti *Bacillus*, *Clostridium* dan *Sporosarcina* yang semuanya merupakan bakteri Gram positif. Contoh bakteri di atas adalah bakteri yang memiliki dua siklus hidup, yaitu sel vegetatif dan sel endospora. Tahap sel vegetatif, sel bakteri melakukan metabolisme secara aktif dan ketika kondisi lingkungan ekstrim maka akan terjadi pembentukan spora atau disebut sporulasi. Ukuran spora, bentuk spora dan posisi spora pada sel vegetatif sangat penting untuk mengidentifikasi beberapa spesies bakteri. Endospora pada beberapa sel bakteri bukan sebagai alat reproduksi, sedangkan spora-spora yang dihasilkan jamur berfungsi sebagai alat reproduksi. Endospora mengandung sedikit air dan tahan terhadap panas, pengeringan, asam, basa, desinfektan tertentu serta radiasi.

3.3 Klasifikasi Bakteri

Ahli biologi telah menemukan bukti yang kuat bahwa sel eukariotik berevolusi dari sel prokariotik dengan proses simbiosis intra seluler. Berbeda dengan sel prokariotik, DNA sel eukariotik terletak di nukleus yang diselubungi oleh membran ganda. Sel eukariotik berukuran lebih besar dari pada sel prokariotik. Ukuran sel eukariotik berkisar 10-100 μm , sedangkan ukuran sel prokariotik yang terkecil sebesar 0,1 μm . Ukuran sel berkaitan dengan struktur dan fungsi suatu sel. Ukuran sel akan menentukan pelaksanaan metabolisme di dalam sel. Selain membran plasma di permukaan sel, sel eukariotik memiliki membran internal yang tersusun rapi sehingga terbentuk organel-organel di dalam sel. Organel-organel sel eukariotik juga memiliki struktur dan fungsi yang spesifik, sehingga proses-proses enzimatik dan metabolisme yang berbeda-beda dapat terjadi dalam sebuah sel eukariotik. Secara umum sel eukariotik memiliki membran sel, inti, mitokondria, retikulum endoplasma, aparatus golgi (badan golgi), vakuola, sitoskeleton dan glikokaliks. Dinding sel, alat gerak dan kloroplas hanya ditemukan pada beberapa sel eukariotik.

Sel eukariotik mempunyai inti sejati yang diselubungi membran inti. Inti sel mengandung bahan genetik berupa genom/DNA. Seluruh bahan genetik tersebut tersusun dalam suatu kromosom. Di dalam kromosom terdapat DNA yang berasosiasi dengan suatu protein yang disebut histon. Kromosom dapat mengalami pembelahan melalui proses yang dikenal sebagai mitosis.

Sel eukariotik juga mengandung organel-organel seperti mitokondria dan kloroplas yang mengandung sedikit DNA. Bentuk DNA dalam kedua organel tersebut adalah sirkuler tertutup (seperti DNA prokariot). Ribosom pada sel eukariotik lebih besar dibandingkan prokariotik, berukuran 80S. Di dalam sel ini juga dijumpai organel lain yang bermembran, yaitu aparatus golgi. Pada tanaman organel ini mirip dengan diktiosom. Kedua organel tersebut berperan dalam proses sekresi.

Penjabaran dari struktur penyusun sel eukariotik adalah sebagai berikut.

Flagel

Flagel yang terdapat pada sel eukariotik berbeda dengan flagel sel prokariotik. Flagel sel eukariotik lebih tebal, memiliki struktur yang kompleks, ditutupi oleh perpanjangan membran sel. Fungsi flagel pada sel eukariotik ialah untuk pergerakan sel. Keberadaan flagel pada sel berguna untuk mengidentifikasi protozoa dan alga tertentu. Flagel terdiri dari dua mikrotubulus pusat dan sembilan pasang mikrotubulus perifer. Mikrotubulus tersusun dari protein tubulin dan protein dynein. Flagel dapat bergerak karena protein dynein mampu mengubah ATP menjadi energi mekanik.

Silia

Silia berbentuk lebih pendek dan jumlahnya lebih banyak dari pada flagel, namun masih memiliki komposisi kimia yang sama. Silia dapat ditemukan pada protozoa bersilia dan letak silia terdapat pada permukaan sel. Silia berfungsi sebagai alat gerak pada sel eukariotik. Di sisi lain, silia sel eukariotik juga berfungsi mengalirkan zat dan partikel terlarut dari luar ke dalam sel.

Pseudopodia (Kaki palsu/semu)

Bentuk sementara yang berhubungan dengan gerakan amoeboid. Gerakan ini hanya terjadi pada sel eukariotik yang tidak memiliki dinding sel seperti; amoeba dan beberapa sel darah putih. Gerakan amoeboid adalah gerakan yang lambat.

Glikokaliks

Sebagian besar eukariotik memiliki glikokaliks yang menyelubungi bagian luar dan berhubungan langsung dengan lingkungan sehingga berperan sebagai proteksi, menjaga permukaan sel, sebagai reseptor sinyal dari sel dan lingkungan luar. Glikokaliks tersusun atas polisakarida dan nampak seperti benang atau kapsul seperti glikokaliks pada prokariotik. Lapisan glikokaliks pada beberapa eukariotik bervariasi. Fungi dan alga memiliki dinding sel yang tebal sedangkan dinding sel protozoa dan beberapa alga tipis dan hanya memiliki membran sel.

Dinding Sel

Dinding sel fungi dan alga lebih kaku yang berfungsi sebagai penyokong struktur dan bentuk. Dinding sel eukariotik memiliki komposisi kimia yang berbeda dengan dinding sel prokariotik. Fungi memiliki dinding sel yang tebal, yakni tersusun atas polisakarida (kitin atau selulosa) dan campuran senyawa glikan. Alga memiliki dinding sel dengan komposisi senyawa kimia yang bervariasi antara lain; selulosa, pektin, manan, mineral seperti silikon dioksida dan kalsium karbonat sel. Protozoa memiliki dinding sel yang fleksibel disebut pelisikel. Fungsi dari dinding sel pada eukariotik adalah memberi kekakuan pada sel dan melindungi sel eukariotik dari lisis.

Membran Sel

Sel eukariotik memiliki membran sel khas yang berupa lipid bilayer dimana molekul protein tertanam di dalamnya. Membran eukariotik mengandung fosfolipid dan sterol. Membran sel eukariotik bersifat semipermeabel dalam mekanisme transportasi zat dari luar ke dalam sel dan sebaliknya. Membran sel eukariot lebih kaku dibandingkan dengan membran sel prokariot. Hal tersebut disebabkan membran sel eukariot mengandung sterol. Sterol menyebabkan membran menjadi kaku. Kekakuan membran sel sangat penting bagi sel eukariotik yang tidak memiliki dinding sel. Fungsi lain dari sterol pada membran sel adalah membantu dalam menahan stres. Pada membran sel eukariot tidak terdapat enzim-enzim respirasi untuk melakukan metabolisme, karena di sel eukariotik fungsi respirasi diambil alih oleh mitokondria.

Nukleus

Nukleus merupakan sebuah struktur bulat yang kompak diselubungi oleh membran inti yang terletak di sitoplasma. Membran inti tersusun dari dua membran paralel yang dipisahkan oleh ruang yang sempit, terdapat pori (lubang kecil) diantara dua membran tersebut. Pori pada inti memungkinkan makromolekul berpindah dari inti ke sitoplasma dan sebaliknya. Nukleus mengandung matriks yang disebut dengan nukleoplasma dan granular yang disebut dengan nukleolus. Di dalam nukleolus

terdapat RNA dan sebagai tempat sintesis RNA ribosom dan mengumpulnya sub unit ribosom yang akan ditransportasikan melewati pori membran inti menuju ke sitoplasma untuk pembentukan ribosom. Pada nukleoplasma juga terkandung kromatin. Kromatin terdiri dari kromosom yaitu unit informasi genetik terbesar dalam sel. Kromosom berisi DNA dan protein histon. Nukleus umumnya organel yang paling menonjol dalam sel eukariotik, dengan diameter sebesar 5 μm .

Retikulum Endoplasma

Retikulum endoplasma merupakan organel yang digunakan dalam transportasi dan penyimpanan. Terdapat dua macam Retikulum endoplasma yakni retikulum endoplasma kasar dan retikulum endoplasma halus. Retikulum endoplasma kasar ditemplei oleh sejumlah ribosom yang berperan sebagai organel sekresi, sedangkan pada retikulum endoplasma halus berfungsi dalam pengolahan nutrisi dan penyimpanan makromolekul nonprotein seperti lipid. Retikulum endoplasma halus mampu menyimpan lipid karena mengandung enzim yang mampu mensintesis lipid terutama lipid yang akan digunakan untuk pembentukan membran. Proses dektoksifikasi terjadi dengan penambahan gugus hidroksil ke molekul obat-obatan, sehingga molekul obat akan larut dan mudah dikeluarkan dari tubuh lewat urin.

Aparatus Golgi (Badan Golgi)

Aparatus golgi merupakan organel yang tersusun atas tumpukan membran yang memiliki kantung yang disebut dengan sisterna. Letak dan fungsi aparatus golgi selalu berdekatan dengan retikulum endoplasma. Aparatus golgi berfungsi menerima zat dari retikulum endoplasma, menyimpan zat dan mengubah struktur kimianya. Selian fungsi di atas, aparatus golgi juga berfungsi membentuk membran plasma dan membran lisosom. Aparatus golgi memiliki bagian kecil yang berisi zat yaitu vesikel sekretorik. Vesikel sekretorik berfungsi untuk melepaskan sekret ke luar sel.

Lisosom

Lisosom merupakan organel yang tertutup oleh membran yang dibuat oleh aparatus golgi. Lisosom mengandung beberapa jenis enzim pencernaan. Lisosom menyatu dengan vakuola yang berperan mencerna zat. Jika terdapat bakteri yang masuk dalam sel eukariotik maka enzim pencernaan akan dilepaskan ke sitoplasma untuk merusak bakteri.

Peroksisom

Organel kecil yang tertutup oleh membran dan mengandung banyak enzim. Enzim yang terdapat dalam peroksisom berperan mengoksidasi asam amino, sedangkan pada sel tumbuhan mengoksidasi lipid. Peroksisom berperan sangat penting pada sel tumbuhan dan hewan karena enzimnya mampu mengubah hidrogen peroksida (asam peroksida) menjadi air dan oksigen. Hidrogen peroksida perlu dihidrolisis karena hidrogen peroksida yang menumpuk dalam sel bisa bersifat racun.

Vakuola

Vakuola adalah organel yang tertutup oleh membran yang berfungsi menyimpan amilum (tepung), glikogen dan lemak yang akan digunakan untuk energi serta menjaga tekanan osmotik sel. Vakuola ditemukan pada hewan uniseluler (protozoa).

Mitokondria

Organel sel berbentuk bulat memanjang yang diselubungi oleh membran dan tersebar di seluruh sitoplasma. Mitokondria merupakan struktur kompleks dengan diameter $1\mu\text{m}$ dengan membran luar dan membran dalam berisi matriks. Membran luar mitokondria membentuk struktur eksternal, sedangkan membran dalam disebut krista berfungsi sebagai tempat enzim-enzim dan pembawa elektron saat terjadi respirasi aerobik. Di mitokondria terdapat ruangan kosong antar krista yang disebut matriks. Matriks mengandung sekuen DNA melingkar, ribosom dan beberapa enzim metabolik. Mitokondria berfungsi menghasilkan energi dalam bentuk ATP.

Plastida (Kloroplas)

Kloroplas merupakan organel yang berisi pigmen dan bentuknya bervariasi. Kloroplas ditemukan pada alga dan sel tumbuhan yang bisa merubah energi cahaya menjadi energi kimia melalui proses fotosintesis. Fotosintesis menghasilkan nutrisi organik dan oksigen yang dibutuhkan oleh sebagian besar organisme. Kloroplas tersusun atas dua membran yakni membran luar yang membungkus membran bagian dalam yang disebut tilakoid. Tilakoid tersusun menjadi satu di dalam grana, struktur ini mengandung pigmen klorofil. Di sekeliling tilakoid terdapat substansi yang menyelubunginya yang disebut dengan stroma. Di dalam plastida terdapat DNA dan ribosom.

Sitoskeleton

Sitoskeleton merupakan molekul yang berbentuk jaring-jaring fleksibel yang berada di dalam sitoplasma. Sitoskeleton berfungsi pada perubahan bentuk dan pergerakan pada beberapa sel eukariotik. Terdapat dua macam sitoskeleton pada sel eukariotik yakni mikrofilamen dan mikrotubulus. Mikrofilamen merupakan rantai protein yang ditambahkan pada membran sel dan membentuk jaring-jaring di dalam sitoplasma yang bertanggung jawab untuk pergerakan sitoplasma dan bertanggungjawab pada gerakan amoeboid. Mikrotubulus memiliki ukuran yang panjang, mengatur bentuk sel eukariotik dan substansi yang ditranspor dari satu sel ke lainnya, mikrotubulus juga berperan sebagai benang spindel pada saat mitosis. Mikrotubulus bertanggungjawab untuk pergerakan silia dan flagel. Hasil studi mengindikasikan bahwa beberapa bakteri memiliki mikrotubulus dan filamen yang sama dengan yang ditemukan di eukariotik.

Ribosom

Ribosom merupakan partikel tipis yang nampak pada sitoplasma. Struktur dasar ribosom eukariotik sama dengan ribosom prokariotik yakni memiliki dua subunit antara lain subunit kecil dan subunit besar ribo nukleoprotein. Ribosom eukariotik

memiliki ukuran 80S dimana kombinasi antara subunit 60S dan 40S. Ribosom berperan dalam proses sintesis protein. Ribosom tersebar menjadi dua bentuk yakni yang tersebar di sitoplasma dan yang menempel pada retikulum endoplasma. Ribosom yang terlihat pada rantai pendek disebut dengan polysom. Ribosom sel eukaritik lebih besar dibandingkan dengan ribosom prokariotik dimana tersusun atas 60% RNA dan 40% protein.

Kesimpulan

Sel prokariotik merupakan sel yang belum mempunyai pembungkus inti dan struktur membran tertutup, bersel tunggal dan mampu beradaptasi yang tinggi, yang termasuk organisme jenis ini adalah Archaeobacteria dan Eubacteria. Ukuran sel prokariotik antara 0,5-2,0 μm , memiliki 3 macam bentuk yakni bulat (coccus), batang (bacillus), dan spiral (vibrio). Alat gerak berupa flagela, pili dan fimbriae; pembungkus sel terdiri dari glikokaliks, dinding sel, dan membran sel; sitoplasma (cairan sel) merupakan tempat ribosom, granula, dan nukleolid. Sedangkan, sel eukariotik berevolusi dari sel prokariotik melalui simbiosis intraseluler. Sel eukariotik ini memiliki ukuran 10-100 μm , memiliki membran sel, membran ganda pada nukleus, mitokondria, retikulum endoplasma, aparatus golgi, vakuola, sitoskeleton, dan glikokaliks. Beberapa sel eukariotik memiliki dinding sel dan kloroplas.

Soal Evaluasi

1. Pembeda antara sel prokariotik dan sel eukariotik adalah ...
 - a. DNA sel prokariotik dikelilingi oleh membran inti
 - b. DNA sel eukariotik tidak dikelilingi oleh membran inti
 - c. DNA sel eukariotik di sitoplasma
 - d. DNA sel prokariotik tidak dikelilingi oleh membran
2. Archaeobacteria berbeda dengan Eubacteria biarpun sama-sama disebut sel prokariotik. Alasan yang tepat mengenai perbedaan keduanya ialah ...
 - a. Adanya ribosom
 - b. Adanya peptidoglycans
 - c. Adanya mesosoma
 - d. Adanya plasmid

3. Alasan yang tepat tidak ditemukannya mitokondria pada sel prokariotik adalah
 - a. Terdapat enzim metabolisme dan ATPase di membran sel
 - b. Terdapat ribosom di sitoplasma
 - c. Terdapat pili di bagian luar sel prokariotik
 - d. Terdapat kapsul yang tipis di luar sel prokariotik
4. Organel dibawah ini yang tidak dapat ditemukan pada semua sel prokariot adalah ...

a. Dinding sel	c. Kapsul
b. Nucleoid	d. Ribosom
5. Plasmid berbeda dengan kromosom dalam hal ...

a. Metabolisme sel	c. Pertumbuhan sel
b. Pertahanan terhadap obat	d. Transpor zat

Daftar Pustaka

- Black, Jacquelyn G. 2008. *Microbiology: Principles and Explorations* (7th Edition). Marymount University, Arlington, Virginia.
- Campbell, Neil. A., Reece, Jane. B., Urry, Lisa. A., Cain, Michael. L., Wasserman, Steven. A., Minorsky, Peter. V., and Jackson, Robert. B. 2008. *Biologi* (Edisi Kedelapan, Jilid 2). Jakarta: Erlangga.
- Carlile, Michael J., Watkinson, Sarah C., and Gooday, Graham W. 2001. *The Fungi*. London: ACADEMIC PRESS.
- Carter, John., and Saunders, Venetia. 2007. *Virology: Principles and Applications*. Liverpool John Moores University, UK: England.
- Deacon, J. W. 2006. *Fungal Biology* (4th edition). Australia: BlackWell Publishing.
- Dwiyitno. 2010. Identifikasi Bakteri Patogen Pada Produk Perikanan dengan Teknik Molekuler (*Jurnal Squalen*, Vol. 5, No. 2-Agustus 2010). Balai Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan.

- Fan, Frank., and McDevitt, Damien. 2002. Microbial Genomics for Antibiotic Target Discovery. *Methods In Microbiology*, Volume 33. Microbial, Musculoskeletal and Proliferative Diseases CEDD, GlaxoSmithKline, South Collegeville Road, USA.
- Fatimawali. 2013. Identifikasi Mikrobiologi dan Analisis Gen 16S rRNA Bakteri Resisten Merkuri Isolat S3.2.2 yang Diperoleh dari Limbah Tambang Rakyat (*Pharmacon: Jurnal Ilmiah Farmasi* Vol.2, No.04-November 2013, ISSN 2302-2493). Manado: Program Studi Farmasi FMIPA UNSRAT.
- Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, *Dasar-Dasar Mikrobiologi*, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta
- Pratiwi, T. Silvia. 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Yogyakarta. Erlangga

BAB 4 BAKTERI

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub pokok Bahasan
4	Mahasiswa menjelaskan pengertian tentang Bakteri	Bakteri	4.1 Pendahuluan 4.2 Klasifikasi Bakteri

4.1 Pendahuluan

Bakteri merupakan mikrobia prokariotik uniselular, termasuk kelas Schizomycetes, berkembang biak secara asexual dengan pembelahan sel. Bakteri tidak berklorofil kecuali beberapa yang bersifat fotosintetik. Cara hidup bakteri ada yang dapat hidup bebas, parasitik, saprofitik, patogen pada manusia, hewan dan tumbuhan. 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 walaupun ditumbuhkan pada syarat pertumbuhan yang sesuai. 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 ini juga terdapat kunci determinasi untuk mengklasifikasikan isolat bakteri yang baru ditemukan. Menurut Bergey's manual, bakteri dibagi menjadi 1 kelompok (grup), dengan Cyanobacteria pada grup 20. Pembagian ini berdasarkan bentuk, sifat gram, kebutuhan oksigen, dan apabila tidak dapat

dibedakan menurut ketiganya maka dimasukkan ke dalam kelompok khusus.

4.2. Klasifikasi Bakteri

4.2.1 Bakteri Berbentuk Kokus (Bulat)

a. Bakteri kokus gram positif

Aerobik: Micrococcus, Staphylococcus, Streptococcus, Leuconostoc

Anaerobik: Methanosarcina, Thiosarcina, Sarcina, Ruminococcus.

b. Bakteri kokus gram negatif

Aerobik: Neisseria, Moraxella, Acinetobacter, Paracoccus

Anaerobik: Veillonella, Acidaminococcus, Megasphaera.

4.2.2 Bakteri berbentuk batang

a. Bakteri gram positif

1. Bakteri gram positif tidak membentuk spora

Aerobik: Lactobacillus, Listeria, Erysipelothrix, Caryophanon.

2. Bakteri Coryneform dan actinomycetes

Aerobik Coryneform: Corynebacterium, Arthrobacter, Brevibacterium, Cellulomonas, Propionibacterium, Eubacterium, Bifidobacterium. Aerobik Actinomycetes: Mycobacterium, Nocardia, Actinomyces, Frankia, Actinoplanes, Dermatophilus, Micromonospora, Microbispora, Streptomyces, Streptosporangium.

Actinomycetes dapat membentuk miselium yang sangat halus dan bercabang-cabang. Miselium vegetatif tumbuh di dalam medium, dan miselium udara ada di permukaan medium. Bakteri ini dapat berkembang biak dengan spora, secara fragmentasi dan segmentasi, dengan *chlamydo spora*, serta dengan bertunas. Bakteri ini umumnya mempunyai habitat pada lingkungan dengan pH yang tinggi. Cara hidupnya ada yang bersifat saprofit, simbiosis dan beberapa sebagai parasit. Frankia adalah actinomycetes yang mampu menambat nitrogen dan dapat bersimbiosis dengan tanaman.

3. Bakteri pembentuk endospora

Aerobik: Bacillus, Sporolactobacillus, Sporosarcina, Thermoactinomyces Anaerobik: Clostridium, Desulfotomaculum, Oscillospira.

b. Bakteri gram negatif

1. Bakteri gram negatif aerobik

Aerobik: *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Zoogloea*, *Gluconobacter*, *Acetobacter*, *Azotobacter*, *Azomonas*, *Beijerinckia*, *Derxia*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Brucella*, *Legionella*, *Thermus*. Bakteri *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Derxia*, *Rhizobium* termasuk diazotroph yang dapat menambat nitrogen dari udara. *Azotobacter*, *Beijerinckia*, dan *Derxia* cara hidupnya bebas tidak bersimbiosis, *Rhizobium* hidupnya dapat bersimbiosis dengan akar tanaman leguminosa dengan membentuk bintil akar.

2. Bakteri gram negatif aerobik khemolitotrofik

Aerobik: *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus*, *Nitrosomonas*, *Nitrosospira*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus*. Bakteri tersebut umumnya berperan dalam proses nitrifikasi di dalam tanah. *Thiobacillus*, *Sulfolobus*, *Thiobacterium*, *Thiovolum*, yang merupakan bakteri yang berperan dalam proses oksidasi sulfur di alam.

3. Bakteri berselubung

Aerobik: *Sphaerotilus*, *Leptothrix*, *Cladothrix*, *Crenothrix*. Bakteri *Sphaerotilus* biasanya hidup di saluran-saluran air. *Leptothrix*, dan *Cladothrix* merupakan bakteri yang mampu mengoksidasi besi atau penyebab korosi.

4. Bakteri gram negatif fakultatif anaerobik

Fakultatif anaerobik: *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Salmonella*, *Shigella*, *Proteus*, *Serratia*, *Erwinia*, *Yersinia*, *Vibrio*, *Aeromonas*, *Photobacterium*.

5. Bakteri gram negatif anaerobik

Sangat Anaerobik: *Bacteroides*, *Fusobacterium*, *Leptotrichia*.

6. Bakteri Methanogens dan *archaebacteria*

Sangat Anaerobik: *Methanobacterium*, *Methanothermus*, *Methanosarcina*, *Methanobrix*, *Methanococcus*. Bakteri ini merupakan pembentuk metan (CH_4) dari hasil perombakan bahan organik secara anaerobik.

Aerobik: *Halobacterium*, *Halococcus*, *Thermoplasma*. Bakteri ini ada yang tahan hidup pada kadar garam tinggi dan ada yang tahan pada suhu tinggi.

Anaerobik: Thermoproteus, Pyrodictium, Desulforococcus.

4.2.3 Bakteri berbentuk lengkung

a. Bakteri gram negatif spiril dan lengkung

Aerobik: *Spirillum*, *Aquaspirillum*, *Azospirillum*, *Oceanospirillum*, *Campylobacter*, *Bdellovibrio*, *Microcyclus*, *Pelosiigma*. Bakteri *Azospirillum* termasuk bakteri penambat nitrogen yang dapat berasosiasi dengan tanaman gramineae termasuk tanaman padi. Bakteri *Bdellovibrio* adalah bakteri yang dapat hidup sebagai parasit pada sel bakteri lain (parasit bakteri).

b. Bakteri gram negatif lengkung anaerobik

Anaerobik: *Desulfovibrio*, *Succinivibrio*, *Butyrivibrio*, *Selenomonas*. Bakteri *Desulfovibrio* merupakan salah satu bakteri yang mampu mereduksi sulfat.

c. Spirochaeta

Aerobik dan anaerobik: *Spirochaeta*, *Cristispira*, *Treponema*, *Borrelia*, *Leptospira*. Bakteri ini berbentuk benang tipis dan terulir. Dinding sel tipis dan lentur. Bakteri ini dapat bergerak dengan cara kontraksi sel menurut garis sumb selnya. Selnya berukuran 0,1-3 μ x 4-8 μ .

4.2.4 Bakteri yang Termasuk Kelompok Khusus

a. Bakteri yang merayap (meluncur)

Bakteri ini dapat merayap walaupun tidak berflagela. Bakteri ini selalu bersifat gram negatif. Dalam kelompok ini termasuk beberapa ganggang biru, beberapa bakteri khemoorganotrof dan beberapa bakteri belerang (*sulfur*).

Kelompok bakteri yang menjadi anggota bakteri merayap (meluncur) sebagai berikut:

1. Bakteri yang mengandung sulfur intraselular, berbentuk benang. Contoh: *Beggiatoa*, *Thiothrix*, *Achromatium*.
2. Bakteri bebas sulfur, membentuk trikoma (bulu). Contoh: *Vitreoscilla*, *Leucothrix*, *Saprospira*.
3. Bakteri uniselular, bentuk batang pendek. Contoh: *Cytophaga*, *Flexibacter*, *Myxobacteria*.
4. Bakteri fototrof yang bergerak merayap. Contoh: *Chloroflexus*
5. Cyanobacteria yang bergerak merayap. Contoh: *Oscillatoria*.

Myxobacteria.

Bakteri yang termasuk myxobacteria mempunyai dinding sel sangat tipis dan lentur. Bakteri ini bersifat gram negatif, dan dapat bergerak meluncur. Bentuk sel umumnya memanjang (*spoel*) dengan ujung runcing. Dalam siklus hidupnya dapat membentuk badan buah, yang merupakan kumpulan sel yang berdiferensiasi. Ukuran badan buah kurang dari 1 mm. Contoh: *Chondromyces*, *Myxococcus*.

b. Bakteri bertangkai atau bertunas

Bakteri ini mempunyai struktur mirip tangkai atau tunas yang merupakan tonjolan dari sel, atau hasil pengeluaran lendir. Contoh: *Hypomicrobium*, *Caulobacter*, *Prosthecomicrobium*, *Ancalomicrobium*, *Gallionella*, *Nevskia*.

c. Bakteri parasit obligat: *Rickettsiae* dan *Chlamydiae*

Merupakan bakteri yang berukuran paling kecil, tetapi lebih besar dari virus, yaitu $0,3 \times 2 \mu$. Bentuk sel pleomorfik, dapat berupa batang, kokus, atau filamen. Bakteri ini cara hidupnya sebagai parasit sejati (*parasit obligat*) di dalam sel jasad lain dan bersifat patogen. Hidupnya intraselular di dalam sitoplasma dan inti sel binatang dan manusia. Oleh karena itu bakteri kelompok ini merupakan penyebab penyakit, yang biasanya ditularkan oleh vektor serangga. Contoh: *Rickettsia prowazekii*, *Chlamydia trachomatis*, *Coxiella burnetii*.

d. *Mycoplasma* (Klas Mollicutes)

Mycoplasma disebut juga PPLO (*Pleuropneumonia Like Organisms*). Cirinya yaitu tidak mempunyai dinding sel, atau merupakan bentuk L dari bakteri sejati (*Eubacteria*) atau bentuk speroplas sel eubakteria, sehingga sifatnya mirip bakteri sejati. *Mycoplasma* berukuran $0,001-7 \mu$. Umumnya lebih besar dari *Rickettsiae* dan dapat dicat dengan cat anilin. Ukuran koloni mencapai $10-600 \mu$. Selnya berbentuk kokus, filamen, roset, dan sangat pleomorfik. Selnya dapat memperbanyak diri dengan pembelahan biner, fragmentasi, dan perkecambahan. Cara hidupnya sebagai saprofit atau patogen. Contoh: *Mycoplasma mycoides*, *M. homonia*, *M. orale*, *Acholeplasma*, *Spiroplasma*.

e. Bakteri anaerobik anoksigenik fototrofik

Bakteri ini mempunyai ciri berpigmen fotosintetik. Ada yang berbentuk kokus, batang, dan lengkung. Berdasarkan sifat fisiologinya dapat dibagi menjadi:

1. Familia Thiorhodaceae (bakteri sulfur ungu). Contoh: *Thiospirillum sp.*, *Chromatium sp.*
2. Familia Athiorhodaceae/Rhodospirillaceae (bakteri sulfur non-ungu). Contoh: *Rhodospirillum*, *Rhodospseudomonas*.
3. Familia Chlorobiaceae (bakteri sulfur hijau). Contoh: *Chlorobium*, *Chlorospseudomonas*, *Chlorochromatium*.

f. Bakteri aerobik oksigenik fototrofik: Cyanobacteria

Bakteri ini termasuk *Myxophyceae* atau *Cyanophyceae*. Sifatnya yang mirip bakteri adalah dinding selnya terdiri mukokompleks, tidak berdinding inti, tidak ada mitokondria dan kloroplas. Sifatnya yang berbeda adalah dapat berfotosintesa mirip tumbuhan tingkat tinggi, dan menghasilkan O₂. Bakteri ini mempunyai klorofil a dan fikobilin (fikosianin dan fikoeritrin). Bentuk selnya tunggal (uniselular), koloni, dan benang-benang (filamen). Selnya dapat bergerak meluncur tetapi sangat lambat (250μ per menit), meskipun tidak berflagela. Cara hidupnya bebas, dan berasosiasi simbiosis. Umumnya dapat menambat nitrogen dari udara, dan bersifat fotoautotrof obligat. Contoh: *Gloeobacter*, *Gloeocapsa*, *Dermocarpa*, *Spirulina*, *Nostoc*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Calothrix*, *Cylindrospermum*. *Anabaena azollae* dapat bersimbiosis dengan tanaman paku air *Azolla sp.* dan *Nostoc* bersimbiosis dengan jamur membentuk Lichenes.

Kesimpulan

Eubacteria termasuk dalam organisme sel tunggal (uniseluler) yang memiliki ukuran antara 0,5 sampai 2 μm. Eubacteria hidup secara koloni dan menempel pada substrat. Bentuk koloni eubacteria yaitu coccus (diplococci, tetrad, staphylococci, dan sarcina), bacillus (diplobacilli, dan streptobacil), vibrio/berbentuk lengkung, spirillum atau spirochete atau berbentuk spiral, dan berbentuk bintang, kotak, maupun segitiga. Eubacteria mengandung peptidoglikan pada dinding selnya.

Reproduksi secara aseksual (vegetatif) dan seksual (seperti; transformasi, transduksi DNA, dan konjugasi).

Soal Evaluasi

1. Perbedaan yang benar antara bakteri Gram positif dan Gram negatif adalah ...
 - a. Ada tidaknya plasmid
 - b. Ada tidaknya membran inti
 - c. Tebal tipisnya peptidoglikan
 - d. Ada tidaknya kapsul
2. Pernyataan di bawah ini yang benar mengenai reproduksi Eubacteria, kecuali ...
 - a. DNA awal berekombinasi dengan DNA yang berasal dari alam
 - b. Menghasilkan endospora di saat kondisi lingkungan tidak menguntungkan
 - c. DNA awal berekombinasi dengan DNA asing yang dibawa oleh virus
 - d. Transfer materi genetik dari sel bakteri pendonor ke sel bakteri resipie

Daftar Pustaka

- Black, Jacquelyn G. 2008. *Microbiology: Principles and Explorations* (7th Edition). Marymount University, Arlington, Virginia.
- Campbell, Neil. A., Reece, Jane. B., Urry, Lisa. A., Cain, Michael. L., Wasserman, Steven. A., Minorsky, Peter. V., and Jackson, Robert. B. 2008. *Biologi* (Edisi Kedelapan, Jilid 2). Jakarta: Erlangga.
- Carlile, Michael J., Watkinson, Sarah C., and Gooday, Graham W. 2001. *The Fungi*. London: ACADEMIC PRESS.
- Carter, John., and Saunders, Venetia. 2007. *Virology: Principles and Applications*. Liverpool John Moores University, UK: England.

- Deacon, J. W. 2006. *Fungal Biology* (4th edition). Australia: BlackWell Publishing.
- Dwiyitno. 2010. Identifikasi Bakteri Patogen Pada Produk Perikanan dengan Teknik Molekuler (*Jurnal Squalen*, Vol. 5, No. 2-Agustus 2010). Balai Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan
- Fan, Frank., and McDevitt, Damien. 2002. Microbial Genomics for Antibiotic Target Discovery. *Methods In Microbiology*, Volume 33. Microbial, Musculoskeletal and Proliferative Diseases CEDD, GlaxoSmithKline, South Collegeville Road, USA.
- Fatimawali. 2013. Identifikasi Mikrobiologi dan Analisis Gen 16S rRNA Bakteri Resisten Merkuri Isolat S3.2.2 yang Diperoleh dari Limbah Tambang Rakyat (*Pharmakon: Jurnal Ilmiah Farmasi* Vol.2, No.04-November 2013, ISSN 2302-2493). Manado: Program Studi Farmasi FMIPA UNSRAT.
- Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, *Dasar-Dasar Mikrobiologi*, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta
- Pratiwi, T. Silvia. 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Yogyakarta. Erlangga

BAB 5 JAMUR/FUNGI

BAB V. FUNGI/ JAMUR

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub Pokok Bahasan
5.	Mahasiswa menjelaskan pengertian Fungi/ Jamur	Pengolongan Fungi/ Jamur	5.1 Morfologi Jamur 5.2 Perkembangbiakan jamur 5.3 Klasifikasi jamur 5.4 Identifikasi Jamur Benang 5.5 Khamir 5.6. Peranan Fungi bagi Kehidupan

5.1 Morfologi Jamur

Fungi atau jamur merupakan organisme eukariotik. Selain memiliki inti yang bermembran dan organel-organel sitoplasma bermembran. Di dalam sitoplasma juga terdapat daerah noncoding yang disebut intron, membran yang mengandung sterol, dan ribosom tipe 80S. Tubuh jamur berbentuk filamen, disebut hifa dan pertumbuhannya hanya pada bagian apikal. Hifa tumbuh menjadi jaringan yang disebut miselium. Namun, beberapa jamur tumbuh berbentuk sel tunggal “*yeast*” (seperti *Saccharomyces cerevisiae*) dan berkembangbiak dengan tunas serta beberapa dapat beralih antara fase ragi dan fase hifa sesuai dengan kondisi lingkungan yang disebut jamur dimorfik atau jamur dua bentuk.

Jamur benang terdiri atas massa benang yang bercabang-cabang yang disebut miselium. Miselium tersusun dari hifa (filamen) yang merupakan benang-benang tunggal. Badan vegetatif jamur yang tersusun dari filamen-filamen disebut thallus. Berdasarkan fungsinya dibedakan dua macam hifa, yaitu hifa fertil

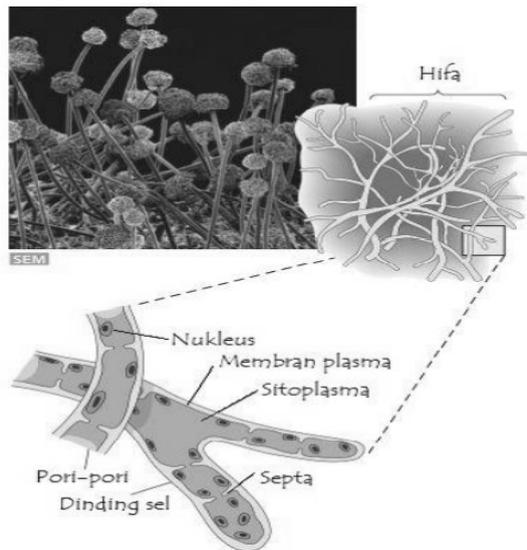
dan hifa vegetatif. Hifa fertil adalah hifa yang dapat membentuk sel-sel reproduksi atau spora-spora. Apabila hifa tersebut arah pertumbuhannya keluar dari media disebut hifa udara. Hifa vegetatif adalah hifa yang berfungsi untuk menyerap makanan dari substrat.

Berdasarkan bentuknya dibedakan pula menjadi dua macam hifa, yaitu hifa tidak berseptata dan hifa berseptata. Hifa yang tidak berseptata merupakan ciri jamur yang termasuk *Phycomycetes* (Jamur tingkat rendah). Hifa ini merupakan sel yang memanjang, bercabang-cabang, terdiri atas sitoplasma dengan banyak inti (*soenositik*). Hifa yang berseptata merupakan ciri dari jamur tingkat tinggi, atau yang termasuk *Eumycetes*. Jamur bersifat heterotrof (*kemoorganotrof*) yakni mendapatkan senyawa organik sebagai sumber energi dan sebagai kerangka karbon untuk sintesis sel.

Jamur tidak seperti hewan, jamur tidak menelan makanannya melainkan jamur mengabsorpsi nutrisi dari lingkungan di luar tubuhnya. Jamur mengekskresikan enzim-enzim hidrolisis dengan konsentrasi tinggi di sekeliling makanannya. Enzim-enzim itu memecah senyawa-senyawa kompleks menjadi senyawa-senyawa yang lebih kecil (sederhana) sehingga jamur dapat menyerap senyawa organik (nutrien) ke dalam tubuh dan menggunakannya. Jamur lain, menggunakan enzim-enzim tersebut untuk menembus dinding sel tumbuhan dan integumen hewan, sehingga jamur dapat menyerap nutrisi dari sel tumbuhan dan sel hewan. Dinding sel jamur tersusun atas kitin dan glukosa (polimer glukosa dengan dominasi β -1,3 dan β -1,6), namun senyawa selulosa pendek juga terdapat pada beberapa jamur primitif. Jamur memiliki karbohidrat larut dan senyawa penyimpanan termasuk manitol dan gula alkohol lainnya, trehalosa, dan glikogen. Jamur mengandung inti haploid, namun hifa jamur sering memiliki beberapa inti dalam setiap kompartemen hifa, dan banyak ragi pemula yang diploid.

Kebanyakan jamur molds dan mushroom disebut dengan jamur multiseluler, namun yeast (ragi) disebut uniseluler. Semua jamur memiliki enzim lisosim yang berguna mencerna sel-sel yang rusak dan membantu jamur patogen untuk menyerang host (inang). Beberapa jamur seperti sel yeast memiliki plasmid yang dapat digunakan untuk mengklon gen asing ke dalam sel yeast

melalui teknik rekayasa genetika. Sel hifa pada jamur dipisahkan oleh sekat dinding yang disebut septa (septum: tunggal).



Gambar 7 Morfologi Miselium dan Hifa Jamur Multiseluler (sumber Black, 2008)

Pori-pori pada sel hifa jamur memungkinkan kedua sitoplasma dan inti untuk melewati hifa. Beberapa jamur memiliki septa yang begitu banyak pori, namun ada beberapa jamur tertentu dengan septum pori tunggal dengan organel yang disebut tubuh Woronin. Ketika sel hifa rusak, tubuh Woronin bergerak untuk menutup pori-pori sehingga bahan sel yang rusak tidak tercampur dengan sel yang sehat.

5.2 Perkembangbiakan Jamur

Jamur dapat berkembang biak secara vegetatif (aseksual) dan generatif (seksual). Perkembangbiakan aseksual dapat dilakukan dengan fragmentasi miselium (thalus) dan pembentukan spora aseksual. Ada 4 cara perkembangbiakan dengan fragmentasi thalus yaitu, (a) dengan pembentukan tunas, misalnya pada khamir, (b) dengan blastospora, yaitu tunas yang tumbuh menjadi spora, misalnya pada *Candida* sp., (c) dengan arthrospora (oidium), yaitu terjadinya segmentasi pada ujung-

ujung hifa, kemudian sel-sel membulat dan akhirnya lepas menjadi spora, misalnya pada *Geotrichum* sp., dan (d) dengan chlamydospora, yaitu pembulatan dan penebalan dinding sel pada hifa vegetatif, misalnya pada *Geotrichum* sp.

Spora aseksual terbentuk melalui 2 cara. Pada jamur tingkat rendah, spora aseksual terbentuk sebagai hasil pembelahan inti berulang-ulang. Misalnya spora yang terbentuk di dalam sporangium. Spora ini disebut sporangiospora. Pada jamur tingkat tinggi, terbentuk spora yang disebut konidia. Konidia terbentuk pada ujung konidiofor, terbentuk dari ujung hifa atau dari konidia yang telah terbentuk sebelumnya. Perkembangbiakan secara seksual, dilakukan dengan pembentukan spora seksual dan peleburan gamet (sel seksual). Ada dua tipe kelamin (mating type) dari sel seksual, yaitu tipe kelamin + (jantan) dan tipe kelamin – (betina). Peleburan gamet terjadi antara 2 tipe kelamin yang berbeda.

Proses reproduksi secara seksual dibagi menjadi 3 tingkatan, yaitu: (a) plasmogami yaitu meleburnya 2 plasma sel, (b) kariogami yaitu meleburnya 2 inti haploid yang menghasilkan satu inti diploid, dan (c) meiosis yaitu pembelahan reduksi yang menghasilkan inti haploid. Bentuk dan cara reproduksi jamur sangat beraneka ragam, dan dapat digunakan sebagai dasar untuk mengklasifikasikan jamur tersebut.

Para ahli telah mengelompokkan jamur berdasarkan ukuran menjadi 2, yaitu: (1) jamur makroskopis (makro fungi) seperti jamur yang sering dikonsumsi dan jamur payung beracun, dan (2) jamur mikroskopis (mikro fungi) seperti jamur penyebab penyakit pada tanaman. Para ahli menemukan bahwa jamur mikroskopis terdiri atas hifa yang mampu menghasilkan spora dan mikro fungi ini ditemukan menyerang bahan organik mati. Pembahasan di sini lebih terfokus pada jamur mikroskopis, karena jamur makroskopis akan dibahas lebih terperinci pada bahasan Mikologi.

5.3 Klasifikasi Jamur

Ada beberapa klasifikasi jamur, yaitu *Acrasiomycetes* (Jamur lendir selular), *Myxomycetes* (Jamur lendir sejati), *Phycomycetes* (Jamur tingkat rendah), dan *Eumycetes* (Jamur tingkat tinggi). *Eumycetes*

terdiri atas 3 klasis yaitu *Ascomycetes*, *Basidiomycetes*, dan *Deuteromycetes* (Fungi imperfect). Sistem tata nama jamur menggunakan nama binomial, yang terdiri nama genus dan nama spesifik / spesies. Nama famili dengan akhiran *-aceae*, nama order dengan akhiran *-ales*, dan nama klasis dengan akhiran *-mycetes*.

1. *Acrasiomycetes*

Jamur ini merupakan kelompok jamur lendir selular, yang hidup bebas di dalam tanah, biasanya diisolasi dari tanah humus. Bentuk vegetatifnya berupa sel berinti satu yang amoeboid, seperti protozoa uniselular atau merupakan amoeba haploid, dan disebut juga *pseudo plasmodium*. Ciri-ciri sel jamur ini adalah dapat bergerak diatas media padat (*pseudopodia*), makan dengan cara fagositosis, misalnya dengan memakan bakteri. Sifatnya yang mirip fungi adalah adanya stadium badan buah, dan terbentuknya spora. Struktur spora seperti bentuk kista dari amoeba.

2. *Myxomycetes*

Jamur ini merupakan jamur lendir sejati. Jamur ini dapat ditemukan pada kayu terombak, guguran daun, kulit kayu, dan kayu. Bentuk vegetatifnya disebut plasmodium. Plasmodium merupakan masa sitoplasma berinti banyak dan tidak dibatasi oleh dinding sel yang kuat. Sel-selnya mempunyai gerakan amoeboid diatas substrat. Cara makan dengan fagositosis. Apabila plasmodium merayap ke tempat yang kering, akan terbentuk badan buah. Badan buah menghasilkan spora berinti satu yang diselubungi dinding sel. Spora berasal dari inti-inti plasmodium. Struktur pada semua stadium sama, yaitu seperti sel soenositik dengan adanya aliran sitoplasma.

Perkembang biakan jamur ini dimulai dari sel vegetatif haploid hasil perkecambahan spora. Sel tersebut setelah menggandakan diri akan mengadakan plasmogami dan kariogami yang menghasilkan sel diploid. Sel diploid yang berkembang menjadi plasmodium yang selnya multi nukleat tetapi uniselular, selanjutnya membentuk badan buah yang berbentuk sporangium. Sporangium tersebut menghasilkan spora haploid. Contoh jamur ini adalah *Lycogala epidendron*, *Cribraria rufa*, dan *Fuligo septica*.

3. *Phycomycetes*

Jamur ini termasuk jamur benang yang mempunyai hifa tidak bersepta, sel vegetatif multi nukleat, atau disebut thalus soenositik. Secara vegetatif dapat memperbanyak diri dengan potongan-potongan hifa, dan menghasilkan spora aseksual dalam sporangium (*sporangiospora*). Perkembang biakan secara generatif dengan membentuk spora seksual. Berdasarkan cara terbentuknya spora dibagi menjadi 2 macam, (a) Oospora, hasil peleburan antara gamet-gamet yang tidak sama besarnya, dan (b) Zygospora, hasil peleburan gamet-gamet yang sama besarnya.

Berdasarkan tipe sporanya maka jamur ini juga dapat dikelompokkan dalam Oomycetes dan Zygomycetes. Contoh jamur yang termasuk klas Oomycetes adalah *Saprolegnia* sp. (jamur air). dan jamur patogen seperti *Phytophthora infestans* (penyebab penyakit potato blight), *Plasmopora viticola* (penyebab penyakit embun tepung pada tanaman). Jamur yang termasuk Zygomycetes ada 3 order, yaitu *Mucorales*, *Entomophthorales*, dan *Zoopagales*. Jamur yang penting dari kelompok Mucorales adalah *Mucor* sp. Dan *Rhizopus* sp. *Rhizopus nigricans* adalah jamur roti, *R. oryzae*, *R. oligosporus*, dan *R. stolonifer* adalah jamur yang biasa digunakan pada fermentasi tempe.

4. *Ascomycetes*

Ciri jamur ini mempunyai hifa bersepta, dan dapat membentuk konidiofor. Secara vegetatif dapat berkembang biak dengan potongan hifa, dan pada beberapa jenis dapat menghasilkan konidia secara aseksual. Fase konidi jamur ini disebut juga fase imperfect. Fungi yang hanya dalam bentuk fase imperfect disebut fungi imperfecti (*Deuteromycetes*). Secara generatif dapat membentuk badan buah yang disebut askokarp, yang di dalamnya terdapat askus (kantong) yang menghasilkan askospora. Askospora merupakan hasil kariogami dan meiosis.

Pembentukan askospora ada 4 cara, yaitu:

- a. Konjugasi langsung seperti pada khamir.
- b. Pembelahan sel miselium.
- c. Peleburan sel-sel kelamin kemudian oogonium menjadi askus.

4. Dari hife askogen timbul organ-organ tertentu yang mengandung inti rangkap.

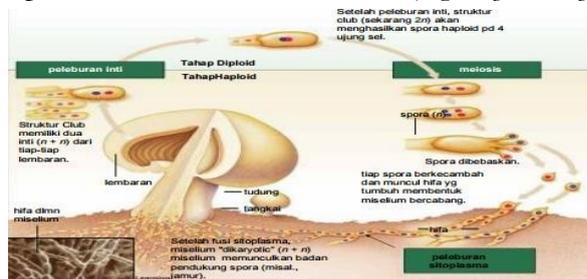
Berdasarkan bentuknya dapat dibedakan 3 macam askus, yaitu:

- (a) Cleistothecium, bentuknya bulat, kasar dan tidak mempunyai lubang khusus untuk jalan keluarnya spora.
- (b) Perithecium, bentuk bulat seperti labu, mempunyai ostiol untuk jalan keluarnya spora.
- (c) Apothecium, bentuk seperti cawan atau mangkuk, bagian permukaan terdiri atas himenium yang mengandung askus-askus dalam lapisan palisade, dari lapisan tersebut dapat dilepaskan askospora.

Contoh jamur ini yang penting adalah genus *Aspergillus* dan *Penicillium*. Jamur ini umumnya dapat menghasilkan pigmen hitam, coklat, merah, dan hijau. Pigmen tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis-jenis jamur tersebut. Jamur ini umumnya dapat merombak bahan organik seperti kayu, buah, kulit, dan sisa-sisa tanaman. Spesies seperti *P. roqueforti* dan *P. camemberti* dapat digunakan untuk flavour (aroma). *Penicillium notatum* dan *Penicillium chrysogenum* untuk produksi antibiotik penisilin. Jamur *Aspergillus niger* untuk fermentasi asam sitrat, *Aspergillusoryzae* dan *Aspergillus wentii* untuk fermentasi kecap.

5. *Basidiomycetes*

Ciri khusus jamur ini yaitu mempunyai basidium yang berbentuk seperti gada, tidak bersekat, dan mengandung 4 basidiospora di ujungnya. Pada jamur tertentu mempunyai hymenium atau lapisan-lapisan dalam badan buah. Hymenium terdapat pada mushroom, maka disebut juga *Hymenomycetes*.



Gambar 8 Siklus Reproduksi *Basidiomycetes*

Hymenium terdiri dari basidia, hifa steril, parafisa, dan cysts. Basidia berasal dari hifa dikariotik, sel ujungnya membesar, inti ikut membesar, 2 inti melebur menghasilkan 1 inti diploid, kemudian membelah reduksi menjadi 4 inti haploid yang menjadi inti basidiospora. Tipe kelamin basidiospora terdiri atas 2 negatif dan 2 positif. Akumulasi basidiospora dapat dilihat dari warnanya, yaitu seperti tepung halus berwarna coklat, hitam, ungu, kuning, dan sebagainya. Contoh jamur ini adalah *Pleurotus* sp (Jamur Tiram), *Cyantus* sp., dan khamir *Sporobolomyces* sp.

6. *Deuteromycetes* (*Fungi Imperfecti*)

Semua jamur yang tidak mempunyai bentuk (fase) seksual dimasukkan ke dalam kelas *Deuteromycetes*. Jamur ini merupakan bentuk konidial dari kelas *Ascomycetes*, dengan askus tidak bertutup atau hilang karena evolusi. Jamur ini juga tidak lengkap secara seksual, atau disebut para seksual. Proses plasmogami, kariogami dan meiosis ada tetapi tidak terjadi pada lokasi tertentu dari badan vegetatif, atau tidak terjadi pada fase perkembangan tertentu. Miseliumnya bersifat homokariotik. Contoh jamur ini adalah beberapa spesies *Aspergillus*, *Penicillium*, dan *Monilia*.

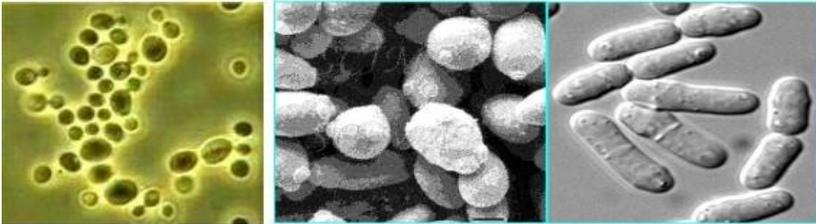
5.4 Identifikasi Jamur Benang

Untuk mengidentifikasi jamur benang lebih diutamakan pengujian sifat-sifat morfologinya, tetapi perlu juga pengujian sifat-sifat fisiologi. Hal-hal yang perlu diperhatikan pada pengamatan morfologi jamur benang adalah:

1. Tipe hifa, bersepta atau tidak, jernih atau keruh, dan berwarna atau tidak.
2. Tipe spora, seksual (*oospora*, *zygospora*, *askospora*, atau *basidiospora*), aseksual (*sporangiospora*, *konidia*, atau *oidia*)
3. Tipe badan buah, bentuk, ukuran, warna, letak spora atau konidi. Bentuk sporangiofor/konidiofor, kolumela/vesikula.
4. Bentuk khusus, misalnya adanya stolon, rhizoid, sel kaki, apofisa, klamidospora, sklerosia, dan lain-lain.

5.5 Khamir

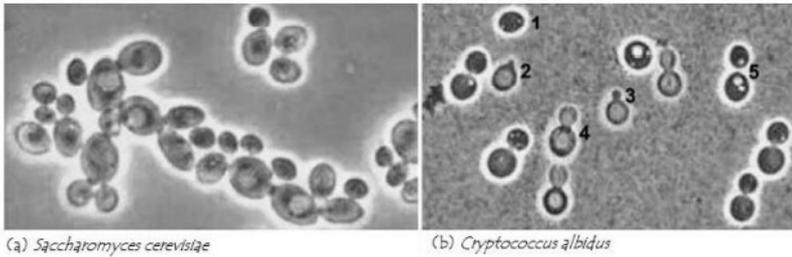
Khamir atau disebut yeast, merupakan jamur bersel satu yang mikroskopik, tidak berflagela. Beberapa genera membentuk filamen (*pseudomiselium*). Cara hidupnya sebagai saprofit dan parasit. Hidup di dalam tanah atau debu di udara, tanah, daun-daun, nektar bunga, permukaan buah-buahan, di tubuh serangga, dan cairan yang mengandung gula seperti sirup, madu dan lain-lain. Khamir berbentuk bulat (sferoid), elips, batang atau silindris, seperti buah jeruk, sosis, dan lain-lain. Bentuknya yang tetap dapat digunakan untuk identifikasi. Khamir dapat dimasukkan ke dalam kelas Ascomycetes, Basidiomycetes dan Deuteromycetes. Pindahkan ke dalam tabung reaksi yang kering dan kocok beberapa menit. Setelah itu, saring larutan dan uji filtratnya .amati dan catat warna yang timbul



Sel khamir

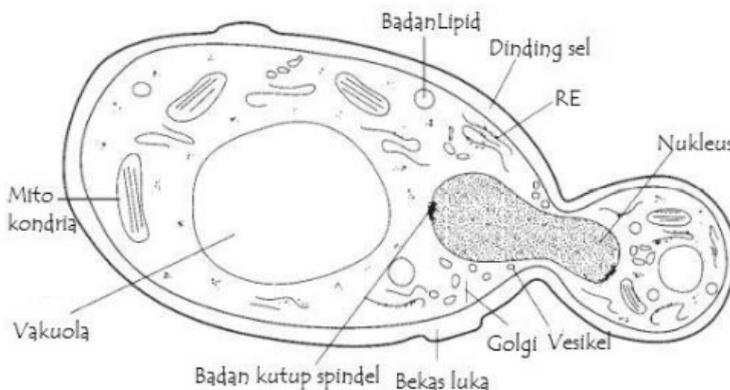
Gambar 9 Jenis Jamur Sel Khamir

Yeast (Sel ragi) adalah jamur uni seluler yang tumbuh dengan budding (tunas) dan bukan berbentuk hifa. Misalkan *Saccharomyces cerevisiae* (Kelas Ascomycota), *Cryptococcus spp.* (Kelas Ascomycota), dan *Roseus Sporobolomyces* (Kelas Basidiomycota). Beberapa jamur yang bersifat dimorfik, yaitu mampu beralih antara hifa dan bentuk yeast dalam merespon perubahan kondisi lingkungan seperti *Candida albicans* (Kelas Ascomycota) yang menjadi patogen serius pada manusia. Morfologi mikrofungi dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Morfologi Mikro Fungi
(Sumber: Deacon, 2001)

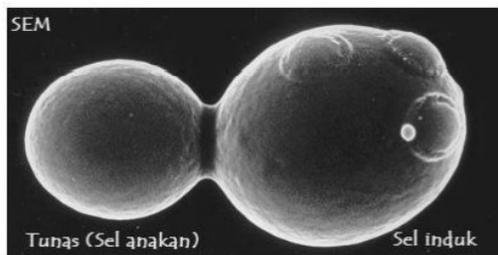
Pemisahan antara sel induk dan sel anak pada yeast ditandai dengan terbentuknya septum. Pada *Saccharomyces* pemisahan terjadi saat sebuah cincin pembatas yang terbuat dari kitin dibentuk pada situs “leher”, kemudian cincin pembatas itu memperluas sampai menjadi lingkaran kitin pembatas yang lengkap antara sel induk dan anakan. Selanjutnya sel-sel terpisah secara enzimatik dari dinding antara lingkaran kitin dan sel anak. Proses pemisahan ini meninggalkan bekas luka kuncup (tunas) pada sel induk, dan bekas luka lahir pada sel anak. Bekas luka pada sel induk dan sel anak dapat diamati dengan mikroskop cahaya, sedangkan lingkaran kitin pada sel induk dapat diamati dengan mikroskop fluoresen. Struktur sel ragi *Saccharomyces cerevisiae* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Struktur Sel Ragi *Saccharomyces Cerevisiae*
(Sumber: Deacon, 2001)

Pewarna *fluorescent* dapat mengikat kitin, sehingga dengan mikroskop fluoresen jumlah bekas luka kunci pada permukaan sel dapat dihitung. *Saccharomyces cerevisiae* dikenal dengan ragi tunas multipolar karena tunas selalu dihasilkan dari titik tunas (*budsite*) yang berbeda pada permukaan sel, sedangkan beberapa sel ragi lain menunjukkan tunas bipolar yakni tunas selalu muncul dari posisi yang sama, biasa di kutub sel. Taksonomi sel ragi sangat sulit karena kurangnya fitur morfologi yang jelas, sehingga pada beberapa tahun terakhir ini para ilmuwan tergantung pada pendekatan molekuler. Bukti terbaru dari sel ragi Ascomycetous yang menunjukkan bahwa ia termasuk monofiletik (bentuk satu filamen). Ascomycetous bukan Ascomycota miselium dan juga bukan ragi spesies *Schizosaccharomyces* yang tidak punya tunas melainkan membentuk filamen dengan pembentukan sekat ke dalam sel seperti batu bata (*Arthrospora* atau *Arthrokonidia*). Ragi adalah uniseluler (seperti kebanyakan dari filum *Ascomycetes*, *Basidiomycetes*, atau *Deuteromycetes*). Ukuran sel dapat bervariasi kisaran 2-50 mm untuk panjang dan lebar sebesar 1-10 mm. Sel ragi yang terkenal adalah *S. cerevisiae* umumnya berbentuk elips dengan diameter sebesar 1-10 mm. Morfologi sel ragi sangat beragam dalam hal warna, tekstur, dan geometri (perifer/kontur) dari koloni raksasa.

Jamur berkembangbiak dengan baik secara aseksual dan seksual, dan menghasilkan spora. Spora jamur bervariasi dalam bentuk, ukuran, dan sifat lain yang berkaitan dengan penyebaran atau kelangsungan hidupnya. Reproduksi aseksual pada sel yeast (ragi) selalu melibatkan pembelahan sel mitosis melalui tunas. Pembelahan sel mitosis pada Ragi dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Pembelahan Sel Mitosis pada Ragi
(Sumber: Black, 2008)

Reproduksi seksual jamur dapat terjadi melalui beberapa cara. Salah satu cara, gamet haploid bersatu dan sitoplasma tercampur dalam proses yang disebut plasmogami. Akan tetapi, jika inti gagal untuk bersatu pada sel dikariotik maka akan bertahan untuk beberapa pembelahan sel. Akhirnya, inti fusi (melebur) yang disebut kariogami untuk menghasilkan sel diploid. Kemudian sel-sel induk tersebut akan menghasilkan sel haploid baru. Beberapa jamur juga dapat melakukan reproduksi secara seksual selama dalam bentuk sel dikariotik pada siklus hidupnya. Siklus hidup jamur melalui fase haploid, dikariotik, dan diploid.

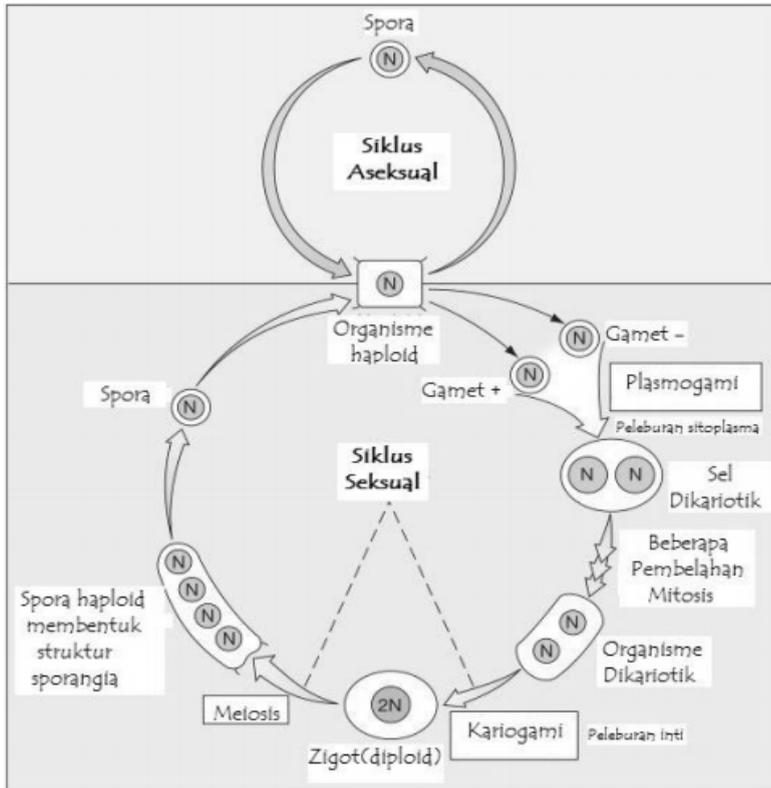
Reproduksi seksual pada jamur dapat dilihat pada Gambar 7, yaitu:

1. Klasifikasi Fungi

Klasifikasi jamur didasarkan oleh fase seksual dalam siklus hidupnya. Secara umum, jamur diklasifikasikan menjadi 4 Filum, yaitu: (1) *Zygomycota*, (2) *Ascomycota*, (3) *Basidiomycota*, dan (4) *Deuteromycota*.

2. *Filum Zygomycota*

Jamur *Zygomycota* memiliki miselium kompleks yang terdiri dari hifa tanpa sekat (septum) dengan dinding yang terbuat dari senyawa kitin. Jamur *Zygomycota* bereproduksi dengan cara konjugasi. Contohnya: Jamur roti hitam, *Rhizopus* sp. dan jamur roti lainnya seperti *Mucor*. Jamur roti memiliki hifa yang tumbuh pesat sepanjang permukaan substrat. Beberapa hifa jamur roti mampu menghasilkan spora yang mudah terbawa oleh angin. Ketika spora jamur roti berada di substrat yang tepat, spora akan berkecambah membentuk hifa baru.



Gambar 13 Reproduksi Seksual Jamur
(Sumber : Black, 2008)

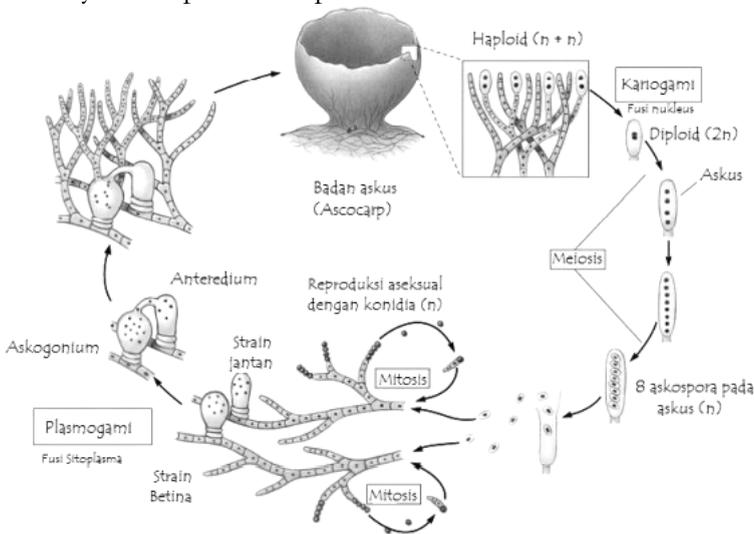
Hifa baru tersebut mampu menghasilkan cabang hifa positif (+) dan negatif (-) yang tumbuh bersama dari strain yang berbeda. Hifa positif (+) dan negatif (-) ini bergabung menjadi jamur konjugasi. Selanjutnya, terjadi peleburan inti antar hifa positif (+) dan negatif (-) untuk membentuk zigot. Masing-masing zigot mengandung Zygospora, sebuah struktur bertahan dengan dinding tebal yang mampu menghasilkan spora. Informasi genetik dalam Zygospora berasal dari dua strain hifa, sedangkan spora berasal dari strain tunggal.

3. *Filum Ascomycota*

Jamur Ascomycota terdiri atas 30.000 spesies dan termasuk yeast a (sel ragi). Jamur ini memiliki dinding sel yang terbuat dari kitin dan tidak menghasilkan spora berflagel.

Namun, pengecualian pada beberapa sel ragi yang tidak membentuk hifa. Hifa jamur Ascomycota mengandung septa dengan pori sentral.

Hifa jamur ini juga menghasilkan askus saat reproduksi seksual. Reproduksi aseksual jamur filum ini menghasilkan fase spora yang disebut konidia dari ujung hifa yang termodifikasi. Pada reproduksi seksual, satu strain hifa memiliki askogonium besar, dan strain lain yang berdekatan memiliki anteridium lebih kecil. Struktur itu selanjutnya bergabung (fusi), inti sel jamur berbau dan sel-sel hifa dengan inti dikariotik tumbuh dari massa penggabungan tersebut. Akhirnya, inti dikariotik melebur (fusi) untuk membentuk zigot. Inti zigot membelah untuk membentuk 8 inti di setiap askus. Setiap askus membentuk 8 askospora. Reproduksi seksual jamur Ascomycota dapat dilihat pada Gambar 14.



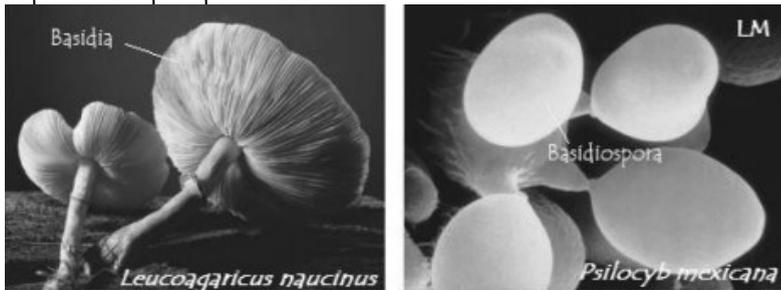
Gambar 14 Reproduksi Seksual Jamur Ascomycota
(Sumber: Black, 2008)

Beberapa jamur Ascomycota sangat menarik dalam Mikologi. *Neurospora* ini penting karena askospora yang telah memberikan informasi genetik. *Penicillium notatum* mampu menghasilkan antibiotik penisilin, *P. roquefortii* dan *P. camemberti* bertanggungjawab untuk warna, tekstur, dan rasa

keju Requefort dan Camemberti. Sel ragi seperti genus *Saccharomyces*, mampu melepaskan karbon dioksida (CO₂) dan alkohol sebagai produk metabolisme fermentasi dan digunakan untuk ragi roti serta membuat alkohol dalam bir dan anggur. Di lain hal, jamur patogen manusia pada filum Ascomycota seperti *Candida albicans* menyebabkan infeksi jamur vagina. *Trichophyton* menyebabkan infeksi kaki atlet dan *Aspergillus* dengan infeksi pernapasan oportunistik. Spesies dari genus *Blastomyces* dan *Histoplasma* menyebabkan infeksi pernapasan dan dapat menyebar ke seluruh tubuh.

4. *Filum Basidiomycota*

Jamur Basidiomycota memiliki hifa yang berkumpul membentuk miselia (miselium: tunggal), dan juga memiliki struktur seksual berbentuk cup yang disebut basidia. Siklus hidup khusus Basidiomycetes, spora seksual disebut basidiospora akan berkecambah membentuk hifa bersekat (berseptata) dan hifa berkecambah menjadi miselia. Sel-sel miselia bersatu menjadi bentuk dikariotik. Miselium dikariotik tumbuh dan menghasilkan basidia, yang pada gilirannya menghasilkan basidiospora. Struktur jamur Basidiomycota seperti nampak pada Gambar 15.



Gambar 15 Struktur Jamur Basidiomycota
(Sumber: Black, 2008)

Contoh jamur filum Basidiomycota adalah jamur payung, jamur karat, dan jamur api. Jamur karat dan jamur api parasit pada tanaman dan penyebab kerusakan tanaman yang sangat parah. Beberapa jamur, seperti *Amanita* mampu menghasilkan racun yang dapat mematikan manusia. *Claviceps purpurea* yang menghasilkan racun. Zat racun ini dalam

jumlah kecil dapat digunakan untuk mengobati sakit kepala migrain dan menginduksi kontraksi uterus, tetapi dalam jumlah besar dapat mematikan. Ragi *Cryptococcus* menyebabkan infeksi pernapasan oportunistik, yang bisa berakibat fatal jika tersebar ke sistem saraf pusat, penyebab meningitis dan infeksi otak. Ragi ini semakin terlihat pada pasien AIDS.

5. *Filum Deuteromycota*

Jamur Deuteromycota atau disebut dengan fungi imperfecti “tidak sempurna” karena jamur ini tidak memiliki fase seksual dalam siklus hidupnya. Tanpa informasi tentang fase seksual maka jamur ini agak berbeda dengan filum-filum jamur lainnya. Namun, berdasarkan karakter vegetatif dan produksi spora aseksual, dan sebagian besar jamur ini tampak mirip jamur-jamur filum Ascomycota. Jamur filum ini merupakan organisme tanah dan beberapa patogen manusia.

5.6 Peranan Fungi bagi Kehidupan

Di ekosistem, jamur berperan penting sebagai pengurai. Di ilmu kesehatan, berperan penting sebagai parasit fakultatif artinya jamur dapat memperoleh nutrisi dari organisme yang telah mati maupun organisme hidup. Selain itu, jamur juga mampu menghasilkan antibiotik yang mampu menghambat pertumbuhan/membunuh bakteri. Jamur parasit menimbulkan kerusakan yang bervariasi dan jarang menyebabkan kerusakan parah. Namun, jamur parasit menyebabkan histoplasmosis dapat menyebar melalui sistem limfatik sehingga menyebabkan demam, anemia, dan kematian. Jamur saprofit berperan penting sebagai dekomposer dan penghasil antibiotik.

Kegiatan metabolisme jamur tidak hanya memenuhi kebutuhannya sendiri, tetapi juga untuk organisme lain. Jamur menguraikan organisme mati menjadi senyawa karbon dan nitrogen, dan dari kegiatan ini jamur sangat berkontribusi terhadap daur ulang zat dalam ekosistem. Di sisi lain, jamur sangat penting dalam pembusukan lignin dan zat kayu lainnya. Beberapa jamur mengeluarkan limbah metabolik beracun untuk mikroorganisme tanah. Metabolik beracun itu disebut antibiosis. Racun ini digunakan untuk bersaing dan mempertahankan diri jamur. Antibiotik hasil metabolisme jamur bila diekstrak dan dimurnikan

maka dapat digunakan untuk mengobati infeksi pada manusia. Jamur parasit dapat merusak host melalui 3 syarat yaitu: (1) dekat dengan host, (2) kemampuan untuk menembus host, dan (3) kemampuan mencerna dan menyerap nutrisi host. Banyak jamur mencapai host dengan memproduksi spora yang terbawa oleh angin dan air. Jamur lain juga bisa terbawa oleh serangga atau organisme lain. Jika jamur sudah melekat pada host, jamur tersebut akan menembus sel (seperti tumbuhan atau hewan) dengan menggunakan hifa dan enzim lisosimnya. Setelah merusak sel host, jamur mencerna komponen sel dan menyerap nutrisi.

Jamur juga sebagai mutualis dengan tumbuhan, alga, sianobakteria, dan hewan. Jamur dapat hidup dalam tumbuhan tak berkayu tanpa menyebabkan kerusakan disebut endofit simbiotik, begitu juga pada tumbuhan vaskuler yang dikenal mikoriza. Kebanyakan endofit yang ditemukan adalah ascomycetes. Jamur menguntungkan bagi rumput-rumputan dan tumbuhan tak berkayu lain dengan menghasilkan toksin untuk mengusir herbivora atau meningkatkan toleransi tumbuhan terhadap panas, kekeringan, dan logam berat. Jamur berjasa pada hewan karena jamur membantu pencernaan hewan dengan menguraikan senyawa penyusun tumbuhan di dalam saluran pencernaan sapi dan hewan mamalia pemamahbiak lainnya. Jamur juga menguntungkan bagi spesies semut. Jamur mampu merombak dan menyerap nutrisi daun yang kaya protein dan karbohidrat dan menghilangkan senyawa toksin yang dapat membunuh semut. Jamur tumbuh pada daun itu, kemudian hifa jamur memanjang dan ujung-ujung hifa mengembung karena mengandung protein dan karbohidrat. Setelah itu semut akan memakan ujung-ujung hifa yang kaya nutrisi tersebut.

Selain itu, jamur juga dapat bersimbiosis dengan alga atau sianobakteria uniseluler atau filamen membentuk liken (lichen). Jutaan sel foto sintetik (alga/sianobakteria) disatukan oleh massa hifa jamur. Kelompok jamur yang paling umum bersimbiosis dengan alga/sianobakteria adalah ascomycetes, namun juga ada liken glomeromycetes yang berasal dari jamur *basidiomycetes*. Alga menyediakan senyawa-senyawa karbon, sianobakteria juga memfiksasi nitrogen dan menyediakan nitrogen organik. Sedangkan, jamur akan memberikan lingkungan yang sesuai bagi

pertumbuhan mitra foto sintetikanya seperti: susunan hifa memungkinkan pertukaran gas, melindungi mitranya dari cahaya yang menyengat, mempertahankan air dan mineral bagi mitranya. Jamur juga mampu melindungi mitranya dari hewan melalui toksiknya.

Kesimpulan

Fungi atau jamur merupakan organisme eukariotik yang memiliki inti dan organel bermembran. Bentuk tubuh buah jamur adalah filamen yang disebut dengan hifa yang tumbuh pada daerah ujung (apikal), hifa yang tumbuh seperti jaring disebut miselium. Bentuk tubuh jamur ada dua, yakni uniseluler (yeast) dan multiseluler (molds dan mushroom). Fungi bersifat heterotrof dan berkembangbiak secara aseksual dan seksual. Pengelompokan fungi dibagi menjadi empat, yaitu filum Zygomycota, filum Ascomycota, filum Basidiomycota, dan filum Deuteromycota.

Fungi memiliki peran penting dalam ekosistem, yaitu berperan menguraikan senyawa organik menjadi senyawa anorganik yang bisa dimanfaatkan oleh tumbuhan dan bekerjasama secara mutualis dengan alga, cyanobacteria, tumbuhan, dan hewan.

Soal Evaluasi

1. Spesies mikroorganisme di bawah ini yang merupakan sel prokariotik, kecuali
 - a. *Metanobacterium*
 - b. *Streptococcus* sp.
 - c. *Saccharomyces cerevisiae*
 - d. *Clostridium* sp.
2. Fungi berbeda dengan tumbuhan dan hewan, pernyataan di bawah ini yang menunjukkan ciri-ciri fungi adalah ...
 - a. Tidak memiliki dinding sel
 - b. Dinding sel tersusun atas kitin
 - c. Dinding sel tersusun atas selulosa
 - d. Dinding sel tersusun atas peptidoglikan
3. Pernyataan di bawah ini yang tidak benar mengenai reproduksi fungi, kecuali ...
 - a. Pembelahan secara mitosis
 - b. Pembelahan biner
 - c. Transduksi
 - d. Transformasi

4. Peran esensial fungi dalam siklus materi pada ekosistem darat maupun perairan
 - a. Penyedia unsur karbon dan nitrogen
 - b. Penghasil karbon dioksida
 - c. Penghasil racun antibiosis
 - d. Penghasil enzim lisosom

Daftar Pustaka

Black, Jacquelyn G. 2008. *Microbiology: Principles and Explorations* (7th Edition). Marymount University, Arlington, Virginia.

Campbell, Neil. A., Reece, Jane. B., Urry, Lisa. A., Cain, Michael. L., Wasserman, Steven. A., Minorsky, Peter. V., and Jackson, Robert. B. 2008. *Biologi* (Edisi Kedelapan, Jilid 2). Jakarta: Erlangga.

Carlile, Michael J., Watkinson, Sarah C., and Gooday, Graham W. 2001. *The Fungi*. London: ACADEMIC PRESS.

Carter, John., and Saunders, Venetia. 2007. *Virology: Principles and Applications*. Liverpool John Moores University, UK: England.

Deacon, J. W. 2006. *Fungal Biology* (4th edition). Australia: BlackWell Publishing.

Fan, Frank., and McDevitt, Damien. 2002. Microbial Genomics for Antibiotic Target Discovery. *Methods In Microbiology*, Volume 33. Microbial, Musculoskeletal and Proliferative Diseases CEDD, GlaxoSmithKline, South Collegeville Road, USA.

Fatimawali. 2013. Identifikasi Mikrobiologi dan Analisis Gen 16S rRNA Bakteri Resisten Merkuri Isolat S3.2.2 yang Diperoleh dari Limbah Tambang Rakyat (*Pharmakon: Jurnal Ilmiah Farmasi* Vol.2, No.04-November 2013, ISSN 2302-2493). Manado: Program Studi Farmasi FMIPA UNSRAT.

Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, *Dasar-Dasar Mikrobiologi*, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta

Pratiwi, T. Silvia. 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Yogyakarta. Erlangga

BAB 6 PROTOZOA

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub Pokok Bahasan
6	Mahasiswa menjelaskan Protozoa	Protozoa	6.1. Ciri-ciri Umum Protozoa 6.2. Klasifikasi Protozoa 6.3. Mastigophora 6.4. Sarcodina 6.5. Apicomplexa (Sporozoa) 6.6. Ciliata (Ciliophora)

6.1. Ciri-ciri Umum Protozoa

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 berdinding sel, serta dibedakan dari jamur lendir karena tidak dapat membentuk badan buah.

Protozoa adalah protista mirip hewan, bersifat heterotrof, kebanyakan uniseluler dan beberapa berbentuk koloni. Kebanyakan hidup bebas, namun beberapa komensalis (hidup dalam/pada organisme tanpa merugikan) dan beberapa parasit. Banyak protozoa hidup di lingkungan berair dan kering jika kondisi lingkungan tidak menguntungkan. Sebagian protozoa dilindungi oleh partikel luar yang keras. Banyak yang motil dengan alat gerak, tetapi juga ada yang tidak punya alat gerak (Black, 2008).

Protozoa umumnya hidup bebas dan terdapat di lautan, lingkungan air tawar, atau daratan. Beberapa spesies bersifat parasitik, hidup pada organisme inang. Inang protozoa yang bersifat parasit dapat berupa organisme sederhana seperti algae, sampai vertebrata yang kompleks, termasuk manusia. Beberapa spesies dapat tumbuh di dalam tanah atau pada permukaan tumbuh-tumbuhan. Semua protozoa memerlukan kelembaban yang tinggi pada habitat apapun. Beberapa jenis protozoa laut merupakan bagian dari zooplankton. Protozoa laut yang lain hidup di dasar laut. Spesies yang hidup di air tawar dapat berada di danau, sungai, kolam, atau genangan air. Ada pula protozoa yang tidak bersifat parasit yang hidup di dalam usus termit atau di dalam rumen hewan ruminansia.

Protozoa tidak mempunyai dinding sel, dan tidak mengandung selulosa atau kitin seperti pada jamur dan algae. Kebanyakan protozoa mempunyai bentuk spesifik, yang ditandai dengan fleksibilitas ektoplasma yang ada dalam membran 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. Protozoa merupakan sel tunggal, yang dapat bergerak secara khas menggunakan pseudopodia (kaki palsu), flagela atau silia, namun ada yang tidak dapat bergerak aktif. Berdasarkan alat gerak yang dipunyai dan mekanisme gerakan inilah protozoa dikelompokkan ke dalam 4 kelas. Protozoa yang bergerak secara amoeboid dikelompokkan ke dalam Sarcodina, yang bergerak dengan flagela dimasukkan ke dalam Mastigophora, yang bergerak dengan silia dikelompokkan ke dalam Ciliophora, dan yang tidak dapat bergerak seras merupakan parasit hewan maupun manusia dikelompokkan ke dalam Sporozoa.

Mulai tahun 1980, oleh *Committee on Systematics and Evolution of the Society of Protozoologist*, mengklasifikasikan protozoa menjadi 7 kelas baru, yaitu *Sarcomastigophora*, *Ciliophora*, *Acetospora*, *Apicomplexa*, *Microspora*, *Myxospora*, dan *Labyrinthomorpha*. Pada klasifikasi yang baru ini, Sarcodina dan Mastigophora digabung menjadi satu kelompok Sarcomastigophora, dan Sporozoa karena anggotanya sangat beragam, maka dipecah menjadi lima kelas.

Contoh protozoa yang termasuk Sarcomastigophora adalah genera *Monosiga*, *Bodo*, *Leishmania*, *Trypanosoma*, *Giardia*, *Opalina*, *Amoeba*, *Entamoeba*, dan *Diffugia*. Anggota kelompok Ciliophora antara lain genera *Didinium*, *Tetrahymena*, *Paramecium*, dan *Stentor*. Contoh protozoa kelompok Acetospora adalah genera *Paramyxa*. Apicomplexa beranggotakan genera *Eimeria*, *Toxoplasma*, *Babesia*, *Theileria*. Genera *Metchnikovella* termasuk kelompok Microspora. Genera *Myxidium* dan *Kudoa* adalah contoh anggota kelompok Myxospora.

Protozoa umumnya bersifat aerobik nonfotosintetik, tetapi beberapa protozoa dapat hidup pada lingkungan anaerobik (misal pada saluran pencernaan manusia atau ruminansia). Protozoa aerobik mempunyai mitokondria yang mengandung enzim untuk etabolisme aerobik, dan untuk menghasilkan ATP melalui proses transfer elektron dan atom hidrogen ke oksigen.

Protozoa umumnya mendapatkan makanan dengan memangsa organisme lain (bakteri) atau partikel organik, baik secara fagositosis maupun pinositosis. Protozoa yang hidup di lingkungan air, maka oksidan dan air maupun molekul-molekul kecil dapat berdifusi melalui membran sel. Senyawa makromolekul yang tidak dapat berdifusi melalui membran, dapat masuk sel secara pinositosis. Tetesan cairan masuk melalui saluran pada membran sel, saat saluran penuh kemudian masuk ke dalam membran yang berikatan dengan vakuola. Vakuola kecil terbentuk, kemudian dibawa ke bagian dalam sel, selanjutnya molekul dalam vakuola dipindahkan ke sitoplasma.

Partikel makanan yang lebih besar dimakan secara fagositosis oleh sel yang bersifat amoeboid dan anggota lain dari kelompok Sarcodina. Partikel dikelilingi oleh bagian membran sel yang fleksibel untuk ditangkap kemudian dimasukkan ke dalam sel oleh vakuola besar (vakuola makanan). Ukuran vakuola mengecil kemudian mengalami pengasaman. Lisosom memberikan enzim ke dalam vakuola makanan tersebut untuk mencernakan makanan, kemudian vakuola membesar kembali. Hasil pencernaan makanan didispersikan ke dalam sitoplasma secara pinositosis, dan sisa yang tidak tercerna dikeluarkan dari sel. Cara inilah yang digunakan protozoa untuk memangsa bakteri.

Pada kelompok Ciliata, ada organ mirip mulut di permukaan sel yang disebut sitosom. Sitosom dapat digunakan menangkap makanan dengan dibantu silia. Setelah makanan masuk ke dalam vakuola makanan kemudian dicernakan, sisanya dikeluarkan dari sel melalui sitopig yang terletak disamping sitosom.

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.

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.

6.2 Klasifikasi Protozoa

Klasifikasi atau pengelompokan protozoa didasarkan atas ada tidaknya alat gerak. Protozoa diklasifikasikan dalam 4 kelas, yaitu: Mastigophora, Sarcodina, Apicomplexa (Sporozoa), dan Ciliata (*Ciliophora*).

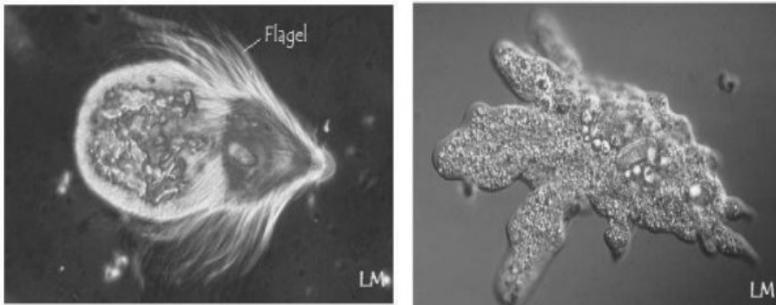
1. *Mastigophora*

Kelas protozoa yang memiliki flagel (bulu cambuk). Beberapa hidup bebas di air tawar dan air laut, tetapi sebagian besar hidup dengan bersimbiosis dengan tumbuhan atau hewan. Simbion antara *Trichonympha* yang tinggal di usus rayap dan memberikan enzim yang mampu mencerna selulosa. Spesies *Mastigophora* parasit pada manusia berasal dari genus, yakni: *Trypanosoma*, *Leishmania*, *Giardia*, dan *Trichomonas*. *Trypanosoma* menyebabkan penyakit tidur Afrika. *Leishmania* menyebabkan penyakit luka kulit atau penyakit sistemik dengan demam. *Giardia* menyebabkan diare. *Trichomonas* menyebabkan peradangan pada vagina. *Leishmania* juga digunakan sebagai troops (pasukan) Irak. Salah satu morfologi spesies *Mastigophora* dapat dilihat pada Gambar 1.

2. *Sarcodina*

Kelas protozoa yang bergerak dengan cara pseudopodia. Kelas ini juga bisa disebut Amoebozoa (klasifikasi terbaru). Beberapa *Sarcodina* memiliki flagel pada tahap tertentu dalam siklus hidupnya. Makanan dari spesies *Sarcodina* ini adalah mikroorganisme, seperti protozoa lain dan alga kecil. Spesies kelas ini adalah Foraminifera dan Radiolaria (bercangkang) yang hidup di laut dan *Amoeba* (tidak bercangkang) bersifat parasit. Beberapa spesies *Amoeba* mampu menghuni saluran

usus manusia dalam bentuk kista karena bentuk ini mampu menahan kondisi yang merugikan. Genus *Entamoeba*, *Dientamoeba*, *Endolimax*, dan *Iodamoeba* sering menyebabkan disentri. *Entamoeba gingivalis* ditemukan di mulut manusia. *Dientamoeba fragilis* ditemukan dalam usus besar manusia. Sementara ini cara penularan dapat diketahui, contohnya *E. histolytica* menyebabkan diare ringan dan kronis. Morfologi *Amoeba proteus* kelas Sarcodina dapat dilihat pada Gambar 16 dan 17.



(16)

(17)

Gambar 16 Morfologi *Trichonympha*

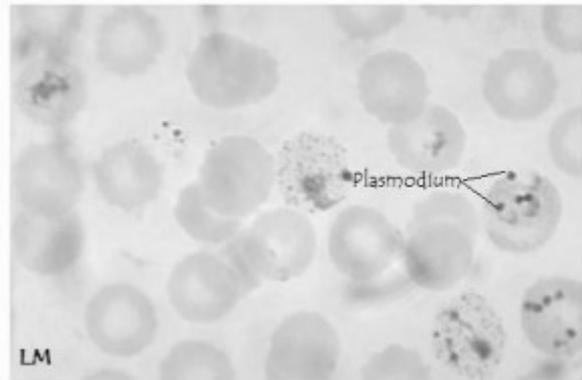
Gambar 17. Morfologi *Amoeba*

Kelas Mastigophora (Sumber: Black, 2008) *proteus*

3. *Apicomplexa (Sporozoa)*

Kelas protozoa yang lebih bersifat parasit dan tak punya alat gerak. Kelas ini dikenal dengan nama *Apicomplexa* (nama terbaru) atau *Sporozoa* (nama lama). Spesies *Sporozoa* ini memiliki organel yang menghasilkan enzim kompleks yang terletak di bagian ujung (apeks) dari sel. Enzim itu berfungsi mencerna (merusak) jalan sehingga spesies *Sporozoa* dapat masuk ke dalam sel inang. Kemampuan inilah yang digunakan untuk pemberian nama *Apicomplexa*. Contoh spesies *sporozoa* parasit adalah *Plasmodium* penyebab penyakit malaria. *Plasmodium* membutuhkan inang baik manusia maupun sejumlah nyamuk. Morfologi *Plasmodium* nampak seperti Gambar 3. Sporozoit berada pada kelenjar ludah nyamuk yang terinfeksi. Sporozoit masuk ke dalam darah manusia lewat gigitan nyamuk. Sporozoit bergerak ke hati dan

menjadi merozoit. Setelah umur 10 hari, merozoit kembali ke dalam darah dan menyerang sel-sel darah merah serta berubah menjadi trophozoit. Trophozoit bereproduksi secara asexual untuk menghasilkan lebih banyak merozoit yang dilepaskan ke dalam darah oleh pecahnya sel darah merah. Perbanyakan dan pelepasan merozoit diulang beberapa kali selama serangan malaria. Beberapa merozoit memasuki fase reproduksi seksual dan menjadi gametosit (sel gamet jantan dan betina). Ketika nyamuk mengambil darah dari manusia yang terinfeksi malaria, gametosit tersedot dan masuk ke lapisan perut (usus) dalam bentuk zigot. Zigot melewati dinding perut (usus) dan menghasilkan sporozoit, yang akhirnya mereka menuju ke kelenjar air liur nyamuk.



Gambar 18 Morfologi Plasmodium dalam Sel Darah Merah
(Sumber: Black, 2008)

4. *Ciliata (Ciliophora)*

Kelas protozoa yang paling banyak dan memiliki silia (bulu getar) di permukaan selnya. Tubuh basal silia tertanam dalam sitoplasma sel. Silia berfungsi sebagai alat gerak dan membantu pengumpulan makanan seperti pada *Paramecium*. Ciliata parasit manusia yang menyebabkan disentri adalah *Balantidium coli*. Ciliata mempunyai beberapa struktur yang sangat khusus. Kebanyakan Ciliata memiliki vakuola kontraktil yang berkembang dengan baik yang mengatur cairan sel. Beberapa memiliki pelikel (alat konjugasi dan reproduksi). Ciliata memiliki trikosit (tentakel atau alat pertahanan) yang

dapat digunakan untuk menangkap mangsa dan untuk menempel pada substrat. Ciliata juga melakukan konjugasi, namun tidak seperti konjugasi bakteri. Dimana satu sel bakteri menerima informasi genetik (DNA) dari yang lain. Konjugasi Ciliata memungkinkan terjadinya pertukaran informasi genetik (DNA) antara dua organisme.

Kesimpulan

Protozoa dikelompokkan berdasarkan ada tidaknya alat gerak, yaitu kelas Mastigophora, Sarcodina, Apicomplexa (*Sporozoa*), dan Ciliata (*Ciliophora*). Alga merupakan organisme eukariotik autotrof yang memiliki bentuk mikroskopis uniseluler (mikroalga) dan multiseluler dengan struktur kompleks (makroalga). Alga memiliki ukuran antara 1µm sampai 100 m.

Soal Evaluasi

Tipe Pilihan Ganda (PG)

1. Alasan yang tepat mengenai perbedaan protozoa dan hewan adalah ...
 - a. Protozoa dan hewan, memiliki alat gerak berupa flagel dan silia
 - b. Protozoa dan hewan, bersifat heterotrof
 - c. Protozoa dan hewan, merupakan organisme eukariotik
 - d. Protozoa dan hewan, hidup di air dan di darat
2. Urutan yang tepat mengenai siklus hidup plasmodium penyebab penyakit malaria sebagai berikut ...
 - a. *Sporozoit-Merozoit-Tropozoit-Gametosit-Zigot*
 - b. *Zigot-Merozoit-Sporozoit-Gametosit-Tropozoit*
 - c. *Sporozoit-Zigot-Merozoit-Tropozoit-Gametosit*
 - d. *Gametosit-Zigot-Sporozoit-Tropozoit-Merozoit*

Daftar Pustaka

- Apriyanto Mulono, 2022. *Pengetahuan Dasar Bahan Pangan*. CV. AA. Rizky.
- Black, Jacquelyn G. 2008. *Microbiology: Principles and Explorations* (7th Edition). Marymount University, Arlington, Virginia.

- Campbell, Neil. A., Reece, Jane. B., Urry, Lisa. A., Cain, Michael. L., Wasserman, Steven. A., Minorsky, Peter. V., and Jackson, Robert. B. 2008. *Biologi* (Edisi Kedelapan, Jilid 2). Jakarta: Erlangga.
- Carlile, Michael J., Watkinson, Sarah C., and Gooday, Graham W. 2001. *The Fungi*. London: ACADEMIC PRESS.
- Carter, John., and Saunders, Venetia. 2007. *Virology: Principles and Applications*. Liverpool John Moores University, UK: England.
- Deacon, J. W. 2006. *Fungal Biology* (4th edition). Australia: BlackWell Publishing.
- Fan, Frank., and McDevitt, Damien. 2002. Microbial Genomics for Antibiotic Target Discovery. *Methods In Microbiology*, Volume 33. Microbial, Musculoskeletal and Proliferative Diseases CEDD, GlaxoSmithKline, South Collegeville Road, USA.
- Fatimawali. 2013. Identifikasi Mikrobiologi dan Analisis Gen 16S rRNA Bakteri Resisten Merkuri Isolat S3.2.2 yang Diperoleh dari Limbah Tambang Rakyat (*Pharmakon: Jurnal Ilmiah Farmasi* Vol.2, No.04-November 2013, ISSN 2302-2493). Manado: Program Studi Farmasi FMIPA UNSRAT.
- Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, *Dasar-Dasar Mikrobiologi*, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta
- Pratiwi, T. Silvia. 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Yogyakarta. Erlangga

BAB 7 VIRUS

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub Pokok Bahasan
7	Mahasiswa menjelaskan Virus	Virus	7.1. Sejarah virus 7.2. Pengertian Virus 7.3. Bentuk dan Ukuran virus 7.4. Klasifikasi Virus 7.5. Replikasi Virus 7.6. Peran dan Penyakit akibat Virus

7.1. Sejarah Virus

Virus merupakan suatu partikel yang masih diperdebatkan statusnya apakah ia termasuk makhluk hidup atau benda mati. Virus dianggap benda mati karena ia dapat dikristalkan, sedangkan virus dikatakan benda hidup, karena virus dapat memperbanyak diri (replikasi) dalam tubuh inang. Para ahli biologi terus mengungkap hakikat virus ini sehingga akhirnya partikel tersebut dikelompokkan sebagai makhluk hidup dalam dunia tersendiri yaitu virus. Virus merupakan organisme non-seluler, karena ia tidak memiliki kelengkapan seperti sitoplasma, organel sel, dan tidak bisa membelah diri sendiri.

Penyelidikan tentang objek-objek berukuran sangat kecil di mulai sejak ditemukannya mikroskop oleh Antony Van Leeuwenhoek (1632-1723) perkembangan mikroskop ini mendorong berbagai penemuan dibidang biologi salah satunya partikel mikroskopik yaitu virus.

Beberapa tokoh dalam penemuan virus pertama yaitu:

- a. Adoft Mayer (1883, Jerman)

Percobaan diawali dari munculnya penyakit bintik kuning pada daun tembakau. Ia mencoba menyempatkan getah tanaman sakit ke tanaman sehat, hasilnya tanaman.

b. Dmitri Ivanovski (1892, Rusia)

Ia mencoba menyaring getah tanaman yang sakit dengan filter bakteri sebelum disemprotkan ke tanaman sehat. Hasilnya, tanaman sehat tetap tertular. Ia menyimpulkan bahwa ada partikel yang lebih kecil lagi dari bakteri yang lolos saringan yang menularkan penyakit.

c. Martinus W. Beijerinck (1896, Belanda)

Ia menemukan bahwa partikel itu dapat bereproduksi pada tanaman, tapi tidak pada medium pertumbuhan bakteri. Ia menyimpulkan bahwa partikel itu hanya dapat hidup pada makhluk hidup yang diserangnya.

d. Wendel M. Stanley (1935, Amerika)

Ia berhasil mengkristalkan partikel tersebut. Partikel mikroskopis itu lalu dinamai TMV (Tobacco Mosaic Virus).

7.2. Pengertian Virus

Virus berasal dari bahasa Yunani “Venom” yang berarti racun. Virus adalah parasit mikroskopik yang menginfeksi sel organisme biologis. Secara umum virus merupakan partikel tersusun atas elemen genetik (genom) yang mengandung salah satu asam nukleat yaitu asam deoksiribonukleat (DNA) atau asam ribonukleat (RNA) yang dapat berada dalam dua kondisi yang berbeda, yaitu secara intraseluler dalam tubuh inang dan ekstraseluler diluar tubuh inang. Virus memiliki sifat hidup dan mati. Sifat hidup (siseluler) yaitu memiliki asam nukleat namun tidak keduanya (hanya DNA atau RNA), dapat bereproduksi dengan replikasi dan hanya dapat dilakukan di dalam sel inang (parasit obligat intraseluler). Sifat mati (aseluler) yaitu dapat dikristalkan dan dicairkan. Struktur berbeda dengan sel dan tidak melakukan metabolisme sel.

Partikel virus secara keseluruhan ketika berada di luar inang yang terdiri dari asam nukleat yang dikelilingi oleh protein dikenal dengan nama virion. Virion tidak melakukan aktivitas biosintesis dan reproduksi. Pada saat virion memasuki sel inang, baru kemudian akan terjadi proses reproduksi. Virus ketika memasuki sel inang akan mengambil alih aktivitas inang untuk menghasilkan komponen-komponen pembentuk virus.

7.3. Bentuk dan Ukuran Virus

Virus memiliki ukuran 20-1000 nm. Virus hanya memiliki lapisan eksternal yang disebut kapsid dan mengandung asam nukleat (DNA atau RNA saja) serta enzim. Virus tersusun atas protein pembungkus (terkadang tertutupi oleh selubung yang tersusun atas lipid, protein, dan karbohidrat) yang mengelilingi asam nukleat. Adanya sintesis dari struktur yang terspesialisasi yang dapat mentransfer asam nukleat ke sel yang lain. Virus memiliki sedikit enzim atau bahkan tidak memiliki enzim (Tortora dkk, 2010). Virus tidak memiliki inti sel, organel, dan sitoplasma yang dikenal dengan istilah aselular. Virus dapat bereplikasi (memperbanyak diri) hanya pada sel inang hidup, sehingga disebut parasit obligat intraseluler. Bentuk virus bervariasi dari segi ukuran, bentuk dan komposisi kimianya. Bentuk virus ada yang berbentuk bulat, oval, memanjang, silindaris, dan ada juga yang berbentuk T. Ukuran Virus sangat kecil, hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop elektron, ukuran virus lebih kecil daripada bakteri. Ukurannya berkisar dari 0,02 mikrometer sampai 0,3 mikrometer ($1 \mu\text{m} = 1/1000 \text{ mm}$). Unit pengukuran virus biasanya dinyatakan dalam nanometer (nm). 1 nm adalah 1/1000 mikrometer dan seperjuta milimeter. Virus cacar merupakan salah satu virus yang ukurannya terbesar yaitu berdiameter 200 nm, dan virus polio merupakan virus terkecil yang hanya berukuran 28 nm.



Gambar 19 Bentuk Virus

Genom virus dikemas dan dibungkus oleh sebuah struktur protein yang disebut dengan kapsid. Kapsid tersusun atas banyak molekul protein yang disebut dengan kapsomer. Berdasarkan tipe kapsomernya, bentuk umum kapsid virus adalah heliks atau ikosahedral. Kapsid berfungsi untuk melindungi genom dan mengenali sel inang. Kapsid heliks memiliki kapsomer yang berbentuk batang dengan ikatan kovalen untuk membentuk serangkaian cakram berlubang yang menyerupai gelang. Cakram tersebut akan berhubungan dengan cakram lain untuk membentuk heliks asam nukleat yang melingkar.

Virus yang memiliki bentuk kapsid ini adalah TMV (Tobacco Mozaic Viruses) dan virus influenza, campak, dan rabies. Kapsid ikosahedral mengandung 252 molekul protein yang tersusun membentuk kapsid polisahedral dengan sisi 20 triangular. Virus yang memiliki kapsid ikosahedral adalah Adenovirus. Herpesvirus, Papovavirus, dan Reovirus juga memiliki kapsid ikosahedral. Susunan tubuh virus terdiri : Kapsid, Isi, Kepala, Ekor.

1. Kapsid

Kapsid adalah lapisan pembungkus tubuh virus yang tersusun atas protein. Kapsid terdiri dari sejumlah kapsomer yang terikat satu sama lain. Fungsi: a. Memberi bentuk virus, b. Pelindung dari kondisi lingkungan yang merugikan, c. Mempermudah penempelan pada proses penembusan ke dalam sel.

2. Isi

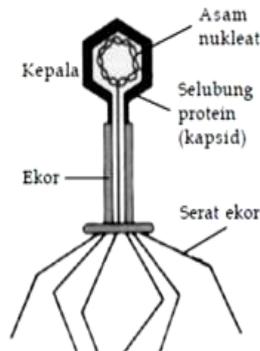
Terdapat di sebelah dalam kapsid berupa materi genetik/molekul pembawa sifat keturunan yaitu DNA atau RNA. Virus hanya memiliki satu asam nukleat saja yaitu satu DNA/satu RNA saja, tidak kedua-duanya. Asam nukleat sering bergabung dengan protein disebut nukleoprotein. Virus tanaman/hewan berisi RNA/DNA, virus fage berisi DNA.

3. Kepala

Kepala virus berisi DNA, RNA dan diselubungi oleh kapsid. Kapsid tersusun oleh satu unit protein yang disebut kapsomer.

4. Ekor

Serabut ekor adalah bagian yang berupa jarum dan berfungsi untuk menempelkan tubuh virus pada sel inang. Ekor ini melekat pada kepala kapsid. Struktur virus ada 2 macam yaitu virus telanjang dan virus terselubung (bila terdapat selubung luar (envelope) yang terdiri dari protein dan lipid). Ekor virus terdiri atas tabung bersumbat yang dilengkapi benang atau serabut. Khusus untuk virus yang menginfeksi sel eukariotik tidak memiliki ekor.



Gambar 20 Susunan Tubuh Virus

7.4. Klasifikasi Virus

Sebelum ditemukan struktur dan sifat kimia pada virus. Para ahli Virologi mengklasifikasikan virus berdasarkan jenis inang yang diinfeksi. Sehingga, virus dikelompokkan menjadi virus bakteri (*bakteriophage*), virus tanaman, dan virus hewan. Virus hewan dikelompokkan menjadi; dematropic (virus penginfeksi kulit), neurotropic (virus penginfeksi jaringan saraf), viscerotropic (virus penginfeksi saluran pencernaan), dan pneumatropic (virus penginfeksi saluran pernapasan). Saat ini untuk keperluan klasifikasi virus maka digunakan beberapa karakteristik yaitu: (1) apakah mengandung asam nukleat berupa DNA atau RNA, (2) apakah asam nukleat berupa untai tunggal atau ganda, (3) apakah genom tersegmentasi, (4) ukuran virion, (5) apakah kapsid memiliki simetri heliks dan ikosahedral, dan (6) apakah virion telanjang atau terselubungi. Black (2008) menambahkan klasifikasi virus berdasarkan asam nukleat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Klasifikasi Virus berdasarkan Asam Nukleat

Famili	Bentuk Selubung Eksternal dan Kapsid	Ukuran (nm)	Contoh (Genus atau Spesies)	Infeksi atau Penyakit
Virus RNA Untai Tunggal (+)				
Picornaviridae	Telanjang, polihedral	18-30	Enterovirus, Rhinovirus, Hepatovirus	Polio Flu (Pilek) Hepatitis A
Togaviridae	Terselimuti, polihedral	40-90	Rubella virus Equine encephalitis virus	Campak Jerman Ensefalitis kuda
Flaviviridae	Terselimuti, polihedral	40-90	Flavivirus	Demam
Retroviridae	Terselimuti, Bulat	100	HTLV-1 HIV	Leukemia, tumor AIDS
Virus RNA Untai tunggal (-)				
Paramyxoviridae	Terselimuti, Heliks	150-200	<i>Morbillivirus</i>	Campak
Rhabdoviridae	Terselimuti, Heliks	70-180	<i>Lyssavirus</i>	Rabies
Orthomyxoviridae (8 segmen)	Terselimuti, Heliks	100-200	<i>Influenzavirus</i>	Influenza A dan B
Famili	Bentuk Selubung Eksternal dan Kapsid	Ukuran (nm)	Contoh (Genus atau Spesies)	Infeksi atau Penyakit
Filoviridae	Terselimuti, Filamen	80	<i>Filovirus</i>	Ebola
Bunyaviridae (3 segmen)	Terselimuti, Bulat	90-120	<i>Hantavirus</i>	Gangguan pernapasan, Demam dengue
Virus RNA Untai Ganda				

Reoviridae	Telanjang, Polihedral	70	<i>Rotavirus</i>	Infeksi saluran pernapasan dan pencernaan
Virus DNA Rantai Ganda				
Adenoviridae (DNA rantai Lurus)	Telanjang, Polihedral	75	<i>Human adenoviruses</i>	Infeksi saluran pernapasan
Herpesviridae (DNA rantai lurus)	Terselimuti, Polihedral	120-200	<i>Simplexvirus</i> <i>Varicellovirus</i>	Herpes oral dan genital Cacar air, herpes ayam
Poxviridae (DNA rantai lurus)	Terseliputi, bentuk kompleks	230 x 270	<i>Orthopox virus</i>	Cacar, cacar sapi
Papovaviridae (DNA rantai melingkar)	Telanjang, polihedral	45-55	<i>Human Papilloma viruses</i>	Kutil, kanker servix dan penis
Hepadnaviridae	Terselimuti, polihedral	40-45	<i>Virus Hepatitis B</i>	Hepatitis B
Virus DNA Rantai Tunggal				
Parvoviridae (DNA rantai lurus)	Telanjang, polihedral	22	<i>B19</i>	Erythema infectiosum pada anak-anak

Nama famili ditandai dengan akhiran viridae. Nama subfamili diberi akhiran virinae. Nama akhiran genus diberi akhiran virus. Lwoff, Horne & Tournier adl ahli dalam taksonomi virus, berdasarkan kriteria:

1. Jenis asam nukleat (DNA/ RNA) berantai ganda/ tunggal
2. Ukuran & morfologi tmsk tipe simetri kapsid
3. Adanya enzim spesifik, terutama polimerase RNA & DNA yang penting bg replikasi genom
4. Kepekaan thd zat kimia & keadaan fisik

5. Cara penyebaran alamiah
6. Gejala2 yang timbul
7. Ada tidaknya selubung
8. Banyaknya kapsomer untuk virus ikosohedarial/ diameter nukleokapsid untuk virus helikoidal.

Saat ini telah lebih dari 61 famili virus diidentifikasi, 21 diantaranya mempunyai anggota yang mampu menyerang manusia dan binatang.

Menurut RNA, famili virus dibagi mjd :

1. Picontohnaviridae 8. Rhabdoviridae
2. Caliciviridae 9. Filoviridae
3. Togaviridae 10. Paramyxoviridae
4. Flaviviridae 11. Orthomyxoviridae
5. Bunyaviridae 12. Reoviridae
6. Arenaviridae 13. Retroviridae
7. Contohronaviridae

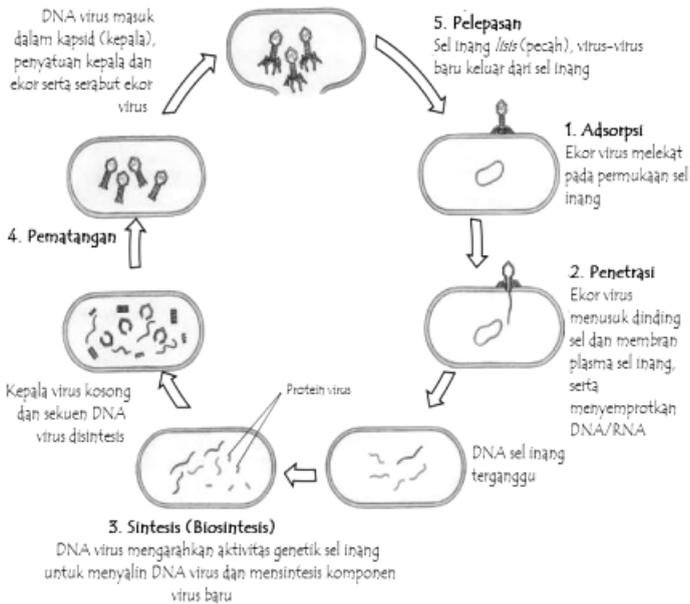
Menurut DNA, famili virus dibagi mjd :

1. Adenoviridae 4. Papovaviridae
2. Herpesviridae 5. Parvoviridae
3. Hepadnaviridae 6. Poxviridae

Selain itu tdpt kelompok virus yang belum dpt diklasifikasikan (unclassified virus) karena banyak sifat biologiknya belum diketahui.

7.5. Replikasi Virus

Virus memanfaatkan metabolisme sel penjamu untuk membantu sintesis protein virus dan virion baru; jenis sel yang dapat diinfeksi oleh virus dapat sedikit dapat banyak. Untuk tujuan diagnostik, sebagian besar virus ditumbuhkan dalam biakan sel, baik turunan sel sekunder atau kontinu; pemakaian telur embrionik dan hewan percobaan untuk membiakan virus hanya dilakukan untuk investigasi khusus. Jenis biakan sel untuk mengembang biakan virus sering berasal dari jaringan tumor, yang dapat digunakan secara terus menerus. replikasi bakteriofag terdiri atas lima tahap, yakni: (1) adsorpsi, (2) penetrasi, (3) sintesis, (4) pematangan, dan (5) pelepasan. Replikasi virus secara umum dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21 Reproduksi Virus Secara Umum

Penjelasan kelima tahap reproduksi virus secara umum sebagai berikut :

1. Peletakan/Adsorpsi adalah tahap penempelan virus pada dinding sel inang. Virus menempelkan sisi tempel/reseptor site ke dinding sel bakteri. Adsorpsi terjadi bila molekul virus mengenali molekul (reseptor) pada selubung eksternal bakteri inang. Bagian bakteri inang yang berfungsi sebagai reseptor virus adalah molekul permukaan dinding sel, pili, dan flagel. Bila ekor virus sudah melekat di permukaan bakteri inang, maka posisi ini akan memberikan peluang pada virus untuk melakukan penetrasi.
2. Penetrasi sel inang yaitu enzim dikeluarkan untuk membuka dinding sel bakteri. Virus yang berada di luar bakteri inang kondisinya tetap tidak aktif. Namun, virus memiliki mekanisme yang bagus agar asam nukleatnya (DNA/RNA) masuk dalam sitoplasma bakteri inang, yaitu penyuntikan DNA/RNA melalui ekor virus yang sudah melekat di permukaan bakteri inang. Asam nukleat virus yang berupa di

bagian dalam sel bakteri akan mampu menyelesaikan siklus hidupnya.

3. Sintesis (Perakitan komponen-komponen virus baru)

Masuknya DNA/RNA virus pada bagian dalam bakteri inang akan memberikan perubahan besar pada kegiatan sel bakteri inang. DNA virus akan mengalihkan aktivitas genetik dan metabolik bakteri inang. Akan tetapi, bakteri inang akan menyalin DNA virus yang akan digunakan untuk mensintesis komponen virus baru, seperti: (1) protein penutup lubang penetrasi pada permukaan bakteri inang agar tidak hancur, (2) enzim untuk menyalin genom (DNA) virus, (3) protein pembentuk kapsid dan bagian ekor virus, dan (4) protein yang membantu melemahkan dinding sel bakteri sehingga memungkinkan virus baru keluar sel bakteri inang. Pada fase ini virus akan memanfaatkan semua molekul di sitoplasma, ribosom, dan pasokan energi bakteri inang. Bagian virus yang pertama dirakit adalah kapsid dan ekor. DNA virus akan dimasukkan ke dalam kapsid sebelum kapsomer benar-benar bergabung dan sebelum kapsid bersatu dengan ekor.

4. Pematangan.

Setelah semua komponen-komponen virus baru disintesis di dalam sel bakteri inang. DNA akan masuk pada kapsid dan kapsid akan menyatu dengan ekor virus, sehingga menjadi virus baru. Jumlah virus baru terus bertambah di dalam sel bakteri inang sampai pada batas tertentu sesuai volume sel inang, kurang lebih 3000-4000 partikel virus (virion). Virus baru itu akan memanfaatkan semua molekul yang ada sitoplasma sel inang sampai mereka siap untuk keluar dari sel inang.

5. Pelepasan Virus Baru dari Sel Inang

Pelepasan virus baru dapat terjadi melalui 2 cara, yaitu pelepasan virus telanjang dan virus kompleks ketika sel bakteri inang pecah (lisis). (1) Pelepasan virus telanjang, diawali dari nukleokapsid melekat pada membran plasma bagian dalam dan membentuk budding virus sehingga virus telanjang tadi memiliki selubung eksternal yang berasal membran plasma sel bakteri inang. (2) Pelepasan virus kompleks, terjadi ketika protein yang melemahkan dinding sel berfungsi sehingga

dinding sel bakteri inang mengalami kerusakan (lisis). Akhirnya virus kompleks dapat keluar dari sel bakteri inang.

Siklus replikasi virus penginfeksi bakteri (bakteriofag) dapat dilakukan dengan dua mekanisme, yakni: siklus litik dan lisogenik.

1) Siklus Litik

Siklus ini menyebabkan bakteri inang rusak total karena terjadi lisis (pecah), peristiwa ini mempermudah virus-virus baru keluar dari bakteri inang. Di bawah ini merupakan penjelasan dari tahap-tahap pada siklus lisis.

a. Pelekatan (adsorpsi)

Serat virus berikatan dengan reseptor spesifik pada permukaan bakteri inang (*E. coli*)

b. Masuknya DNA virus (penetrasi/injeksi) dan degradasi DNA inang. Seludang virus berkontraksi untuk menyuntikkan DNA ke dalam sel bakteri inang dan DNA sel bakteri inang dihidrolisis.

c. Sintesis genom dan protein virus

DNA virus mengarahkan produksi protein-protein dan salinan (perbanyak) genom virus melalui enzim dan komponen-komponen sel bakteri inang.

d. Perakitan

Protein-protein yang terpisah merakit menjadi kapsid dan bagian lain virus. Genom virus dimasukkan ke dalam kapsid saat kepala virus terbentuk.

e. Pelepasan virus-virus baru

Virus memproduksi sejenis enzim yang merusak dinding sel bakteri inang, membuat cairan luar sel masuk, sel menggebung dan akhirnya sel bakteri inang pecah. 100-200 virus baru dapat keluar dari sel bakteri inang.

2) Siklus Lisogenik

a. Perlekatan (adsorpsi)

Virus berikatan dengan reseptor permukaan sel bakteri inang.

b. Memasukkan DNA virus

Virus menyuntikkan DNA ke dalam sel bakteri inang. DNA berbentuk sirkular (melingkar) di dalam sel bakteri inang.

- c. Penggabungan DNA virus dengan DNA inang (profag). Bergabungnya DNA virus dengan DNA inang yang disebabkan oleh beberapa faktor tertentu. DNA virus yang tergabung itu disebut profag.
- d. Perbanyak profag
Perbanyak profag terjadi karena sel bakteri inang melakukan pembelahan biner secara normal. Salinan Profag akhirnya terwariskan pada sel-sel anakan bakteri inang. Pembelahan sel bakteri inang berlangsung berkalkali sehingga menghasilkan populasi yang besar yang juga terinfeksi oleh profag.
- e. Pelepasan profag dari sel bakteri inang
Tekadang profag terlepas dari DNA sel bakteri inang dan mampu mensintesis komponen-komponen virus baru. Jika komponen virus baru (DNA-kapsid-ekor) sudah menyatu, maka virus baru akan keluar dari sel bakteri inang dengan mekanisme lisis.

7.6. Peran dan Penyakit Akibat Virus

Di dalam kehidupan, virus memiliki 2 peran, yaitu peran virus sebagai mikro organisme yang menguntungkan, maupun yang merugikan. Virus yang menguntungkan: Virus berperan penting dalam bidang rekayasa genetika karena dapat digunakan untuk cloning gen (reproduksi DNA yang secara genetis identik). Sebagai contoh adalah virus yang membawa gen untuk mengendalikan pertumbuhan serangga. Virus juga digunakan untuk terapi gen manusia sehingga diharapkan penyakit genetik, seperti diabetes dan kanker dapat disembuhkan.

Proses infeksi virus dpt melalui berbagai jaringan.

- Melalui saluran pernafasan; contoh : virus influenza penyebab influenza, virus rubeola penyebab campak, coronavirus penyebab SARS, virus variola penyebab penyakit cacar, virus varicella penyebab penyakit cacar air.
- Melalui saluran pencernaan; contoh : virus hepatitis A,B, poliomielitis penyebab polio, rotavirus penyebab diare.
- Melalui kulit & mukosa genitalia; contoh : virus herpes simplex1 penyebab stomatitis, flavivirus penyebab DBD, rabies penyebab rabies, cytomegalovirus penyebab hepatitis

- Melalui plasenta; contoh : virus rubella, cytomegalovirus.
Beberapa virus yang merugikan

1. Virus Hepatitis

Hepatitis adalah istilah umum yang berarti radang hati dan dapat disebabkan oleh berbagai virus yang berbeda seperti virus hepatitis A, B, C, D, E. Karena perkembangan penyakit kuning merupakan fitur karakteristik penyakit hati.

a) Virus Hepatitis A (HAV)

Anggota virus famili picornaviridae, genus hepatovirus, virus RNA tidak berselubung berukuran 28-32 nm, hanya terdiri dari satu serotipe.

Epidemiologi : Sumber ledakan kasus biasanya air minum dan makanan yang tercemar. Sebagian besar infeksi di daerah endemis (negara berkembang, kelompok sosial ekonomi rendah). Kebanyakan bersifat asimtomatis. Pernah terjadi ledakan kasus akibat pengelolaan makanan yang terinfeksi dan ingesti kerang yang tercemar.

Patogenesis : Transmisi terjadi secara fekal-oral. Dengan masa tunas 3-5 minggu (rata-rata 30 hari). Virus terdapat dalam darah sejak 2 minggu sebelum hingga 1 minggu sesudah timbul ikterus dan sedikit lama di tinja. Semua kelompok usia rentan terjangkit infeksi hepatitis A dan keparahan penyakit meningkat seiring peningkatan usia. Kadang kadang HAV juga ditularkan melalui kontak seksual (anal-oral) dan transfusi darah.

Sebagian besar kasus terjadi pemulihan sempurna, dengan respons antibodi spesifik yang menetap seumur hidup. Tidak terdapat carrier atau penyakit kronis. Diagnosis : diagnosis ditegakkan dengan melalui pemeriksaan serologi (EIA) terhadap IgM spesifik HAV (Infeksi Akut) atau IgG (*statusimun*). Terapi : pengobatan simptomatik dan suportif.

Pencegahan : Sanitasi yang adekuat dan higiene perorangan yang baik akan menurunkan transmisi HAV. Vaksin inaktif telah tersedia untuk perlindungan secara aktif. Individu dapat secara pasif terlindungi dengan menggunakan imunoglobulin.

b) Virus Hepatitis B (HBV)

Dari beberapa penyakit akibat virus hepatitis, virus hepatitis B memperoleh perhatian lebih besar secara global. Hepatitis B merupakan penyakit menular yang serius dan umum dari hati. Merupakan anggota dari famili hepadnaviridae, virus DNA berukuran kecil beruntai ganda parsial 3,2 kb yang mengkode tiga protein permukaan, yaitu antigen permukaan (HbsAg), Antigen inti (HbcAG), protein pra inti (HbeAg), protein polimerase aktif yang besar, dan protein transaktivator.

Epidemiologi : Virus hepatitis B tersebar ke seluruh dunia, dengan lebih dari 200 carrier. Sekitar 10 % pasien hepatitis B akut akan menjadi kronis. Insiden bervariasi berbanding terbalik dengan usia sekitar 90 % pada neonatus dan < 10 % pada orang dewasa akan mengalami hepatitis B kronis.

Patogenesis : HBV ditransmisikan melalui rute parenteral (melalui darah dan produk darah), kongenital, dan seksual. Secara vertikal melalui pasase di jalan lahir (ini merupakan cara penularan di afrika dan asia). Masa tunas 50-180 hari. Replikasi virus hepar menyebabkan lisis hepatosit oleh sel T sitotoksik. Kerusakan hepar pulih dalam 8-12 minggu pada $\geq 90\%$ kasus ; menjadi carrier kronis (HBsAg menetap > 6 bulan). 95% bayi baru lahir dari ibu carrier ini akan menjadi carrier jika tidak di obati. Penyakit yang di sebabkan oleh HBV adalah Hepatitis akut, kronis, dan fulminan; sirosis hepatis; dan karsinoma hepatoseluler.

Diagnosis : tes serologis dilakukan dengan immunoassay untuk mendeteksi HBcAg, HBeAg, dan antibodi terhadap HBcAg (IgM dan IgG), anti HBsAg; deteksi asam nukleat.

Terapi : Interferon-A, Lamivudin, atau Adefovir.

Pencegahan; vaksin HBV. Imunoglobulin HBV untuk profilaksi pascapajanan dan neonatus dari ibu carrier. Tidak ada terapi spesifik antiviral untuk hepatitis B akut. Pencegahan dengan melakukan pemeriksaan penyaring

terhadap donor darah produk darah, pemakaian alat dan jarum sekali pakai, serta sterilisasi yang efisien terhadap instrumen medis. Tersedia vaksin HbsAg rekombinan dan perlu diberikan kepada kelompok berisiko, terutama petugas kesehatan. Imunoglobulin spesifik (imunisasi pasif) dapat diberikan kepada orang yang belum memiliki kekebalan namun terpajan HBV (misal: pada luka tertusuk jarum suntik) dan kepala bayi yang lahir dari ibu dengan HbeAg positif (carrier).

c) Virus Hepatitis C (HCV)

HCV adalah virus RNA yang masih berhubungan dengan genus pestivirus dari famili flaviviridae dengan diameter 4-50 nm. Terdapat variabilitas genom yang tertinggi dengan sedikitnya enam genotip berbeda (paling tidak terdapat enam 1-6) dan beberapa sub tipe.

Epidemiologi :HCV terdapat diseluruh dunia. Prevalensi antibodi bervariasi antara < 1 % di AS dan Eropa barat dan 2% di Italia bagian selatan, Spanyol, dan Eropa Tengah. Angka prevalen yang lebih tinggi, hingga 20%, terdeteksi di Mesir. Angka prevalensi yang tinggi juga di jumpai pada para pemakai narkoba intravena.

Patogenesis :HCV memiliki patogenesis serupa dengan HBV; tetapi, berbeda dengan HBV infeksi meningkat menjadi hepatitis kronis pada 60-80% kasus. Masa tunas 2-6 bulan. Sebagian besar infeksi tidak menimbulkan gejala (80%) dan kasus simtomatis hepatitis yang terjadi biasanya ringan.

Diagnosis : ditegakkan dengan pemeriksaan serologi yaitu EIA untuk mendeteksi antibodi HCV dan dengan metode deteksi asam nukleat.

Terapi : Interferon-A dan Ribavirin.

Pencegahan : prinsipnya sama dengan pencegahan HBV.

d) Virus Hepatitis D (HDV)

Virus hepatitis D adalah sebuah virus RNA cacat yang dapat bereplikasi hanya pada sel yang terinfeksi HBV.

Epidemiologi : tersebar di seluruh dunia. Prevalensi tinggi di daerah mediterania, Afrika, Amerika Selatan, Jepang, dan Timur Tengah. Virus ini juga memiliki cara penularan dan kelompok resiko yang sama dengan yang dijumpai pada HBV. Patogenesis : infeksi berupa ko-infeksi bersama HBV.

Diagnosis : serologi (EIA) dapat digunakan untuk mendeteksi antibodi dan antigen HDV. Pencegahan: Vaksin HBV

e) Virus Hepatitis E (HEV)

Morfologi, ukuran dan susunan genom mirip calicivirus tetapi virus ini blm diklasifikasikan tersendiri. Serotipe tunggal.

Epidemiologi :endemis di sub komtinen India, Asia Tenggara, Timur Tengah, Afrika Utara, Dan Amerika Tengah. Sumber ledakan kasus adalah air dan makanan yang tercemar. Di negara maju kasus sporadis ditemukan pada pelancong yang baru kembali dari daerah endemis.

Patogenesis : penularan melalui fecal-oral dan melalui transfusi darah di negara endemis (jarang). Masa tunas 6 minggu. Infeksi memicu pembentukan antibodi IgM dan IgM spesifik. Penyakit yang disebabkan oleh HEV yaitu hepatitis akut swasirna tanpa tanda-tanda infeksi kronis. Angka kematian tinggi (10-20%) pada wanita hamil. Diagnosis : serologi; deteksi asam nukleat.

2. Human Immunodeficiency Virus (HIV)

Merupakan anggota subfamili lentivirinae dari famili retroviridae. Virus RNA berselubung. Dengan diameter 100-150 nm. HIV adalah retrovirus yang biasanya menyerang organ vital sistem kekebalan manusia seperti sel TCD4+(sejenis sel T), makrofaf, dan sel dendritik. Bereplikasi melalui DNA perantana menggunakan DNA polimer yang dikendalikan oleh RNA (reverse transcriptase). Terdapat 2 tipe yaitu: HIV-1 dan HIV-2. HIV-1 dibagi menjadi 3 kelompok: kelompok M, O, N.

Epidemiologi: sejak tahun 1981 telah terjadi penyebaran HIV ke seluruh dunia. Perkiraan prevalensi diseluruh dunia sangat bervariasi. Kelompok utama yang berisiko terinfeksi

HIV adalah: Homoseksual, Pemakai narkoba intravena, Penderita Hemofilia dan penerima transfusi darah. Orang yang sering berganti pasangan seksual, anak yang lahir dengan ibu yang terinfeksi HIV, kontak heteroseksual dengan orang yang terinfeksi.

Patogenesis: HIV secara langsung dan tidak langsung merusak sel T CD4+, padahal sel T CD4+ dibutuhkan agar sistem kekebalan tubuh berfungsi baik. Jika HIV membunuh sel T CD4+ sampai terdapat kurang dari 200 sel T CD4+ permikroliter(μ L) darah, kekebalan selular hilang, dan akibatnya ialah kondisi yang disebut AIDS. Infeksi akut HIV dilanjutkan dengan infeksi HIV laten klinis sampai terjadinya gejala infeksi HIV awal dan kemudian AIDS, yang diidentifikasi berdasarkan jumlah sel T CD4+ di dalam darah dan adanya infeksi tertentu. AIDS merupakan bentuk terparah akibat infeksi HIV. Setelah infeksi primer, berlangsung fase infeksi asimtomatik selama 2-15 tahun. Selama periode ini terjadi produksi HIV dalam jumlah besar dan menurun jumlah limfosit. Penyakit yang diakibatkan oleh HIV, AIDS ditandai oleh penyakit berat akibat infeksi generalisasi oleh bakteri, virus, jamur, protosoa bahkan tumor.

Diagnosis : deteksi antigen dan antibodi HIV-spesifik melalui tes aglutinasi partikel pasif (PPAT), EIA, dan western blot (WB). Teknik molekular untuk mendeteksi HIV, perhitungan jumlah virus (viral load), dan penemuan resistensi obat telah menjadi bagian yang penting dalam diagnosis dan penganan klinis pasien. Terapi : terdapat beberapa kelas obat antiretroviral untuk mengobati untuk mengobati yaitu: nucleoside reverse transscriptase inhibitor (misal : zidovudin, lamivudin), non-nucleoside reverse transcriptase inhibitor (misal: nevarapin dan delavirdin), inhibitor protease (misal indinavir, retonavir), dan inhibitor fusi (T-20 enfuvirtide). Kombinasi tiga jenis obat (highly active antiretroviral therapy atau HAART) adalah terapi baku yang telah di terima.

Pencegahan dan pengendalian: belum ada obat antivirus HIV. Belum ada vaksin, pemeriksaan untuk semua donor darah dan donor organ, kampanye informasi, program gantian jarum dan pemakaian kondom.

3. Virus Dengue

Virus Dengue hanya dapat hidup dalam sel hidup, merupakan salah satu virus yang termasuk dalam famili Flaviviridae. Virion Dengue merupakan partikel sferis dengan diameter nukleokapsid 30nm dan ketebalan selubung 10 nm, sehingga diameter virion kira-kira 50 nm. Genom virus Dengue terdiri dari asam ribonucleat berserat tunggal, panjangnya kira-kira 11 kilobasa. Genom terdiri dari protein structural dan protein non structural, yaitu gen C mengkode sintesa nukleokapsid (*Capsid*), gen M mengkode sintesa protein M (*Membran*) dan gen E mengkode sintesa glikoprotein selubung (*Envelope*).

Virus dengue mempunyai 4 jenis serotipe yaitu DEN-1, DEN-2, DEN-3, dan DEN-4. Masing-masing tipe mempunyai sub tipe (*strain*) yang jumlahnya ratusan, sesuai daerah atau asal virus itu. Serotipe DEN-2 dan DEN-3 adalah penyebab wabah demam berdarah di Asia Tenggara.

Infeksi DD/DBD dapat ditularkan padamanusia melalui gigitan vector nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus* betina. Virus dengue mampu berkembang biak didalam tubuh hospes (manusia, monyet, simpanse, kelinci, mencit, marmut, tikus, hamster serta serangga khususnya nyamuk). Kontrol dan pencegahan virus dengue dilakukan PSN (pemberantasan sarang nyamuk dengan menguras atau larvasida dan penyemprotan nyamuk dewasa dengan insektisida).

Kontrol epidemi yang terpenting adalah dengan membunuh nyamuk vektor betina dewasa. Menghambat perkembangan nyamuk.

4. Virus Polio

Virus polio merupakan penyebab penyakit polio. Penyakit polio terutama menyerang pada anak-anak kecil. Polio dapat menyebabkan demam, sakit kepala, muntah, sakit perut, nyeri otot, kekakuan pada leher dan punggung, serta kelumpuhan. Kebanyakan pasien akan pulih, namun dalam kasus yang parah, penyakit ini dapat menyebabkan cacat permanen dan kematian. Penyakit ini sangat menular. Polio menyebar dari orang ke orang, terutama melalui rute dari tinja ke mulut. Virus memasuki tubuh melalui rute mulut dan akhirnya

menyerang sistem saraf pusat. Masa inkubasi 7-14 hari, dengan kurun waktu antara 3-35 hari. Orang yang diduga terinfeksi harus dirujuk ke rumah sakit untuk penanganan lebih lanjut dan isolasi. Dewasa ini, tidak ada perawatan penyembuhan untuk penyakit tersebut.

Pencegahan yang efektif dapat dilakukan dengan Vaksinasi. Terdapat dua jenis vaksin polio: Vaksin Polio Oral (OPV) yang diberikan melalui mulut dan Vaksin Polio Inaktivasi (IPV) yang diberikan melalui suntikan.

5. Paramyxovirus

Virus RNA berselubunga berbentuk bulat atau pleomorfik, berdiameter 150-300 nm, genom tidak bersegmen. Memiliki 4 genus yaitu: pneumovirus, paramyxovirus (parainfluenzavirus tipe 1-4), rubulavirus (virus mumps), morbillivirus (virus campak).

a) Pneumovirus (Respiratory syncytial virus (RSV))

Penyakit yang disebabkan oleh virus ini adalah bronkiolitis. Tersebar diseluruh dunia; aktivitas meningkat selama musim dingin di bagian dunia beriklim dingin dan di sepanjang tahun di daerah yang lebih panas. Menginfeksi > 50% bayi berusia < 1 tahun. Penularan terjadi melalui aerosol partikel besar atau benda bergerak; masa tunas 2-8 hari, menginfeksi epitel traktus respiratorius atas dan kemudian menyebar ke seluruh traktus respiratori bawah.

b) Virus parainfluenza

Virus parainfluenza merupakan penyebab terbesar dari sindroma batuk rejan, bronkiolitis dan penyakit demam saluran nafas bagian atas. Untuk virus influenza bukan penyebab terbesar terjadinya sindroma saluran pernafasan kecuali hanya epidemi-epidemi saja. Pada bayi dan anak-anak, virus influenza merupakan penyebab terjadinya lebih banyak penyakit saluran nafas bagian atas dari pada saluran nafas bagian bawah.

c) Virus campak

Campak yang disebut juga dengan measles atau rubeola merupakan suatu penyakit infeksi akut yang sangat menular, disebabkan oleh paramyxovirus yang pada umumnya menyerang anak-anak. Penyakit ini ditularkan

dari orang ke orang melalui percikan liur (droplet) yang terhirup . Virus campak sangat sensitif terhadap temperatur sehingga virus ini menjadi tidak aktif pada suhu 37 derajat Celcius atau bila dimasukkan ke dalam lemari es selama beberapa jam. Dengan pembekuan lambat maka infektivitasnya akan hilang. Gejala-gejala eksantem akut, demam, kadang kataral selaput lendir dan saluran pernapasan, gejala-gejala mata, kemudian diikuti erupsi makulopapula yang berwarna merah dan diakhiri dengan deskuamasi dari kulit. Campak adalah penyakit yang sangat menular yang dapat menginfeksi anak-anak pada usia dibawah 15 bulan, anak usia sekolah atau remaja dan kadang kala orang dewasa. Campak endemis di masyarakat metropolitan dan mencapai proporsi untuk menjadi epidemi setiap 2-4 tahun ketika terdapat 30-40% anak yang rentan atau belum mendapat vaksinasi. Pada kelompok dan masyarakat yang lebih kecil, epidemi cenderung terjadi lebih luas dan lebih berat. Setiap orang yang telah terkena campak akan memiliki imunitas seumur hidup.

d) Virus mumps

Mumps virus adalah RNA virus yang termasuk dalam genus Rubulavirus. Virus ini merupakan virus yang memiliki amplop dan pada sepanjang permukaannya terdapat tonjolan-tonjolan yang terlihat menyerupai paku-paku yang besar. Penyakit akibat infeksi dari mumps virus adalah penyakit beguk, yang dalam bahasa Inggrisnya disebut mumps. Virus ini akan menyerang kelenjar air liur (kelenjar parotid). Gejala yang paling umum apabila seseorang terinfeksi mumps virus adalah pembengkakan pada kelenjar parotid, panas tinggi, dan sakit pada saat menelan. Perawatan dapat dilakukan dengan cara memberi Paracetamol atau Acetaminophen pada anak yang menderita gejala demam. Penyakit beguk atau mumps dapat dicegah dengan cara imunisasi. Nama imunisasi untuk mencegah infeksi mumps virus adalah MMR (untuk pertahanan terhadap Measles, Mumps, dan Rubella). Penyakit beguk / mumps dapat menular dari satu orang ke orang lainnya melalui droplet ludah atau kontak langsung

dengan bahan yang terkontaminasi oleh ludah yang terinfeksi. Orang yang sudah pernah terinfeksi mumps virus tidak akan terinfeksi untuk kedua kalinya. Hal ini karena mumps virus hanya memiliki satu jenis antigen virus yang dapat menyerang korbannya.

6. Virus Rabies

Virus rabies adalah single stranded RNA, berbentuk seperti peluru berukuran 180 x 75 μm . Sampai saat ini sudah dikenal 7 genotip Lyssavirus dimana genotip 1 merupakan penyebab rabies yang paling banyak di dunia. Virus ini bersifat labil dan tidak viable bila berada diluar inang. Virus menjadi tidak aktif bila terpapar sinar matahari, sinar ultraviolet, pemanasan 1 jam selama 50 menit, pengeringan, dan sangat peka terhadap pelarut alkalis seperti sabun, desinfektan, serta alkohol 70%. Reservoir utama rabies adalah anjing domestik.

Rabies yaitu penyakit zoonosis yang disebabkan oleh virus RNA dari genus Lyssavirus, famili Rhabdoviridae, virus berbentuk seperti peluru yang bersifat neurotropis, menular dan sangat ganas. Reservoir utama rabies adalah anjing domestik. Sebagian besar kasus (98%) disebabkan oleh gigitan anjing, sedangkan sisanya oleh hewan lain seperti monyet dan kucing. Rabies adalah infeksi virus akut yang menyerang sistem saraf pusat manusia dan mamalia. Penyakit ini sangat ditakuti karena prognosisnya sangat buruk. Pada pasien yang tidak divaksinasi, kematian mencapai 100%. Di Indonesia, sampai tahun 2007, rabies masih tersebar di 24 propinsi, hanya 9 propinsi yang bebas dari rabies, yaitu Bangka Belitung, Kepulauan Riau, DKI Jakarta, Jawa Tengah, Jawa Timur, Yogyakarta, NTB, Bali, Papua Barat dan Papua.

7. Virus Herpes Simpleks (HSV)

Virus Herpes Simpleks adalah virus DNA yang dapat menyebabkan infeksi akut pada kulit yang ditandai dengan adanya vesikel yang berkelompok di atas kulit yang sembab. Ada 2 tipe virus herpes simpleks yang sering menginfeksi yaitu: a) HSV-Tipe I (Herpes Simplex virus Type I), b) HSV-Tipe II (Herpes Simplex Virus Type II). HSV-Tipe I biasanya menginfeksi daerah mulut dan wajah (Oral Herpes), sedangkan HSV-Tipe II biasanya menginfeksi daerah genital dan sekitar

anus (Genital Herpes). HSV-1 menyebabkan munculnya gelembung berisi cairan yang terasa nyeri pada mukosa mulut, wajah, dan sekitar mata. HSV-2 atau herpes genital ditularkan melalui hubungan seksual dan menyebabkan gelembung berisi cairan yang terasa nyeri pada membran mukosa alat kelamin. Infeksi pada vagina terlihat seperti bercak dengan luka. Pada pasien mungkin muncul iritasi, penurunan kesadaran yang disertai pusing, dan kekuningan pada kulit (jaundice) dan kesulitan bernapas atau kejang. Penyebaran terjadi melalui kontak langsung (rute utama penularan (HSV-2) adalah melalui aktivitas seksual). Masa tunas bervariasi (2-12 hari).

8. Virus Varisela-Zoster (VZV)

Merupakan virus DNA terselubung, berdiameter 150-200 nm. Menyebabkan penyakit cacar air. Virus ini tersebar di seluruh dunia. Infeksi diperoleh secara dini pada masa kanak-kanak. Penyebaran melalui droplet atau kontak langsung dengan cairan vesikel. Masa tunas 2 minggu dengan rentang 7-23 hari. Virus masuk melalui traktus respiratorius diikuti oleh viremia dan ruam generalisata (cacar air). Pencegahan pasif dengan imunoglobulin zoster (ZIG) untuk melindungi kelompok seronegatif yang berisiko mengalami infeksi VZV, yaitu wanita hamil dan pasien dengan gangguan imunitas. Pencegahan pasif dengan virus yang dilemahkan.

9. Virus Influenza tipe A

Merupakan penyebab penyakit flu burung, salah satu virus yang harus diwaspadai yaitu dengan tipe H5N1 (H = Haemagglutinin, N = neuramidase). Virus ini selain dapat menular dari burung ke burung, ternyata dapat pula menular dari burung ke manusia. Virus ini termasuk dalam famili Orthomyxoviridae. Virus ini dapat bertahan hidup di air sampai 4 hari pada suhu 22°C. Virus akan mati pada pemanasan 60°C selama 30 menit atau 56°C selama 3 jam, dengan detergent, desinfektan misal formalin, serta cairan yang mengandung iodine.

Virus yang merugikan : Virus yang dapat merugikan karena menyebabkan berbagai jenis penyakit pada manusia, hewan dan tumbuhan. Virus penyebab penyakit pada manusia dapat diketahui dari tempat perkembangbiakannya saat

menginfeksi, seperti: (1) saluran pernapasan, (2) saluran pencernaan, (3) kulit dan mukosa genitalia, serta (4) plasenta. Nama virus dan penyakit yang ditimbulkan berdasarkan tempat perkembangbiakan dapat diperlihatkan pada Tabel 2 di bawah.

Tabel 2
Nama Virus dan Penyakit yang Ditimbulkan Berdasarkan Tempat Perkembangbiakan

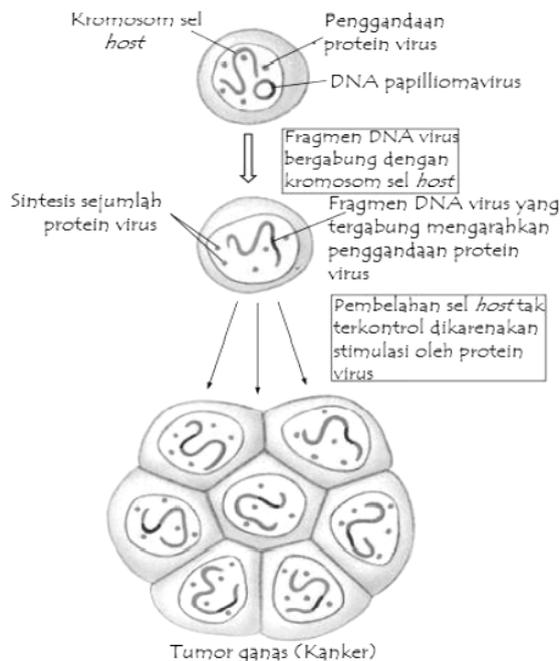
No	Tempat Perkembangbiakan	Nama Virus	Penyakit
1	Saluran pernapasan	Virus influenza A, B, dan C	Influenza
		Virus Parainfluenza	Influenza
		Rinovirus	Flu (pilek)
		Coronavirus	Parotitis
		Adenovirus	Parotitis
		Enterovirus	Polio
2	Saluran pencernaan	Virus hepatitis A dan B	Hepatitis
		Virus poliomyelitis	Poliomyelitis
		<i>Rotavirus</i>	Diare
		<i>Norwalk agent</i>	Diare
		<i>Hawaii agent</i>	Diare
		<i>Pararotavirus</i>	Diare
		<i>Coronavirus</i>	Diare
3	Kulit dan mukosa genital	<i>Papillomavirus</i>	Kondilioma
		<i>Herpesvirus simplex 1</i>	Stomatitis, keratitis
		<i>Herpesvirus simplex 2</i>	Servisititis
		<i>Proxviridae</i>	Cacar
		<i>Alphavirus</i>	Fever of Unknown Origin (FUO), esenfalitis, demam

			berdarah
		<i>Flavivirus</i>	FUO, demam dengue, demam kuning, dan esensefalis
		<i>Lyssavirus (virus rabies)</i>	Rabies
		<i>Virus B</i>	Esenfalomielitis
		<i>Cytomegalovirus</i>	Hepatitis
		<i>Hepatitis B dan C</i>	Hepatitis-hepatoma
		<i>EBV</i>	Mononukleosis infeksiosa
		<i>HIV</i>	AIDS (Aquired immunodeficiency syndrome)
	Plasenta	<i>Virus Rubela</i>	Rubela
		<i>Cytomegalovirus</i>	Bayi prematur
		<i>Virus Varisela</i>	Varisela

Ahli Epidemiologi memperkirakan 15% dari penyakit kanker manusia dikarenakan dari infeksi virus. Terdapat 6 virus yang diketahui berhubungan dengan kanker pada manusia. Virus Epstein Barr (EBV) yang ditemukan pada anak-anak di Afrika yang menderita penyakit tumor ganas. Tumor ganas ini menyebabkan pembengkakan dan kerusakan rahang. Human papillomavirus (HPV) menunjukkan hubungan yang kuat dengan beberapa kanker pada manusia. HPV ini menyebabkan kutil jinak, karsinoma (neoplasma jaringan epitel) serviks dan rahim. 99,7% dari semua kasus kanker serviks disebabkan oleh HPV yang tertular secara seksual.

Virus Hepatitis B (HBV) menyebabkan kanker hati. Virus Herpes 8 menyebabkan kanker sel-sel endotel pembuluh darah atau sistem limfatik. Retrovirus menyebabkan kanker pada sel darah putih. mekanisme virus penyebab kanker, yaitu papilliomavirus (keluarga Papovaviridae) yang menyebabkan kanker pada manusia menginfeksi sel dan DNA virus tetap

berada dalam sitoplasma sel host dengan kondisi aktif. DNA virus berintegrasi dengan DNA sel host, kemudian replikasi tidak teratur pada protein viruspun terjadi. Protein virus ini menyebabkan sel host membelah tak terkendali. Disisi lain, beberapa protein virus juga meblokir gen supresor tumor yang mencegah pembelahan sel yang tak terkendali. Ketiadaan produk dari gen supresor menyebabkan sel host mengalami pembelahan sel yang tak terkendali dan tumor berkembang. Mekanisme virus penyebab kanker pada manusia dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22 Mekanisme Virus Penyebab Kanker pada Manusia (Sumber: Black, 2008)

Kesimpulan

Virus dapat dikatakan sebagai benda hidup dan benda tidak hidup. Virus dikatakan sebagai benda tak hidup karena virus hanya dapat hidup jika ada inang. Virus dikatakan sebagai benda hidup karena virus mampu berkembangbiak melalui daur litik maupun lisogenik saat berada pada sel inangnya. Ukuran virus lebih kecil daripada bakteri. Virus hanya terdiri atas protein

(penyusun kapsid) dan asam nukleat seperti DNA atau RNA saja serta tidak memiliki organel-organel dan sitoplasma penyusun sel sehingga virus tidak dapat disebut sebagai sel. Virus dikelompokkan berdasarkan jenis asam nukleatnya

Soal Evaluasi

Tipe Pilihan Ganda (PG)

1. Di bawah ini adalah pernyataan yang benar mengenai ciri-ciri virus, kecuali ...
 - a. Digolongkan sebagai benda tak hidup
 - b. Terdiri atas asam nukleat dan protein
 - c. Bereproduksi saat di dalam sel
 - d. Menyerang sel tanpa melepaskan DNA
2. Bagian virus di bawah ini yang tidak terdapat di semua macam virus adalah ...
 - a. Kapsid
 - b. Selubung luar
 - c. DNA/RNA
 - d. Protein
3. Pernyataan-pernyataan di bawah ini adalah dasar untuk mengklasifikasikan virus, kecuali ...
 - a. Tipe kapsid simetris dan asimetris
 - b. Mengandung DNA atau RNA
 - c. Memiliki selubung luar atau tidak
 - d. DNA/RNA untai tunggal atau Ganda
4. Perbedaan daur litik dan daur lisogenik pada reproduksi virus adalah ...
 - a. Daur litik maupun lisogenik, virus melekat pada inang saat menginfeksi
 - b. Daur litik maupun lisogenik, DNA virus bergabung dengan DNA sel inang
 - c. Daur litik maupun lisogenik, virus dapat mensintesis komponen-komponen virus
 - d. Daur litik maupun lisogenik, virus memasukkan materi genetik ke dalam sel inang

Daftar Pustaka

Black, Jacquelyn G. 2008. *Microbiology: Principles and Explorations* (7th Edition). Marymount University, Arlington, Virginia.

- Campbell, Neil. A., Reece, Jane. B., Urry, Lisa. A., Cain, Michael. L., Wasserman, Steven. A., Minorsky, Peter. V., and Jackson, Robert. B. 2008. *Biologi* (Edisi Kedelapan, Jilid 2). Jakarta: Erlangga.
- Carlile, Michael J., Watkinson, Sarah C., and Gooday, Graham W. 2001. *The Fungi*. London: ACADEMIC PRESS.
- Carter, John., and Saunders, Venetia. 2007. *Virology: Principles and Applications*. Liverpool John Moores University, UK: England.
- Deacon, J. W. 2006. *Fungal Biology* (4th edition). Australia: BlackWell Publishing.
- Dwiyitno. 2010. Identifikasi Bakteri Patogen Pada Produk Perikanan dengan Teknik Molekuler (*Jurnal Squalen*, Vol. 5, No. 2-Agustus 2010). Balai Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan.
- Fan, Frank., and McDevitt, Damien. 2002. Microbial Genomics for Antibiotic Target Discovery. *Methods In Microbiology*, Volume 33. Microbial, Musculoskeletal and Proliferative Diseases CEDD, GlaxoSmithKline, South Collegeville Road, USA.
- Fatimawali. 2013. Identifikasi Mikrobiologi dan Analisis Gen 16S rRNA Bakteri Resisten Merkuri Isolat S3.2.2 yang Diperoleh dari Limbah Tambang Rakyat (*Pharmakon: Jurnal Ilmiah Farmasi* Vol.2, No.04-November 2013, ISSN 2302-2493). Manado: Program Studi Farmasi FMIPA UNSRAT.
- Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, *Dasar-Dasar Mikrobiologi*, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta

Pratiwi, T. Silvia . 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Yogyakarta.
Erlangga

BAB 8
NUTRISI DAN MEDIUM KULTUR MIKROBA

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub pokok Bahasan
8	Mahasiswa menjelaskan Nutrisi dan medium kultur mikroba	Nutrisi dan medium kultur mikroba	8.1. Fungsi Nutrisi Untuk Mikroba 8.2. Penggolongan Mikroba Berdasarkan Nutrisi Dan Oksigen 8.3. Interaksi Antar Jasad Dalam Menggunakan Nutrien 8.4. Medium Pertumbuhan Mikroba 8.5. Macam Medium Pertumbuhan 8.6. Fase-Fase Pertumbuhan Mikroorganisme 8.7. Kecepatan Pertumbuhan Mikroorganisme Dan Waktu Lipat Dua 8.8. Macam-Macam Metode Pengukuran Pertumbuhan Mikroorganisme 8.9. Faktor-Faktor Lingkungan

			Pertumbuhan Mikroorganisme 8.10 Syarat Ideal Memilih Senyawa Anti mikroba Dan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kerja Anti mikroba
--	--	--	---

Medium pertumbuhan (disingkat medium) adalah tempat untuk menumbuhkan mikroba. Mikroba memerlukan nutrisi untuk memenuhi kebutuhan energi dan untuk bahan pembangun sel, untuk sintesa protoplasma dan bagian-bagian sel lain. Setiap mikroba mempunyai sifat fisiologi tertentu, sehingga memerlukan nutrisi tertentu pula.

Susunan kimia sel mikroba relatif tetap, baik unsur kimia maupun senyawa yang terkandung di dalam sel. Dari hasil analisis kimia diketahui bahwa penyusun utama sel adalah unsur kimia C, H, O, N, dan P, yang jumlahnya + 95 % dari berat kering sel, sedangkan sisanya tersusun dari unsur-unsur lain (Lihat Tabel). Apabila dilihat susunan senyawanya, maka air merupakan bagian terbesar dari sel, sebanyak 80-90 %, dan bagian lain sebanyak 10-20 % terdiri dari protoplasma, dinding sel, lipida untuk cadangan makanan, polisakarida, polifosfat, dan senyawa lain.

8.1. Fungsi Nutrisi Untuk Mikroba

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

biru, dan bakteri fotosintetik. Natrium tersebut tidak dapat digantikan oleh kation monovalen yang lain.

Jasad hidup dapat menggunakan makanannya dalam bentuk padat maupun cair (larutan). Jasad yang dapat menggunakan makanan dalam bentuk padat tergolong tipe holozoik, sedangkan yang menggunakan makanan dalam bentuk cair tergolong tipe holofitik. Jasad holofitik dapat pula menggunakan makanan dalam bentuk padat, tetapi makanan tersebut harus dicernakan lebih dulu di luar sel dengan pertolongan enzim ekstraseluler. Pencernaan di luar sel ini dikenal sebagai extracorporeal digestion. Bahan makanan yang digunakan oleh jasad hidup dapat berfungsi sebagai sumber energi, bahan pembangun sel, dan sebagai aseptor atau donor elektron. Dalam garis besarnya bahan makanan dibagi menjadi tujuh golongan yaitu air, sumber energi, sumber karbon, sumber aseptor elektron, sumber mineral, faktor tumbuh, dan sumber nitrogen.

1. Air; air merupakan komponen utama sel mikroba dan medium. Fungsi air adalah sebagai sumber oksigen untuk bahan organik sel pada respirasi. Selain itu air berfungsi sebagai pelarut dan alat pengangkut dalam metabolisme.
2. Sumber energi; ada beberapa sumber energi untuk mikroba yaitu senyawa organik atau anorganik yang dapat dioksidasi dan cahaya terutama cahaya matahari.
3. Sumber karbon; sumber karbon untuk mikroba dapat berbentuk senyawa organik maupun anorganik. Senyawa organik meliputi karbohidrat, lemak, protein, asam amino, asam organik, garam asam organik, polialkohol, dan sebagainya. Senyawa anorganik misalnya karbonat dan gas CO_2 yang merupakan sumber karbon utama terutama untuk tumbuhan tingkat tinggi.
4. Sumber aseptor elektron; proses oksidasi biologi merupakan proses pengambilan dan pemindahan elektron dari substrat. Karena elektron dalam sel tidak berada dalam bentuk bebas, maka harus ada suatu zat yang dapat menangkap elektron tersebut. Penangkap elektron ini disebut aseptor elektron. Aseptor elektron ialah agensia pengoksidasi. Pada mikrobia yang dapat berfungsi sebagai aseptor elektron ialah O_2 , senyawa organik, NO_3^- , NO_2^- , N_2O , SO_4^{2-} , CO_2 , dan Fe^{3+} .

5. Sumber mineral; mineral merupakan bagian dari sel. Unsur penyusun utama sel ialah C, O, N, H, dan P. unsur mineral lainnya yang diperlukan sel ialah K, Ca, Mg, Na, S, Cl. Unsur mineral yang digunakan dalam jumlah sangat sedikit ialah Fe, Mn, Co, Cu, Bo, Zn, Mo, Al, Ni, Va, Sc, Si, Tu, dan sebagainya yang tidak diperlukan jasad. Unsur yang digunakan dalam jumlah besar disebut unsur makro, dalam jumlah sedang unsur oligo, dan dalam jumlah sangat sedikit unsur mikro. Unsur mikro sering terdapat sebagai ikutan (*impurities*) pada garam unsur makro, dan dapat masuk ke dalam medium lewat kontaminasi gelas tempatnya atau lewat partikel debu. Selain berfungsi sebagai penyusun sel, unsur mineral juga berfungsi untuk mengatur tekanan osmose, kadar ion H⁺ (kemasaman, pH), dan potensial oksidasi reduksi (*redox potential*) medium.
6. Faktor tumbuh; faktor tumbuh ialah senyawa organik yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan (sebagai prekursor, atau penyusun bahan sel) dan senyawa ini tidak dapat disintesis dari sumber karbon yang sederhana. Faktor tumbuh sering juga disebut zat tumbuh dan hanya diperlukan dalam jumlah sangat sedikit. Berdasarkan struktur dan fungsinya dalam metabolisme, faktor tumbuh digolongkan menjadi asam amino, sebagai penyusun protein; base purin dan pirimidin, sebagai penyusun asam nukleat; dan vitamin sebagai gugus prostetis atau bagian aktif dari enzim.
7. Sumber nitrogen; mikroba dapat menggunakan nitrogen dalam bentuk amonium, nitrat, asam amino, protein, dan sebagainya. Jenis senyawa nitrogen yang digunakan tergantung pada jenis jasadnya. Beberapa mikroba dapat menggunakan nitrogen dalam bentuk gas N₂ (zat lemas) udara. Mikroba ini disebut mikroba penambat nitrogen.

8.2. Penggolongan Mikroba Berdasarkan Nutrisi Dan Oksigen

1. Berdasarkan sumber karbon

Berdasarkan atas kebutuhan karbon jasad dibedakan menjadi jasad ototrof dan heterotrof. Jasad ototrof ialah jasad yang memerlukan sumber karbon dalam bentuk anorganik, misalnya CO₂ dan senyawa karbonat. Jasad heterotrof ialah

jasad yang memerlukan sumber karbon dalam bentuk senyawa organik. Jasad heterotrof dibedakan lagi menjadi jasad saprofit dan parasit. Jasad saprofit ialah jasad yang dapat menggunakan bahan organik yang berasal dari sisa jasad hidup atau sisa jasad yang telah mati. Jasad parasit ialah jasad yang hidup di dalam jasad hidup lain dan menggunakan bahan dari jasad inang (hospes)nya. Jasad parasit yang dapat menyebabkan penyakit pada inangnya disebut jasad patogen.

2. Berdasarkan sumber energi

Berdasarkan atas sumber energi jasad dibedakan menjadi jasad fototrof, jika menggunakan energi cahaya; dan khemotrof, jika menggunakan energi dari reaksi kimia. Jika didasarkan atas sumber energi dan karbonnya, maka dikenal jasad fotoototrof, fotoheterotrof, khemoototrof dan khemoheterotrof. Perbedaan dari keempat jasad tersebut sbb:

Tabel 3

Penggolongan Jasad Renik Berdasarkan Sumber Karbon Dan Sumber Energi

Jasad	Sumber Karbon	Sumber Energi
Fototrof	Zat anorganik	Cahaya matahari
Fotoheterotrof	Zat organik	Cahaya matahari
Khemotrof	Zat anorganik	Oksidasi zat anorganik
Khemoheterotrof	Zat organik	Oksidasi zat organik

3. Berdasarkan sumber donor elektron

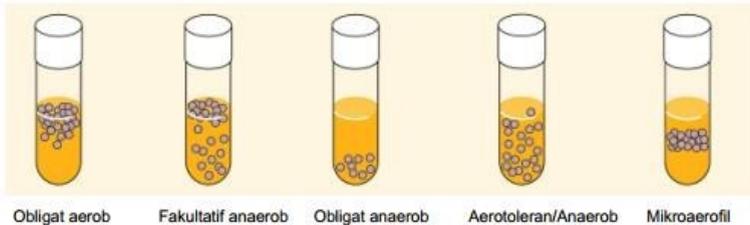
Berdasarkan atas sumber donor elektron jasad digolongkan manjadi jasad litotrof dan organotrof. Jasad litotrof ialah jasad yang dapat menggunakan donor elektron dalam bentuk senyawa anorganik seperti H_2 , NH_3 , H_2S , dan S . jasad organotrof ialah jasad yang menggunakan donor elektron dalam bentuk senyawa organik.

4. Berdasarkan sumber energi dan donor elektron

Berdasarkan atas sumber energi dan sumber donor elektron jasad dapat digolongkan menjadi jasad fotolitotrof, fotoorganotrof, khemolitotrof, dan khemoorganotrof.

5. Berdasarkan kebutuhan oksigen

Berdasarkan akan kebutuhan oksigen, jasad dapat digolongkan dalam jasad aerob, anaerob, mikro aerob, anaerob fakultatif, dan kapnofil. 22 Pertumbuhan mikroba di dalam media cair dapat menunjukkan sifat berdasarkan kebutuhan oksigen, seperti dalam gambar sebagai berikut:



Gambar 23 Pertumbuhan Mikroba Di Dalam Media Cair

Jasad aerob ialah jasad yang menggunakan oksigen bebas (O_2) sebagai satusatunya aseptor hidrogen yang terakhir dalam proses respirasinya. Jasad anaerob, sering disebut anaerob obligat atau anaerob 100% ialah jasad yang tidak dapat menggunakan oksigen bebas sebagai aseptor hidrogen terakhir dalam proses respirasinya. Jasad mikro aerob ialah jasad yang hanya memerlukan oksigen dalam jumlah yang sangat sedikit. Jasad aerob fakultatif ialah jasad yang dapat hidup dalam keadaan anaerob maupun aerob. Jasad ini juga bersifat anaerob toleran. Jasad kapnofil ialah jasad yang memerlukan kadar oksigen rendah dan kadar CO_2 tinggi.

8.3 Interaksi Antar Jasad Dalam Menggunakan Nutrien

Jika dua atau lebih jasad yang berbeda ditumbuhkan bersama-sama dalam suatu medium, maka aktivitas metabolismenya secara kualitatif maupun kuantitatif akan berbeda jika dibandingkan dengan jumlah aktivitas masing-masing jasad yang ditumbuhkan dalam medium yang sama tetapi terpisah. Fenomena ini merupakan hasil interaksi metabolisme atau interaksi dalam penggunaan nutrisi yang dikenal sebagai sintropik atau sintropisme atau sinergistik. Sebagai contoh ialah bakteri penghasil metan yang anaerob obligat tidak dapat menggunakan glukosa sebagai substrat, tetapi bakteri tersebut akan segera

tumbuh oleh adanya hasil metabolisme bakteri anaerob lain yang dapat menggunakan glukosa.

Contoh lain ialah biakan campuran yang terdiri atas dua jenis mikroba atau lebih sering tidak memerlukan faktor tumbuh untuk pertumbuhannya. Mikroba yang dapat mensintesis bahan selnya dari senyawa organik sederhana dalam medium, akan mengekskresikan berbagai vitamin atau asam amino yang sangat penting untuk mikroba lainnya. Adanya ekskresi tersebut memungkinkan tumbuhnya mikroba lain. Kenyataan ini dapat menimbulkan koloni satelit yang dapat dilihat pada medium padat. Koloni satelit hanya dapat tumbuh kalau ada ekskresi dari mikroba lain yang menghasilkan faktor tumbuh esensial bagi mikroba tersebut.

Bentuk interaksi lain adalah *cross feeding* yang merupakan bentuk sederhana dari simbiose mutualistik. Dalam interaksi ini pertumbuhan jasad yang satu tergantung pada pertumbuhan jasad lainnya, karena kedua jasad tersebut saling memerlukan faktor tumbuh esensial yang diekskresikan oleh masing-masing jasad.

8.4 Medium Pertumbuhan Mikroba

Susunan dan kadar nutrisi suatu medium untuk pertumbuhan mikroba harus seimbang agar mikroba dapat tumbuh optimal. Hal ini perlu dikemukakan mengingat banyak senyawa yang menjadi zat penghambat atau racun bagi mikroba jika kadarnya terlalu tinggi (misalnya garam dari asam lemak, gula, dan sebagainya). Banyak alga yang sangat peka terhadap fosfat anorganik. Disamping itu dalam medium yang terlalu pekat aktivitas metabolisme dan pertumbuhan mikroba dapat berubah. Perubahan faktor lingkungan menyebabkan aktivitas fisiologi mikroba dapat terganggu, bahkan mikroba dapat mati.

Medium memerlukan kemasaman (pH) tertentu tergantung pada jenis jasad yang ditumbuhkan. Aktivitas metabolisme mikroba dapat mengubah pH, sehingga untuk mempertahankan pH medium ditambahkan bahan buffer. Beberapa komponen penyusun medium dapat juga berfungsi sebagai buffer.

8.5 Macam Medium Pertumbuhan

1. Medium dasar/basal mineral

Medium dasar adalah medium yang mengandung campuran senyawa anorganik. Medium dasar ini selanjutnya ditambah zat lain apabila diperlukan, misalnya sumber karbon, sumber energi, sumber nitrogen, faktor tumbuh, dan faktor lingkungan yang penting seperti pH dan oksigen serta tekanan osmosis.

2. Medium sintetik

Medium sintetik adalah medium yang seluruh susunan kimia dan kadarnya telah diketahui dengan pasti. Sebagai contoh adalah medium dasar yang ditambah NH_4Cl (medium 1) dengan sumber karbon berupa gas CO_2 , apabila diinkubasikan dalam keadaan gelap dapat digunakan untuk menumbuhkan bakteri nitrifikasi khemoototrof, misalnya bakteri *Nitrosomonas*. Bakteri ini memperoleh energi dari oksidasi amonium, selain itu amonium juga berfungsi sebagai sumber nitrogen. Contoh lain adalah medium dengan susunan sama dengan medium 1 tetapi ditambah glukosa (medium 2).

Dalam keadaan aerob merupakan medium untuk perbanyakkan jamur dan bakteri yang bersifat heterotrof. Glukosa berfungsi sebagai sumber karbon dan sumber energi. Dalam keadaan anaerob, medium ini dapat digunakan untuk menumbuhkan bakteri fakultatif anaerob maupun anaerob obligat. Energi diperoleh dari hasil fermentasi glukosa. Untuk menumbuhkan mikroba yang memerlukan faktor tumbuh dapat menggunakan medium yang komposisinya sama dengan medium 2 tetapi ditambah asam nikotinat (vitamin) sebagai faktor tumbuh (medium 3).

3. Medium kompleks

Medium kompleks adalah medium yang susunan kimianya belum diketahui dengan pasti. Sebagai contoh medium ini adalah medium dasar yang ditambah glukosa dan ekstrak khamir (medium 4). Susunan kimia ekstrak khamir tidak diketahui secara pasti, tetapi mengandung berbagai faktor tumbuh yang sering diperlukan oleh mikroba. Medium ini dapat untuk menumbuhkan mikroba khemoheterotrof aerob

maupun anaerob baik yang memerlukan maupun yang tidak memerlukan faktor tumbuh.

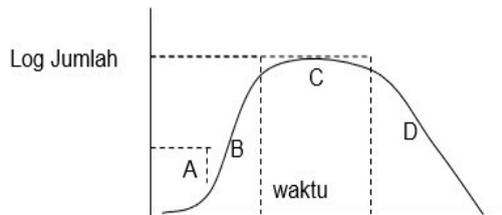
4. Medium diperkaya

Medium-medium diperkaya adalah medium yang ditambah zat tertentu yang merupakan nutrisi spesifik untuk jenis mikroba tertentu. Medium ini digunakan untuk membuat kultur diperkaya (*enrichment culture*) dan untuk mengisolasi mikroba spesifik, dengan cara mengatur faktor lingkungan (suhu, pH, cahaya), kebutuhan nutrisi spesifik dan sifat fisiologinya. Dengan demikian dapat disusun medium diperkaya untuk bakteri yang bersifat khemoheterotrof, khemoototrof, fotosintetik, dan untuk mikroba lain yang bersifat spesifik.

8.6 Fase-Fase Pertumbuhan Mikroorganism

Ada 4 fase kurva pertumbuhan mikroorganism, yaitu :

1. *Fase lag* (adaptasi)
2. *Fase log* (pertumbuhan)
3. *Fase stasioner*
4. *Fase kematian*



- A : Fase adaptasi
- B : Fase pertumbuhan
- C : Fase stasioner
- D : Fase kematian

Gambar 24 Kurva Pertumbuhan Mikroba

a. Fase Lag/Adaptasi.

Jika mikroba dipindahkan ke dalam suatu medium, mula-mula akan mengalami fase adaptasi untuk menyesuaikan dengan kondisi lingkungan di sekitarnya.

Fase lag (adaptasi) merupakan fase penyesuaian sel-sel fungi dengan lingkungan dan pembentukan enzim-enzim hidrolisis untuk menguraikan substrat. Lamanya fase adaptasi ini dipengaruhi oleh beberapa factor, diantaranya:

1) Medium dan lingkungan pertumbuhan

Jika medium dan lingkungan pertumbuhan sama seperti medium dan lingkungan sebelumnya, mungkin tidak diperlukan waktu adaptasi. Tetapi jika nutrient yang tersedia dan kondisi lingkungan yang baru berbeda dengan sebelumnya, diperlukan waktu penyesuaian untuk mensintesa enzim-enzim.

2) Jumlah inokulum

Jumlah awal sel yang semakin tinggi akan mempercepat fase adaptasi.

Fase adaptasi mungkin berjalan lambat karena beberapa sebab, misalnya: (1) kultur dipindahkan dari medium yang kaya nutrien ke medium yang kandungan nutriennya terbatas, (2) mutan yang baru dipindahkan dari fase statis ke medium baru dengan komposisi sama seperti sebelumnya.

b. Fase Log/Pertumbuhan Eksponensial.

Pada fase ini mikroba membelah dengan cepat dan konstan mengikuti kurva logaritmik. Pada fase ini kecepatan pertumbuhan sangat dipengaruhi oleh medium tempat tumbuhnya seperti pH dan kandungan nutrient, juga kondisi lingkungan termasuk suhu dan kelembaban udara. Pada fase ini mikroba membutuhkan energi lebih banyak dari pada fase lainnya. Pada fase ini kultur paling sensitif terhadap keadaan lingkungan. Akhir fase log, kecepatan pertumbuhan populasi menurun dikarenakan :

1) Nutrien di dalam medium sudah berkurang.

2) Adanya hasil metabolisme yang mungkin beracun atau dapat menghambat pertumbuhan mikroba.

Fase akselerasi, fase dimana sel-sel fungi mulai memanfaatkan substrat dan tumbuh, serta fase lag menjadi fase aktif.

c. Fase Stationer

Pada fase ini jumlah populasi sel tetap karena jumlah sel yang tumbuh sama dengan jumlah sel yang mati. Ukuran sel pada fase ini menjadi lebih kecil karena sel tetap membelah meskipun zat-zat nutrisi sudah habis. Karena kekurangan zat nutrisi, sel kemungkinan mempunyai komposisi yang berbeda dengan sel yang tumbuh pada fase logaritmik. Pada fase ini sel-sel lebih tahan terhadap keadaan ekstrim seperti panas, dingin, radiasi, dan bahan-bahan kimia.

d. Fase Kematian

Pada fase ini sebagian populasi mikroba mulai mengalami kematian karena beberapa sebab yaitu:

- 1) Nutrien di dalam medium sudah habis.
- 2) Energi cadangan di dalam sel habis.

Kecepatan kematian bergantung pada kondisi nutrien, lingkungan, dan jenis mikroba, sel kemungkinan mempunyai komposisi yang berbeda dengan sel yang tumbuh pada fase logaritmik. Pada fase ini sel-sel lebih tahan terhadap keadaan ekstrim seperti panas, dingin, radiasi, dan bahan-bahan kimia.

8.7 Kecepatan Pertumbuhan Mikroorganisme Dan Waktu Lipat Dua

Pengetahuan mengenai kecepatan pertumbuhan bersifat penting dalam menentukan keadaan atau status kultur sebagai kesatuan.

$$\frac{2,303 (\log n - \log n_0)}{t - t_0} = \mu$$

Keterangan :

n_0 : jumlah sel/ml awal t_0 : waktu awal

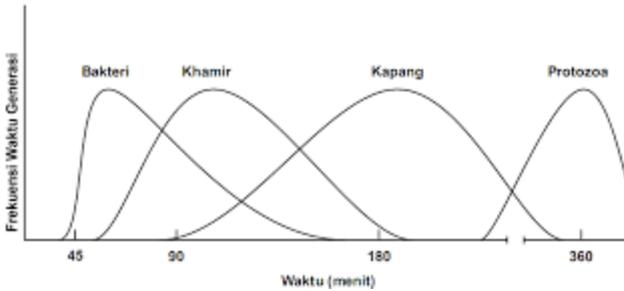
n : jumlah sel/ml setelah waktu t t : waktu akhir

Waktu Generasi (tg)

Waktu yang dibutuhkan oleh suatu kultur untuk memperbanyak jumlah/massa /komponen sel sebanyak 2x lipat, disebut juga waktu lipat dua.

$$\frac{0,693}{\mu} = tg$$

Frekuensi waktu generasi untuk berbagai mikroorganisme, dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 25

Frekuensi Waktu Generasi Pada Berbagai Mikroorganisme

8.8. Macam-Macam Metode Pengukuran Pertumbuhan Mikroorganisme

Metode pengukuran pertumbuhan mikroorganisme dapat dibedakan menjadi metode langsung dan tidak langsung. Contoh metode langsung hitungan mikroskopik (menggunakan hemositometer), digunakan untuk mengukur pertumbuhan bakteri pada susu/vaksin dan hitungan cawan digunakan untuk mengukur pertumbuhan bakteri susu, air, makanan, tanah, dan lain-lain. Contoh metode tidak langsung adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan kekeruhan, bila suspensi biakan cair & homogen
2. Berdasarkan berat kering sel, bila suspensi biakan kental & tidak homogen
3. Berdasarkan kadar nitrogen, bila suspensi biakan kental & tidak homogen
4. Berdasarkan aktivitas biokimia, menggunakan uji mikrobiologis

Hitungan mikroskopik menggunakan ruang penghitung hemositometer mempunyai kelebihan cepat dalam pengerjaannya, tetapi mempunyai beberapa kekurangannya, yaitu : tingkat kesalahan tinggi, sel mati bisa terhitung, sel ukuran kecil sulit teramati. Metode ini tidak sesuai untuk sel yang densitasnya rendah. Hitungan cawan dapat dilakukan dengan metode:

1. Cawan sebar (*spread plate method*)

2. Cawan tuang (*pour plate method*)

Penerapan metode cawan tuang, terlebih dahulu dilakukan:

1. Satu seri pengenceran terhadap sampel
2. Ambil pengenceran tertentu

Metode tidak langsung melalui kekeruhan/turbiditas dengan melihat massa sel. Metode ini menggunakan alat : spektrofotometer. Dengan alat ini dapat ditentukan nilai absorbansi (a) atau kerapatan optik ($od = \text{optikal density}$). Sebelumnya perlu dibuat kurva baku untuk mengetahui jumlah sel. Kelebihan: cepat, mudah, tidak merusak sample Kekurangan : sel hidup dan sel mati tidak terukur.

Metode tidak langsung melalui berat kering sel, dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Menyaring/sentrifugasi massa sel
2. Mencuci dengan aquadest/buffer
3. Dikeringkan dalam oven, bila suhu 80 C memerlukan waktu 24 jam atau 100 C selama 8 jam
4. Kemudian ditimbang sehingga diperoleh berat kering sel

8.9. Faktor-Faktor Lingkungan Pertumbuhan Mikroorganisme

Setiap mikroorganisme mempunyai respons yang berbeda terhadap faktor lingkungan (suhu, pH, O, salinitas, dsb.) Suhu, tinggi rendahnya suhu mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme. Bakteri dapat tumbuh dalam rentang suhu minus 50°C sampai 80°C, tetapi bagaimanapun juga setiap species mempunyai rentang suhu yang pendek yang ditentukan oleh sensitifitas sistem enzimnya terhadap panas. Bakteri dapat dikelompokkan berdasarkan pada kisaran suhu pertumbuhannya, yaitu :

1. Psikrofil adalah bakteri yang dapat tumbuh pada suhu 0°C sampai 20°C. Suhu optimumnya sekitar 15°C. Karakteristik istimewa dari semua bakteri psikrofil adalah akan tumbuh pada suhu 0 – 50 C.
2. Mesofil adalah bakteri yang dapat tumbuh pada suhu 20°C sampai 45°C. karakteristik istimewa dari semua bakteri mesofil adalah kemampuannya untuk tumbuh pada suhu tubuh (37°C)

dan tidak dapat tumbuh pada suhu di atas 450 C. Bakteri mesofil dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:

- a. Yang mempunyai suhu pertumbuhan optimum 20 – 300C, termasuk tumbuhan saprofit.
 - b. Yang mempunyai suhu pertumbuhan optimum 35-40°C, termasuk organisme yang tumbuh baik pada tubuh inang berdarah panas.
3. Termofil adalah bakteri yang dapat tumbuh pada suhu 35°C atau lebih. Bakteri termofil dapat dibedakan menjadi dua kelompok :
- a. Fakultatif termofil adalah organisme yang dapat tumbuh pada suhu 37°C, dengan suhu pertumbuhan optimum 45 – 60°C.
 - b. Obligat termofil adalah organisme yang dapat tumbuh pada suhu di atas suhu 50°C, dengan suhu pertumbuhan optimum di atas 60°C.

Perubahan suhu dapat mempengaruhi :

1. Pertumbuhan : miskin, banyak, atau mati
2. Perubahan karakteristik : pembentukan pigmen, misalnya *Serratia marcescens*, pada suhu kamar merah, suhu lebih tinggi atau rendah dari suhu kamar, pigmen merah hilang. Produksi selulosa *Acetobacter xylinum* pada suhu lebih tinggi dari suhu kamar akan menurun.

Derajat keasaman (pH), pengaruh pH terhadap pertumbuhan tidak kalah pentingnya dari pengaruh temperatur. Ada pH minimum, pH optimum, dan pH maksimum. Rentang pH bagi pertumbuhan bakteri antara 4 – 9 dengan pH optimum 6,5 – 7,5. Jamur lebih menyukai pH asam, rentang pH pertumbuhan jamur dari 1 – 9 dan pH optimumnya 4 – 6. Selama pertumbuhan pH dapat berubah, naik atau turun, bergantung kepada komposisi medium yang diuraikan. Bila ingin pH konstan selama pertumbuhan harus diberikan larutan penyangga atau buffer yang sesuai dengan media dan jenis mikroorganisme.

Kebutuhan oksigen, oksigen tidak mutlak diperlukan mikroorganisme karena ada juga kelompok yang tidak memerlukan oksigen bahkan oksigen merupakan racun bagi pertumbuhan. Mikroorganisme terbagi atas empat kelompok berdasarkan kebutuhan akan organisme, yaitu mikroorganisme

aerob yang memerlukan oksigen sebagai akseptor elektron dalam proses respirasi.

Mikroorganisme anaerob adalah mikroorganisme yang tidak memerlukan O_2 karena oksigen akan membentuk H_2O_2 yang bersifat toksik dan menyebabkan kematian. Mikroorganisme anaerob tidak memiliki enzim katalase yang dapat menguraikan H_2O_2 menjadi air dan oksigen. Mikroorganisme fakultatif anaerob adalah mikroorganisme yang tetap tumbuh dalam lingkungan kelompok fakultatif anaerob. Mikroorganisme mikro aerofilik adalah mikroorganisme yang memerlukan oksigen dalam jumlah terbatas karena jumlah oksigen yang berlebihan akan menghambat kerja enzim oksidatif dan menimbulkan kematian.

Salinitas, berdasarkan kebutuhan garam ($NaCl$) mikroorganisme dapat dikelompokkan menjadi :

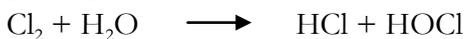
1. Non halofil
2. Halotoleran
3. Halofil ($NaCl$ 10-15%)
4. Halofil ekstrim

Secara fisik, menggunakan uap air panas dan tekanan tinggi, diperoleh panas, lembab, efektif dengan menggunakan autoklaf. Sterilisasi dengan otoklaf memerlukan suhu $121^\circ C$, tekanan 15 psi/1,5 kg/cm², selama 15 menit. Sterilisasi fisik dapat juga dengan panas kering menggunakan oven $160^\circ C$, 2 jam. Sterilisasi dengan oven untuk alat-alat gelas dan bahan yang tidak tembus air

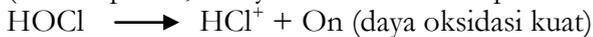
Secara kimia, menggunakan senyawa kimia untuk mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme, contoh:

$HgCl$ (0,1%) menyebabkan koagulasi protein

$NaOCl$



(asam hipokrit, menyebabkan klorinasi protein sel)



Senyawa kimia yang dapat mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme, dapat dibedakan menjadi antiseptik, desinfektan, dan bahan kemoterapeutik/antibiotic.

Antiseptik : substansi kimia yang digunakan pada jaringan hidup yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme.

Desinfektan: substansi kimia yang dapat menghambat

pertumbuhan sel vegetatif pada materi yang tidak hidup. Bahan kemoterapeutik: substansi kimia yang dapat merusak/menghambat pertumbuhan mikroorganisme dalam jaringan hidup, dihasilkan oleh mikroorganisme. Secara mekanik, untuk bahan yang mudah rusak karena pemanasan, misalnya vitamin, enzim, serum, antibiotik. Contoh : filtrasi, menggunakan filter berupa membran dengan tebal tertentu, terbuat dari asbes, diatom, porselen, kaca berpori, selulosa. membran selulosa: diameter pori 0,01-10 μm .

Bahan/zat yang tidak dapat dipanaskan pada suhu lebih dari 100°C, dapat dilakukan pasteurisasi dan tindalisasi. Pasteurisasi memerlukan pemanasan 63- 73°C, digunakan untuk pengawetan air, susu, bir, anggur. Pasteurisasi dapat membunuh mikroorganisme pathogen (*Mycobacterium*, *Salmonella*, *Coxiella*) dan beberapa mikroorganisme normal. Pelaksanaan pasteurisasi dapat dilakukan dengan cara :

LTH = low temperatur holding, menggunakan suhu 63°C, selama 30 menit HTST= high temperatur short time, menggunakan suhu 72°C, selama 15 detik

Tindalisasi adalah pemanasan dengan suhu 80-100°C, selama 30 menit, 3 hari berturut-turut. Pelaksanaan tindalisasi melalui tahapan sebagai berikut :

1. Tindalisasi 1: sel vegetatif mati, kemudian diinkubasi, spora berkecambah menjadi sel vegetatif.
2. Tindalisasi 2: sel vegetatif mati, spora yang tersisa berkecambah menjadi sel vegetatif.
3. Tindalisasi 3: semua sel mati.

8.10. Syarat Ideal Memilih Senyawa Anti Mikroba Dan Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kerja Anti Mikroba

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam memilih bahan kimia sebagai senyawa anti mikroba 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 anti mikrobanya.
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

Faktor-faktor yang mempengaruhi kerja anti mikroba adalah sebagai berikut:

1. Konsentrasi bahan, setiap mikroorganisme memerlukan konsentrasi yang berbeda untuk senyawa anti mikroba yang sama dalam menghambat atau membunuh.
2. Waktu, setiap mikroorganisme memerlukan waktu yang berbeda-beda ketika dipaparkan terhadap suatu senyawa anti mikroba untuk dapat menghambat atau mematikan.
3. pH. Konsentrasi ion hydrogen mempengaruhi peranan bakterisida dengan cara mempengaruhi organisme dan bahan kimia dalam bakterisida tersebut.
4. Temperatur. Pembunuhan bakteri oleh bahan kimia akan meningkat dengan suatu peningkatan temperature.
5. Sifat organisme. Kemampuan suatu bahan tertentu bergantung pada komponen organisme yang diuji dengan bahan tersebut.
6. Usia mikroorganisme. Tingkat kerentanan mikroorganisme sangat ditentukan oleh umur biakan mikroorganisme.
7. Bahan ekstra. Adanya bahan organik seperti serum, darah atau nanah mempengaruhi aktivitas beberapa senyawa anti mikroba.

Kesimpulan

Pertumbuhan dan perkembangbiakan organisme uniseluler (bakteri) berlangsung secara pembelahan biner. Pada pembelahan biner terjadi replikasi materi genetik yang akan membelah menjadi dua sel identik. Pembelahan biner berlangsung dengan dua tahap, yaitu; (1) replikasi dan pembagian

DNA, serta (2) pembentukan septum. Fase pertumbuhan bakteri dibagi menjadi empat yaitu; fase

lag, fase logaritmik, fase stasionar, dan fase kematian. Pertumbuhan dan perkembangbiakan organisme multiseluler (fungi) melibatkan transportasi dan asimilasi nutrisi. Fungi dapat berkembangbiak secara aseksual dan seksual. Fase

pertumbuhan fungi terbagi menjadi empat, yakni; *fase lag*, *fase akselerasi*, *fase eksponensial*, *fase stasioner*, dan *fase kematian*.

Soal Evaluasi

1. Alasan di bawah ini yang tepat mengenai fase kematian pada kurva pertumbuhan bakteri, kecuali ...
 - a. Nutrien dalam medium tidak mendukung
 - b. Kompetisi antar bakteri sangat kuat dalam memperebutkan nutrisi
 - c. Banyak racun sisa metabolisme bakteri yang terdapat pada medium
 - d. Bakteri mendapatkan makanan sesuai kebutuhannya
2. Persamaan antara pertumbuhan bakteri dan fungi adalah ...
 - a. Pembelahan sel
 - b. Pertunasan/budding
 - c. Sintesis dinding sel baru
 - d. Pembentukan septum
3. Tahapan berikut ini yang benar mengenai pertumbuhan vegetatif fungi adalah
 - a. Pembentukan tunas/budding-Sintesis materi genetik Sitoplasma bergerak pada dinding sel baru-Pembentukan cincin pembelahan/septum-Pembelahan sel
 - b. Sintesis materi genetik-Pembentukan tunas/budding Pembentukan cincin pembelahan/septum-Sitoplasma bergerak pada dinding sel baru- Pembelahan sel
 - c. Sitoplasma bergerak pada dinding sel baru-Sintesis materi genetik-Pembentukan cincin pembelahan/septum Pembentukan tunas/budding-Pembelahan sel
 - d. Pembentukan cincin pembelahan/septum-Sintesis materi genetik-Sitoplasma bergerak pada dinding sel baru Pembentukan tunas/budding-Pembelahan sel

Daftar Pustaka

- Black, Jacquelyn G. 2008. *Microbiology: Principles and Explorations* (7th Edition). Marymount University, Arlington, Virginia.
- Campbell, Neil. A., Reece, Jane. B., Urry, Lisa. A., Cain, Michael. L., Wasserman, Steven. A., Minorsky, Peter. V., and Jackson, Robert. B. 2008. *Biologi* (Edisi Kedelapan, Jilid 2). Jakarta: Erlangga.
- Carlile, Michael J., Watkinson, Sarah C., and Gooday, Graham W. 2001. *The Fungi*. London: ACADEMIC PRESS.
- Carter, John., and Saunders, Venetia. 2007. *Virology: Principles and Applications*. Liverpool John Moores University, UK: England.
- Deacon, J. W. 2006. *Fungal Biology* (4th edition). Australia: BlackWell Publishing.
- Dwiyitno. 2010. Identifikasi Bakteri Patogen Pada Produk Perikanan dengan Teknik Molekuler (*Jurnal Squalen*, Vol. 5, No. 2-Agustus 2010). Balai Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan.
- Fan, Frank., and McDevitt, Damien. 2002. Microbial Genomics for Antibiotic Target Discovery. *Methods In Microbiology*, Volume 33. Microbial, Musculoskeletal and Proliferative Diseases CEDD, GlaxoSmithKline, South Collegeville Road, USA.
- Fatimawali. 2013. Identifikasi Mikrobiologi dan Analisis Gen 16S rRNA Bakteri Resisten Merkuri Isolat S3.2.2 yang Diperoleh dari Limbah Tambang Rakyat (*Pharmakon: Jurnal Ilmiah Farmasi* Vol.2, No.04-November 2013, ISSN 2302-2493). Manado: Program Studi Farmasi FMIPA UNSRAT.

Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, *Dasar-dasar Mikrobiologi*, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta

Pratiwi, T. Silvia. 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Yogyakarta. Erlangga

BAB 9
PENGARUH FAKTOR LUAR TERHADAP
PERTUMBUHAN MIKROBA

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub pokok Bahasan
9	Mahasiswa menjelaskan pengertian tentang Pengaruh Faktor Luar terhadap Pertumbuhan Mikroba	Faktor Luar terhadap Pertumbuhan Mikroba	9.1. Pendahuluan 9.2 Faktor Eksternal yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroba

9.1. Pendahuluan

Mikroba dapat berada pada berbagai kondisi lingkungan karena eubacteria berukuran kecil dan mudah beradaptasi, membutuhkan tempat yang kecil, dan membutuhkan nutrisi pada jumlah yang sedikit. Spesies yang berbeda dari eubacteria dapat tumbuh pada rentang lingkungan yang sangat luas. Mereka hidup dari daerah dengan kadar garam tinggi sampai daerah beralkalin. Dari daerah panas hingga sangat dingin, dan dari daerah dengan atau tanpa oksigen pula.

Pertumbuhan mikro sangat dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. faktor internal berhubungan dengan genom dan enzim-enzim yang terdapat dalam sel mikroba. Sedangkan, faktor eksternal adalah semua faktor yang berasal dari luar sel mikroba, misalkan; pH, temperatur, konsentrasi oksigen, kelembapan, tekanan, radiasi, dan nutrisi/biokimia (seperti keberadaan; karbon, nitrogen, sulfur, pospor, dan vitamin). Faktor luar dan biokimia lingkungan berperan penting dalam pertumbuhan eubacteria karena adanya faktor lingkungan dapat memberikan andil dalam pengaktifan enzim-enzim pertumbuhan dan menjaga sel agar tetap dalam kondisi baik.

Pada bab ini, kita akan mempelajari tentang faktor-faktor luar yang mempengaruhi pertumbuhan mikroba. Faktor-faktor itu meliputi; pH (tingkat keasaman), temperatur (suhu), konsentrasi oksigen, kelembapan, tekanan hidrostatik dan osmotik, radiasi, dan faktor nutrisi (biokimia).

9.2. Faktor Eksternal yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroba

1. pH (Tingkat Keasaman)

Medium dengan kandungan asam tinggi (alkali) yang terekspresi pada pH. Eubacteria memiliki pH optimum dimana pada pH tersebut merupakan pertumbuhan terbaik pada eubacteria. pH optimum pada eubacteria mendekati pH 7 (netral). Sebagian besar mikroba tidak dapat tumbuh pada pH lebih dari atau kurang dari 7. Berdasarkan kemampuan toleransi pada kadar asam atau alkali, eubacteria dibedakan menjadi:

- a. Asidofil, eubacteria yang menyukai asam, tumbuh baik pada pH 0,1 sampai 5,4. contohnya *Lactobacillus* yang memproduksi asam laktat namun hanya toleran pada keasaman susu. Beberapa bakteri pengoksidasi sulfur menjadi asam sulfur yang dapat tolerir pada kondisi di bawah pH 1.
- b. Neutrofil, tumbuh pada pH 5,4 sampai pH 8, kebanyakan bakteri dapat menyebabkan penyakit pada manusia.
- c. Alkalifil, eubacteria yang tumbuh pada pH 7 sampai pH 11,5.

Beberapa diantaranya menyebabkan penyakit misalnya *Vibrio cholerae* yang menyebabkan penyakit kolera. Hastuti (2010) menambahkan bahwa tingkat keasaman (pH) dapat mempengaruhi pertumbuhan mikroba. pH terlalu asam atau pH terlalu basa akan merusak sel mikroba.

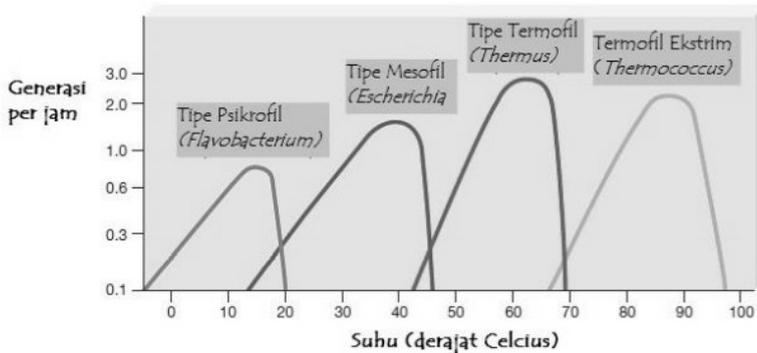
d. Temperatur (suhu)

Sel mikroba tidak bisa mengontrol suhu pada habitat alaminya, mikroba hanya mampu beradaptasi terhadap kondisi lingkungannya. Rentangan suhu untuk pertumbuhan mikroba terbagi menjadi tiga. Pertama, suhu

maksimum dimana suhu tertinggi pertumbuhan dan metabolisme dapat terjadi, apabila berada di bawah suhu maksimum maka pertumbuhan akan terhenti. Kedua, suhu optimum pada rentang yang kecil antara suhu minimum dan maksimum, dimana merupakan fase tercepat pada pertumbuhan dan metabolisme. Ketiga, suhu minimum dimana pada suhu ini mikroba masih bisa tumbuh dan menjalankan metabolismenya namun jika berada pada suhu di bawah ini maka akan menghambat pertumbuhan (Park dan Arthur, 2001).

Terdapat tiga temperatur kritis dapat dibedakan menjadi temperatur minimal tumbuh (temperatur terendah dimana terjadi pembelahan sel), temperatur maksimal tumbuh (temperatur tertinggi sel dapat membelah), dan temperatur optimal tumbuh (temperatur dimana sel dapat membelah dengan cepat). Sebagian besar bakteri dapat tumbuh di atas suhu 30°C, namun suhu minimal dan maksimal untuk tiap spesies yang berbeda. Berdasarkan kemampuan tumbuh terhadap toleransinya terhadap suhu, eubacteria diklasifikasikan menjadi:

- a. Psikrofil, organisme yang suka pada kondisi dingin, kondisi tumbuh terbaik pada suhu 15° sampai 20°C. Organisme ini dibedakan menjadi psikrofil obligat (yang tidak dapat tumbuh di atas 20°C, contohnya *Bacillus globisporus*) dan psikrofil fakultatif (dapat tumbuh di bawah 20°C tetapi mampu tumbuh pada suhu di atas itu, contohnya *Xanthomonas phannicola*).
- b. Mesofil, organisme yang tumbuh pada suhu antara 25° dan 40°C. Patogen pada manusia masuk dalam kategori ini, kebanyakan dapat tumbuh baik pada suhu tubuh manusia (37°C).
- c. Termofil, organisme yang menyukai kondisi panas, tumbuh baik pada suhu 50° sampai 60°C dan sebagian kecil hidup di atas temperatur 110°C. Organisme termofil terbagi menjadi termofil obligate (dapat tumbuh baik pada temperatur di atas 37°C) dan termofil fakultatif (dapat tumbuh di atas dan di bawah 37°C). Berikut adalah gambar 1 pertumbuhan tiap tipe eubacteria perjam terhadap suhu.



Gambar 26 Pertumbuhan Eubacteria Per Jam Terhadap Suhu (Black, 2008)

Menurut Hastuti (2010), sel-sel vegetatif mikroba dapat dibunuh dengan suhu 50-70 °C dan sel spora dapat dimatikan dengan suhu lebih dari 100 °C. Penjelasan suhu dan waktu yang dapat digunakan untuk membunuh sel vegetatif dan sel spora sebagai berikut.

- Sel vegetatif khamir dapat dimatikan pada suhu 50-60°C (kondisi panas lembab) selama 5-10 menit. Spora khamir dapat dimatikan pada suhu 70-80°C selama 5-10 menit.
- Sel vegetatif jamur dapat dimatikan pada suhu 60°C selama 5-10 menit. Spora jamur dapat dimatikan pada suhu 121°C selama 15 menit.
- Sel vegetatif bakteri dan sel-sel bakteri yang tidak mampu membentuk spora dapat dimatikan pada suhu 60-70°C selama 5-10 menit. Spora bakteri dapat dimatikan pada suhu 100 menit dalam waktu pemanasan yang lebih lama.

Hastuti (2010) menambahkan bahwa pengaruh suhu tinggi terhadap bakteri yakni:

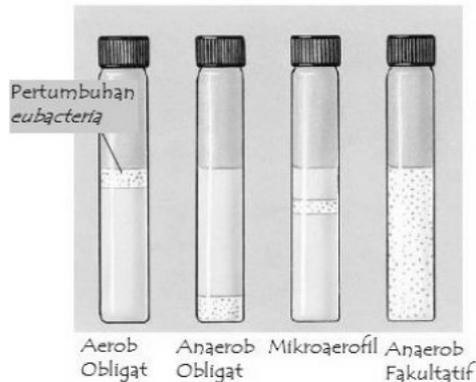
- Perubahan struktur protein; terjadi denaturasi protein bakteri.
- Metabolisme bakteri terganggu; metabolisme dan perbanyakan sel terhenti dan berikutnya sel mengalami kematian.
- Merusak membran sel bakteri; membran luar sel mengalami pembengkakan, sehingga ikatan antara membran sel dengan lapisan peptidoglikan terputus dan membran sitoplasma terlepas akibatnya permeabilitas selektif membran hilang dan bakteri akan mati.

Konsentrasi Oksigen

Eubacteria khususnya heterotrof terbagi menjadi dua yakni aerob (organisme yang membutuhkan oksigen untuk tumbuh) dan anaerob (organisme yang tidak membutuhkan oksigen untuk tumbuh). Terdapat beberapa jenis terkait organisme aerob maupun anaerob. Gambar 5.2 merupakan pertumbuhan eubacteria terhadap adaptasinya pada oksigen.

Berikut ini adalah penjelasan mengenai sifat bakteri terhadap keberadaan oksigen.

- Aerob obligat yang sangat memerlukan oksigen bebas untuk respirasi aerob seperti *Pseudomonas*
- Anaerob obligat tidak dapat hidup jika di lingkungan terdapat oksigen seperti *Clostridium botulinum*.
- Mikroaerofil, tumbuh baik pada kondisi oksigen yang sedikit, seperti *Campylobacter* atau organisme yang suka karbon dioksida.



Gambar 27 Pertumbuhan Tipe Eubacteria terhadap Oksigen
(Sumber : Black, 2008)

- Anaerob fakultatif membawa metabolisme aerob dimana terdapat oksigen tetapi menjadi anaerob jika tidak ada oksigen, contohnya *Staphylococcus* dan *Escherichia coli*.
- Anaerob aerotoleran dapat bertahan dengan adanya oksigen tetapi tidak dapat digunakan pada metabolismenya, contohnya *Lactobacillus*.

Kelembapan

Secara umum metabolisme sel memerlukan air. Sel tunggal yang tidak memiliki pembungkus sebagai proteksi terhadap cairan internal terhadap lingkungan. Sebagian besar sel tunggal dapat hidup hanya beberapa jam tanpa kelembapan, hanya organisme yang membentuk spora yang dapat bertahan dalam kondisi dorman pada lingkungan yang kering.

Tekanan Hidrostatik

Eubacteria dapat hidup pada tekanan yang tinggi seperti di kedalaman namun akan mati jika berada di dalam laboratorium hanya beberapa jam pada tekanan atmosfer standar yang disebut dengan barofil. Hal itu akan nampak pada membran dan enzim yang tidak toleran pada tekanan. Tekanan yang tinggi dibutuhkan untuk menjaga molekul enzim. Tekanan hidrostatik berpengaruh terhadap metabolisme dan pertumbuhan mikroba. Tekanan hidrostatik sebesar 1-400 atm tidak mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan mikroba. Namun, tekanan hidrostatik yang lebih tinggi dapat menghambat sintesis RNA, DNA, protein, dan mengganggu transpor membran serta mengurangi aktivitas enzim mikroba sehingga metabolisme dan pertumbuhan terhenti.

Tekanan Osmotik

Sel yang berada pada lingkungan hiperosmotik akan kehilangan air dan menyebabkan membran plasma terpisah dengan dinding selnya, yang disebut plasmolisis. Kondisi ini dapat menghambat pertumbuhan sel mikroba dan sel dapat mengalami kematian. Sel yang berada pada lingkungan hiposmotik akan memasukkan air dan dapat mengalami lisis (pecah).

Eubacteria yang menyukai lingkungan dengan kadar garam tinggi disebut dengan halofil (digunakan sebagai indikator jumlah kadar garam). Membran sel eubacteria halofil memiliki transpor aktif untuk memompa ion natrium ke luar sel dan ion kalium masuk ke dalam sel. Organisme halofil biasa ditemukan di lautan dimana konsentrasi garam 3,5% merupakan konsentrasi optimum untuk pertumbuhan. Organisme halofil ekstrim memerlukan konsentrasi garam 20% sampai 30% untuk dapat tumbuh.

Radiasi

Radiasi seperti sinar gamma dan sinar ultraviolet dapat menyebabkan mutasi (terjadinya perubahan pada struktur DNA) dan bisa menyebabkan kematian pada organisme. Beberapa organisme memiliki pigmen yang dapat mencegah kerusakan DNA dan enzim yang dapat memperbaiki berbagai kerusakan DNA. Eubacteria *Deinococcus radiodurans* dapat bertahan terhadap radiasi 10.000 Gray (Gy) dimana pada skala 5 Gy dapat membunuh manusia. Eubacteria yang mampu bertahan terhadap sinar radiasi tinggi mungkin bisa digunakan untuk membersihkan tempat yang terkontaminasi sinar radiasi.

Faktor Nutrisi

Nutrisi merupakan sebuah proses yang menggunakan substansi kimia yang disebut dengan nutrisi yang didapatkan dari lingkungan dan digunakan dalam aktivitas seluler seperti metabolisme dan pertumbuhan. Substansi yang diperlukan baik dalam bentuk molekular maupun elemen yang harus tersedia untuk organisme disebut dengan nutrisi esensial. Terdapat dua kategori dari nutrisi esensial yakni makro nutrisi dan mikronutrien.

Makro nutrisi dibutuhkan pada jumlah yang relatif banyak dan memainkan peran penting dalam struktur dan metabolisme sel.

Contoh dari makro nutrisi adalah karbohidrat, protein, dan molekul lain seperti karbon, hidrogen, dan oksigen. Mikronutrien tersusun atas elemen sederhana seperti magnesium, besi, dan mineral lainnya yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit yang biasanya terdapat pada enzim dan menjaga struktur protein (Park dan Arthur, 2001). Berdasarkan ada tidaknya unsur karbon maka dibedakan lagi menjadi nutrisi anorganik dan nutrisi organik. Nutrisi anorganik merupakan atom atau molekul sederhana yang berisi kombinasi antara atom lain dengan karbon dan hidrogen seperti magnesium, sulfat, nitrat, sodium, dan fosfat, oksigen, karbon dioksida, dan air. Nutrisi organik tersusun atas atom karbon dan hidrogen yang dihasilkan dari makhluk hidup contohnya adalah molekul organik, metana,

karbohidrat, lipid, protein, dan asam amino (Park dan Arthur, 2001).

1. Karbon (C)

Sebagian besar eubacteria menggunakan karbon sebagai sumber energi maupun untuk mensintesis komponen sel. Organisme foto autotrof mereduksi karbon dioksida menjadi glukosa dan molekul organik lainnya. Organisme autotrof dan heterotrof dapat berisi energi dari glukosa melalui glikolisis, fermentasi dan siklus Krebs (Black, 2008). Berdasarkan unsur ini, organisme dibedakan menjadi heterotrof dan autotrof.

Heterotrof merupakan organisme yang mengandung karbon dalam bentuk organik yang terdapat pada organisme lain, heterotrof bergantung pada organisme lain. Heterotrof disebut juga sebagai organisme yang tidak dapat membuat makanan sendiri. Autotrof merupakan organisme yang menggunakan CO_2 , gas anorganik yang mampu dirubah menjadi komponen organik sehingga organisme ini tidak bergantung pada organisme lainnya. Autotrof dapat dikatakan sebagai organisme yang mampu membuat makanan sendiri (Park dan Arthur, 2001).

2. Nitrogen (N)

Hampir sebagian besar organisme memerlukan nitrogen untuk mensintesis enzim, protein, dan asam amino. Beberapa mikroorganisme mengandung nitrogen dari sumber anorganik dan beberapa mengandung energi dari metabolisme nitrogen inorganik. Kebanyakan mikroorganisme mereduksi ion nitrat (NO_3^-) menjadi kelompok amino (NH_2) dan menggunakannya untuk membuat asam amino. Sekali asam amino disintesis atau terkandung di medium akan digunakan untuk sintesis protein. Sama halnya dengan basa purin dan pirimidin yang dapat digunakan untuk membentuk DNA dan RNA (Black, 2008). Sebagian besar nitrogen berbentuk gas (N_2), yang menyusun 79% atmosfer di bumi. Sebagian kecil eubacteria mampu merubah N_2 menjadi komponen yang bisa digunakan oleh organisme lain melalui fiksasi nitrogen (Park dan Arthur, 2001).

3. Oksigen

Oksigen merupakan komponen utama unsur organik seperti karbohidrat, lipid, dan protein yang memerankan peran penting dalam struktur dan fungsi enzimatik sel. Oksigen merupakan komponen bebas yang esensial untuk metabolisme dari berbagai organisme (Park dan Arthur, 2001).

4. Hidrogen

Hidrogen merupakan elemen utama dalam segala komposisi unsur organik dan beberapa unsur anorganik termasuk air (H_2O), garam, dan gas H_2S , CH_4 , dan H_2 . Gas ini digunakan dan dihasilkan oleh mikroba. Hidrogen berperan pada biokimia sel dengan menjaga pH, membentuk ikatan hidrogen antar molekul, dan sebagai sumber energi bebas dalam reaksi reduksi oksidasi pada respirasi (Park dan Arthur, 2001).

5. Sulfur dan Fosfor

Mikroorganisme mengandung sulfur dari garam sulfat inorganik dan dari sulfur yang terkandung dalam asam amino. Eubacteria menggunakan sulfur yang terkandung dalam asam amino untuk menyusun protein, koenzim, dan komponen sel lainnya. Selain sulfur, mikroorganisme juga mengandung fosfor dari ion fosfat inorganik (PO_4^{3-}). Fosfor digunakan untuk mensintesis ATP, fosfolipid, dan asam nukleat (Black, 2008). Pospat merupakan komponen kunci dari asam nukleat yang penting dalam genetik sel dan virus yang ditemukan pada ATP nukleotida yang juga berperan dalam transfer energi seluler (Park dan Arthur, 2001).

6. Mineral

Mineral yang dibutuhkan antara lain tembaga (Cu), besi (Fe), dan seng (Zn) yang biasanya berbentuk ion. Mineral membantu sebagai kofaktor dalam reaksi enzimatik. Mineral lain diantaranya ion sodium (Na), ion potasium (K), Magnesium (Mg), mangan (Mn) yang digunakan untuk mengaktifkan enzim. Kobalt digunakan untuk mensintesis vitamin B12. Ion besi digunakan untuk sintesis heme dan enzim. kalsium (Ca) dibutuhkan oleh bakteri Gram-positif untuk mensintesis dinding sel dan pembentukan spora bagi organisme pembentuk spora (Black, 2008).

7. Vitamin

Vitamin merupakan substansi organik yang dibutuhkan organisme dalam jumlah kecil dan biasanya digunakan sebagai koenzim. Beberapa vitamin digunakan sebagai pengganti enzim yang hilang untuk mensintesisnya kembali (Black, 2008).

8. Nutrisi kompleks

Mikroorganisme memerlukan nutrisi kompleks yang digunakan untuk pertumbuhan, beberapa diantaranya dalam bentuk enzim. Ketidakadaan satu enzim dapat menyebabkan tidak selesainya sintesis substansi spesifik. Nutrisi kompleks diperoleh dari lingkungan luar (Black, 2008).

Kesimpulan

Pertumbuhan mikroba sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal. Faktor eksternal itu meliputi; pH (tingkat keasaman), temperatur (suhu), konsentrasi oksigen, kelembapan, tekanan hidrostatis, tekanan osmotik, radiasi, dan faktor nutrisi. pH akan mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan sel mikroba. Sel mikroba akan tumbuh baik pada pH optimum yakni mendekati pH 7. Berdasarkan toleransi mikroba pada pH, mikroba dikelompokkan menjadi; mikroba asidofil, neutrofil, dan alkalifil.

Temperatur lingkungan akan berpengaruh pada metabolisme dan pertumbuhan mikroba. Temperatur untuk pertumbuhan mikroba dibagi menjadi tiga, yaitu; temperatur maksimum (metabolisme dan pertumbuhan dapat terjadi), optimum (metabolisme dan pertumbuhan berjalan sangat cepat), dan minimum (metabolisme dan pertumbuhan berjalan lambat dan berpotensi terhambat pertumbuhannya). Berdasarkan sebaran suhu, mikroba dibagi menjadi; kelompok mikroba psikrofil, mesofil, dan termofil.

Konsentrasi oksigen sangat dibutuhkan oleh mikroba untuk keperluan pertumbuhan (metabolisme). Berdasarkan ada tidaknya oksigen, mikroba dibagi menjadi; mikroba aerob (membutuhkan oksigen untuk tumbuh) dan mikroba anaerob (tidak membutuhkan oksigen untuk tumbuh). Mikroba aerob membutuhkan oksigen sebagai akseptor elektron terakhir pada proses metabolismenya, sedangkan mikroba anaerob yakni

membutuhkan senyawa lain sebagai akseptor elektron terakhir dan bukan oksigen pada proses metabolisme. Berdasarkan keberadaan oksigen, mikroba dibagi menjadi; mikroba aerob obligat, anaerob obligat, mikroaerofil, anaerob fakultatif, dan anaerob aerotoleran.

Kelembapan dibutuhkan mikroba untuk kegiatan metabolisme sel. Bagi sel mikroba yang tidak mampu menghasilkan spora, kondisi lingkungan lembab sangat diperlukan untuk kegiatan pertumbuhan sel mikroba. Tekanan hidrostatik berpengaruh pada membran sel dan enzim mikroba. Tekanan tinggi dibutuhkan oleh sel mikroba untuk menjaga kondisi molekul enzim, sedangkan tekanan rendah akan membuat molekul enzim mengalami kerusakan. Tekanan osmotik akan mempengaruhi membran sel mikroba. Jika sel terdapat pada lingkungan hipertonik, maka sel akan kehilangan air dan mengalami plasmolisis. Jika sel berada pada lingkungan yang hipotonik, maka sel akan mengalami turgid karena terisi air.

Radiasi sangat mempengaruhi pertumbuhan sel mikroba. Sinar gamma dan ultraviolet dapat menyebabkan mutasi pada DNA dan kondisi ini juga dapat menyebabkan kematian pada sel mikroba. Nutrisi merupakan substansi kimia yang dibutuhkan oleh sel mikroba untuk melaksanakan metabolisme dan pertumbuhan. Sel mikroba membutuhkan nutrisi dalam jumlah besar (makronutrien) dan sedikit (mikronutrien).

Soal Evaluasi

Tipe Pilihan Ganda (PG)

1. Alasan yang tepat tentang pengaruh pH terhadap pertumbuhan mikroba adalah ...
 - a. pH 1-6 merusak enzim pertumbuhan bakteri asidofil
 - b. pH 6,5-7 merusak enzim pertumbuhan bakteri neutrofil
 - c. pH 8-14 merusak enzim pertumbuhan bakteri alkalifil
 - d. pH 9-14 merusak enzim pertumbuhan bakteri asidofil
2. Rentangan suhu yang berpotensi untuk mempercepat metabolisme dan pertumbuhan mikroba psikofil adalah ...

a. 15-200C	c. 50-600C
b. 25-400C	d. 100-1100C

3. Alasan yang tepat tentang pengaruh suhu tinggi terhadap pertumbuhan mikroba sebagai berikut, kecuali ...
 - a. Mengakibatkan denaturasi protein sel mikroba
 - b. Mengganggu metabolisme sel mikroba
 - c. Merusak membran sel mikroba
 - d. Mempercepat reaksi metabolisme
4. Sifat bakteri yang tidak dapat hidup jika di lingkungan terdapat oksigen ...
 - a. Aerob obligat
 - b. Mikroerofil
 - c. Anaerob obligat
 - d. Anaerob fakultatif
5. Pernyataan di bawah ini yang tepat mengenai pengaruh kelembapan terhadap pertumbuhan mikroba adalah ...
 - a. Mikroorganisme dapat hidup di tempat kering dengan pembelahan biner
 - b. Mikroorganisme dapat hidup di tempat kering dengan membentuk endospora
 - c. Mikroorganisme dapat hidup di tempat yang penuh dengan air
 - d. Mikroorganisme dapat hidup di tempat kering dengan reproduksi seksual
6. Alasan yang tepat tentang tekanan hidrostatik terhadap pertumbuhan mikroba adalah ...
 - a. Tekanan hidrostatik tinggi mampu menjaga molekul dan enzim pertumbuhan
 - b. Tekanan hidrostatik rendah mampu menjaga molekul dan enzim pertumbuhan
 - c. Tekanan hidrostatik di kedalaman mampu merusak molekul dan enzim pertumbuhan
 - d. Tekanan hidrostatik standar di laboratorium mampu menjaga molekul dan enzim pertumbuhan
7. Pernyataan yang tepat jika sel bakteri berada pada tempat yang tekanan osmotiknya rendah adalah ...
 - a. Sel bakteri akan mengembang dan mengalami lisis
 - b. Sel bakteri tidak mengalami perubahan
 - c. Sel bakteri akan mengkerut dan mengalami plasmolisis
 - d. Sel bakteri akan mengkerut dan mengalami krenasi
8. Alasan yang tepat mengenai sel bakteri yang terdedah dengan radiasi sinar UV adalah ...

- a. Sel mikroba tumbuh dengan baik
- b. Sel mikroba mengalami kematian
- c. Sel mikroba tidak mengalami mutasi
- d. Sel mikroba mampu produksi enzim

Daftar Pustaka

- Black, Jacquelyn G. 2008. *Microbiology: Principles and Explorations* (7th dition). Marymount University, Arlington, Virginia.
- Campbell, Neil. A., Reece, Jane. B., Urry, Lisa. A., Cain, Michael. L., Wasserman, Steven. A., Minorsky, Peter. V., and Jackson, Robert. B. 2008. *Biologi* (Edisi Kedelapan, Jilid 2). Jakarta: Erlangga.
- Carlile, Michael J., Watkinson, Sarah C., and Gooday, Graham W. 2001. *The Fungi*. London: ACADEMIC PRESS.
- Carter, John., and Saunders, Venetia. 2007. *Virology: Principles and Applications*. Liverpool John Moores University, UK: England.
- Deacon, J. W. 2006. *Fungal Biology* (4th edition). Australia: BlackWell Publishing.
- Dwiyitno. 2010. Identifikasi Bakteri Patogen Pada Produk Perikanan dengan Teknik Molekuler (*Jurnal Squalen*, Vol. 5, No. 2-Agustus 2010). Balai Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan.
- Fan, Frank., and McDevitt, Damien. 2002. Microbial Genomics for Antibiotic Target Discovery. *Methods In Microbiology*, Volume 33. Microbial, Musculoskeletal and Proliferative Diseases CEDD, GlaxoSmithKline, South Collegeville Road, USA.

Fatimawali. 2013. Identifikasi Mikrobiologi dan Analisis Gen 16S rRNA Bakteri Resisten Merkuri Isolat S3.2.2 yang Diperoleh dari Limbah Tambang Rakyat (*Pharmacon: Jurnal Ilmiah Farmasi* Vol.2, No.04-November 2013, ISSN 2302-2493). Manado: Program Studi Farmasi FMIPA UNSRAT.

Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, *Dasar-dasar Mikrobiologi*, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta.

Pratiwi, T. Silvia. 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Yogyakarta. Erlangga

BAB 10 METABOLISME MIKROORGANISME

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub pokok Bahasan
10	Mahasiswa menjelaskan pengertian tentang Metabolisme mikroorganisme	Metabolisme Mikroorganisme	10.1. Pendahuluan 10.2. Pengertian Metabolisme 10.3. Peran Enzim pada Proses Metabolisme 10.4. Prinsip Menghasilkan Energi pada Mikroba 10.5. Katabolisme 10.6. Anabolisme (Biosintesis)

10.1. Pendahuluan

Semua organisme, termasuk mikroorganisme harus memperoleh energi untuk pengembangan molekul-molekul organik yang menyusun sel-selnya agar dapat bertahan hidup. Energi dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk: (1) mempertahankan struktur sel dengan memperbaiki semua kerusakan sel; (2) mensintesis komponen seluler seperti asam nukleat, polisakarida, dan enzim; (3) mengangkut zat tertentu ke dalam sel yang diperoleh dari lingkungan; (4) tumbuh dan berkembang biak; dan (5) pergerakan seluler.

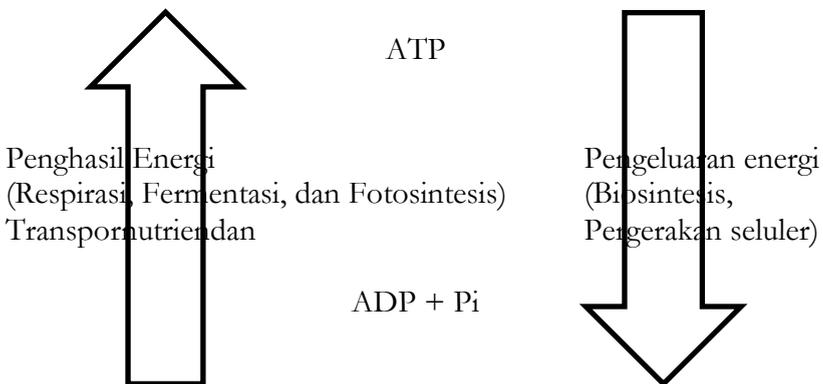
Mikroorganisme yang mendapatkan energi dari bantuan cahaya disebut fototrof, sedangkan memperoleh energi dari zat kimia disebut kemotrof. Mikroorganisme yang hanya membutuhkan zat anorganik seperti CO₂ sebagai sumber karbon disebut autotrof. Sebaliknya, heterotrof memerlukan setidaknya satu nutrisi organik seperti glukosa untuk membuat senyawa-senyawa organik lain. Pada bab ini, kita akan mempelajari lebih

mendalam mengenai metabolisme yang terdiri dari katabolisme dan anabolisme yang dilakukan oleh mikroorganisme

10.2. Pengertian Metabolisme

Metabolisme merupakan keseluruhan reaksi kimia yang terjadi dalam sel. Reaksi kimia yang merombak senyawa organik seperti glukosa menjadi energi dan prekursor untuk biosintesis metabolit sekunder disebut katabolisme. Sedangkan, reaksi kimia yang menyusun senyawa organik dari senyawa anorganik atau organik yang lebih kecil disebut anabolisme dan dikenal juga dengan sebutan reaksi biosintesis (Willey dkk, 2009). Hogg (2005) menambahkan bahwa metabolisme ialah istilah yang digunakan untuk memproyeksikan semua reaksi kimia yang berlangsung di dalam sel, yang mencakup reaksi-reaksi yang melepaskan energi dan reaksi-reaksi yang memanfaatkan energi. Katabolisme, istilah yang digunakan untuk menggambarkan reaksi yang memecah molekul besar dan melepaskan energi. Anabolisme, istilah yang digunakan untuk memproyeksikan reaksi yang terlibat dalam sintesis makromolekul dan membutuhkan masukan energi.

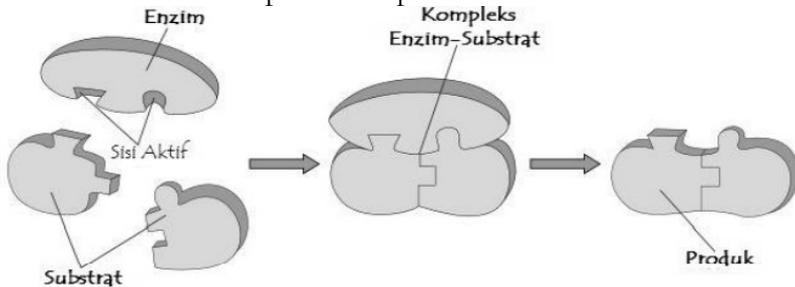
Mikroba menggunakan berbagai proses kimia untuk menghasilkan energi biokimia dalam bentuk Adenosin Trifosfat (ATP). Sebaliknya, ATP akan dipecah menjadi Adenosin Difosfat (ADP) dan fosfat anorganik dan energi yang dilepaskan akan digunakan untuk pemeliharaan, reproduksi, dan kelangsungan hidup sel mikroba. Gambaran umum metabolisme mikroba dapat dilihat pada Gambar 28.



Gambar 28 Metabolisme Mikroba

10.3. Peran Enzim pada Proses Metabolisme

Faktor utama dalam proses metabolisme adalah enzim. Tanpa adanya enzim, maka reaksi biokimia tidak akan terjadi pada tingkat yang cukup cepat untuk mempertahankan sel. Enzim adalah katalis seluler, yakni membuat reaksi biokimia di dalam sel lebih cepat dibandingkan tanpa katalis. Peran enzim ialah dapat meningkatkan laju reaksi kimia dengan faktor jutaan atau bahkan miliaran. Enzim tidak akan berubah pada akhir reaksi. Sisi aktif enzim akan berikatan dengan substrat untuk membentuk kompleks enzim-substrat. Akhir reaksi, enzim tidak akan rusak atau bereaksi dan menghasilkan produk baru. Interaksi antara enzim dan substrat dapat dilihat pada Gambar 29.



Gambar 29 Interaksi antara Enzim dan Substrat

Klasifikasi Enzim

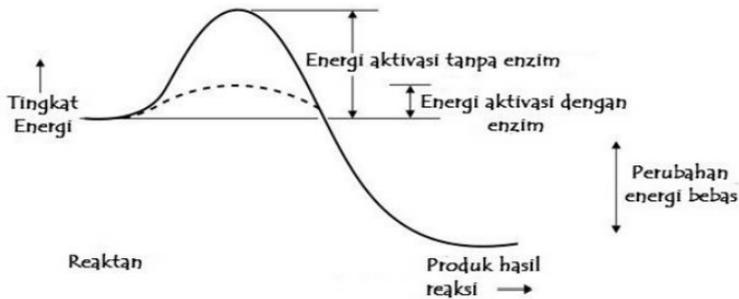
Enzim diberi nama dengan akhiran ase dan bagian pertama dari nama sering menunjukkan nama substrat seperti; urease dan amilase. Namun, enzim-enzim yang lain tidak memiliki nama yang mirip dengan substratnya seperti; pepsin, renin, dan tripsin sehingga sedikit membingungkan dalam menemukan substratnya. Solusi untuk mengatasi hal tersebut, yakni disepakati tentang tata nama enzim secara Internasional. Semua enzim bertugas untuk salah satu dari enam kelompok besar enzim berdasar pada jenis reaksi yang dilakukan. Enam kelompok enzim dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Enam Kelompok Enzim

Kelas	Nama	Tipe Reaksi	Contoh
1	Oksidoreduktase	Reaksi oksidasi/ reduksi (transfer elektron)	Laktat dehidrogenase

2	Transferase	Transfer kelompok fungsional seperti fosfat dan asam amino	Glukokinase
3	Hidrolase	Pembelahan obligasi dengan penambahan air (hidrolisis)	Glukose 6-fosfatase
4	Liase	Pembelahan ikatan C-C, C-O, atau C-N untuk membentuk ikatan rangkap	Piruvat decarboksilase
5	Isomerase	Penataan ulang atom/kelompok molekul	Triose-fosfat Isomerase
6	Ligase	Reaksi penggabungan dengan menggunakan ATP	DNA ligase

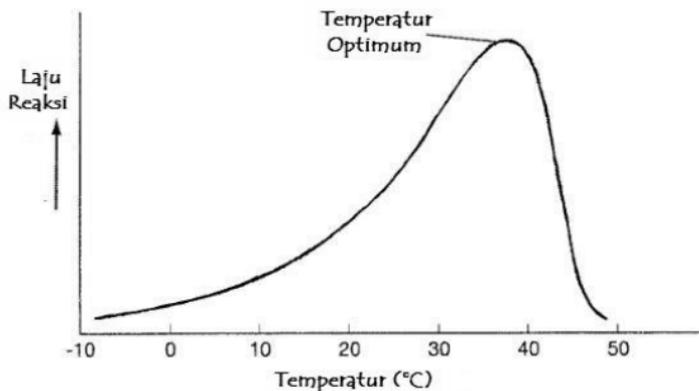
Setiap reaksi kimia yang berlangsung harus memiliki energi aktivasi, yaitu energi yang diperlukan untuk mengkonversi molekul pada awal reaksi dalam bentuk peralihan atau keadaan transisi dengan penataan ulang ikatan kimia. Enzim akan menurunkan energi aktivasi pada sebuah reaksi sehingga membutuhkan masukan energi yang lebih kecil. Berikut adalah gambar 28 pertumbuhan tiap tipe eubacteria perjam terhadap suhu.



Gambar 30 Peran Energi dalam Menurunkan Energi Aktivasi
(Sumber: Hogg, 2005)

Faktor Luar yang Mempengaruhi Aktivitas Enzim

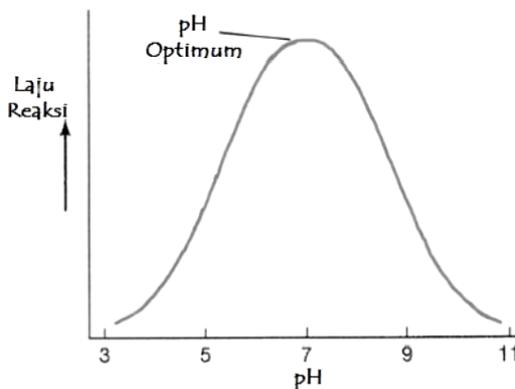
Temperatur, laju kimia akan meningkat dengan peningkatan temperatur yakni akibat gerakan yang lebih cepat dari molekul dan reaksi katalis enzim. Enzim juga akan rusak (denaturasi) jika temperatur terlalu tinggi. Denaturasi terjadi karena terjadi perubahan konfigurasi situs aktif dan hilangnya sifat katalitis. Di bawah temperatur optimum, laju reaksi meningkat dengan meningkatnya temperatur, namun di atas temperatur laju reaksi turun drastis karena struktur enzim mengalami denaturasi (Hogg, 2005). Pengaruh temperatur terhadap kerja enzim dapat dilihat pada Gambar 31.



Gambar 31 Pengaruh Temperatur terhadap Kerja Enzim
(Sumber: Hogg, 2005)

pH (Derajat Keasaman)

Kecepatan kerja enzim juga dipengaruhi oleh pH. pH tinggi akan mempengaruhi ionisasi sisi aktif dan sisi tak aktif enzim, menyebabkan perubahan bentuk enzim, dan menurunkan sifat katalistik sehingga aktivitas enzim menurun. Mikroorganisme akan dapat melakukan aktivitas metabolismenya di berbagai lingkungan fisikokimia sesuai dengan keberagaman temperatur dan suhu yang dialami oleh enzim yang dimilikinya (Hogg, 2005). Pengaruh pH terhadap kerja enzim nampak pada Gambar 32.

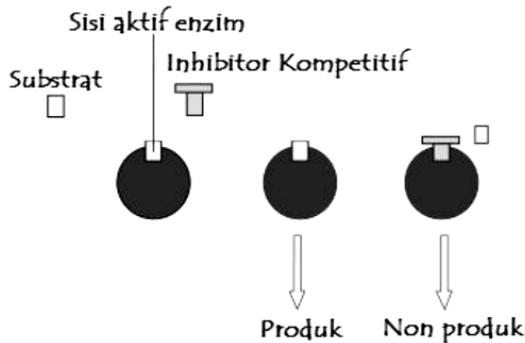


Gambar 32 Pengaruh pH terhadap Kerja Enzim
(Sumber: Hogg, 2005)

Konsentrasi substrat, penambahan substrat akan mempengaruhi kecepatan kerja enzim. Sebelum ada penambahan substrat, maka kerja enzim terlihat normal dan stabil. Akan tetapi, jika substrat ditambahkan maka sisi aktif enzim akan sering berikatan dengan substrat (kondisi jenuh) sehingga enzim bekerja sangat keras dan mampu menghasilkan kecepatan reaksi yang tinggi (Hogg, 2005).

Inhibitor enzim, aktivitas enzim dapat diganggu oleh adanya zat inhibitor (penghambat). Jenis inhibitor yang mampu mengganggu kerja enzim terdiri dari inhibitor kompetitif dan non kompetitif. Inhibitor yang paling mudah untuk dipahami adalah inhibitor kompetitif. Inhibitor kompetitif akan bersaing dengan substrat untuk mendapatkan sisi aktif enzim. Jika sisi aktif enzim ditempati oleh zat inhibitor maka enzim tidak dapat mengikat

substrat, sehingga reaksi akan berjalan kurang cepat (Hogg, 2005). Pengaruh inhibitor kompetitif pada enzim dapat dilihat pada Gambar 33.



Gambar 33 Pengaruh Inhibitor pada Enzim
(Sumber: Hogg, 2005)

10.4. Prinsip Menghasilkan Energi pada Mikroba

Menurut Hogg (2005), sel mendapatkan energi baik dalam bentuk nutrisi atau sinar matahari yang harus diubah menjadi bentuk energi yang dapat digunakan. Hasil dari metabolisme sel adalah senyawa Adenosin Trifosfat (ATP). ATP merupakan kelas senyawa yang dikenal sebagai penyimpan energi tinggi (berenergi tinggi) dari pemecahan nutrisi (terjebak oleh pigmen klorofil) dan dilepaskan jika dibutuhkan oleh sel. Reaksi katabolik, molekul glukosa dipecah dan energi dilepaskan dalam bentuk ATP yang kemudian dapat dimanfaatkan untuk aktivitas reaksi anabolik (sintesis). Bagi sel, ketika ATP dipecah menjadi ADP (Adenosin

Difosfat) dan gugus fosfat bebas maka energi akan tersedia dan digunakan untuk sel.

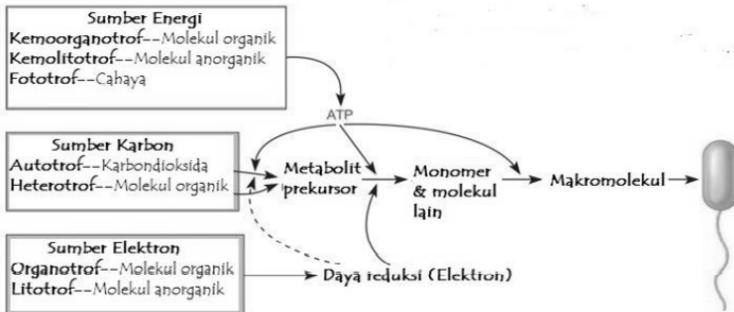
10.5. Katabolisme

Willey dkk (2009) menyatakan bahwa mikroba merupakan organisme kecil yang paling adaptif di muka bumi karena mereka dapat hidup di hampir setiap kondisi lingkungan. Sebagian besar mikroba, mampu mengkonversi energi dari sumber energi organisme ke dalam bentuk ATP. Struktur sel mikroba maupun organisme lain dibentuk dari berbagai makromolekul (seperti; asam nukleat dan protein). Makromolekul dibentuk dari

monomer dan molekul lain (misalkan; nukleotida dan asam amino) yang merupakan produk dari jalur biokimia yang dimulai dari metabolit prekursor (seperti; piruvat dan α -ketoglutarat).

Organisme autotrof, metabolis prekursor dihasilkan dari pengikatan (fiksasi)

CO_2 . Pada organisme heterotrof, metabolit prekursor berasal dari reaksi dari jalur metabolisme utama. Keragaman sumber energi mikroba dapat dilihat pada Gambar 34.



Gambar 34 Keragaman Sumber Energi Mikroba
(Sumber: Willey dkk, 2009)

Hewan dan banyak mikroba digolongkan ke dalam organisme Kemoorganoheterotrof. Organisme ini memiliki kemampuan untuk menggunakan molekul organik sebagai sumber energi, karbon, dan elektron. Organisme *Kemoorganoheterotrof* juga dapat disebut sebagai organisme kemoorganotrof atau kemoheterotrof yaitu mampu menggunakan satu atau lebih dari proses katabolik seperti respirasi aerobik, respirasi anaerobik dan fermentasi.

Sedangkan, kemolitototrof ialah mikroba yang dapat menggunakan CO_2 sebagai sumber karbon dan mampu mereduksi molekul organik sebagai sumber energi dan elektron.

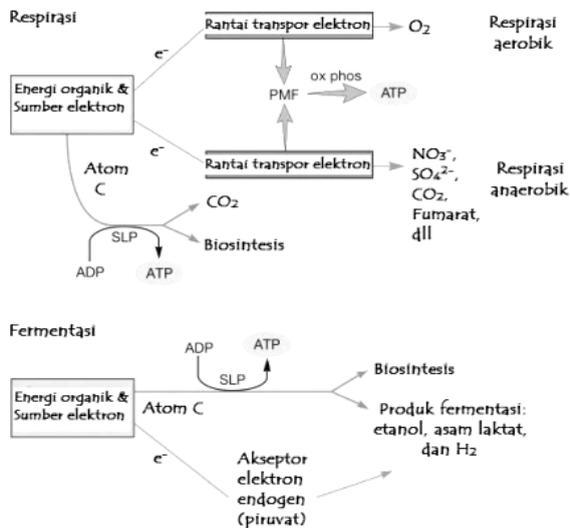
Organisme Kemoorganoheterotrof juga dapat disebut sebagai organisme kemoorganotrof atau kemoheterotrof yaitu mampu menggunakan satu atau lebih dari proses katabolik seperti respirasi aerobik, respirasi anaerobik dan fermentasi. Sedangkan, kemolitototrof ialah mikroba yang dapat menggunakan CO_2 sebagai sumber karbon dan mampu mereduksi molekul organik sebagai sumber energi dan elektron. Mikroba fotolitotropik

mampu menggunakan cahaya sebagai sumber energi dan molekul anorganik sebagai sumber elektron. Beberapa bakteri fotosintetik dapat menggunakan molekul seperti hidrogen sulfida Fotolitotrof bersifat autotrof yaitu menggunakan CO₂ sebagai sumber karbon. Namun juga ada beberapa mikroba phototropik yang heterotropik (Willey dkk, 2009).

Katabolisme pada Kemoorganotropik

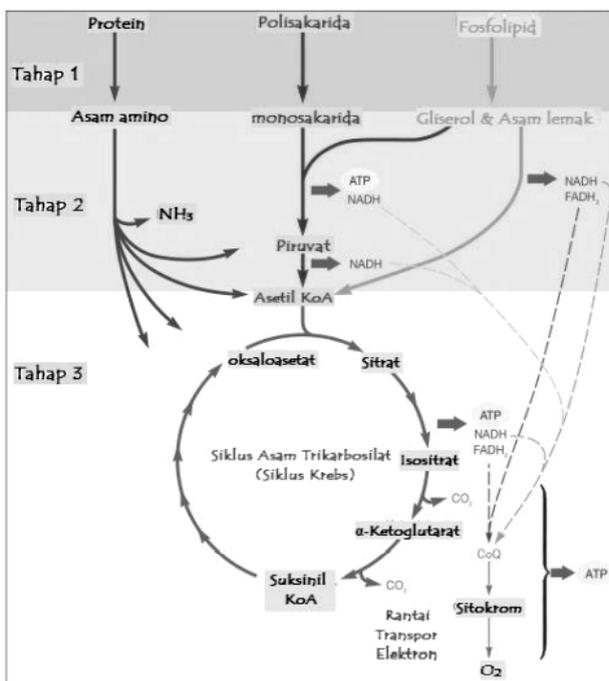
Kemoorganotrof dapat mengoksidasi energi organik dan elektron dilepaskan untuk diterima oleh berbagai akseptor elektron. Ketika akseptor elektron adalah eksogen (tersedia dari luar) maka proses metabolisme disebut respirasi (respirasi aerobik dan anaerobik). Pada respirasi aerobik, akseptor elektron terakhir ialah oksigen (O₂), sedangkan akseptor elektron terakhir pada respirasi anaerobik adalah molekul eksogen seperti NO₃⁻, SO₄²⁻, CO₂, Fe³⁺, dan SeO₄²⁻. Akseptor organik seperti fumarat dan asam humik juga dapat digunakan. Respirasi melibatkan aktivitas rantai transpor elektron seperti elektron melewati rantai untuk sampai ke akseptor elektron terakhir.

Sebuah tipe energi potensial yang disebut proton motive force (PMF) yang umum digunakan untuk mensintesis ATP dari ADP dan Pi dengan mekanisme oksidasi fosforilasi (ox phos). Sebaliknya, fermentasi menggunakan akseptor elektron terakhir yaitu endogen (dari dalam sel) dan tidak melibatkan aktivitas rantai transpor elektron dan PMF. Akseptor elektron endogen (seperti: piruvat) yang berasal dari jalur katabolik yang berguna untuk mendegradasi dan mengoksidasi sumber energi organik. Selama proses fermentasi, ATP dibentuk hanya dengan fosforilasi tingkat substrat (substrat-level-phosphorylation/SLP), yaitu proses dimana gugus fosfat ditransfer ke ADP dari molekul berenergi tinggi (seperti: fosfoenolpiruvat) yang dihasilkan oleh aktivitas katabolisme. Proses memperoleh energi oleh organisme Kemoorganotropik dapat dilihat pada Gambar 35.



Gambar 35 Proses Memperoleh Energi Kemoorganotropik (Sumber: Willey dkk, 2009)

Respirasi aerobik, respirasi anaerobik, dan fermentasi diproyeksikan dengan glukosa sebagai sumber energi. Glukosa digunakan oleh banyak kemoorganotrof sebagai sumber energi. Kebanyakan organisme dapat menggunakan berbagai macam molekul organik (misalkan: makromolekul) sebagai sumber energi seperti; protein, polisakarida, dan lipid. Makromolekul di atas akan dipecah menjadi bagian-bagian penyusunnya seperti; asam amino, monosakarida, asam lemak. Tiga tahapan respirasi aerobik dari jalur polisakarida, protein dan fosfolipid (lemak) nampak pada Gambar 36.



Gambar 36

Tiga Tahapan Respirasi Aerobik dari Jalur Polisakarida, Protein dan Fosfolipid (Sumber: Willey dkk, 2009)

Respirasi Aerobik

Respirasi aerobik adalah sebuah proses yang dapat mengkatabolisme secara penuh suatu sumber energi organik menjadi CO_2 melalui jalur glikolisis dan siklus TCA (Asam Trikarbositat) dengan O_2 sebagai akseptor elektron terakhir. Tahap pertama, pemecahan makromolekul menjadi monomer. Tahap kedua, monomer terdegradasi lebih lanjut pada jalur glikolisis dan menghasilkan piruvat atau asetil koenzim A serta dihasilkan beberapa ATP serta NADH, FADH_2 atau keduanya. Tahap ketiga, karbon teroksidasi dan masuk ke jalur siklus TCA serta teroksidasi sepenuhnya menjadi CO_2 dan dihasilkan beberapa ATP, NADH, FADH_2 . Pada tahap ketiga ini, NADH dan FADH_2 yang telah terbentuk dioksidasi oleh rantai transfer elektron dengan akseptor elektron terakhir O_2 . Rantai transpor

elektron inilah yang menghasilkan jumlah ATP terbanyak untuk sel selama aktivitas respirasi aerobik.

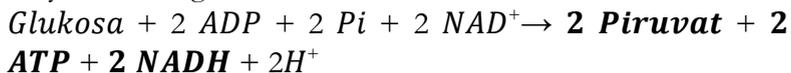
Pemecahan Glukosa Menjadi Piruvat

Willey dkk (2009) menjelaskan bahwa mikroorganisme melakukan beberapa jalur metabolik untuk mengkatabolisme glukosa dan gula lainnya. Terdapat 3 jalur yang digunakan untuk mengubah glukosa menjadi piruvat, yaitu: (1) jalur Embden Meyerhof, (2) jalur fosfat pentosa, dan (3) jalur Entner-Doudoroff.

Penjelasan ketiga jalur itu sebagai berikut.

1. Jalur Embden-Meyerhof

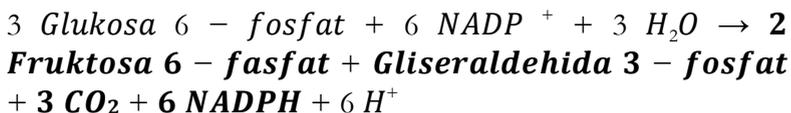
Jalur Embden-Meyerhof ini sudah umum digunakan untuk degradasi glukosa menjadi piruvat di tahap yang kedua dari respirasi aerobik. Jalur ini ditemukan pada semua kelompok utama mikroorganisme dan berdasarkan pada ada tidaknya O₂. Jalur ini juga merupakan jalur amfibolik (sintesis) penting dan menyediakan beberapa metabolit prekursor. Jalur Embden-Meyerhof terjadi di sitoplasma. Jalur Embden-Meyerhof dapat dilihat pada Gambar 10. Persamaan hasil pengubahan glukosa menjadi piruvat melalui jalur Embden-Meyerhof sebagai berikut.



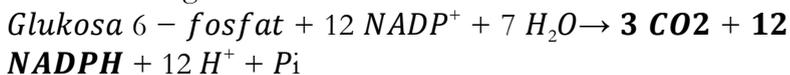
2. Jalur fosfat pentosa

Jalur fosfat pentosa atau heksosa monofosfat, dapat juga digunakan secara baik pada aerobik maupun anaerobik dan penting dalam biosintesis dan katabolisme. Jalur fosfat pentosa dimulai dengan oksidasi glukosa 6-fosfat sampai 6-fosfoglukonat diikuti juga oleh oksidasi 6-fosfoglukonat ke gula lima karbon (yaitu gula pentosa) ribolusa 5-fosfat dan CO₂. NADPH diproduksi selama oksidasi ini. Ribolusa 5-fosfat kemudian diubah menjadi campuran tiga sampai tujuh karbon fosfat gula. Enzim transketolase (mengkatalis pengalihan dua gugus karbon) dan enzim transaldolase (memindahkan gugus 3 karbon dari sedoheptulosa 7-fosfat ke gliseraldehida 3-fosfat). Hasil akhirnya adalah tiga glukosa 6-fosfat diubah menjadi dua molekul 6-fosfat, gliseraldehida 3-

fosfat, dan tiga molekul CO₂. Jalur fosfat pentosa dapat dilihat pada Gambar 11. Persamaan jalur fosfat pentosa seperti di bawah ini.



Intermediet ini digunakan dalam dua cara, yaitu (1) fruktosa 6-fasfat dapat diubah kembali menjadi glukosa 6-fosfat, sedangkan (2) gliseraldehida 3-fosfat diubah menjadi piruvat oleh enzim pada jalur Embden-Meyerhof. Sebagai alternatif dua gliseraldehida 3-fosfat dapat bergabung membentuk fruktosa 1,6-bifosfat, yang akhirnya diubah kembali menjadi glukosa 6-fosfat. Hal ini menyebabkan degradasi glukosa 6-fosfat menjadi CO₂ dan produksi NADPH yang banyak. Persamaan untuk menghasilkan NADPH sebagai berikut.



3. Jalur Entner-Doudoroff

Jalur Entner-Doudoroff digunakan oleh beberapa mikroba tanah seperti; bakteri *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Azotobacter*, dan *Agrobacterium* serta beberapa bakteri gram negatif lainnya. Jalur ini sangat sedikit bakteri gram positif yang ditemukan menggunakan jalur ini. Jalur Entner-Doudoroff dimulai dengan reaksi yang sama seperti jalur fosfat pentosa. Glukosa 6-fosfat yang kemudian diubah menjadi 6-fosfoglukonat. 6-fosfoglukonat mengalami dehidrasi untuk membentuk 2-keto-3-deoksi-6-fosfoglukonat (KDPG). KDPG kemudian dipecah oleh aldolase KDPG menjadi piruvat dan gliseraldehida 3-fosfat.

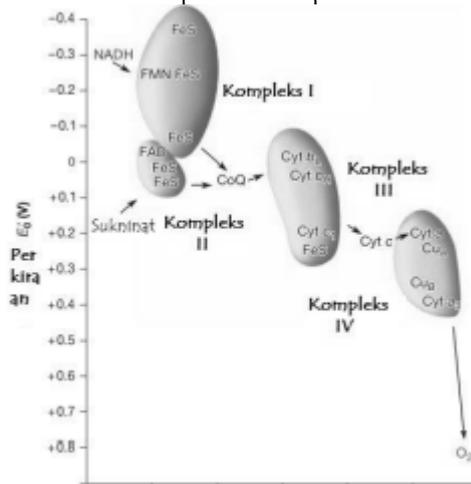
Siklus Asam Trikarboksilat (Siklus Krebs)

Selama proses aerobik, proses katabolisme berlanjut dengan mengoksidasi piruvat menjadi tiga CO₂. Tahap pertama dari proses ini menggunakan sistem multi enzim yang disebut kompleks piruvat dehidrogenase. Piruvat dioksidasi dan dibelah untuk membentuk satu CO₂ dan dua molekul dua karbon asetilkoenzim

A (asetil-KoA). Asetil-KoA kaya akan energi. Pada respirasi aerobik, karbohidrat, asam lemak, dan asam amino dapat dirubah menjadi asetil-KoA. Asetil-KoA akan memasuki siklus asam trikarboksilik (TCA), yang juga bisa disebut siklus asam sitrat atau siklus Krebs. Pada mikroorganisme enzim siklus TCA tersebar secara luas. Pada Prokariotik, enzim-enzim itu berada di sitoplasma. Sedangkan pada Eukariotik, enzim-enzim TCA terletak di matriks mitokondria. Siklus TCA ini berperan penting pada banyak bakteri aerobik, protista, dan fungi. Hal tersebut tidak mengherankan karena siklus ini memainkan peran penting dalam mengubah energi dengan memproduksi sejumlah NADH dan FADH₂. Mikroorganisme yang kekurangan siklus TCA biasanya memiliki sebagian besar enzim karena siklus TCA adalah sumber utama metabolit prekursor untuk digunakan dalam biosintesis.

Transpor Elektron (ETC) dan Fosforilasi Oksidatif

Rantai transpor elektron mitokondria (ETC) terdiri atas serangkaian pembawa elektron yang beroperasi bersama untuk menstransfer elektron dari donor (seperti NADH dan FADH₂). Proses transfer elektron dapat dilihat pada Gambar 37.



Gambar 37 Proses Transfer Elektron
(Sumber: Willey dkk, 2009)

Elektron mengalir dari potensial reduksi yang lebih negatif ke potensial reduksi yang lebih positif dan akhirnya digabungkan dengan O_2 dan H untuk membentuk air. Elektron bergerak di bawah gradien potensial (seperti pergerakan air dari hulu ke hilir). Perbedaan potensial reduksi antara O_2 dan NADH sangat besar sekitar 1,14 volt, yang memungkinkan pelepasan energi yang besar. Perbedaan potensial reduksi pada beberapa titik dalam rantai cukup besar untuk menghasilkan energi yang cukup untuk memproduksi ATP seperti energi dari air terjun dapat dimanfaatkan oleh roda air dan digunakan untuk menghasilkan listrik.

Dengan demikian, siklus ETC memecah keseluruhan pelepasan energi secara keseluruhan menjadi langkah-langkah yang lebih kecil. Transfer elektron menghasilkan proton dan gradien listrik. Gradien ini dapat mendorong sintesis ATP. Pada Eukariotik, pembawa ETC berada di dalam membran mitokondria dimana pembawa tersebut disusun menjadi empat kompleks, yakni masing-masing kompleks mampu mentranspor elektron sampai ke O_2 . Koenzim Q dan sitokrom c menghubungkan kompleks satu sama lain. Pada prokariotik, berlangsungnya transpor elektron tidak terjadi di mitokondria. Pertama, ETC terjadi di dalam membran plasma (membran sel). Membran plasma terdiri atas pembawa elektron yang berbeda (seperti; sitokrom) dan mungkin bercabang secara ekstensif. Elektron dapat masuk rantai di beberapa titik dan meninggalkannya melalui beberapa oksidasi terminal. Sel prokariotik melakukan transport elektron lebih pendek dan menghasilkan pelepasan energi lebih sedikit. Pada sel Prokariotik dan Eukariotik memiliki perbedaan dalam rincian konstruksi, namun mereka beroperasi dengan menggunakan prinsip dasar yang sama.

Contoh perbedaan antara sel Prokariotik dan Eukariotik diperlihatkan pada ETC pada bakteri *E. coli*. NADH yang dihasilkan oleh oksidasi substrat organik (selama glikolisis dan siklus TCA) dioksidasi ke NAD^+ oleh komponen pertama di ETC yaitu terikat membran NADH dehidrogenase. Elektron dari NADH dipindahkan ke potensial reduksi yang lebih positif. Sebagian elektron bergerak melalui pembawa, proton

dipindahkan melintasi membran plasma ke ruang peri plasma (di luar sel) dan bukan ke ruang intermembran, seperti yang terlihat di mitokondria. Perbedaan yang jelas antara *E. coli* dan rantai mitokondria adalah bahwa bakteri tersebut juga mengandung beragam sitokrom. Selanjutnya, *E. coli* telah menggambarkan dua cabang ETC yang beroperasi dalam kondisi aerasi yang berbeda. Bila kadar oksigen berkurang, cabang sitokrom *bd* digunakan karena memiliki afinitas yang lebih tinggi untuk oksigen. Namun, cabang sitokrom *bo* lebih banyak memindahkan proton ke ruang periplasma.

Fosforilasi oksidasi, disebut juga fosforilasi pernapasan yaitu proses dimana ATP dibentuk (disintesis) sebagai hasil transpor elektron yang didorong oleh oksidasi sumber energi kimia. Mekanisme fosforilasi oksidatif dijelaskan oleh hipotesis kemiosmotik (oleh Peter Mitchell). Menurut hipotesis kemiosmotik, yakni ETC disusun sedemikian rupa sehingga proton bergerak keluar dari matriks mitokondria saat elektron diangkut ke rantai transpor elektron. Pada prokariotik, proton dipindahkan melintasi membran plasma dari sitoplasma ke ruang periplasma. Mekanisme proton melintasi membran tidak sepenuhnya dipahami. Akan tetapi, dalam beberapa kasus, proton secara aktif dipompa melintasi membran oleh kompleks IV rantai mitokondria. Pada kasus lain, translokasi proton dihasilkan dari penjumlahan pembawa yang menerima kedua elektron dan proton dengan pembawa yang hanya menerima elektron. Misalkan; koenzim Q membawa dua elektron dan dua proton ke sitokrom *b* pada kompleks III dari rantai mitokondria. Sitokrom *b* hanya menerima satu elektron pada satu waktu dan tidak menerima proton. Akhirnya, untuk setiap elektron yang ditransfer oleh koenzim Q, satu proton dilepaskan ke ruang intermembran.

Hasil perlepasan proton selama transpor elektron adalah pembentukan gradien konsentrasi proton (potensial energi kimia) dan gradien muatan (potensial energi listrik). Dengan demikian, matriks mitokondrial lebih basa dan lebih negatif dari ruang intermembran dan begitu juga dengan prokariotik, sitoplasma lebih basa dan lebih negatif daripada ruang periplasmik. Gabungan perbedaan energi potensial kimia dan listrik membentuk proton motive force (PMF). PMF digunakan untuk

melakukan pekerjaan ketika proton mengalir kembali melintasi membran, menurunkan konsentrasi dan gradien muatan, dan ke dalam matriks mitokondria (atau sitoplasma sel prokariotik). Aliran ini bersifat eksergonik dan sering digunakan untuk mengubah ADP menjadi ATP. PMF juga digunakan untuk memutar motor flagella bakteri.

Dengan demikian PMF memainkan peran utama dalam fisiologi sel. Berdasarkan tahap-tahap respirasi aerob di atas, maka kita dapat menghitung ATP yang dihasilkan. ATP yang dibuat pada respirasi aerob dihasilkan oleh fosforilasi oksidatif. 10 NADH (2 dari glikolisis, 2 dari konversi piruvat menjadi asetil-KoA, dan 6 dari siklus TCA) dan 2 FADH₂ (2 dari siklus TCA) dihasilkan saat glukosa teroksidasi menjadi 6 CO₂. Asumsinya untuk NADH seharga dengan 3 ATP, dan FADH₂ seharga 2 ATP. 10 NADH secara teoritis dapat mendorong terbentuknya 30 ATP, sementara 2 FADH₂ akan menambah 4 ATP sehingga ATP yang dihasilkan adalah 34 ATP. Fosforilasi oksidatif menyumbang setidaknya delapan kali lebih banyak ATP dari pada fosforilasi tingkat substrat.

Akhirnya, Hasil maksimum ATP selama respirasi aerob adalah 38 ATP. Perlu diingat bahwa perhitungan di atas adalah bersifat teoritis. Sebenarnya, rasio ATP yang dihasilkan dari NADH sekitar 2,5 dan FADH₂ sebesar 1,5. Jadi, total hasil ATP dari glukosa mungkin mendekati 30 ATP dan bukan 38. ATP yang dihasilkan oleh sel Prokariotik lebih kecil dibandingkan dari sel Eukariotik. Hal itu dikarenakan oleh jalur sitokrom yang digunakan berbeda. Konsentrasi oksigen juga berpengaruh dalam produksi ATP pada sel Prokariotik. Misalkan bakteri *E. coli* berada pada habitat saluran usus yang sangat kaya akan nutrisi, maka tidak harus sangat efektif dalam pembentukan ATP. ETC mungkin berfungsi jika *E. coli* berada dalam lingkungan air tawar.

Respirasi Anaerobik

Seperti yang telah kitaelajari sebelumnya, pada respirasi aerobik glukosa dan molekul organik lainnya teroksidasi dan elektronnya dipindah ke NAD⁺ dan FAD untuk menghasilkan NADH dan FADH₂. Selanjutnya, NADH dan FADH₂ ini akan menyumbangkan elektron ke ETC dengan O₂ sebagai akseptor

elektron terakhir. Sedangkan respirasi anaerobik adalah suatu proses katabolisme dimana akseptor terakhir eksogen bukan O_2 . Respirasi anaerobik sering dilakukan oleh banyak bakteri dan Archaea. Akseptor elektron terakhir yang paling umum digunakan selama respirasi anaerob adalah nitrat, sulfat, dan CO_2 , namun beberapa logam dan beberapa molekul organik juga dapat direduksi oleh sel Prokariotik. Perbedaan akseptor elektron terakhir pada respirasi aerob dan respirasi anaerob pada Tabel 5.

Tabel 5

Perbedaan Akseptor Elektron Terakhir pada Respirasi Aerob dan Anaerob

Jenis Respirasi	Akseptor Elektron Terakhir	Produk Reduksi	Contoh Mikroorganisme
Aerobik	O_2	H_2O	Semua bakteri aerobik, fungi, dan protista
Anaerobik	NO_3^-	NO_2^-	Bakteri enterik
	NO_3^-	NO_2^- , N_2O , N_2	<i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i> , dan <i>Paracoccus</i>
	SO_4^{2-}	H_2S	<i>Desulfovibrio</i> dan <i>Desulfotomaculum</i>
	CO_2	CH_4	Semua bakteri <i>Methanogen</i> dan <i>Asetogen</i>
	S0	H_2S	<i>Desulfuromonas</i> dan <i>Thermoproteus</i>
	Fe^{3+}	Fe^{2+}	<i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i> , dan <i>Geobacter</i>
	$HAsO_4^{2+}$	$HAsO_2$	<i>Bacillus</i> , <i>Desulfotomaculum</i> , dan <i>Sulfurospirillum</i>
	SeO_4^{2-}	Se, $HseO_3^-$	<i>Aeromonas</i> , <i>Bacillus</i> , dan <i>Thauera</i>
Fumarat	Suksinat	<i>Wolinella</i>	

Beberapa sel Prokariotik mengoksidasi gula dan molekul organik lainnya untuk menghasilkan NADH dan FADH₂ yang digunakan untuk respirasi aerobik. Glikolisis dan fungsi siklus TCA dengan cara yang sama digunakan selama respirasi aerobik dan anaerobik, namun proses di atas disesuaikan dengan jenis organisasinya. Selanjutnya, sebagian besar ATP yang dihasilkan selama respirasi aerobik dilakukan dengan fosforilasi oksidatif, seperti yang terjadi pada respirasi aerob.

Contoh bakteri yang dapat melakukan respirasi aerobik dan anaerobik ialah *Paracoccus denitrificans* (bakteri gram negatif, fakultatif, bakteri anaerobik tanah yang sangat berguna secara metabolik). Pada kondisi anoksik (suplai oksigen rendah), bakteri *P. denitrificans* menggunakan NO³⁻ sebagai akseptor elektron. Bakteri ini menggunakan ETC yang berbeda, yaitu satu untuk respirasi aerobik dan lainnya untuk respirasi anaerobik.

NADH memindahkan elektron dari sumber elektron mikroba ke rantai tranpor elektron. Rantai transpor elektron memiliki empat kompleks yang sesuai dengan rantai mitokondria. Namun, ketika *P. denitrificans* tumbuh tanpa oksigen maka NO³⁻ digunakan sebagai akseptor elektron terakhir dan ETC lebih kompleks. Rantai tranpor elektron sangat bercabang dan kompleks sitokrom *aa* diganti. Elektron dilewatkan dari koenzim Q ke sitokrom b untuk reduksi nitrat menjadi nitrit (dikatalis oleh enzim nitrat reduktase). Elektron kemudian mengalir melalui sitokrom c untuk oksidasi rantai nitrit ke dinitrogen gas (N₂). Proton tidak banyak dipompa melintasi membran selama pertumbuhan anaerobik, tetapi PMF terbentuk.

Fermentasi

Fosforilasi oksidatif adalah suatu proses untuk menghasilkan ATP dengan jumlah banyak. Namun, beberapa mikroba Kemoorganotropik tidak mampu bertahan karena mereka kekurangan ETC atau mereka menekan sintesis komponen ETC ketika kondisi anoksik (suplai oksigen rendah) sehingga respirasi anaerobik tidak mungkin dilakukan. Akan tetapi, NADH yang dihasilkan oleh jalur Embden-Mayerhof selama glikolisis masih harus dioksidasi kembali ke NAD⁺. Jika NAD⁺ tidak diregenerasi, oksidasi gliseraldehida 3-fosfat akan

berhenti dan glikolisis akan berhenti. Banyak mikroorganisme memecahkan masalah di atas dengan memperlambat atau menghentikan aktivitas piruvat dehidrogenase dan menggunakan piruvat atau salah satu turunannya sebagai akseptor elektron untuk reoksidasi NADH dalam proses fermentasi.

Ada banyak jenis fermentasi dan seringkali merupakan karakteristik kelompok mikroba tertentu. Tiga konsep penting yang harus diingat saat fermentasi mikroba diperiksa, yaitu; (1) NADH teroksidasi ke NAD^+ , (2) akseptor elektron yakni piruvat atau turunan piruvat, dan (3) fosforilasi tidak dapat berlangsung dan mengurangi hasil ATP per glukosa secara signifikan. Pada fermentasi, substrat (misalkan glukosa) hanya sebagian teroksidasi, ATP dibentuk secara eksklusif oleh fosforilasi tingkat substrat, dan oksigen tidak diperlukan. Meskipun fermentasi menghasilkan ATP yang jauh lebih sedikit. Namun kegiatan ini merupakan komponen penting dari peristiwa metabolisme dari banyak mikroba karena memungkinkan mikroba fermenter menyesuaikan diri dengan perubahan habitatnya. Jenis-jenis fermentasi berdasarkan reaksinya dapat dilihat pada Gambar 38.



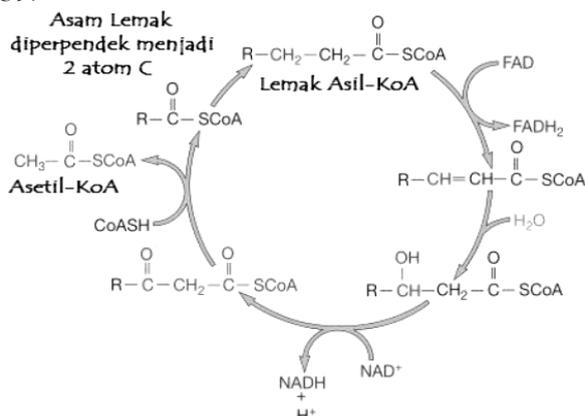
Gambar 38 Jenis-jenis Fermentasi Berdasarkan Reaksinya
(Sumber: Willey dkk, 2009)

Katabolisme Karbohidrat dan Polimer Cadangan Intraseluler

Mikroorganisme merombak berbagai jenis karbohidrat ekstraseluler. Monosakarida merupakan bentuk sederhana dari karbohidrat yang bisa diserap (diambil) dan difosforilasi oleh mikroorganisme. Disakarida dapat dipecah (dirombak) menjadi monosakarida oleh mikroorganisme dengan cara hidrolisis atau fosforilasi. Polisakarida (nama lain karbohidrat kompleks) eksternal dirombak (terdegradasi) melalui hidrolisis dan produk hidrolisis akan diserap oleh mikroorganisme. Glikogen intraseluler dan amilum (pati) diubah (dirombak) menjadi glukosa 1-fosfat melalui fosforolisis.

Katabolisme Lipid (Lemak)

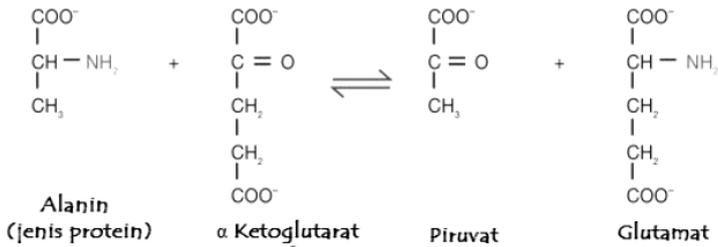
Trigliserida dihidrolisis (dipecah) menjadi gliserol dan asam lemak oleh enzim lipase yang dihasilkan mikroorganisme. Asam lemak dioksidasi menjadi asetil-KoA melewati jalur β oksidasi. Katabolisme lemak melalui jalur β oksidasi dapat dilihat pada Gambar 39.



Gambar 39 Katabolisme Lemak Melalui Jalur β Oksidasi
(Sumber: Willey dkk, 2009)

Katabolisme Protein (Polipeptida)

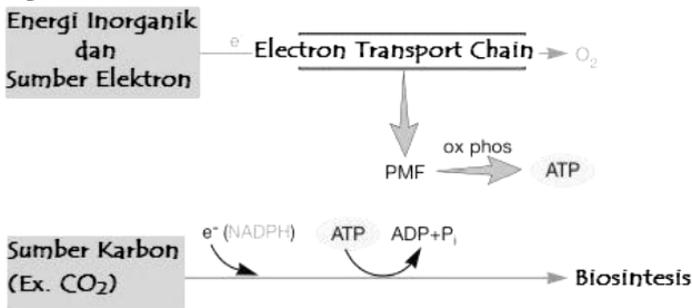
Protein (polipeptida) dihidrolisis menjadi asam amino yang kemudian akan dideaminasi. Reaksi deaminasi dapat dilihat pada Gambar 40. Kerangka karbon yang dihasilkan oleh deaminasi dimasukkan ke dalam siklus TCA.



Gambar 40 Reaksi Deaminasi pada Katabolisme Protein
(Sumber: Willey dkk, 2009)

Kemolitotrop

Mikroba kemolitotrof merupakan mikroorganisme yang mampu menghasilkan ATP dari memanfaatkan senyawa anorganik. Bakteri kemolitotrof mampu mensintesis ATP dengan mengoksidasi senyawa anorganik (seperti hidrogen) dan mereduksi senyawa nitrogen dan sulfur atau besi dengan ETC dan O₂ sebagai akseptor elektron. PMF (Proton Motive Force) yang dihasilkan digunakan oleh ATP sintase untuk membuat ATP. Proses mendapatkan energi oleh bakteri kemolitotrof dapat dilihat pada Gambar 41.



Gambar 41
Proses Mendapatkan Energi oleh Bakteri Kemolitotrof
(Sumber: Willey dkk, 2009)

Banyak sumber energi yang digunakan oleh Kemolitotrof. Kemolitotrof harus mengeluarkan energi (PMF) untuk menggerakkan aliran elektron bebas dan menghasilkan NADH yang mereka butuhkan untuk fiksasi CO₂ dan proses lainnya.

Fototrof

Fototrof adalah organisme yang melakukan fotosintesis untuk menghasilkan energi. Pada Fotosintesis (oksigenik), eukariota dan cyanobacteria menangkap energi cahaya dengan pigmen klorofil dan aksesori, serta memindahkan elektron melalui foto sistem I dan II untuk membuat ATP dan NADPH (reaksi terang). ATP dan NADPH digunakan dalam reaksi gelap untuk fiksasi CO₂. Pada reaksi terang melibatkan fosforilasi siklik dan nonsiklik. Fosforilasi siklik melibatkan aktivitas fotosistem I dan menghasilkan ATP. Pada fosforilasi nonsiklik, fotosistem I dan II bekerjasama untuk memindahkan elektron dari air ke NADP⁺ untuk produksi ATP, NADPH, dan O₂. Pada kedua kasus, aliran elektron menghasilkan PMF, yang digunakan oleh ATPsintase untuk membuat ATP.

Fototrof anoksigenik berbeda dengan fototrof oksigenik. Perbedaan itu terlihat pada bakterioklorofil dan hanya memiliki satu fotosistem. Aliran elektron siklik menghasilkan PMF, yang digunakan oleh ATPsintase untuk membuat ATP (pada fosforilasi siklik), bersifat anoksigenik karena mereka menggunakan molekul selain air sebagai donor elektron untuk aliran elektron dan mengurangi produksi daya. Beberapa archaea menggunakan tipe fototrof yang melibatkan pigmen pompa proton bakteriorodopsin. Tipe fototrof ini menghasilkan PMF, tetapi tidak melibatkan ETC.

10.6. Anabolisme (*Biosintesis*)

Senyawa yang dibutuhkan sel tersusun atas makromolekul, polimer yang dibentuk dari monomer sederhana. Meskipun banyak jalur katabolisme dan anabolisme memerlukan enzim untuk kegiatan tersebut guna efisiensi, beberapa enzim terpisah dan teregulasi secara independen. komponen makromolekul melakukan perakitan sendiri untuk membentuk molekul kompleks.

Metabolit Prekursor

Metabolit prekursor adalah rantai karbon yang digunakan untuk memulai substrat pada jalur biosintesis yang diperlukan dalam jalur glikolisis dan siklus TCA. Sebagian besar metabolit

prekursor digunakan untuk biosintesis asam amino dan yang lain digunakan untuk sintesis purin, pirimidin, dan lipid.

Fiksasi CO₂

Empat jalur berbeda dari fiksasi CO₂ teridentifikasi pada mikroorganisme autotrof yakni siklus calvin, siklus TCA reduktif, jalur Asetil-KoA, dan siklus hidropropionat. Siklus calvin digunakan sebagian besar oleh autotrof untuk fiksasi CO₂ yakni melalui 3 fase antara lain; fase karboksilasi, fase reduksi, dan fase regenerasi. Tiga ATPs dan dua NADPHs digunakan selama pemasukan satu CO₂. Siklus TCA reduktif, jalur Asetil-KoA dan siklus hidroksilpropionat digunakan oleh bakteri memfiksasi CO₂.

Sintesis Gula dan Polisakarida

Glukoneogenesis merupakan sintesis glukosa dan gula dari prekursor bukan gula. Glukosa, fruktosa, dan manosa merupakan glukoneogenik yang dibentuk secara langsung dari ketiganya, galaktosa dibentuk dari sintesis derivat difosfat nukleotida. Bakteri dan protista mensintesis glikogen dan amilum dari glukosa adenosin difosfat. Sintesis peptidoglikan merupakan proses kompleks yang membutuhkan derivat UDP dan lipid pembawa bactoprenol, yang mentransformasi NAG-NAM unit pentapeptida melewati membran sel. Jembatan silang dibentuk oleh transpeptidasi.

Sintesis Asam Amino

Penambahan nitrogen ke rantai karbon merupakan tahap penting biosintesis asam amino. Amonia, nitrat, N₂ dapat sebagai sumber nitrogen. Amonia dapat secara langsung diasimilasi melalui aktivitas transaminase dan dehidrogenase glutamat atau sintesis glutamin (sistem sintesis glutamat). Nitrat merupakan kumpulan asimilasi reduksi nitrat yang dikatalis oleh enzim nitrat reductase dan reductase nitrit. Fiksasi nitrogen dikatalis melalui nitrogenase. Molekul nitrogen di atmosfer dapat digunakan oleh mikroba untuk membentuk asam amino. Mikroorganisme dapat menggunakan sistein, metionin, dan sulfat inorganik sebagai sumber sulfur. sulfat direduksi menjadi sulfida sebelum diasimilasi yang terjadi selama asimilasi reduksi sulfat.

Beberapa asam amino secara langsung dibentuk dengan penambahan kelompok amino ke metabolit prekursor tetapi sebagian besar asam amino dibentuk dari jalur yang lebih kompleks. Banyak jalur biosintesis asam amino yang bercabang. Metabolit prekursor tunggal dapat meningkatkan beberapa asam amino. Reaksi anaplerotik mengganti siklus TCA untuk menjaga keseimbangan siklus dengan menyediakan metabolit prekursor. reaksi anaplerotik termasuk siklus glioksilat.

Sintesis Purin, Pirimidin, dan Nukleotida

Purin dan pirimidin merupakan nitrogen dasar yang ditemukan di DNA, RNA, dan molekul lain. Nitrogen disediakan dengan adanya asam amino yang terdapat pada biosintesis purin dan pirimidin. Fosfor disediakan oleh posfat anorganik atau fosfat organik. fosfat dapat diasimiliasi secara langsung oleh reaksi fosforilasi dari ATP menjadi ADP dan Pi. Sumber Fosfat organik adalah fosfat atau fosfatase dari molekul organik yang melepaskan fosfat. rantai purin merupakan sintesis yang diawali dengan ribosa-5-fosfat dan hasil asam inosinat. Biosintesis pirimidin dimulai dengan fosfat karbamoil dan aspartat, dan ribosa yang ditambahkan setelah rantai terbentuk.

Sintesis Lipid

Asam lemak disintesis dari Asetil-KoA, malonil-KoA, dan NADPH melalui sintesis asam lemak. Selama sintesis, ditambahkan molekul tertentu oleh protein pembawa asam. Ikatan ganda dapat ditambahkan pada dua jalur yang berbeda. Triasilgliserol dibentuk dari asam lemak dan fosfat gliserol. Asam fosfatidat sangat penting pada jalur ini. Fosfolipid seperti fosfatidiletanolamin dapat disintesis dari asam fosfatidat melalui pembentukan CDP diasilgliserol dan ditambahkan asam amino.

Kesimpulan

Metabolisme merupakan rangkaian reaksi kimia yang terjadi di dalam sel yang meliputi katabolisme dan anabolisme. Metabolisme dikendalikan oleh enzim. Tanpa enzim maka metabolisme tidak akan terjadi. Enzim berperan sebagai katalis reaksi kimia metabolisme. Namun kerja enzim dipengaruhi oleh

beberapa faktor, yaitu; suhu, pH, konsentrasi substrat, dan inhibitor. Katabolisme merupakan reaksi kimia yang memecah senyawa organik menjadi energi untuk biosintesis metabolit sekunder, proses ini akan menghasilkan energi (ATP). Reaksi katabolisme banyak dilakukan oleh organisme kemoorgano-heterotrof (kemoheterotrof). Reaksi katabolik berlangsung pada proses respirasi aerobik, respirasi anaerobik dan fermentasi.

Anabolisme merupakan reaksi kimia pembentukan senyawa organik dari senyawa anorganik dimana pada proses ini membutuhkan energi (ATP). Reaksi ini banyak dilakukan oleh organisme kemolitotrof seperti mikroba fotolitotrof dan beberapa bakteri fotosintetik. Reaksi anabolik berlangsung pada proses fotosintesis dan biosintesis makromolekul yang dibutuhkan oleh sel.

Soal Evaluasi

Tipe Pilihan Ganda (PG)

1. Pernyataan di bawah ini yang tepat mengenai metabolisme adalah, kecuali
 - a. Seluruh reaksi kimia yang terjadi di dalam sel
 - b. Reaksi kimia yang melepaskan dan memanfaatkan energi
 - c. Reaksi merombak senyawa anorganik menjadi senyawa organik dengan melapaskan energi
 - d. Reaksi penyusunan senyawa organik dari senyawa anorganik dengan membutuhkan masukan energi
2. Alasan yang tepat bila reaksi kimia dalam sel tidak dibantu oleh enzim adalah ...
 - a. Reaksi kimia akan berlangsung secara cepat
 - b. Energi aktivasi pada reaksi kimia akan naik
 - c. Reaksi kimia tidak akan berlangsung cepat
 - d. Substran akan terurai menjadi produk

Daftar Pustaka

- Black, Jacquelyn G. 2008. *Microbiology: Principles and Explorations* (7th Edition). Marymount University, Arlington, Virginia.
- Campbell, Neil. A., Reece, Jane. B., Urry, Lisa. A., Cain, Michael. L., Wasserman, Steven. A., Minorsky, Peter. V., and

- Jackson, Robert. B. 2008. *Biologi* (Edisi Kedelapan, Jilid 2). Jakarta: Erlangga.
- Carlile, Michael J., Watkinson, Sarah C., and Gooday, Graham W. 2001. *The Fungi*. London: ACADEMIC PRESS.
- Carter, John., and Saunders, Venetia. 2007. *Virology: Principles and Applications*. Liverpool John Moores University, UK: England.
- Deacon, J. W. 2006. *Fungal Biology* (4th edition). Australia: BlackWell Publishing.
- Dwiyitno. 2010. Identifikasi Bakteri Patogen Pada Produk Perikanan dengan Teknik Molekuler (*Jurnal Squalen*, Vol. 5, No. 2-Agustus 2010). Balai Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan.
- Fan, Frank., and McDevitt, Damien. 2002. Microbial Genomics for Antibiotic Target Discovery. *Methods In Microbiology*, Volume 33. Microbial, Musculoskeletal and Proliferative Diseases CEDD, GlaxoSmithKline, South Collegeville Road, USA.
- Fatimawali. 2013. Identifikasi Mikrobiologi dan Analisis Gen 16S rRNA Bakteri Resisten Merkuri Isolat S3.2.2 yang Diperoleh dari Limbah Tambang Rakyat (*Pharmacon: Jurnal Ilmiah Farmasi* Vol.2, No.04-November 2013, ISSN 2302-2493). Manado: Program Studi Farmasi FMIPA UNSRAT.
- Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, *Dasar-dasar Mikrobiologi*, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta
- Pratiwi, T. Silvia. 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Yogyakarta. Erlangga

BAB 11

PERANAN MIKROORGANISME DALAM KEHIDUPAN

No	Tujuan Instruksional Khusus	Pokok Bahasan	Sub pokok Bahasan
11	Mahasiswa menjelaskan pengertian tentang Peranan Mikroorganisme dalam Kehidupan	Peranan Mikroorganisme dalam Kehidupan	10.1. Pendahuluan 10.2. Bidang Pertanian 10.3. Bidang Pangan 10.4. Bidang Kesehatan 10.5. Bidang Industri 10.6. Bidang Lingkungan

11.1 Pendahuluan

Peranan mikroorganisme di era modern saat ini sangat luas. Mikroorganisme dapat diterapkan secara langsung maupun dimanipulasi untuk kepentingan manusia. Pemanfaatan mikroorganisme dengan perkembangan teknologi modern menciptakan inovasi dalam bidang pertanian, perikanan, pangan, industri, kesehatan, dan lingkungan. Pertanian saat ini memanfaatkan mikroorganisme dalam meningkatkan kesuburan tanah, kualitas hasil pertanian, dan penanggulangan hama secara alami (*biopestisida*).

Bidang pangan memanfaatkan mikroba dalam menciptakan sumber pangan alternatif di masa depan (spirulina, yeast digunakan sebagai salah satu penghasil protein tinggi). Bidang industri digunakan sebagai bioremediasi pada limbah industri. Bidang kesehatan mikroorganisme dapat digunakan untuk produksi hormon, protein atau enzim tertentu, terapi gen, vaksin DNA, dan obat hasil metabolit sekunder mikroba. Bidang lingkungan secara umum mikroorganisme berperan dalam menjaga keseimbangan daur biogeokimia.

11.2. Bidang Pertanian

Peranan mikrobiologi di bidang pertanian meliputi pemanfaatan mikroba untuk mengatasi permasalahan pertanian sebagai agen biologi yang bisa membunuh hama penyakit pada tanaman. Misalnya peranan bakteri *Bacillus thuringiensis* yang pertama kali ditemukan oleh Shigitane Ishiwata tahun 1901 di Jepang yang diisolasi ulat sutra yang menyebabkan penyakit. Penemuan yang sama pada tahun 1911 oleh Ernst Berliner dari penyakit yang disebabkan oleh larva ngengat. Pemanfaatan *B. thuringiensis* di bidang pertanian lainnya adalah sebagai pengendali hayati dari larva Coleoptera yakni kumbang pada tanaman kentang.

Pada tahun 1983 terjadi serangan hama kumbang pada tanaman kentang di Eropa dan Amerika Utara, telah dilakukan penanggulangan dengan menggunakan insektisida namun upaya yang dilakukan tidak berhasil. Jumlah larva kumbang yang semakin banyak karena efek dari resisten terhadap zat kimia insektisida sehingga sulit untuk dikendalikan pertumbuhannya. Namun, dengan penemuan 850 strain *B. thuringiensis* yang diisolasi dari berbagai daerah di Amerika, 55 strain merupakan aktif melumpuhkan Coleoptera. *B. thuringiensis* yang digunakan diketahui memiliki racun yang disebut dengan β -eksotoksin yang merupakan racun yang memiliki struktur mirip nukleotida dan mampu menghambat aktivitas DNA-yang bergantung pada RNA polimerase dari sel bakteri dan mamalia. Hal itu berpotensi untuk mengontrol hama kentang yang ada di Colorado sebagai insektisida dan akan berpengaruh juga sebagai agen pengendali hayati misalnya pada larva terbang di babi (Glazer dan Nikaido, 2007). Strain *B. thuringiensis* diklasifikasikan menjadi 5 berdasarkan kemampuannya sebagai insektisida alami yakni 1) *B. thuringiensis* var *berliner*-spesifik *lepidopteran*; 2) *B. thuringiensis* var *israelensis*-spesifik *diptera*; c) *B. thuringiensis* var *tenebrionis*-spesifik *coleopteran*; d) *B. thuringiensis* var *aizawai*-spesifik *lepidoptera* dan *diptera*; dan e) *B. thuringiensis* var *thuringiensis*-spesifik *lepidoptera* dan *coleoptera*. Insektisida yang telah dikomersialkan dari *B. thuringiensis* secara umum dalam bentuk bubuk kering yang mengandung sporulasi sel *B. thuringiensis* var *kurstaki* yang dapat diaplikasikan pada tanaman.

Komposisi aktif tersusun atas protein kristal dan spora yang nantinya akan termakan oleh larva dan menyebar ke daun (Glazer dan Nikaido, 2007). Mekanisme *B. thuringiensis* sebagai insektisida dapat dijelaskan sebagai berikut. Kristal aktif (pada penjelasan di atas) tersusun atas molekul protoxin inaktif yang diketahui sebagai δ -endotoksin. Setelah kristal aktif tertelan oleh hama dan masuk ke dalam usus dan dicerna oleh enzim protease maka protoxin akan aktif menjadi protein racun. Protein racun akan difusi melewati membran peritropic (membran semipermeabel yang memisahkan isi lumen usus dari sel epitel pencernaan membran usus) dan mengikat reseptor khusus pada membran plasma larva sel epitel usus dan masuk ke dalam membran untuk membentuk pori yang membuat sel permeabel terhadap ion dan proton. Akibatnya air dan ion-ion dapat masuk ke dalam sel usus yang menyebabkan lisisnya sel dan kematian larva.

Secara umum mekanisme aksi dari racun yang dimiliki oleh *B. thuringiensis* yakni δ -endotoksin ada 4 yakni: 1) proteolisis dari protoxin pada usus insekta untuk mengaktifkan potongan racun; 2) pengikatan racun pada reseptor spesifik pada sel epitel usus; 3) pembentukan pori pada transmembran; dan 4) Bacteremia, yakni sel vegetatif *B. thuringiensis* yang berkembangbiak melalui spora yang masuk ke sistem hemolimfe dan merusak sel epitel yang menyebabkan organisme host mengalami kematian (Glazer dan Nikaido, 2007). Pemanfaatan *E.coli* dengan teknik DNA rekombinan untuk menghasilkan tumbuhan yang resisten terhadap hama (Campbell dkk, 2008).

11.3.. Bidang Pangan

Dimasa depan peranan mikroorganisme sangat penting sebagai sumber pangan. *Spirulina* dan *cyanobacteria* yang digunakan sebagai sumber makanan selain produk olahan susu yang memanfaatkan peranan mikroorganisme. Produk lain dari pemanfaatan mikroorganisme adalah fermentasi coklat. Proses fermentasi coklat membutuhkan mikroba. Pertama, dibutuhkan *yeast*, *Candida rugosa*, dan *Kluyveromyces marxianus*, yang menghidrolisis pektin yang melindungi biji dan memfermentasi gula untuk melepaskan etil-alkohol dan CO₂. Temperatur dan

konsentrasi alkohol akan meningkat dan bakteri asam laktat akan meningkat. Produksi asam laktat akan menurunkan pH dimana bakteri akan tumbuh dan memproduksi asam asetat sebagai fermentasi dan produk akhir (Willey dkk, 2009).

Beberapa produk makanan yang memanfaatkan mikroorganisme dengan teknik fermentasi dapat dilihat pada Tabel 6 berikut :

Tabel 6
Produk Makanan Yang Memanfaatkan Mikroorganisme Dengan Teknik Fermentasi

Makanan	Bahan Baku	Mikroorganisme Fermentasi
Kopi	Biji Kopi	<i>Erwinia dissolvens, Saccharomyces spp.</i>
Gari	Singkong	<i>Corynebacterium manihot, Geotrichum spp.</i>
Kenkey	Jagung	<i>Aspergillus spp., Penicillium spp., lactobacilli, yeasts</i>
Kimchi	Kubis dan sayuran lainnya	Bakteri asam laktat
Miso	Biji kedelai	<i>Aspergillus oryzae, Zygosaccharomyces rouxii</i>
Ogi	Jagung	<i>Lactobacillus plantarum, Lactococcus lactis, Zygosaccharomyces rouxii</i>
Oncom	Kacang	<i>Neurospora sitophila</i>
Minyak Zaitun	Daun Zaitun	<i>Leuconostoc mesenteroides, Lactobacillus plantarum</i>
Tape	Singkong	<i>Yeast</i>
Kecap	Biji Kedelai	<i>Aspergillus oryzae or A. soyae, Z. rouxii, Lactobacillus delbrueckii</i>
Tempe	Biji Kedelai	<i>Rhizopus oligosporus, R. oryzae</i>
Sufu	Biji Kedelai	<i>Actinimucor elegans, Mucor spp.</i>

11.4. Bidang Kesehatan

Pemanfaatan mikroba dalam kesehatan salah satunya adalah mikroba *B. thuringiensis* yang telah dijelaskan pada bagian di

atas. Berdasarkan hasil penemuan yang telah dilakukan, pada tahun 1975 Drs Tahori dan Margalite menemukan bahwa *B. thuringiensis* mampu berperan sebagai agen pengendali hayati dari nyamuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *B. Thuringiensis* mampu membunuh larva nyamuk *Culex pipiens* penyebab penyakit malaria, dengan membunuh larva nyamuk tersebut maka dimungkinkan persebaran *epizotik* nyamuk tidak akan meluas sehingga penyakit malaria akan dapat dicegah (Glazer dan Nikaido, 2007).

Peranan lainnya adalah dengan pemanfaatan jamur *Nomuraea rileyi* yang dijadikan sebagai agen biologi untuk membunuh pertumbuhan larva nyamuk *Aedes aegypti* yang berperan sebagai vektor penyakit Demam berdarah dengue (Prayitno, 2014). Penggunaan mikroorganisme juga digunakan dalam produksi obat secara luas. Produksi antibiotik yang memanfaatkan *Streptomyces*, *Penicillium*, *Cephalosporus*, dan *Bacillus*. Sebagian besar antibiotik memiliki cincin β -lactam, beberapa diantaranya memproduksi antibiotik dengan memodifikasi cincin tersebut sehingga organisme tidak bisa mendegradasinya. Enzim yang diekstrak dari mikroorganisme termasuk protease, amilase, laktase, lipase, dan invertase yang digunakan sebagai detergen, pembersih, dan beberapa produk kertas.

Pemanfaatan *E. Coli* dengan teknik DNA rekombinan dapat digunakan untuk terapi serangan jantung dan terapi pertumbuhan manusia yang terhambat. Mekanisme untuk menghasilkan protein dan hormon melalui pemanfaatan *E. Coli* dengan teknik DNA rekombinan yakni 1) gen yang diinginkan (penghasil hormon insulin, penghasil hormon pertumbuhan, dll) disisipkan ke dalam plasmid bakteri *E.coli*, 2) gabungan gen yang diinginkan dan plasmid dimasukkan ke dalam sel bakteri *E.coli*, 3) sel bakteri atau sel inang dikultur hingga membentuk klon sel-sel yang mengandung gen yang dikehendaki, 4) protein yang diekspresikan oleh gen yang dikehendaki, 5) pemurnian protein/hormon yang dihasilkan (Campbell dkk, 2008).

11.5. Bidang Industri

Mikroorganisme memerankan peran mendasar dari pengolahan kembali melalui pelepasan karbon, nitrogen, pospor,

dan sulfur dari berbagai jenis komposisi organik kompleks yang digunakan kembali oleh kehidupan organisme dan pembaharuan energi.

Bakteri *Lactococcus* bisa digunakan sebagai biosensor untuk mendeteksi keberadaan antibiotik pada susu yang akan digunakan untuk produksi keju. Emisi cahaya dibutuhkan untuk kehidupan sel, keberadaan antibiotik diukur dengan pengurangan cahaya melalui rekombinan bakteri *Lactococcus* (Willey dkk, 2009).

Batu bara, minyak bumi, dan gas alam merupakan hasil percampuran antara reduksi karbon yang dihasilkan melalui tekanan tinggi dan panas dari sisa tanaman dan fitoplankton yang terkubur dalam jangka waktu yang lama. Minyak bumi dibentuk dari sisa fitoplankton yang terakumulasi pada dasar laut yang mengandung gas, cairan, alkana, parafin, cycloparafin, sulfur dan komposisi organik lainnya.

11.6. Bidang Lingkungan

Peranan mikroorganisme di bidang lingkungan diantaranya adalah sebagai biosensor terhadap adanya polutan di alam. Biosensor merupakan bakteri yang mampu mengetahui lokasi adanya polutan aktif di lingkungan. Biosensor tidak membutuhkan peralatan dan zat kimia untuk bekerja secara cepat dalam mendeteksi adanya polutan. Bakteri biosensor akan aktif jika ada reseptor yang terdapat pada polutan dan melaporkan keberadaan polutan secara nyata.

Biosensor menggunakan operon lux dari bakteri *Vibrio* atau *Photobacterium* sebagai pendeteksi polutan. Operon ini mengandung inducer dan struktur gen untuk enzim luciferase dan keberadaan koenzim yang disebut dengan FMNH₂. Enzim luciferase bereaksi dengan molekul seperti kompleks enzim substrat dimana oksidasi FMNH₂ akan menghasilkan FMN. Bakteri yang mengandung operon lux akan memancarkan cahaya ketika reseptor tersebut aktif (Willey dkk, 2009). Bakteri *E.coli* juga mampu digunakan sebagai biosensor karena juga mengandung operon lux. *E.coli* mampu mendeteksi senyawa berbahaya yang terdapat pada air dan tanah. Sampel tanah dan air yang tercemar dimasukkan dalam tabung reaksi yang berisi *E.coli*.

E. coli akan memancarkan cahaya selama dia hidup dan akan berhenti memancarkan cahaya ketika *E. coli* mati akibat polutan. Pemanfaatan mikroorganisme untuk lingkungan juga bisa dilakukan dengan teknik bioremediasi. Bioremediasi proses menggunakan mikroorganisme untuk menurunkan atau menghilangkan polutan berbahaya dari lingkungan. Campbell dkk (2008) menambahkan bahwa teknik pembersihan limbah beracun di lingkungan dapat dilakukan dengan teknik DNA rekombinan. Gen yang diinginkan (gen yang terekspresi untuk bisa mendegradasi senyawa polutan) disisipkan ke dalam plasmid *E. coli* dan gabungannya dimasukkan ke dalam sel bakteri (*E. coli*) selanjutnya sel bakteri tersebut di kultur dan diperbanyak untuk diterapkan pada lingkungan yang tercemar.

Kesimpulan

Mikroorganisme memainkan peran yang penting dalam menanggulangi berbagai permasalahan dalam kehidupan. Peranan mikroorganisme semakin berkembang seiring dengan kemajuan teknologi. Beberapa bidang yang menjadi peranan mikroorganisme antara lain; bidang pertanian, pangan, industri, kesehatan, dan lingkungan. Pada bidang pertanian, mikroorganisme dapat dimanfaatkan sebagai bioinsektisida hayati yang ramah lingkungan dan juga dapat digunakan untuk menciptakan tumbuhan yang resisten terhadap hama melalui teknik DNA rekombinan. Pada pangan, mikroorganisme dapat dimanfaatkan dalam produksi makanan fermentasi dan juga berfungsi sebagai sumber protein alternatif jika dunia kekurangan sumber makanan berprotein.

Pada bidang industri, mikroorganisme dapat dimanfaatkan sebagai biosensor untuk mengetahui antibiotik yang terdapat pada makanan/minuman probiotik. Pada bidang kesehatan, plasmid bakteri dapat digunakan untuk produksi protein, hormon dan enzim dengan teknik DNA rekombinan. Pada bidang lingkungan, mikroorganisme dapat digunakan sebagai biosensor untuk mendeteksi adanya polutan di alam.

Soal Evaluasi

Tipe Pilihan Ganda (PG)

1. Pernyataan di bawah ini yang tepat mengenai pemanfaatan bakteri *Bacillus thuringiensis* di bidang pertanian adalah ...
 - a. *B. thuringiensis* merusak bunga tanaman
 - b. *B. thuringiensis* bersimbiosis dengan hama tanaman
 - c. *B. thuringiensis* menghasilkan racun yang mampu membunuh hama
 - d. *B. thuringiensis* mampu membunuh mikroba penyebab penyakit pada tumbuhan
2. Pernyataan teknik bioteknologi berikut ini yang benar dalam menciptakan tanaman yang resisten terhadap hama adalah, kecuali ...
 - a. Memanfaatkan plasmid bakteri
 - b. Penggabungan DNA bakteri dan tumbuhan
 - c. Penanaman hasil DNA rekombinan pada tumbuhan
 - d. Pemanfaatan sel bakteri secara langsung

Daftar Pustaka

- Black, Jacquelyn G. 2008. *Microbiology: Principles and Explorations* (7th Edition). Marymount University, Arlington, Virginia.
- Campbell, Neil. A., Reece, Jane. B., Urry, Lisa. A., Cain, Michael. L., Wasserman, Steven. A., Minorsky, Peter. V., and Jackson, Robert. B. 2008. *Biologi* (Edisi Kedelapan, Jilid 2). Jakarta: Erlangga.
- Carlile, Michael J., Watkinson, Sarah C., and Gooday, Graham W. 2001. *The Fungi*. London: ACADEMIC PRESS.
- Carter, John., and Saunders, Venetia. 2007. *Virology: Principles and Applications*. Liverpool John Moores University, UK: England.
- Deacon, J. W. 2006. *Fungal Biology* (4th edition). Australia: BlackWell Publishing.

- Dwiyitno. 2010. Identifikasi Bakteri Patogen Pada Produk Perikanan dengan Teknik Molekuler (*Jurnal Squalen*, Vol. 5, No. 2-Agustus 2010). Balai Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan.
- Fan, Frank., and McDevitt, Damien. 2002. Microbial Genomics for Antibiotic Target Discovery. *Methods In Microbiology*, Volume 33. Microbial, Musculoskeletal and Proliferative Diseases CEDD, GlaxoSmithKline, South Collegeville Road, USA.
- Fatimawali. 2013. Identifikasi Mikrobiologi dan Analisis Gen 16S rRNA Bakteri Resisten Merkuri Isolat S3.2.2 yang Diperoleh dari Limbah Tambang Rakyat (*Pharmacon: Jurnal Ilmiah Farmasi* Vol.2, No.04-November 2013, ISSN 2302-2493). Manado: Program Studi Farmasi FMIPA UNSRAT.
- Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, *Dasar-dasar Mikrobiologi*, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta
- Pratiwi, T. Silvia. 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Yogyakarta. Erlangga

TENTANG PENULIS



Dr. Mulono Apriyanto STP. MP., dilahirkan di Yogyakarta. Saat ini sebagai dosen Fakultas Pertanian Universitas Islam Indragiri. saat ini memiliki beberapa kemampuan di bidang pertanian dan pengolahan hasil pertanian. Penulis juga merupakan penilai kompetensi di bidang pertanian dan auditor di Indonesia Sustainable Palm Oil (ISPO). Beberapa karya tulisnya berindeks scopus, WoS dan Sinta. Juga mereview beberapa jurnal nasional dan internasional. Menulis buku Ajar Kimia Pangan, Monograf Peningkatan Mutu Biji Kakao Petani dan beberapa book chapter dibidang pertanian dan pangan.



Rifni Novitasari, S. TP., MP., dilahirkan di Jakarta tahun 1976. Setelah tamat SMAN 1 Padang melanjutkan kuliah S1 di Universitas Andalas Padang (UNAND) Fakultas Pertanian Jurusan Teknologi Pangan (Teknologi Hasil Pertanian) tahun 1995, Studi S2 dilanjutkan di UNAND pada Tahun 2005 pada Prodi Teknologi Pertanian (Teknologi Industri Pertanian). Saat ini adalah dosen tetap di Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Islam Indragiri. Aktif menulis artikel di berbagai jurnal nasional, maupun internasional. Dan aktif sebagai instruktur Pengolahan Hasil Pertanian dengan sertifikat BNSP dengan konsentrasi Hasil penelitiannya berbasis Sumber Daya Alam.



Dr. Hermiza Mardesci, S.TP., M.P., lahir di Tandikat, 8 Oktober 1979. Pendidikan formal S1 diselesaikan di Universitas Andalas pada Tahun 2003, pendidikan S2 juga diselesaikan di Universitas Andalas pada Tahun 2009, dan pendidikan S3 juga diselesaikan di Universitas Andalas pada Tahun 2020. Saat ini adalah dosen tetap di

Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Islam Indragiri. Aktif menulis artikel di berbagai jurnal nasional, maupun internasional. Pernah tampil sebagai pembicara di konferensi internasional di berbagai negara, seperti Malaysia, Thailand, Philipina, dan Sri Langka.



Yulianti, S.Pd., M.Si., dilahirkan di Pulau Kijang pada tahun 1990. Setelah tamat SMA N 1 Reteh, Pulau Kijang, tahun 2007, Penulis melanjutkan pendidikan S-1 di UIN Sultan Syarif Kasim Riau. Pendidikan S-2 di tempuh di Universitas Andalas dan selesai pada tahun 2014. Saat ini ia menjadi Dosen Tetap dan Ketua Program Studi Teknologi

Pangan, Fakultas Pertanian Universitas Islam Indragiri, ia juga menjadi Tim Ahli AMDAL, Dinas Lingkungan Hidup Kab.Indragiri Hilir. Aktif menulis artikel baik di jurnal nasional maupun internasional.
