

MIKROBIOLOGI

Mikrobiologi adalah ilmu yang mempelajari mikroorganisme yang sangat kecil sehingga tidak dapat dilihat oleh mata telanjang dan hanya dapat dilihat dengan bantuan mikroskop. Mikrobiologi merupakan bidang ilmu biologi khusus yang berhubungan dengan makhluk hidup yang biasanya terlalu kecil untuk dilihat tanpa pembesaran. Organisme mikroskopis tersebut biasanya disebut sebagai mikroorganisme. Buku ini merupakan kumpulan tulisan dari para akademisi mengenai topik mikrobiologi, yang disusun sedemikian rupa secara sistematis, sehingga memudahkan para pembaca memahami mikrobiologi secara runut. Khususnya bagi para mahasiswa yang sedang mengikuti mata kuliah mikrobiologi, maka buku ini bisa menjadi alternatif bacaan yang bermanfaat.



PENERBIT LAKEISHA

Jl. Jember Smpaki
Sukoharjo, RI 0263 Pkw001
Pecunggan, Jember
Kode C. Jawa Timur 60132
Email : lakeisha@lakeisha.com
Website : <http://www.penerbitlakeisha.com>



MIKROBIOLOGI

Penerbit
LAKEISHA

MIKROBIOLOGI



Indra Taufik Sahli | Elsa yuniarti | Adriani | Linda Rosalina
Ni'matul Murtafah | Etin Diah Permanasari | Harry Ade Saputra
Muji Rahayu | Nasri | Reni Yunus | Sefanadia Putri

MIKROBIOLOGI

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta

Pasal 1:

1. Hak Cipta adalah hak eksklusif pencipta yang timbul secara otomatis berdasarkan prinsip deklaratif setelah suatu ciptaan diwujudkan dalam bentuk nyata tanpa mengurangi pembatasan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang undangan.

Pasal 9:

2. Pencipta atau Pengarang Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 8 memiliki hak ekonomi untuk melakukan a. Penerbitan Ciptaan; b. Penggandaan Ciptaan dalam segala bentuknya; c. Penerjemahan Ciptaan; d. Pengadaptasian, pengaransemen, atau pentransformasian Ciptaan; e. Pendistribusian Ciptaan atau salinan; f. Pertunjukan Ciptaan; g. Pengumuman Ciptaan; h. Komunikasi Ciptaan; dan i. Penyewaan Ciptaan.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

MIKROBIOLOGI

Indra Taufik Sahli
Elsa yuniarti
Adriani
Linda Rosalina
Ni'matul Murtafi'ah
Etin Diah Permanasari
Harry Ade Saputra
Muji Rahayu
Nasri
Reni Yunus
Sefanadia Putri



Penerbit Lakeisha
2023

MIKROBIOLOGI

Penulis:

Indra Taufik Sahli
Elsa yuniarti
Adriani
Linda Rosalina
Ni'matul Murtafi'ah
Etin Diah Permanasari
Harry Ade Saputra
Muji Rahayu
Nasri
Reni Yunus
Sefanadia Putri

Editor: Andriyanto, S.S., M.Pd.
Layout: Yusuf Deni Kristanto, S.Pd.
Desain Cover: Tim Lakeisha
Cetak I Juni 2023
15,5 cm × 23 cm, 132 Halaman
ISBN: 978-623-420-783-5

Diterbitkan oleh Penerbit Lakeisha
(**Anggota IKAPI No.181/JTE/2019**)
Redaksi
Srikaton, RT 003, RW 001, Pucangmiliran,
Tulung, Klaten, Jawa Tengah
Hp. 08989880852, Email: penerbit_lakeisha@yahoo.com
Website: www.penerbitlakeisha.com

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit

KATA PENGANTAR



Segala puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan yang maha Esa, karena atas pertolongan dan limpahan rahmatnya sehingga penulis bisa menyelesaikan buku yang berjudul Mikrobiologi. Buku ini disusun secara lengkap dengan tujuan untuk memudahkan para pembaca memahami isi buku ini. Kami menyadari bahwa buku yang ada ditangan pembaca ini masih banyak kekurangan. Maka dari itu kami sangat mengharapkan saran untuk perbaikan buku ini dimasa yang akan datang. Dan tidak lupa kami mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penerbitan buku ini. Semoga buku ini dapat membawa manfaat dan dampak positif bagi para pembaca.

Penulis, Malang 21 Mei 2023

DAFTAR ISI



KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
BAB 1	
SEJARAH DAN RUANG LINGKUP MIKROBIOLOGI.....	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Penemuan Pertama Mikroorganisme	2
1.3 Perdebatan Teori Generasi Spontanea.....	3
1.4 Teori Biogenesis	5
1.5 Zaman Keemasan Mikrobiologi	7
1.6 Penemuan Patogen dan Teori Kuman Penyakit	7
1.7 Ruang Lingkup Mikrobiologi.....	9
BAB 2	
PERKEMBANGAN DAN TEORI MIKROBIOLOGI.....	12
2.1 Perkembangan Mikrobiologi.....	12
2.2 Teori Mikrobiologi	14
BAB 3	
KONSEP PENGGOLONGAN BAKTERI	20
3.1 Pendahuluan	20
3.2 Eubakteria/bakteri.....	21
3.3 Archaeobacteria.....	31
3.4 Peranan Bakteri.....	33
BAB 4	
KONSEP PROTISTA.....	39
4.1 Pendahuluan	39
4.2 Protista.....	39

BAB 5	
PEMBIAKAN MIKROORGANISME	49
5.1	Pendahuluan49
5.2	Media49
5.3	Jenis Biakan Mikroorganisme55
5.4	Kebutuhan Nutrisi Mikroorganisme55
5.5	Cara Memindahkan Biakan56
5.6	Isolasi Mikroorganisme.....59
BAB 6	
PERTUMBUHAN MIKROORGANISME.....	61
6.1	Pengertian pertumbuhan mikroorganisme61
6.2	Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme.....61
6.3	Kurva pertumbuhan mikroorganisme.....66
6.4	Metode pengukuran pertumbuhan mikroorgainsme.....68
BAB 7	
VIRUS HEWAN DAN TUMBUHAN.....	74
7.1	Pendahuluan74
7.2	Virus hewan.....74
7.3	Virus tumbuhan.....80
BAB 8	
METABOLISME BAKTERI	86
8.1	Pendahuluan86
8.2	Klasifikasi Mikroba86
8.3	Metabolisme Mikroba89
BAB 9	
GENETIKA MIKROBA.....	96
9.1	Pendahuluan96
9.2	Sejarah Perkembangan Genetika97
9.3	Genetika Mikroorganisme98
9.4	Materi Genetik: Asam Nukleat99
9.5	Asam Deoksiribonukleat (DNA)99
9.6	Asam Ribonukleat (RNA)100

9.7	Fungsi Materi Genetik.....	102
9.8	Sel Prokariotik.....	102
9.9	Sel Eukariotik.....	103

BAB 10

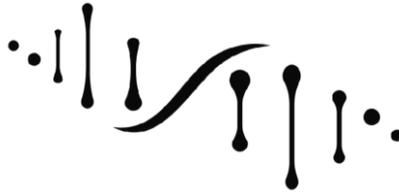
MIKROBIOLOGI AIR.....	106	
10.1	Pendahuluan	106
10.2	Penyakit yang Ditularkan Melalui Air.....	108
10.3	Patogen yang ditularkan melalui air	109
10.4	Bakteri	110
10.5	Virus	112
10.6	Indikator Kontaminasi Air Tinja.....	113
10.7	Karakteristik Indikator Mikroba.....	114
10.8	Bakteri koliform	114
10.9	Enterokokus tinja	115

BAB 11

MIKROBIOLOGI PANGAN.....	117	
11.1	Pendahuluan	117
11.2	Morfologi dan struktur mikroorganisme dalam makanan.....	117
11.3	Mikroorganisme dan makanan.....	120
11.4	Pengaruh Aktivitas Air (Aw)pada Mikroba.....	123
11.5	Mikrobiologi Pengawetan Makanan	125
11.6	Aplikasi nanoteknologi dalam mikrobiologi pangan.....	129

BAB 1

SEJARAH DAN RUANG LINGKUP MIKROBIOLOGI



1.1 Pendahuluan

Istilah Mikrobiologi berasal dari Bahasa Yunani (Mikros : kecil, Bios : hidup dan Logos : ilmu). Jadi Mikrobiologi adalah Ilmu yang mempelajari mikroorganisme yang sangat kecil sehingga tidak dapat dilihat oleh mata telanjang dan hanya dapat dilihat dengan bantuan mikroskop. Awalnya semua organisme dikelompokkan ke dalam kingdom hewan atau kingdom tumbuhan. Kemudian ahli biologi Jerman Ernst H. Haeckel pada tahun 1866 menambahkan kingdom ketiga protista. Sehingga terdapat tiga kingdom yaitu protista, tumbuhan dan hewan. Pada tahun 1956 Lynn Margulis dan H. F. Copeland mengusulkan skema klasifikasi prokariot dan eukariot dengan sistem klasifikasi 4 kingdom yaitu 1). Monera ; semua prokariot termasuk bakteri sejati dan ganggang biru-hijau. 2). Protocista ; semua ganggang eukariot, protozoa, dan fungi. 3). Plantae ; semua tumbuhan hijau. 4). Animalia ; semua hewan yang berasal dari zigot, sel yang dibentuk oleh penyatuan sel telur dan sperma. Pada tahun 1969 Whittaker mengusulkan sistem taksonomi yang memisahkan protocista menjadi 2 kingdom protista dan fungi, tetapi mempertahankan monera, plantae dan animalia, sehingga menjadi sistem 5 kingdom (Black & Black, 2015).

Pada tahun 1978, Carl Woese merancang sistem klasifikasi berdasarkan organisasi seluler organisme dan mengelompokkan semua organisme dalam tiga domain seperti dalam (Tortora et al., 2021) adalah sebagai berikut ;

1. Bacteria (dinding sel mengandung kompleks protein -karbohidrat yang disebut peptidoglikan)

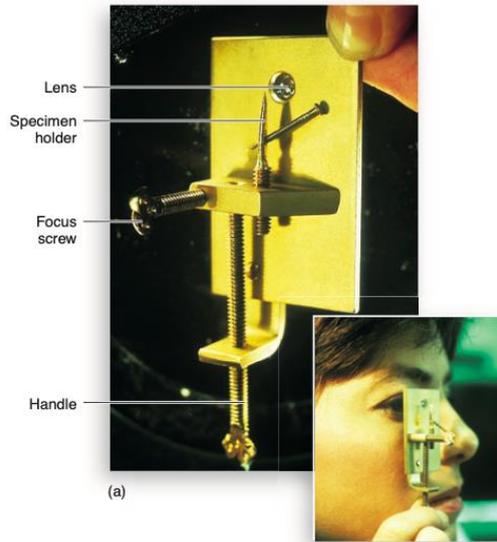


2. Archaea (jika ada dinding sel peptidoglikan sedikit)
3. Eukarya yang termasuk didalamnya
 - a. Protista (jamur lendir, protozoa, dan ganggang)
 - b. Jamur (ragi uniseluler, kapang multiseluler, dan jamur)
 - c. Tumbuhan (lumut, pakis, tumbuhan runjung, dan tanaman berbunga)
 - d. Hewan (cacing, serangga, vertebrata dan spons merupakan biota laut yang disebut bunga karang)

1.2 Penemuan Pertama Mikroorganisme

Mikroorganisme atau mikroba tidak terlihat oleh mata telanjang sehingga pengamatan langsung terhadap mikroorganisme harus menunggu perkembangan mikroskop. Naturalis Inggris Robert Hooke (1635-1703) adalah ahli mikroskop pertama dan menerbitkan buku pertama yang sepenuhnya ditujukan untuk pengamatan mikroskopis mikroorganisme. Hooke menyiapkan gambar cetakan (jamur) dan banyak mikroba lainnya yang terperinci dan cukup akurat, dan ini merupakan deskripsi mikroorganisme pertama yang diketahui. Antony Van Leeuwenhoek (1632-1723) Merupakan orang yang pertama kali mengamati dan melaporkan bakteri. Antoni van Leeuwenhoek merupakan orang Belanda dan seorang pedagang tirai dan penjual pakaian di Delft Belanda. Hobinya adalah menggiling lensa dan mengamati berbagai bahan melaluinya. Dia adalah ahli mikroskop amatir dan orang pertama yang mengamati mikroorganisme pada tahun 1673 menggunakan mikroskop sederhana. Pada tahun 1683 ia membuat deskripsi yang akurat tentang berbagai jenis bakteri. Antonie Van Leeuwenhoek melaporkan penemuannya dalam serangkaian surat kepada Royal Society of London, yang kemudian diterbitkan dalam *Philosophical Transactions of the Royal Society*, salah satu organisasi ilmiah paling bergengsi (Kumar, 2012; Sattley & Madigan, 2015).

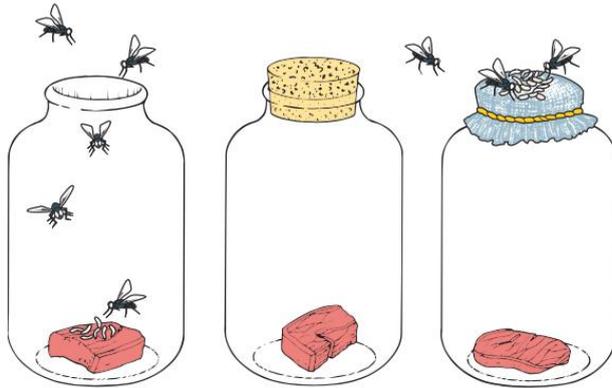




Gambar 1. 1 Mikroskop Leeuwenhoek dan cara memegangnya
 Sumber ; (Cowan, 2012).

1.3 Perdebatan Teori Generasi Spontanea

Sejak awal, orang percaya pada generasi spontanea (abiogenesis) bahwa organisme hidup dapat berkembang dari benda mati. Bahkan Aristoteles (384-322 SM) menganggap hewan dapat berasal dari tanah. Pandangan ini akhirnya dibantah oleh dokter Italia yang bernama Francesco Redi (1626-1697), menunjukkan bahwa belatung tidak muncul secara spontan. Redi mengisi dua toples dengan daging busuk. Yang pertama dibiarkan terbuka, memungkinkan lalat untuk bertelur di atas daging yang berkembang menjadi larva. Toples kedua disegel sehingga lalat tidak bisa masuk akibatnya tidak ada belatung yang muncul. Tetap saja percobaan Redi tidak diyakini, mereka mengklaim bahwa udara segar dibutuhkan untuk generasi spontan. Jadi Redi membuat percobaan kedua, di mana dia menutupi toples dengan kain kasa namun tidak ada larva yang muncul di toples yang tertutup kain kasa, meskipun ada udara. Hasil Redi merupakan pukulan telak bagi kepercayaan lama bahwa bentuk kehidupan yang besar dapat muncul dari benda mati (Black & Black, 2015).



Gambar 1. 2 Percobaan redi menyangkal generasi spontan belatung dalam daging.

Sumber ; (Black & Black, 2015).

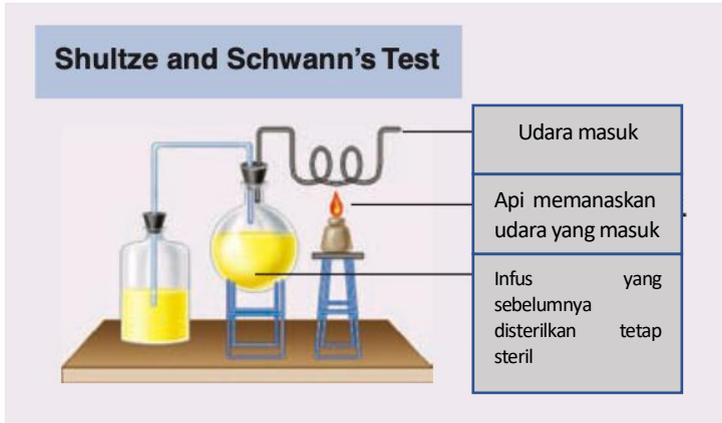
John Needham (1713-1781) merupakan pendukung terbesar teori generasi spontan. Dia mengusulkan bahwa organisme kecil (*animalcules*) muncul secara spontan di atas kuah daging kambingnya. Dia menutupi termos dengan gabus seperti yang dilakukan oleh Redi dan bahkan memanaskan beberapa termos, namun mikroba masih muncul di kaldu daging kambing (Trivedi et al., 2010).

Lazzaro Spallanzani (1729-1799) merupakan seorang Naturalis Italia yang berusaha menyangkal eksperimen Needham. Dia merebus kaldu sapi lebih lama, mengeluarkan udara dari labu dan kemudian menutup wadahnya. Setelah di inkubasi tidak ada pertumbuhan mikroorganisme yang terdapat dalam labunya. Dia menunjukkan bahwa nutrisi yang dipanaskan masih bisa menumbuhkan kutu hewan saat terkena udara hanya dengan membuat celah kecil di leher. Jadi Spallanzani membantah doktrin generasi spontan (Trivedi et al., 2010).

Eksperimen tambahan lebih lanjut untuk mempertahankan teori biogenesis terus dilakukan. Franz Shultze (1815-1873) dan Theodor Schwann (1810-1882) dari Jerman merasa yakin bahwa udara adalah sumber mikroba dan berusaha membuktikannya dengan mengalirkan udara melalui bahan kimia kuat atau tabung kaca panas ke dalam infus yang diberi perlakuan panas di dalam labu. Hasil eksperimen Shultze dan Schwann tidak menemukan mikroorganisme di dalam infusnya. Ketika infus tetap tanpa makhluk hidup, para pendukung teori abiogenesis mengklaim bahwa pengolahan udara telah



membuatnya tidak mampu untuk perkembangan kehidupan secara spontan (Cowan, 2012).



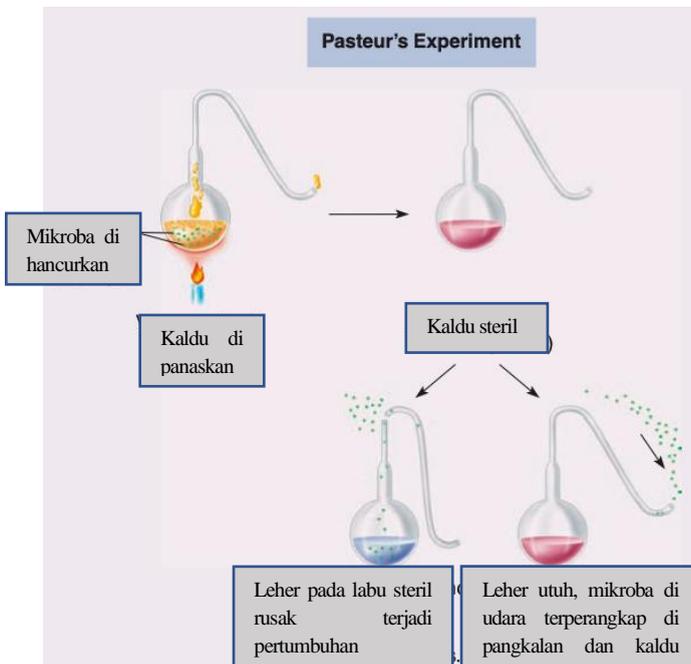
Gambar 1. 3 Percobaan Franz Shultze dan Theodor Schwann
Sumber ; (Cowan, 2012).

George Schroeder dan Theodor Von Dusch (1854) adalah orang pertama yang memperkenalkan ide penggunaan sumbat kapas untuk menyumbat tabung biakan mikroba. Fisikawan Inggris John Tyndall (1820–1893) dan ahli botani Jerman Ferdinand Cohn (1828–1898) memberikan pukulan terakhir bagi generasi spontan. Pada tahun 1877 Tyndall mendemonstrasikan bahwa debu memang membawa kuman dan jika tidak ada debu, kaldu tetap steril meskipun langsung terkena udara. Selama studinya, Tyndall memberikan bukti keberadaan bentuk bakteri yang sangat tahan panas. Bekerja secara independen, Cohn menemukan bahwa bakteri tahan panas yang dikenali oleh Tyndall adalah spesies yang mampu menghasilkan endospora bakteri. Cohn kemudian memainkan peran penting dalam membangun sistem klasifikasi bakteri berdasarkan morfologi dan fisiologinya (Willey, 2020).

1.4 Teori Biogenesis

Pada tahun 1858 Rudolf Virchow menantang teori generasi spontan dengan konsep biogenesis, yang berhipotesis bahwa sel hidup hanya muncul dari sel hidup yang sudah ada sebelumnya. Karena dia tidak dapat memberikan bukti ilmiah, argumen tentang generasi spontan berlanjut hingga tahun 1861. Masalah tersebut akhirnya diselesaikan oleh ilmuwan Prancis Louis Pasteur (Tortora et al., 2021).

Louis Pasteur mempelajari peran mikroorganisme dalam fermentasi bir dan anggur, dan jelas baginya bahwa proses ini disebabkan oleh aktivitas mikroba yang dimasukkan ke dalam minuman dari udara, buah-buahan, dan biji-bijian. Metode yang dia gunakan untuk mengabaikan abiogenesis sederhana namun brilian. Untuk lebih memperjelas bahwa udara dan debu adalah sumber mikroba. Pasteur mendemonstrasikan bahwa mikroorganisme ada di udara dan dapat mencemari larutan steril, tetapi udara itu sendiri tidak dapat menciptakan mikroba. Pasteur mengisi labu dengan kaldu dan membuat lubangnya menjadi tabung panjang berbentuk leher angsa. Bukaan labu terbuka bebas ke udara tetapi melengkung sehingga gravitasi akan menyebabkan partikel debu di udara mengendap di bagian bawah leher. Dia memanaskan labu untuk mensterilkan kaldu dan kemudian menginkubasinya. Selama labu tetap utuh kaldu tetap steril, tetapi jika lehernya patah sehingga debu jatuh langsung ke dalam wadah, pertumbuhan mikroba segera dimulai. Dari hasil percobaan, Pasteur beralasan bahwa mikroba di udara adalah agen yang bertanggung jawab mencemari benda mati (Cowan, 2012).



Gambar 1. 4 Eksperimen Pasteur
Sumber ; (Cowan, 2012).

Pasteur menunjukkan bahwa mikroorganisme terdapat pada benda mati, benda padat, cairan, dan udara. Selain itu, ia mendemonstrasikan secara meyakinkan bahwa kehidupan mikroba dapat dihancurkan oleh panas. Cara tersebut dapat digunakan untuk memblokir akses mikroorganisme di udara ke lingkungan nutrisi. Penemuan ini menjadi dasar teknik aseptik, prosedur yang mencegah kontaminasi oleh mikroorganisme yang tidak diinginkan, yang sekarang menjadi praktik standar di laboratorium dan banyak prosedur medis. Karya Pasteur memberikan bukti bahwa mikroorganisme tidak dapat berasal dari kekuatan mistis yang ada dalam benda mati. Sebaliknya kemunculan kehidupan “spontan” dalam larutan tak hidup dapat dikaitkan dengan mikroorganisme yang sudah ada di udara atau di dalam cairan itu sendiri. Dengan eksperimen yang istimewa ini Pasteur dapat meyakinkan khalayak, bahwa tidak ada kehidupan baru yang timbul dari benda mati. Maka disimpulkan pendapat itu dengan ungkapan ” *Omne vivum ex ovo, omne ovum ex vivo*” yang berarti semua yang hidup berasal dari telur dan semua telur itu berasal dari sesuatu yang hidup (Tortora et al., 2021).

1.5 Zaman Keemasan Mikrobiologi

Periode dari tahun 1857 hingga 1914 dinamakan Zaman Keemasan Mikrobiologi pertama. Kemajuan pesat terutama dipelopori oleh Pasteur dan Robert Koch, menyebabkan pembentukan mikrobiologi. Sejumlah mikroba penyebab penyakit ditemukan, langkah besar dalam memahami metabolisme mikroba dibuat, dan teknik untuk mengisolasi dan mengkarakterisasi mikroba ditingkatkan. Ilmuwan juga mengidentifikasi peran kekebalan dalam mencegah penyakit dan mengendalikan mikroba, mengembangkan vaksin, dan memperkenalkan teknik yang digunakan untuk mencegah infeksi selama pembedahan (Tortora et al., 2021; Willey, 2020).

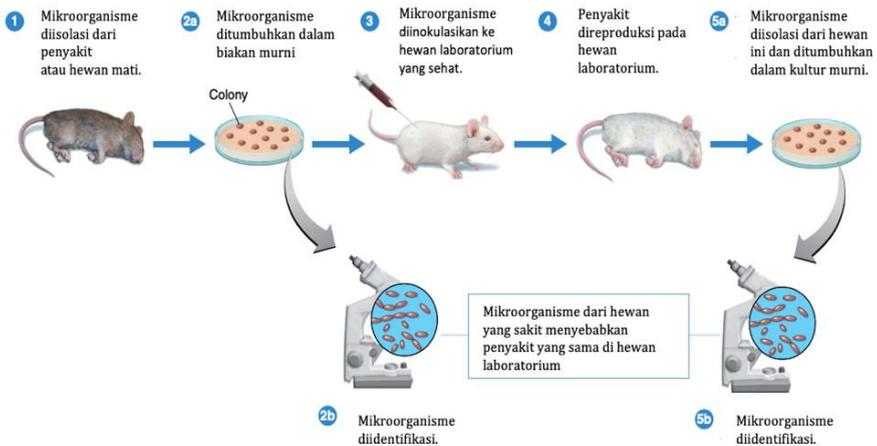
1.6 Penemuan Patogen dan Teori Kuman Penyakit

Fracastoro dan beberapa orang lainnya berpendapat bahwa organisme tak kasat mata menghasilkan penyakit, namun kebanyakan orang percaya bahwa penyakit disebabkan oleh kekuatan supranatural. Dukungan terhadap gagasan bahwa mikroorganisme menyebabkan penyakit dimulai pada awal abad ke-19. Agostino Bassi (1773–1856) pertama kali menunjukkan bahwa mikroorganisme dapat menyebabkan penyakit ketika dia menunjukkan pada tahun 1835 bahwa penyakit ulat sutera disebabkan oleh infeksi jamur. Pada



tahun 1845 M. J. Berkeley (1803–1889) membuktikan bahwa penyakit pada kentang di Irlandia disebabkan oleh jamur air, dan pada tahun 1853 Heinrich de Bary (1831–1888) menunjukkan bahwa jamur api dan jamur karat menyebabkan penyakit tanaman sereal. Menyusul keberhasilannya dalam mempelajari fermentasi, Pasteur diminta oleh pemerintah Prancis untuk menyelidiki penyakit pebrine pada ulat sutera yang mengganggu industri sutera. Setelah beberapa tahun bekerja, ia menunjukkan bahwa penyakit itu disebabkan parasit protozoa (Willey, 2020).

Bukti tidak langsung untuk teori kuman penyakit berasal dari karya ahli bedah Inggris yang bernama Joseph Lister (1827–1912) tentang pencegahan infeksi luka. Lister terkesan dengan studi Pasteur tentang keterlibatan mikroorganisme dalam fermentasi dan pembusukan, kemudian mengembangkan sistem pembedahan antiseptik yang dirancang untuk mencegah mikroorganisme memasuki luka. Instrumen yang digunakan pada pembalut bedah disterilkan dengan panas dan fenol, kadang-kadang disemprotkan ke area bedah. Pendekatan ini sangat sukses dan memberikan bukti tidak langsung yang kuat tentang peran mikroorganisme dalam penyakit karena fenol dapat membunuh bakteri dan juga mencegah infeksi pada luka (Willey, 2020)



Gambar 1. 5 Postulat Koch
Sumber ; (Tortora et al., 2021).

Bukti pertama bahwa bakteri benar-benar menyebabkan penyakit datang dari Robert Koch pada tahun 1876. Koch seorang dokter Jerman menemukan penyebab antraks, penyakit yang memusnahkan sapi dan domba di Eropa. Koch menemukan bakteri berbentuk batang yang sekarang dikenal sebagai *Bacillus anthracis* dalam darah sapi yang mati karena antraks. Dia membiakkan bakteri pada nutrisi dan kemudian menyuntikkan sampel biakan ke hewan yang sehat. Ketika hewan-hewan ini menjadi sakit dan mati, Koch mengisolasi bakteri dalam darahnya dan membandingkannya dengan bakteri yang diisolasi semula. Dia menemukan bahwa dua set kultur darah mengandung bakteri yang sama. Dengan demikian Koch menetapkan postulat Koch (Tortora et al., 2021).

Penelitian Koch dijadikan kerangka kerja untuk mempelajari etiologi penyakit menular apa pun. Postulat Koch pada (gambar 1.5) dapat diringkas sebagai berikut:

1. Patogen yang sama harus ada pada setiap kasus penyakit.
2. Patogen harus dapat diisolasi dari inang yang sakit dan dapat ditumbuhkan dalam biakan murni.
3. Patogen dari biakan murni harus menyebabkan penyakit yang sama ketika diinokulasikan ke hewan laboratorium yang sehat dan rentan.
4. Patogen harus dapat diisolasi dari hewan yang diinokulasi dan harus identik dengan organisme aslinya.

1.7 Ruang Lingkup Mikrobiologi

Mikrobiologi merupakan bidang ilmu biologi khusus yang berhubungan dengan makhluk hidup yang biasanya terlalu kecil untuk dilihat tanpa pembesaran. Organisme mikroskopis tersebut biasanya disebut sebagai mikroorganisme. Ruang lingkup mikrobiologi dalam buku ini kami batasi terkait : 1). Keragaman jenis mikroba. 2). Jenis penerapan dalam bidang mikrobiologi. Berdasarkan keragaman jenis mikroba yang dipelajari dalam bidang mikrobiologi adalah bakteri, ganggang, jamur, virus, dan protozoa. Sedangkan penerapan dalam bidang mikrobiologi terdiri dari beberapa bidang ilmu diantaranya adalah

1. Mikrobiologi Industri

Berkaitan dengan penggunaan industri mikroorganisme dalam produksi minuman beralkohol, vitamin, NH_2 -acid, enzim, antibiotik dan obat lain.



2. Mikrobiologi Pertanian
Berkaitan dengan studi tentang hubungan mikroorganisme dan tanaman serta pengendalian penyakit tanaman dan peningkatan hasil. Mikrobiologi pertanian berkaitan dengan dampak mikroorganisme pada pertanian.
3. Mikrobiologi susu
Berkaitan dengan produksi dan pemeliharaan dalam kontrol kualitas produk susu.
4. Mikrobiologi Perairan
Berkaitan dengan studi mikroorganisme yang ditemukan di muara tawar dan perairan laut.
5. Mikrobiologi makanan
Berkaitan dengan interaksi mikroorganisme dan makanan dalam kaitannya dengan pengolahan makanan, pembusukan makanan, penyakit bawaan makanan dan pencegahannya.
6. Mikrobiologi lingkungan
Berkaitan dengan peranan mikroorganisme didalam lingkungan tanah, air dan udara.
7. Mikrobiologi kesenjataan
Berkaitan dengan peranan mikroorganisme dalam pembuatan senjata biologi.
8. Eksomikrobiologi
Berkaitan dengan eksplorasi kehidupan mikroorganisme di luar angkasa.
9. Mikrobiologi Medis
Berkaitan dengan agen penyebab penyakit, prosedur diagnostik untuk mengidentifikasi agen penyebab dan tindakan pencegahan.
10. Mikrobiologi Kesehatan Masyarakat
Berkaitan dengan pemantauan, kontrol dan penyebaran penyakit di masyarakat.
11. Bioteknologi
Berkaitan tentang manipulasi ilmiah organisme hidup terutama pada tingkat molekuler dan genetik untuk menghasilkan produk yang bermanfaat.
12. Mikrobiologi udara
Berkaitan dengan mikroorganisme yang lazim berada di udara, kelimpahannya dan masalah yang bermanfaat atau berbahaya.
13. Mikrobiologi Geokimia
Menganalisis kehidupan mikroorganisme dan kontribusinya di daerah pembentukan batubara, minyak dan gas.



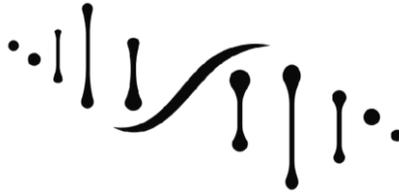
DAFTAR PUSTAKA

- Black, J. G., & Black, L. J. (2015). *Microbiology: Principles and Explorations* (Ninth ed.). John Wiley & Sons.
- Cowan, M. K. (2012). *Microbiology: a Systems Approach* (Third ed.). McGraw-Hill Higher Education.
- Kumar, S. (2012). *Textbook of Microbiology*. JP Medical Ltd.
- Sattley, W. M., & Madigan, M. T. (2015). *Microbiology. eLS*, 1-10.
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2021). *Microbiology: an Introduction* (Thirteenth ed.). Pearson.
- Trivedi, P. C., Pandey, S., & Bhadauria, S. (2010). *Textbook of Microbiology*. Aavishkar Publishers.
- Willey, J. M. S., Kathleen. M; Wood, Dorothy. H. (2020). *Prescott's Microbiology* (Eleventh ed.). McGraw-Hill Education.



BAB 2

PERKEMBANGAN DAN TEORI MIKROBIOLOGI



2.1 Perkembangan Mikrobiologi

Perkembangan mikrobiologi dimulai ketika seorang matematikawan Inggris, sejarawan alam, dan ahli mikroskop Robert Hooke menemukan mikroskop pada tahun 1664. Menggunakan mikroskop yang terdiri dari dua lensa sederhana, Hooke mampu mengilustrasikan struktur tubuh buah suatu spesies jamur. Meskipun Robert Hooke melihat sel dengan mikroskop, dia tidak dapat melihat mikroorganisme dengan jelas karena kurangnya metode pewarnaan.

Orang pertama yang melihat bakteri adalah Antoni van Leeuwenhoek (1632-1723), seorang pembuat mikroskop amatir Belanda. Pada tahun 1684 Antoni van Leeuwenhoek menggunakan mikroskop berlensa tunggal mirip kaca pembesar yang dibuatnya untuk mengamati berbagai mikroorganisme dalam bahan alam. Leeuwenhoek menamai benda-benda yang diamatinya dengan animaculus (hewan kecil) yang didapatnya dari makanan yang tersangkut di giginya dan air hujan, yang kemudian dikenal sebagai bakteri dan protozoa.

Pada tahun-tahun berikutnya, banyak pengamatan lain membenarkan temuan Van Leeuwenhoek, tetapi kemajuan dalam memahami sifat dan manfaat mikroorganisme berjalan lambat selama 150 tahun berikutnya. Baru pada abad ke-19, setelah pesatnya peningkatan produksi mikroskop, rasa ingin tahu manusia tentang mikroorganisme mulai berkembang kembali (Sumarsih, 2003).

Hingga pertengahan abad ke-19, banyak ilmuwan dan filsuf percaya bahwa makhluk hidup berevolusi secara spontan dari benda mati. Mereka



percaya bahwa belatung dapat muncul dari bahan yang membusuk, ular dan tikus dari tanah yang lembap, dan lalat dari kotoran.

Robert Koch dan beberapa ahli mikrobiologi lainnya mengembangkan banyak teknik mikrobiologi yang berdampak besar pada perkembangan mikrobiologi. Contoh teknik yang masih banyak digunakan hingga saat ini adalah teknik budidaya mikroorganisme sehingga pada saat mempelajari mikrobiologi fokusnya adalah pada teknik yang digunakan dan bukan pada pokok bahasan yang dipelajari. Mikroskop merupakan alat yang mendukung perkembangan teknologi ini.

Perkembangan mikrobiologi menyebabkan munculnya beberapa disiplin ilmu baru dengan ciri khasnya masing-masing, seperti bakteriologi, parasitologi, virologi dan lain-lain.

Pada pertengahan abad ke-19, pada awal ilmu mikrobiologi, beberapa ilmuwan menunjukkan bahwa mikroorganisme berasal dari mikroorganisme yang lebih awal dan bukan dari tumbuhan atau hewan yang membusuk. Selain itu, peneliti telah membuktikan bahwa mikroorganisme tidak berasal dari proses fermentasi, misalnya dari buah anggur hingga minuman beralkohol. Para ilmuwan juga menemukan bahwa mikroba tertentu menyebabkan penyakit tertentu. Informasi ini adalah awal dari pembelajaran dan pemahaman akan pentingnya mikroorganisme untuk kesehatan serta kesejahteraan bagi manusia.

Sejak awal abad ke-20, ahli mikrobiologi telah menemukan bahwa mikroorganisme dapat menyebabkan berbagai perubahan kimiawi, baik dengan memecah zat organik atau mensintesis zat baru. Ini disebut keanekaragaman biokimia, yang merupakan karakteristik mikroorganisme. Selain itu, hal penting lainnya adalah mekanisme perubahan kimia pada mikroorganisme sangat mirip dengan proses biokimia pada semua makhluk hidup, termasuk manusia. Bukti terbaru menunjukkan bahwa informasi genetik semua organisme, dari mikroba hingga manusia, adalah DNA (Fifendy, 2017).

Mikroorganisme juga memiliki potensi yang signifikan untuk membersihkan lingkungan, misalnya tumpahan minyak di laut dan segala herbisida serta pestisida pada pertanian. Hal ini dikarenakan mikroorganisme memiliki kemampuan untuk mencegah atau mengurai senyawa kimia kompleks. Mikroorganisme hasil rekayasa genetika untuk melayani tujuan tertentu menciptakan bidang baru bagi industri mikrobiologi yang dikenal sebagai bioteknologi (Fifendy, 2017).



2.2 Teori Mikrobiologi

Sebelum ditemukannya mikrobiologi modern yang kita nikmati sekarang, Sudah banyak diperdebatkan beberapa teori tentang asal mula makhluk hidup termasuk organisme-organisme kecil.

2.2.1 Teori Abiogenesis

Teori paling awal tentang keberadaan makhluk hidup atau mikroorganisme adalah teori abiogenesis. Teori ini dikembangkan oleh seorang filosof Yunani bernama Aristoteles (322-384 SM), yang menyatakan bahwa makhluk hidup muncul dan berevolusi dari benda mati.

Penemuan Leewenhoek terhadap hewan kecil ini memicu perdebatan serius di kalangan ahli mikrobiologi. Dua ketidaksepakatan muncul terkait hasil Leewenhoek, salah satunya mengatakan bahwa kemunculan hewan kecil disebabkan oleh proses pembusukan atau fermentasi tumbuhan atau hewan. Pendapat ini mendukung teori bahwa makhluk hidup muncul dari benda mati atau abiogenesis, konsep yang dikenal dengan *generatio spontanea*. Pandangan lain mengatakan bahwa hewan kecil ini merupakan keturunan dari hewan kecil sebelumnya dan organisme yang lebih tinggi. Pendapat atau teori yang menganut ini disebut biogenesis (Wardani, 2022).

2.2.2 Teori Biogenesis

Teori biogenesis diperoleh dari hasil beberapa ilmuwan yang berhasil membuktikan secara ilmiah. Tokoh-tokoh yang berpengaruh pada teori biogenesis yakni Fransceso Redi (1626 - 1697), Antonie Van Leeu Wenhoek (1632 - 1723), Lazzardo Spallanzani (1729 - 1796), Louis Pasteur (1822 - 1895), Robert Koch (1843 - 1910), Paul Ehrlich (1854 - 1915), Loffler, Neisser, Kitasato, Shiga (Wardani, 2022).

1. Fransceso Redi (1626 - 1697)

Pada tahun 1668, Fransceso Redi, seorang fisikawan yang berasal dari Italia, mulai melakukan percobaannya secara ilmiah untuk membuktikan teori Abiogenesis. Namun, ia mendapati hasil yang berbeda dari teori tersebut. Ia mulai melakukan percobaan dengan menggunakan tiga toples yang masing-masing diisi dengan daging segar dimana toples 1 ditutup rapat, toples 2 dibuka, dan toples 3 di tutup namun diberi lubang kecil untuk sedikit udara (Gambar 2.1).





Gambar 2.1 Model percobaan Fransceso Redi

(Sumber: www.sainsmini.blogspot.com)

Setelah beberapa hari ia mengamati toples 1 daging membusuk dan terdapat belatung dari lalat karena memang terbuka sehingga lalat dengan mudah meninggalkan telur pada daging, Kemudian toples 2 daging membusuk namun tidak ada belatung karena tertutup rapat sehingga lalat tidak dapat meninggalkan telur pada daging, dan pada toples 3 daging membusuk dan tidak ada belatung namun ada belatung diatas tutup toples yang terdapat lubang-lubang kecil. Sehingga percobaan Redi tersebut berhasil membuktikan bahwa makhluk hidup bukan berasal dari benda mati (abiogenesis) yang kemudian dijadikan perkembangan ilmu sains kedepannya. Percobaan Redi sempat dibantah kembali oleh John Needham (1700) namun gagal (Hafsan, 2011).

2. Antonie Van Leeu Wenhoek (1632 - 1723)

Penemuan organisme kecil yang mampu dilihat oleh mata telah ditemukan sejak 300 tahun lalu setelah adanya mikroskop yang dibuat pertama kali oleh ilmuwan Belanda bernama Antonie Van Leeu Wenhoek. Ia berhasil menciptakan suatu alat lensa pembesar berupa mikroskop yang mempunyai pembesaran hingga 300 kali. Organisme yang dilihatnya disebut dengan “animlculus” yakni makhluk asing dari air. Penemuan pertama kali alat mikroskop dan sekaligus mikroba tersebut dianugerahi “Royal Society”. Sehingga, Leeu Wenhoek dapat dipandang sebagai orang pertama peletak dasar mikrobiologi (Wardani, 2022).

3. Lazzardo Spallanzani (1729 - 1799)

Pada 1768 Spallanzani membantah teori Aristoteles dan Needham. Karena dia tahu kelemahan tes Needham. Dia menyimpulkan bahwa daging yang dimasak tidak cukup lama untuk disimpan dalam botol tertutup rapat untuk mencegah semua mikroorganisme terbunuh. Dia kemudian

melakukan uji pembuktian dengan tiga botol yang masing-masing diisi dengan kaldu. Labu pertama dibiarkan terbuka, labu kedua dimasak hingga mendidih dan dibiarkan terbuka, labu ketiga dipanaskan cukup lama hingga mendidih lalu ditutup rapat (gambar 2.2).



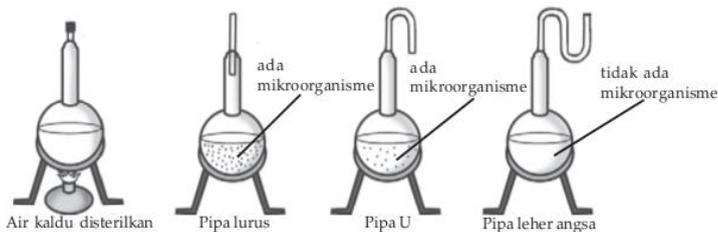
Gambar 2.2 Model percobaan Spallanzani

(Sumber: www.sainsmini.blogspot.com)

Setelah dibiarkan beberapa hari didapatkan adanya mikroorganisme dari labu pertama dan kedua, sedangkan labu ketiga tidak ada mikroorganisme. Sehingga, Spallanzani mendukung teori yang dibawa oleh Redi, kemudian teori tersebut dilanjutkan dan disempurnakan oleh Schuktze (1836) dan Schwan (1837) (Wardani, 2022).

4. Louis Pasteur (1822 - 1895)

Merupakan seorang ilmuwan dalam bidang kimia, namun Louis Pasteur sangat berjasa dalam bidang mikrobiologi. Pada tahun 1863, Pasteur mencoba menyempurnakan percobaan Spallanzani tentang percobaan rebusan kaldu namun di dalam labu yang berbentuk leher angsa (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Labu percobaan Louis Pasteur

(Sumber: www.sainsmini.blogspot.com)

Beberapa hari kemudian hasilnya adalah air rebusan kaldu pada labu leher angsa tersebut tidak ditumbuhi mikroorganisme namun apabila leher labu dipatahkan maka ada mikroorganisme. Sehingga, ia berhasil

membuktikan teori Redi dan Spallanzani bahwa semua kehidupan berasal dari sesuatu yang hidup sebelumnya. Pasteur juga merupakan bapak vaksin dunia karena ia berhasil menemukan vaksin pertama kali pada penyakit antraks sapi yang disebabkan oleh bakteri *Bacillus anthracis*. Selain itu ia juga mengembangkan vaksin kolera ayam, rabies dan antraks (Prayitno, 2017).

5. Robert Koch (1843 - 1910)

Robert Koch merupakan ilmuwan yang juga pakar dalam bidang mikrobiologi. Ia berjasa dalam perkembangan teknik kultur mikroba atau berhasil dalam membiakkan mikroba dan juga pewarnaan mikroba. Koch mampu membuktikan tentang penyakit yang disebabkan oleh mikroba. Teori ini kemudian berkembang menjadi hukum Postulat Koch. Bunyi hukum Postulat Koch yaitu:

- Mikroorganisme tertentu selalu dapat diidentifikasi sebagai penyebab penyakit
- Mikroorganisme dapat diisolasi dan ditumbuhkan sebagai biakan murni laboratorium
- Kultur murni dapat menyebabkan penyakit bila diinokulasikan ke inang
- Mikroorganisme dapat menginfeksi kembali inang dan tumbuh kembali dalam biakan murni.

Adanya kriteria tersebut merupakan cara untuk menemukan bakteri yang berbeda yang menyebabkan penyakit yang berbeda dalam waktu yang relatif singkat. Penemuan virus, adanya bakteri penyebab berbagai penyakit, dan munculnya penyakit tertentu yang disebabkan oleh beberapa mikroorganisme memerlukan modifikasi postulat Koch (Padoli, 2016).

2.2.3 Teori Fermentasi

Contoh proses fermentasi dapat terjadi ketika jus anggur dibiarkan. Proses ini melibatkan serangkaian perubahan biokimia, alkohol dan senyawa lain yang akhirnya menghasilkan anggur (*wine*). Pasteur tidak setuju dengan pendapat *Generasi Spontanes* karena ia percaya bahwa produk fermentasi anggur adalah hasil dari mikroorganisme yang ada, bukan mikroorganisme penyebab fermentasi seperti yang diyakini pada saat itu.



Pasteur memecahkan masalah yang muncul di industri anggur pada tahun 1850-an, memeriksa anggur yang baik dan buruk, mereka menemukan mikroorganisme yang berbeda. Mikroorganisme tertentu mendominasi wine yang baik, sedangkan mikroorganisme lain mendominasi wine yang kurang baik.

Akan menghasilkan produk anggur yang baik. Berdasarkan analisis ini, Pasteur menghancurkan mikroorganisme dalam jus anggur dengan memanaskannya. Setelah dingin, jus buah diinokulasi dengan wine berkualitas baik dengan konsentrasi mikroorganisme yang diinginkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wine yang diperoleh berkualitas baik dan rasa tidak berubah selama penyimpanan karena dipanaskan pada suhu 50 - 60°C selama beberapa menit. Proses ini dikenal sebagai pasteurisasi dan sekarang banyak digunakan dalam industri makanan. Di masa lalu, orang menyempurnakan produk fermentasi dengan coba-coba, tanpa menyadari bahwa kualitas produk bergantung pada mikroorganisme tertentu (Prayitno, 2017).

2.2.4 Teori Penemuan Baketri Berspora

John Tyndall (1820-1893) mendukung pendapat Pasteur, karena dalam eksperimennya dengan cairan organik, dipanaskan dalam air garam mendidih selama 5 menit dan diletakkan di ruangan bebas debu, ditemukan bahwa cairan organik tidak terurai, meskipun itu dipertahankan selama berbulan-bulan. Dekomposisi terjadi tanpa pemanasan. Tyndall menemukan dalam eksperimennya bahwa terdapat fase termolabil (bakteri tidak tahan terhadap pemanasan) dan termoresisten (bakteri tahan terhadap pemanasan).

Hasil penelitian ahli botani Jerman Ferdinand Cohn menunjukkan secara mikroskopis bahwa bakteri pada fase termoresisten dapat membentuk endospora. Berdasarkan temuan tersebut, dicari metode untuk mensterilkan bahan yang mengandung bakteri pembentuk spora. Cara yang didapatkan adalah pemanasan yang terputus dan dilakukan berulang kali, yang disebut tyndalisasi. Tyndalisasi diawali dengan pemanasan pada suhu 100°C selama 30 menit, kemudian dibiarkan pada suhu kamar selama 24 jam, prosedur ini diulang sebanyak tiga kali. Setelah dibiarkan pada suhu kamar, bakteri berspora yang masih hidup akan berkecambah dan membentuk fase pertumbuhan atau termolabil, sehingga pemanasan selanjutnya dapat membunuh bakteri pembentuk spora tersebut (Sumarsih, 2003).



DAFTAR PUSTAKA

- Fifendy, M., 2017. *Mikrobiologi*. PT. Balebat Dedikasi Prima, Depok.
- Hafsan, 2011. *Mikrobiologi Umum*. Alaudin Press, Makassar.
- Padoli, 2016. *Mikrobiologi dan Parasitologi*. BPPSDMK KEMENKES RI, Jakarta.
- Prayitno, T.A. dan Hidayati, N., 2017. *Pengantar Mikrobiologi*. Media Nusa Kreatif, Malang.
- Sumarsih, S., 2003. *Diklat Kuliah Mikrobiologi Dasar*. Fakultas Pertanian UPN Veteran, Yogyakarta.
- Wardani, K.A., 2022. *Teori Mikrobiologi*. Yayasan Penerbit Muhammad Zaini, Aceh.



BAB 3

KONSEP PENGGOLONGAN BAKTERI



3.1 Pendahuluan

Salah satu mikroorganisme yang keberadaannya melimpah di alam adalah bakteri. Populasi bakteri di alam cukup besar mengingat bakteri terdiri atas beberapa filum, di mana satu filum terdiri atas ratusan spesies. Selain itu bakteri memiliki siklus reproduksi yang cepat sehingga jumlahnya meningkat dalam waktu singkat. Bakteri ditemukan di berbagai tempat seperti dalam tanah, air, udara, menempel pada benda, dalam tubuh makhluk hidup bahkan pada permukaan kulit. Banyaknya jumlah bakteri di alam menyebabkan bakteri dengan mudah ditemukan di mana saja. Untuk memudahkan dalam mengenali maupun mengidentifikasi jenis bakteri di alam maka perlu dilakukan pengelompokan/klasifikasi berdasarkan ciri yang dimiliki oleh setiap bakteri.

Dalam sistem klasifikasi, bakteri awalnya dikategorikan sebagai tumbuhan primitif (*schizomycetes*). Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan, maka pada tahun 1962 bakteri digolongkan sebagai organisme prokariotik yaitu organisme yang tidak memiliki membran inti. Pada tahun 1977 hingga sekarang, bakteri dikelompokkan menjadi 2 yaitu kingdom eubacteria dan archaeobacteria. Dasar pengelompokan bakteri terdahulu adalah bentuk (*coccus*, basil dan *vibrio*), pewarnaan gram, ada tidaknya endospora dan motilitas. Konsep ini akhirnya diperbaharui setelah ditemukan uji biokimia terhadap metabolisme bakteri. Beberapa uji kimia yang lazim dilakukan adalah uji indol, reduksi nitrat, hidrolisis pati dan fermentasi karbohidrat. Dengan mengetahui karakteristik biokimia suatu bakteri maka akan lebih mudah dalam pengelompokannya. Bab ini akan membahas mengenai penggolongan bakteri berdasarkan beberapa karakter yang dimiliki dan juga peranan bakteri dalam kehidupan.



3.2 Eubakteria/bakteri

3.2.1 Ciri Umum Bakteri

Ciri bakteri meliputi

- Uniseluler. Bakteri merupakan organisme uniseluler karena tersusun atas satu sel saja.
- Mikrospik. Bakteri memiliki ukuran yang sangat kecil yaitu sekitar 1,25 μm dan tidak dapat dilihat dengan mata biasa. Mata manusia hanya mampu melihat benda maksimal ukuran 200 μm . Oleh karena itu diperlukan mikroskop untuk melihatnya.
- Prokariotik. : berasal dari kata *pro* yang artinya belum, dan *karion* : membran inti. Bakteri termasuk organisme yang belum memiliki membran inti
- Memiliki deoksiribonucleid acid (DNA) dan ribonucleid acid (RNA). Bakteri memiliki dua jenis asam nukleat yaitu DNA dan RNA. Hal inilah yang membedakan antara bakteri dengan virus, karena virus hanya memiliki satu asam nukleat saja (DNA atau RNA).
- Reproduksi terjadi secara seksual maupun aseksual. Secara seksual melalui proses konyugasi (pemindahan materi genetik melalui jembatan sitoplasma), transduksi (melibatkan bantuan virus) dan transformasi (pemindahan materi genetik secara langsung). Reproduksi aseksual bakteri terjadi melalui pembelahan biner.
- Ditemukan di mana saja (kosmopolit).
- Alat gerak berupa flagel. Struktur flagel menyerupai cambuk dan terdiri atas protein berpilin.
- Struktur tubuh sederhana, hanya terdiri atas dinding sel, membrane sel, ribosom dan nukleoid. Beberapa organel tambahan meliputi flagel, poli, endospore dan kapsul.

3.2.2 Struktur Tubuh Bakteri

Meskipun termasuk organisme uniseluler dan prokariotik, bakteri tetap mampu melaksanakan aktivitas metabolismenya sendiri. Hal ini disebabkan karena bakteri memiliki organel sel yang mampu menjalankan fungsi metabolisme sama seperti makhluk hidup lain, meskipun dalam tingkat yang lebih sederhana. Fungsi metabolisme yang dimaksud berupa pertumbuhan, menghasilkan energi dan juga reproduksi. Organel yang terdapat pada bakteri yaitu :

- Dinding sel

Sebagai organel terluar bakteri, dinding sel berfungsi melindungi dan mempertahankan bentuk sel. Dinding sel juga terlibat dalam komunikasi antar sel, pembelahan sel, dan regulasi tekanan osmosis intraseluler sel.

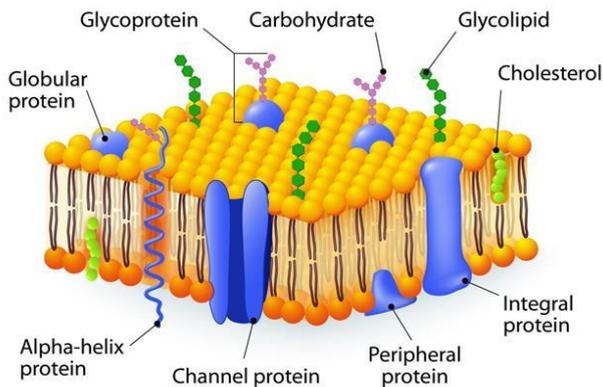


Komponen penyusun dinding sel bakteri adalah peptidoglikan dan lipopolisakarida (LPS). Peptidoglikan tersusun atas N-asetilglukosamin (NAG), asam asetil N-muramat (NAM) dan peptide. Jenis peptide yang dimiliki oleh bakteri berupa asam amino alanine, glutamate, lisin dan alanine. Pada bakteri gram negatif, LPS terletak pada membran luar dan berperan sebagai antigen spesifik pada spesies bakteri.

➤ Membran sel

Membran sel merupakan lapisan tipis yang terletak di sebelah dalam dari dinding sel dan berbatasan dengan sitoplasma. Karakteristik membran sel adalah bersifat *selektif permeable* terhadap komponen yang akan masuk ke dalam sitoplasma. Dengan kata lain, membran sel merupakan *barier* terhadap komponen tertentu yang akan memasuki sel. Hal ini berkaitan dengan struktur membran sel terdiri atas 2 lapis molekul lipid (posfolipid), dikenal sebagai *lipid bilayer*. Bagian atas lipid bilayer bersifat hidrofilik/polar sedangkan bagian bawah bersifat hidrofobik/nonpolar. Keberadaan lipid menyebabkan membran sel bersifat selektif terhadap molekul yang akan masuk ke dalam sel. Selain itu, membran sel juga tersusun atas 3 jenis protein yaitu protein integral, protein terikat lemak dan protein peripheral. Struktur membran sel diperlihatkan oleh gambar 1.

CELL MEMBRANE



Gambar 1. Struktur membran sel bakteri.

<https://pixfeeds.com/images/21/511840/640-86007545-cell-membran.jpg>



➤ Sitoplasma

Sitoplasma merupakan cairan yang terdapat di dalam sel namun terletak di luar inti sel (nukleus). Fungsi sitoplasma adalah sebagai tempat berlangsungnya reaksi metabolisme. Hal ini disebabkan karena sitoplasma terdiri atas koloid yang mengandung molekul organik seperti lemak, protein, karbohidrat, protein, mineral, DNA dan juga enzim.

➤ Ribosom

Ribosom terdapat di dalam sitoplasma. Ribosom pada bakteri memiliki ukuran lebih kecil dibandingkan ribosom sel eukariotik. Struktur unit ribosom bakteri adalah 70S (Svedberg, ukuran sedimentasi dalam lapisan ultra centrifuse) yang terdiri atas sub unit 30S dan 50S sedangkan sub unit pada sel eukariotik adalah 80S. Ribosom memiliki peranan yang vital bagi sel yaitu tempat terjadinya sintesis protein. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa protein berperan sebagai sensor terhadap stress abiotik yang meliputi kekurangan nutrisi dan perubahan suhu (Cheng-Guang and Gualerzi, 2021)

➤ Nukleoid (DNA)

Nukleoid atau DNA bakteri tersebar di dalam sitoplasma dan tidak dilindungi oleh membran inti. Meskipun tidak memiliki membran inti, namun fungsi DNA tidak berubah. Adapun fungsi DNA adalah membawa informasi genetik yang akan diwariskan kepada generasi berikutnya. Selain itu DNA juga terlibat dalam sintesis DNA

➤ Flagel

Flagel merupakan modifikasi dinding sel, tersusun atas protein dengan bentuk yang panjang menyerupai filamen dan terletak pada permukaan sel. Flagel umumnya ditemukan pada bakteri gram negatif dan gram positif. Fungsi utama flagel adalah untuk pergerakan bakteri. Selain itu flagel juga bertindak sebagai *signal transduction*, adhesi dan sebagai faktor virulensi.

➤ Kapsul

Salah satu ciri bakteri patogen adalah memiliki kapsul pada bagian luar sel. Kapsul sendiri merupakan lapisan lendir yang tebal dan menyelubungi dinding sel. Fungsi kapsul adalah melindungi sel dan sebagai sumber cadangan makanan bagi bakteri.

➤ Plasmid

Asam nukleat (DNA) pada bakteri ada yang berbentuk sirkuler, dikenal sebagai plasmid. Plasmid terlibat dalam reproduksi sel bakteri karena



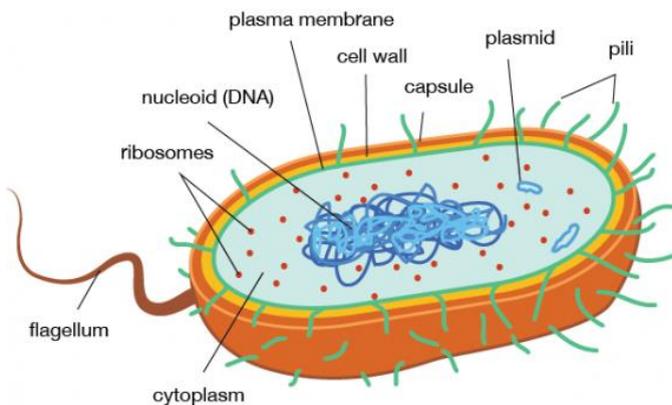
dapat mentransfer potongan DNA ke bakteri lain melalui konjugasi atau transformasi. Kemampuan transfer DNA oleh plasmid menjadi dasar penggunaan plasmid sebagai vektor dalam pembuatan hormon insulin dan teknik rekayasa genetika tanaman.

➤ Pili

Pili terdapat pada permukaan sel dan merupakan modifikasi dari membran sitoplasma. Berbeda dengan flagel yang sifatnya elastis, pili bersifat kaku dan terdapat pada seluruh permukaan sel bakteri gram negatif. Komponen penyusun pili adalah subunit protein structural yang disebut dengan pilin, Fungsi pili yaitu sebagai alat pelekatan pada inang dan juga untuk membentuk jembatan sitoplasma ketika konjugasi berlangsung.

➤ Endospora

Beberapa jenis bakteri mampu membentuk endospora jika berada dalam kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan. Endospora berasal dari penggumpalan protoplasma dengan kandungan air yang sedikit sehingga tahan terhadap kondisi ekstrim lingkungan. Apabila kondisi lingkungan sudah normal kembali, maka endospore akan tumbuh menjadi sel bakteri biasa dan menghasilkan sel vegetative tunggal. Contoh bakteri yang mampu membentuk endospore adalah *Clostridium sp* dan *Bacillus sp*.



Gambar 1. Struktur sel bakteri

<http://www.medical-labs.net/wp-content/uploads/2014/03/Bacteria-Cell-Structure-570x342.png>



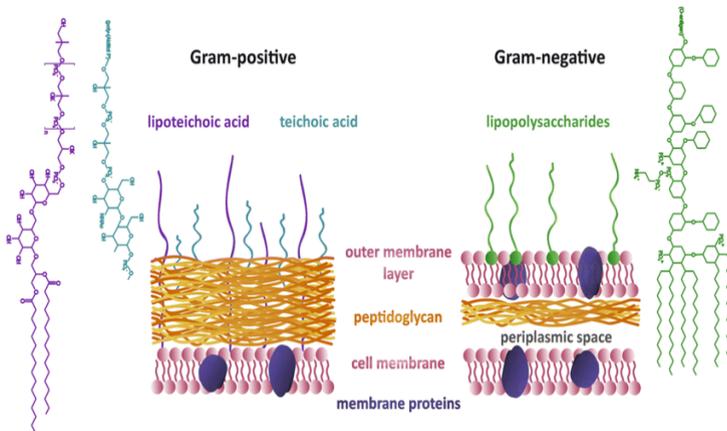
3.2.3 Penggolongan Bakteri

Penggolongan bakteri didasarkan pada struktur organel sel, ciri morfologi, habitat dan kemampuan metabolismenya.

3.2.4 Bakteri berdasarkan komposisi dinding selnya

➤ Bakteri gram positif

Merupakan jenis bakteri yang dinding selnya tebal dan tersusun atas lapisan peptidoglikan yang tinggi (60-100%). Kandungan peptidoglikan yang tinggi menyebabkan dinding sel mampu menyerap zat warna kristal violet (ungu) ketika dilakukan pewarnaan gram. Contoh : *Staphylococcus aureus*

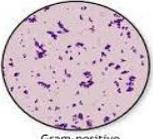
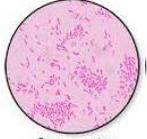


Gambar 2. Perbedaan struktur dinding sel antara bakteri gram positif dengan bakteri gram negatif (Pajerski *et al.*, 2019)

➤ Bakteri gram negatif

Bakteri gram negatif memiliki dinding sel yang tipis dengan lapisan peptidoglikan yang sedikit (10-20%) dan juga lipopolisakarida. Kandungan peptidoglikan yang sedikit menyebabkan dinding sel hanya mampu mempertahankan zat warna safranin (merah) ketika dilakukan pewarnaan gram. Lipopolisakarida (LPS) adalah karbohidrat yang berikatan dengan lipid dan bersifat toksik pada bakteri gram negatif. Contoh : *Escherichia coli*. Perbedaan antara dinding sel bakteri gram positif dengan bakteri gram negatif dapat dilihat pada gambar 2.

Tabel 1. Perbedaan antara dinding sel bakteri gram positif dengan bakteri gram negative

Pembeda	Bakteri gram positif	Bakteri gram negative
Komponen penyusun dinding sel	Peptidoglikan (30-70%)	Peptidoglikan (10%), lipopolisakarida dan lipoprotein
Ketebalan dinding sel	Tebal (25-30 nm)	Tipis (10-15 nm)
Asam teikoat	Ada	Tidak ada
Sensitivitas terhadap penisilin	Sensitif	Kurang sensitif
Hasil pewarnaan gram	Ungu  Gram-positive	Merah  Gram-negative

Sumber : Astuti dkk, 2022

3.2.5 Bakteri Berdasarkan bentuknya

➤ Bulat (coccus)

Bakteri bulat dikelompokkan menjadi :

- Monococcus, tersusun atas satu sel bakteri coccus. Contohnya : *Neisseria gonorrhoeae* (penyebab penyakit gonore)
- Diplococcus, tersusun atas dua bakteri coccus yang bergandengan. Contohnya : *Diplococcus pneumonia* (penyebab penyakit pneumonia)
- Sarcina, tersusun atas 4 bakteri coccus dan menyerupai kubus. Contohnya : *Sarcina sp* (penyebab penyakit pada hewan)
- Streptococcus, tersusun atas bakteri coccus dan menyerupai rantai. Contohnya : *Streptococcus pyogenes* (penyebab penyakit kulit)
- Staphylococcus, koloni bakteri coccus yang menyerupai buah anggur. Contohnya : *Staphylococcus aureus* (penyebab kontaminasi makanan)

➤ Batang (basil)

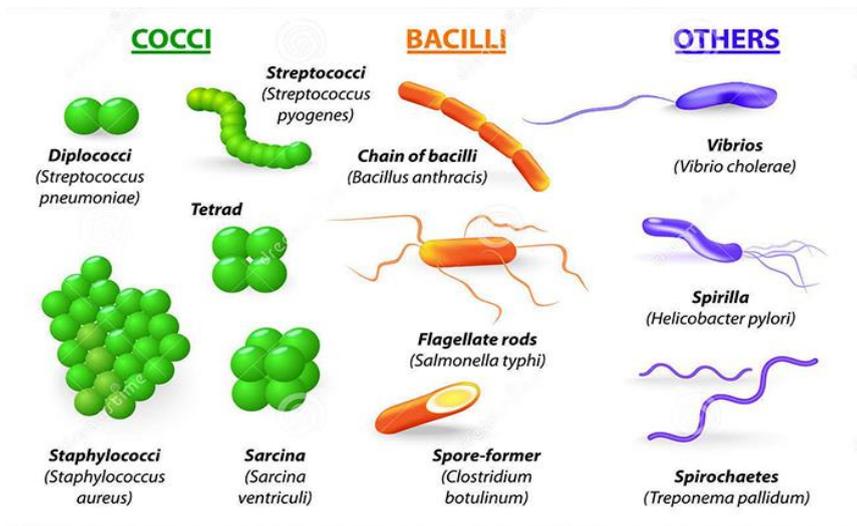
Bakteri batang dibedakan menjadi :

- Monobasil, hanya terdiri dari satu sel bakteri bentuk batang. Contohnya *Salmonella typhi* (penyebab penyakit tipes)
- Diplobasil, terdiri atas dua bakteri basil bergandengan. Contohnya *Renibacterium salmoninarum* (patogen pada ikan salmon)
- Streptobasil, terdiri atas beberapa bakteri basil yang membentuk rantai. Contohnya *Bacillus anthracis* (penyebab penyakit antraks)

➤ **Spiral**

Bakteri jenis ini terdiri atas :

- **Spiral**
Bakteri dengan struktur spiral/heliks, kaku, dengan panjang 6-15 μm . Contoh : *Heliobacter pylori* (menyebabkan gangguan saluran pencernaan)
- **Vibrio**
Bakteri vibrio memiliki bentuk yang sedikit melengkung menyerupai koma dengan panjang 2-3 μm . Contoh : *Vibrio cholerae* (penyebab kolera)
- **Spirochaeta**
Memiliki bentuk heliks spiral atau basil spiral, tipis dan bergerak menggunakan filament aksial. Contoh : *Leptospira borgpetersenii* (penyebab leptospirosis)



Gambar 3. Bentuk-bentuk bakteri

https://www.bio.miami.edu/dana/pix/bacterial_shapes.jpg

3.2.5 Bakteri berdasarkan kebutuhan oksigennya

➤ Bakteri aerob

Bakteri aerob adalah bakteri yang memerlukan oksigen untuk kelangsungan hidupnya. Menurut Marzuki (2019) dan A'yun (2022) terdapat 3 jenis kelompok bakteri aerob yaitu :

- Obligat aerob, bakteri yang mutlak memerlukan oksigen dalam hidupnya. Contoh : *Pseudomonas* dan *Micrococcus*
- Aerob fakultatif, bakteri yang bisa hidup dengan atau tanpa oksigen. Dalam kondisi aerob, bakteri jenis ini mampu melakukan respirasi untuk menghasilkan energi. Namun dalam kondisi anaerob juga mampu melakukan fermentasi. Contoh : *Escherichia coli*.
- Mikroerofil, bakteri yang membutuhkan oksigen dalam jumlah sedikit (2-10%). Contoh : *Helyobacter pyloris*

➤ Bakteri anaerob

Bakteri anaerob adalah bakteri yang tidak menggunakan oksigen untuk kelangsungan hidupnya. Sama halnya dengan bakteri aerob, bakteri anaerob juga terdiri atas 3 kelompok yaitu :

- Obligat anaerob, bakteri yang hidup jika tidak ada oksigen. Bagi bakteri obligat anaerob, oksigen adalah racun. Contoh : *Micrococcus denitrificans*, *Clostridium tetani*
- Aerotoleran, bakteri yang tetap hidup meskipun ada oksigen. Contoh : *Enterococcus faecalis*
- Kapnofil, bakteri anaerob yang membutuhkan karbondioksida dalam jumlah besar. Contoh: *Camphilobacter sp*

3.2.6 Bakteri Berdasarkan Suhu (A'yun, dkk; 2022; Astuti dkk., 2022)

➤ Bakteri termofilik

Jenis bakteri yang mampu bertahan hidup pada suhu tinggi yaitu 55-85⁰C. Umumnya bakteri termofilik ditemukan pada sumber air panas. Contoh : *Bacillus stearothermophilus*.

➤ Bakteri mesofilik

Bakteri mesofilik hidup pada suhu 25-45⁰C. Suhu minimum pertumbuhan adalah 15⁰-20⁰C dan dengan suhu optimum pertumbuhan 37⁰C. Secara umum bakteri mesofilik ditemukan pada hampir semua

aspek kehidupan termasuk tubuh manusia karena kesesuaian suhu.
Contoh : *Streptococcus pyogenese*

➤ Bakteri psikrofilik

Jenis bakteri ini hidup pada suhu rendah yakni 0 -20⁰C. Contoh :
Pseudomonas, Bacillus, dan Vibrio

➤ Bakteri hipertemofilik

Bakteri yang mampu bertahan hidup pada suhu 85-113⁰C. Contoh :
Pyrococcus abyssi (diisolasi dari daerah hidrotermal laut dalam)

3.2.7 Bakteri Berdasarkan alat geraknya

➤ Peritrik, bakteri yang memiliki flagel pada seluruh permukaan selnya.

Contoh : *Salmonella typhi*

➤ Lofotrik, bakteri yang memiliki seberkas flagel pada salah satu sisinya.

Contoh : *Spirillum*

➤ Amfitrik, bakteri yang memiliki masing-masing satu flagel pada kedua sisinya. Contoh : *Alkaligenes faecalis*

➤ Monotrik , bakteri yang memiliki satu flagel pada salah satu sisinya.

Contoh : *Vibrio cholera*

➤ Atrichous, bakteri yang tidak memiliki flagel sehingga bersifat non motil, Contoh : *Lactobacillus agilis*

3.2.8 Bakteri Berdasarkan Cara Memperoleh Nutrisi

➤ Bakteri heterotrof

Bakteri yang tidak mampu mensintesis makanannya sendiri sehingga memerlukan interaksi dengan organisme lain. Jenis interaksi tersebut meliputi :

- Saprofit, yaitu bakteri yang memperoleh energi/makanan dari sisa-sisa organisme yang telah mati. Contoh : *Thiobacillus nitrat* (menguraikan nitrat), *Spirochaeta cytophaga* (pengurai selulosa)
- Parasit, yaitu bakteri yang memperoleh makanan dari inangnya. Contoh : *Salmonella typosa*
- Patogen, yaitu bakteri yang menyebabkan penyakit pada inangnya. Contoh : *Mycobacterium tuberculosis* (penyebab penyakit tuberculosis)



➤ **Bakteri autotrof**

Bakteri yang mampu mensintesis makanannya sendiri. Berdasarkan sumber energi yang digunakan untuk mensintesis makanan, maka bakteri autotrof dibedakan menjadi 2 yaitu :

- *Bakteri fotoautotrof*, yaitu bakteri yang menggunakan energi dari cahaya matahari untuk mensintesis makanan. Kemampuan fotosintesis bakteri disebabkan karena memiliki pigmen fotosintesis dalam selnya. Contoh : *Bacteriochlorophyl* (memiliki pigmen menyerupai klorofil) dan *Bacteriopurpurin* (memiliki pigmen karotenoid).
- *Bakteri kemoautotrof*, yaitu bakteri yang menggunakan energi dari reaksi kimia penyusunan senyawa organik. Contoh :
 1. *Nitrosomonas sp.*, mengubah amoniak (NH_3) menjadi nitrit (NO_2)
 2. *Nitrobacter vulgaris* (mengubah nitrit menjadi nitrat).
 3. *Thiobacillus ferrooxidans* (memisahkan tembaga dari bijihnya)

3.2.9 Bakteri berdasarkan sumber elektronnya

➤ **Bakteri litotrof**

Bakteri yang memperoleh elektron dari reduksi molekul anorganik untuk mendapatkan energi. bakteri litotrof didakan menjadi :

- *Fotolitotrof*, bakteri yang mendapatkan energi dari cahaya matahari dan menggunakan senyawa anorganik (H_2S) sebagai sumber elektron. Contoh : *Chromatium okeinii*
- *Fotolitotrof*, bakteri yang memperoleh energi dari senyawa anorganik tereduksi dan menggunakan NH_3 sebagai sumber elektron. Contoh : *Nitrosomonas sp*

➤ **Bakteri organotrof**

Bakteri yang memperoleh elektron dari reduksi molekul organik. Bakteri organotrof juga dibedakan menjadi 2 yaitu :

- *Kemoorganotrof*, bakteri yang memperoleh energi dari bahan organik seperti asam amino dan glukosa sebagai sumber elektron. Contoh : *Pseudomonas pseudoflora*



- Fotoorganotrof, bakteri yang memperoleh energi dari cahaya matahari dan menggunakan senyawa organik (suksinat) sebagai sumber elektron. Contoh : *Rhodospirillum sp*

3.3 Archaeobacteria

Archaeobacteria berasal dari kata *archaio* yang berarti purba/kuno. Archaeobacteria sendiri seringkali dinamakan bakteri purba karena hidup pada lingkungan ekstrim yang mirip dengan kehidupan awal di muka bumi, Eubacteria dan archaeobacteria sebelumnya berada dalam satu kingdom yaitu monera. Seiring dengan kemajuan teknologi, kingdom monera dibedakan menjadi dua yaitu domain eubacteria dan archaeobacteria. Pengklasifikasian tersebut berdasarkan ciri archaeobacteria yang lebih dominan ke arah eukariotik. Ciri tersebut meliputi susunan, struktur dan urutan asam nukleat serta kandungan peptidoglikan. Komposisi peptidoglikan pada dinding sel archaeobacteria lebih sedikit dibandingkan eubacteria pada umumnya. Perbedaan antara archaeobacteria dengan eubacteria ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Perbedaan antara archaeobacteria dengan eubacteria (Nurmawati dkk, 2022)

Perbedaan	Archaeobacteria	Eubacteria
Jenis	Bakteri purba	Bakteri sejati
Ukuran	Diameter 0,1 μ	Diameter 0,5 μ
Bentuk	Bulat, batang, pelat, spiral, datar, persegi	Bulat, basil, vibrio, batang, filament, spirochaeta
Habitat	Lingkungan ekstrem	Di mana saja
Dinding sel	Pseudopeptidoglikan	Peptidoglikan dengan asam muramat
RNA Polimerase	Pola subunit kompleks, menyerupai RNA eukariotik	Pola subunit sederhana
Daerah intron	Ada	Tidak ada
Jalur metabolisme glikolisis/siklus krebs	Tidak ada	Ada
Jenis	Metanogen, halofil, termofil	Gram positif dan gram negative

Jumlah Archaeobacteria di alam tidak sebanyak jumlah eubacteria. Penyebabnya adalah spesies eubacteria lebih banyak dibandingkan

archaeobacteria. Selain itu eubacteria secara umum lebih banyak ditemukan pada daerah dengan suhu 25-40⁰C dibandingkan di tempat yang bersuhu tinggi (60⁰C ke atas) atau suhu rendah (10⁰C ke bawah).

Domain archaeobacteria terdiri atas 20 phyla yang terdiri atas 53 kelas, 133 ordo, 457 family, 1,344 genera dan 3.412 spesies. Phyla Archaeobacteria meliputi yaitu Aenigmatarchaeota, Altiarchaeota, Asgardarchaeota, B1Sed10-29, EX4484-52, Hadarchaeota, Halobacteriota, Huberarchaeota, Hydrothermarchaeota, Iainarchaeota, Methanobacteriota, Methanobacteriota_A, Methanobacteriota_B, Micrarchaeota, Nanoarchaeota, Nanohaloarchaeota, SpSt-1190, Thermoplasmatota, Thermoproteota and Undinarchaeota ((Rinke *et al.* 2021; Baker *et al.* 2020).

Berdasarkan habitatnya, archaeobacteria dikategorikan menjadi 3 kelompok yaitu :

- Bakteri metanogen
Golongan bakteri yang mampu menggunakan hidrogen untuk mereduksi gas CO₂ menjadi gas metana (biogas). Contoh : *Methanobrevibacterium ruminantium* dan *Methanosarcina barkerii*
- Bakteri halofil
Golongan bakteri yang hidup di daerah yang kadar garamnya tinggi. Kondisi optimal untuk pertumbuhan bakteri halofil adalah daerah dengan kadar garam 20%. Contoh : *Halobacterium sp*
- Termoasidofil
Golongan bakteri yang hidup di daerah yang bersuhu tinggi dan asam. Suhu yang diperlukan oleh bakteri termoasidofil untuk tumbuh adalah 60-80⁰C dengan pH berkisar antara 2-4. Umumnya bakteri ini ditemukan pada daerah kawah vulkanik. Contoh : *Sulfolobus sulfataricus*

Secara umum archaeobacteria ditemukan pada tempat yang ekstrim seperti pada sumber air panas maupun daerah dengan kadar garam yang tinggi. Namun data terbaru menunjukkan bahwa Archaeobacteria ternyata hidup bersimbiosis dengan tanaman di daratan. Peranan archaeobacteria pada tanaman yaitu memicu pertumbuhan, meningkatkan toleransi tanaman terhadap stress lingkungan dan meningkatkan respon imun tanaman (Jung, *et al.*, 2020). Selain pada tanaman, archaeobacteria ditemukan membentuk biofilm pada karies gigi manusia (Dame-Teixeria *et al.*, 2020). Contoh spesies Archaeobacteria dan peranannya diperlihatkan oleh Tabel 2.



Tabel 3. Contoh Archaeobacteria dan peranannya ((Jung, *et al.*, 2020)

Spesies bakteri	Habitat	Peranan
<i>Thermococcus sp</i>	Daerah sumber panas bumi (60 ⁰ C-105 ⁰ C)	
<i>Methanococcus maripaludis</i>	Daerah rawa yang bergaram dan lingkungan laut	Menghasilkan gas metan
<i>Methanogens</i>	Sawah, laut atau tempat yang lembab	Methane-oxidizing, sulfur reduction
<i>Halobacterium halococcus</i>	Jamur <i>Halonemum strobilaceum</i>	Melarutkan fosfat
<i>Haloterrigena turkmenica</i>	Daerah rizosfer	Biosintesis auksin
<i>Sulfolobus acidocaldarius</i>	Rhizosfere jarak pagar	Nitrifikasi, menghasilkan bakteriosin/terpen
Halolamina	Tanah dengan kadar garam tinggi	Melarutkan posfat
<i>Nitrosocosmicus oleophilus</i> MY3	Sedimen yang terkontaminasi tar batubara	Oksidasi ammonia, memicu pertumbuhan tanaman dan faktor resistensi tanaman
<i>Pyrococcus furiosus</i>	Tanaman <i>Cornus canadensis</i>	Detoksifikasi tanaman

3.4 Peranan Bakteri

3.4.1 Peranan bakteri yang menguntungkan

Bakteri tidak selamanya menyebabkan penyakit. Meskipun seringkali dianggap merugikan, namun pada kenyataannya berapa spesies bakteri tertentu bermanfaat bagi kelangsungan hidup manusia dan ekosistem (Adriani dkk, 2023) Beberapa peranan bakteri dalam berbagai aspek kehidupan manusia adalah sebagai berikut :

➤ Menghasilkan bahan makanan

Salah satu kelebihan bakteri adalah mampu mengubah bahan pangan tertentu menjadi makanan yang bernilai gizi tinggi dengan cita rasa menarik melalui fermentasi. Beberapa jenis bakteri dan produk yang dihasilkan yaitu :

- *Lactobacillus bulgaricus*, pembuatan yogurt
- *Streptococcus thermophilus*, pembuatan keju
- *Streptococcus lactis*, pembuatan mentega
- *Acetobacter xylinum*, pembuatan nata de coco
- *Pediococcus cereviceae*, pembuatan sosis

- *Enterobacter aerogenes*, pembuatan acar
 - *Acetobacter acetii*, pembuatan asam cuka
 - *Corynebacterium glutamicum*, pembuatan asam glutamate
 - *Bividobacterium sp*, pembuatan probiotik
 - *Leuconostoc dextranicum*, meningkatkan cita rasa keju
- Menghasilkan obat-obatan
- Bakteri menghasilkan metabolit sekunder yang berkhasiat obat. Salah satunya adalah *Streptomyces griceus* yang menghasilkan senyawa berkhasiat antibiotik yang dikenal dengan nama Streptomycin. Saat ini Streptomycin telah digunakan dan beredar luas di masyarakat untuk menghambat pertumbuhan bakteri patogen. Selain antibiotik, bakteri juga menghasilkan metabolit sekunder yang memiliki aktivitas sebagai antidiabetes, antimalaria, antikanker, dan antioksidan (Adriani, 2013; Baba et al., 2015; Baindara, 2020; Winarsih et al., 2022)
- Sebagai dekomposer dalam rantai makanan
- Dalam rantai makanan, bakteri berperan sebagai dekomposer. yaitu menguraikan organisme yang telah mati. Melalui proses dekomposisi, zat organik hasil penguraian dapat digunakan kembali oleh makhluk hidup lain. Sebagai contoh, dekomposisi serasah mangrove oleh bakteri menyebabkan tersedianya bahan organik untuk pertumbuhan tanaman air, kepiting, udang, kerang maupun mikroorganisme lain yang hidup dalam ekosistem tersebut. Karena kemampuannya menguraikan sampah-sampah organik, maka secara tidak langsung bakteri turut mengurangi limbah organik yang ada di alam.
- Dalam bidang pertanian
- Secara alami, bakteri hidup di dalam jaringan tanaman sebagai flora normal dan dikenal sebagai bakteri endofit. Peranan bakteri endofit adalah melindungi tanaman dari organisme patogen dan mendukung pertumbuhan melalui sintesis nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman, Bakteri juga dapat dimanfaatkan sebagai agen hayati untuk membasmi hama, agen fiksasi nitrogen dan membantu meningkatkan penyerapan unsur hara
- Dalam bidang pertambangan
- Bakteri dapat dimanfaatkan sebagai pemisah logam dari bijihnya. Hal ini terlihat pada pemisahan tembaga dari bijihnya yang dilakukan oleh *Thiobacillus ferrooxidans*. Proses pemisahan diawali dengan oksidasi



senyawa besi belerang oleh *Thiobacillus ferrooxidans* dan menghasilkan senyawa berupa asam sulfat dan besi sulfat. Kedua senyawa tersebut bekerja pada bebatuan di sekitar tembaga sehingga tembaga lepas dari bijinya.

➤ Dalam bidang perikanan

Beberapa dekade terakhir pemanfaatan bakteri sebagai bahan tambahan pakan ikan sudah banyak dilakukan oleh masyarakat. Bakteri probiotik adalah bakteri baik yang membantu memelihara kesehatan terutama pada bagian sistem pencernaan. Pemberian pakan yang mengandung bakteri probiotik terbukti meningkatkan pertumbuhan ikan budidaya (Arief, 2014; Harmilia dkk, 2020)

➤ Agen bioremediasi

Remediasi adalah bagian dari bioteknologi lingkungan yang memanfaatkan mikroorganisme untuk menguraikan sampah. Mikroorganisme seperti bakteri memiliki kemampuan untuk mengubah dan memodifikasi struktur sampah yang awalnya bersifat toksik menjadi tidak berbahaya dan ramah lingkungan. Beberapa jenis bakteri dari spesies tertentu memiliki kemampuan untuk membersihkan sisa tumpahan minyak di laut, menurunkan kadar logam berat dalam tanah dan menguraikan plastik.

3.4.2 Peranan bakteri yang merugikan

Keberadaan bakteri di alam ternyata juga membawa dampak yang kurang menguntungkan bagi organisme lain. Beberapa jenis bakteri diketahui bersifat patogen bagi manusia, hewan dan tanaman. Aktivitas patogen disebabkan oleh pelepasan toksin(endotoksin maupun eksotoksin), enzim dan superantigen oleh bakteri. Endotoksin adalah komponen struktural bakteri yang berada pada bagian luar sel yang dilepaskan ketika berada dalam kondisi yang kurang menguntungkan. Contoh endotoksin adalah lipopolisakarida dan lipooligosakarida yang terletak pada membran sel bakteri gram negatif. Eksotoksin adalah senyawa berupa protein atau enzim yang dilepaskan oleh bakteri ketika terjadi lisis sel dan dapat menginfeksi dan memicu respon imun organisme lain. Berikut adalah beberapa contoh bakteri dan jenis kerugian yang ditimbulkan.



Tabel 4. Jenis bakteri patogen pada makhluk hidup

Bakteri	Jenis toksin yang dihasilkan	Jenis kerugian yang ditimbulkan
<i>Clostridium botulinum</i>	Botulin	Kerusakan pada makanan kaleng
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>		Patogen pada ikan
<i>Clostridium tetani</i>	Tetanospamin (neorotoksin)	Gangguan saraf pada orang yang terinfeksi (tetanus)
<i>E. coli</i>	Shiga (STEC)	Kontaminasi makanan
<i>Bacillus cereus</i>	Enterotoksin	Diare
<i>Vibrio cholerae</i>	Cholera toxin	Diare
<i>Bordetella pertussis</i>	Adenylcyclase-hemolysin (CyaA)	Batuk rejan Luka ganggren
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	ExoS	Pneumonia dan infeksi saluran kemih
<i>Clostridium perfringens</i>	Eksotoksin epsilon Perfringiolysin	Lesi ginjal pada ruminansia
<i>Bacillus anthrax</i>	anthrax lethal toxin (LT) and edema toxin (ET), anthrolysin O (ALO)	Penyakit antrax
<i>Photobacterium damsela piscicida</i>	AIP56 (apoptosis inducing protein of 56 kDa)	Kematian pada ikan
<i>Staphylococcus aureus</i>	Staphylococcal SSL5 Alpha toxin Leucocidin	Abses pada kulit
<i>Mycobacterium ulcerans</i>	Polyketide toksin	Penyakit pada kulit
<i>Salmonella typhi</i>	Typhid toksin	Penyakit tipes
<i>Listeria monocytogenes</i>	Listeriolysin	Meningitis
<i>Streptococcus pneumonia</i>	Pneumolysin	Pneumonia, otitis media
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Streptolysin O	Radang tenggorokan



DAFTAR PUSTAKA

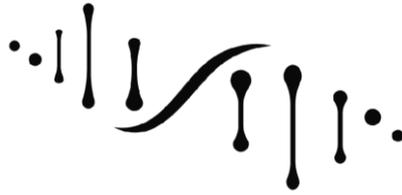
- A'yun, Q., Asmarany, A., Fitriyah, D., Awaluddin, A., Rini, I. A., Mahyarudin, M., ... & Hamida, F. 2022. *Mikrobiologi Dasar*. Yayasan Kita Menulis.
- Adriani A., Esti, R.P. Andi N.S., Muthmainnah, M., Ube D., 2023. *Edukasi Kesehatan : Pemanfaatan Bakteri Dalam Berbagai Aspek Kehidupan*. Setawar Abdimas Vol.2 No.1
- Adriani, Yessika. F. T. 2013. *Isolasi dan Karakterisasi Actinomycetes Sebagai Penghasil Antibiotik Dari Sampel Tanah Pada Peternakan Sapi di Kecamatan Galesong Kabupaten Takalar*.
- Arief, M., Fitriani, N., & Subekti, S. 2014. *Pengaruh Pemberian Probiotik Berbeda pada Pakan Komersial terhadap Pertumbuhan Dan Efisiensi Pakan Ikan Lele Sangkuriang (Clarias Sp.) [The Present Effect Of Different Probiotics On Commercial Feed Towards Growth And Feed Efficiency Of Sangkuriang Catfish (Clarias Sp.)]*. Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan, 6(1), 49-54.
- Astuti, W.W., Gaby M.N., Syamsiara N., Helena D., Andi T., Andi B.P., Nova D., Syarif H.A., Adriani, Herlina, Nina W., Sri W. 2022. *Konsep Dasar Biologi*. Cendekia Publisher, Makassar
- Baba, M. S., Zin, N. M., Hassan, Z. A. A., Latip, J., Pethick, F., Hunter, I. S., ... & Herron, P. R. 2015. *In Vivo Antimalarial Activity Of The Endophytic Actinobacteria, Streptomyces SUK 10*. Journal of Microbiology, 53, 847-855.
- Baindara, P., & Mandal, S. M. 2020. *Bacteria And Bacterial Anticancer Agents As A Promising Alternative For Cancer Therapeutics*. Biochimie, 177, 164-189.
- Baker, B.J., De Anda, V., Seitz, K.W., Dombrowski, N., Santoro, A.E., Lloyd, K.G., 2020. *Diversity. Ecology and Evolution of Archaea*. 5 (7), 887-900
- Cheng-Guang, H., & Gualerzi, C. O. 2021. *The Ribosome As A Switchboard For Bacterial Stress Response*. Frontiers in Microbiology, 11, 619038.
- Dame-Teixeira, N., de Cena, J. A., Côrtes, D. A., Belmok, A., dos Anjos Borges, L. G., Marconatto, L., ... & Kyaw, C. M. 2020. *Presence Of*

- Archaea In Dental Caries Biofilms*. Archives of Oral Biology, 110, 104606.
- Harmilia, E. D., Helmizuryani, H., & Ahlan, A. (2020). *Pengaruh Dosis Probiotik Pada Pakan Komersil Terhadap Pertumbuhan Ikan Nila Merah (Oreochromis niloticus)*. Fiseries, 8(1), 9-13.
- Jung, J., Kim, J. S., Taffner, J., Berg, G., & Ryu, C. M. (2020). *Archaea, Tiny Helpers Of Land Plants*. Computational and Structural Biotechnology Journal, 18, 2494-2500.
- Koentjoro, M. P., & Biotech, M. 2020. *Dinamika Struktur Dinding Sel Bakteri*. Jakad Media Publishing.
- Marzuki, I., & Sattar, S. 2019. *Aplikasi Mikrosimbion Spons dalam Bioremediasi Lingkungan*. CV. Tohar Media; Makasar
- Nurmawati, I., Dewi, R. F., Anjarwati, S., Aswita, D., Jeramat, E., Prasmala, E. R., ... & Sumiati, E. 2022. *Teori dan Aplikasi Biologi Umum*. Yayasan Penerbit Muhammad Zaini.
- Pajerski, W., Ochonska, D., Brzychczy-Wloch, M., Indyka, P., Jarosz, M., Golda-Cepa, M., ... & Kotarba, A. 2019. *Attachment Efficiency Of Gold Nanoparticles By Gram-Positive And Gram-Negative Bacterial Strains Governed By Surface Charges*. Journal of Nanoparticle Research, 21
- Rinke, C., Chuvochina, M., Mussig, A.J., Chaumeil, P.-A., Davín, A.A., Waite, D.W., Whitman, W.B., Parks, D.H., Hugenholtz, P., 2021. *A Standardized Archaeal Taxonomy for The Genome Taxonomy Database*. Nat Microbiol 6 (7), 946–959
- Winarsih, S., Noorhamdani, N., Ardyati, T., & Adriani, A. 2022. *Isolation and screening endophytic bacteria producing α -glucosidase inhibitor from Sanrego plant (Lunasia amara Blanco)*. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2513, No. 1, p. 020015). AIP Publishing LLC



BAB 4

KONSEP PROTISTA



4.1 Pendahuluan

Ernst Haeckel seorang ahli zoologi Jerman menyarankan pada tahun 1866 bahwa kerajaan protista didirikan untuk memasukkan organisme "rendah". Namun sepanjang hidupnya, pandangannya tidak diadopsi. Ilmuwan Amerika R.H. Whittaker dan Lynn Margulis, yang bekerja pada 1970-an dan 1980-an, secara luas mendukung pandangan organisme yang terdiri dari lima kingdom terpisah, salah satunya kingdom protista (Kara, 2011).

Haeckel membedakan kingdom plantae dan animalia dari protista berdasarkan perbedaan organisasi seluler. Protista menampung tubuh tidak dapat digabungkan kedalam kelompok tumbuhan serta hewan. Protista terbagi atas alga, protozoa, jamur, dan bakteri bersel satu, sonik atau bersel banyak tanpa pemisahan jaringan. Whittaker membagi semua makhluk hidup menjadi tiga tahap perkembangan, sebagai berikut: Eukariota bersel satu, seperti ganggang bersel satu, ragi, dan protozoa (Divisio Protista), serta eukariota multiseluler dan multikariotik, seperti Divisio Jamur, Divisio Tumbuhan, dan Divisio Hewan, adalah contoh makhluk prokariotik. Sementara itu, Woese mengklasifikasikan organisme menurut komposisi makromolekul kimia yang terkandung pada selnya. Famili ini meliputi Archaea, Eukarya (protozoa, jamur, pantae dan animalia) dan Bakteri (Sumarsih, 2003).

4.2 Protista

4.2.1 Pengertian Protista

Protista merupakan kerajaan paling banyak di domain eukariotik. Kingdom Protista terdiri dari organisme uniseluler, koloni, dan multiseluler yang belum berpisah menjadi jaringan. Ernst Haeckel pada tahun 1866 memperkenalkan istilah protista pertama kali. Pembagian awal ke dalam kelompok-kelompok menurut kesamaan dalam kingdom yang lebih tinggi:



protozoa, alga dan protista mirip jamur (jamur lendir dan hidroform). Pengelompokan ini kemudian digantikan oleh klasifikasi berdasarkan filogeni (evolusi terkait antar organisme). Namun, istilah lama masih digunakan untuk menggambarkan berbagai variasi morfologi dan ekologi protista. Secara umum, protista adalah organisme dengan sel eukariotik, yaitu telah mempunyai membran inti, dan habitatnya di air tawar dan air laut, tanah, serasah, serta tempat basah (Muspiroh dan Sahrir, 2018).

Protista ialah makhluk hidup eukariotik yang tidak termasuk animalia, plantae dan jamur. Mereka dapat digolongkan bersama sebagai kingdom dengan nama. Protista, namun tidak lagi digunakan (Simonite, 2005). Penggunaannya tetap untuk kebutuhan studi ekologi dan morfologi semua eukariota uniseluler yang hidup mandiri, atau, jika koloni terbentuk, tetap bersama tetapi tidak melakukan pemisahan menjadi jaringan yang berbeda (Adl SM, *et al.*, 2005). Klasifikasi ini dihapus dari taksonomi karena paralel. Satu-satunya sel uniseluler atau multiseluler tanpa organisasi memiliki kesamaan dengan organisme yang membentuk Protista adalah bahwa mereka dapat dengan mudah dikelompokkan. Protista dapat bertahan hidup di hampir lingkungan air. Banyak protista, termasuk ganggang, adalah produsen fotosintesis penting dan memainkan peran penting dalam ekosistem, terutama di lautan di mana mereka ditemukan sebagai plankton. Dengan penyakit seperti trypanosomiasis dan malaria, protista lain seperti kinetoplastids dan apicomplexes berbahaya bagi manusia.

Protista adalah mikroorganisme eukariotik yang tidak termasuk jamur, hewan, atau tumbuhan. Protista eukariotik adalah kategori yang bervariasi. Protista tidak memiliki organisasi jaringan khusus dan bersel tunggal, koloni multiseluler. Protista berbeda dari eukariota lain karena sel-sel mereka diatur secara sederhana. Untuk bergerak, beberapa memiliki silia. Protista memiliki reproduksi aseksual dan seksual. Lingkungan perairan adalah habitatnya (Aisyah & Fadilah, 2016)

4.2.2 Sejarah Klasifikasi Protista

1. Georg A. Goldfuss, seorang ahli biologi Jerman, pertama kali menganjurkan pembagian protista dari spesies lain pada tahun 1830-an. Dia menciptakan istilah protozoa, yang meliputi ciliate dan karang.
2. Itu diperluas oleh pendukung Goldfuss pada tahun 1845 untuk mencakup semua organisme bersel tunggal, termasuk foraminifera dan amuba.



3. John Hogg adalah orang yang awalnya menyarankan kelompok taksonomi Protoctista pada awal 1860-an. Dia membuat kasus bahwa protista juga harus mencakup apa yang disebutnya hewan dan tumbuhan bersel tunggal primordial. Kerajaan keempat setelah tumbuhan, hewan, dan mineral, menurutnya, adalah protocista.
4. Gustav Haeckel Hanya kerajaan tumbuhan, hewan, dan protista yang tersisa setelah menghapus kerajaan mineral.
5. Herbert Copeland membawa kembali klasifikasi Hoag pada tahun 1938. Dia mengklaim bahwa "Protoctista" adalah bahasa Latin untuk "makhluk hidup pertama." Dia mempertanyakan penggunaan nama protista Haeckel karena mencakup bakteri dan mikroorganisme non-enukleasi lainnya, tetapi protocista tidak. Protozoa, di sisi lain, termasuk eukariota berinti seperti jamur, ganggang hijau, dan diatom.
6. Revisi Copeland berfungsi sebagai dasar untuk klasifikasi Whittaker, yang hanya memisahkan Protoctista menjadi Protista dan Jamur. Prokariota yang termasuk dalam kerajaan Monera dibedakan dari eukariota yang termasuk dalam kerajaan Protista, yang merupakan persamaan bagi Whittaker.
7. Pendekatan lima kerajaan mendahului pengembangan filogeni molekuler, yang menunjukkan bahwa protista dan monera tidak monofiletik dan karenanya tidak berhubungan.
8. Berdasarkan molekul, ultrastruktur, dan fosil, Cavalier-Smith mengembangkan sistem enam alam pada tahun 2004 (Whittaker, 1969).

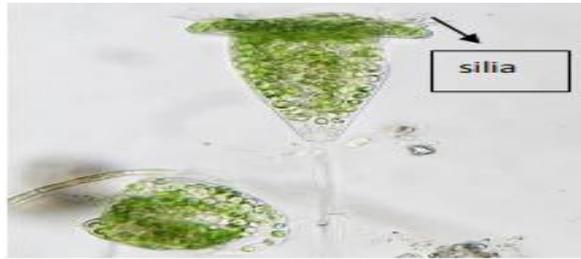
4.2.3 Klasifikasi Protista

Protista dibagi menjadi tiga kategori: protista yang menyerupai hewan, tumbuhan, dan jamur.

1. Protista Mirip Hewan (Protozoa)
 - a. Ciliata

Ciliate adalah organisme yang menghuni air tawar yang sangat kaya bakteri atau organik. Ciliate sering menghuni air tawar, meskipun beberapa juga menghuni lingkungan lain, seperti usus besar manusia. Ciliate bermigrasi untuk mencari makanan menggunakan silia mereka. Pembelahan biner adalah metode reproduksi aseksual khas yang digunakan oleh ciliate (Nurhadi dan Yanti, 2018). Vorticella adalah salah satu contoh.



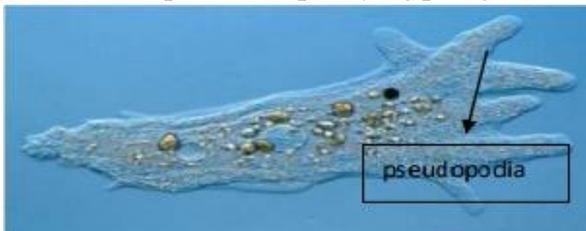


Gambar 1. Vorticella pembesaran 100x
 Sumber: Rotkiewicz, Piotr (2006)

b. Rhizopoda

Rhizopoda melakukan perjalanan dengan membentuk pseudopodia protoplasma, di mana pseudo adalah semu dan pouis untuk kaki.

Rhizopoda bersifat parasit pada manusia dan hewan dan dapat ditemukan di air tawar dan laut. Dengan membelah, rimpang dapat berkembang secara vegetatif dengan baik (Nurhadi dan Yanti, 2018). Amuba adalah salah satu spesies rhizopoda yang paling terkenal.



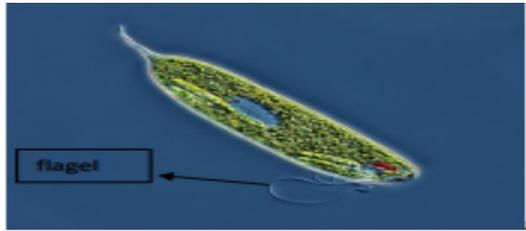
Gambar 2. Amoeba proteus perbesaran 100x
 Sumber: Nurhadi dan Yanti (2018)

c. Flagellata

Karena tidak memiliki exoskeleton dan memiliki bentuk tubuh tetap, pelikel, membran fleksibel yang ditemukan di bagian luar silia, melindungi tubuh organisme.

Ada membran plasma di pseudopodia. Flagela (flagrum = mastix) adalah sarana di mana flagellata bergerak. Flagellata dapat berupa parasit makhluk lain atau dapat bertahan hidup di air tawar, laut, atau keduanya. Ini membelah untuk bereproduksi secara aseksual (Nurhadi dan Yanti, 2018). Euglena adalah jenis flagela yang paling khas.

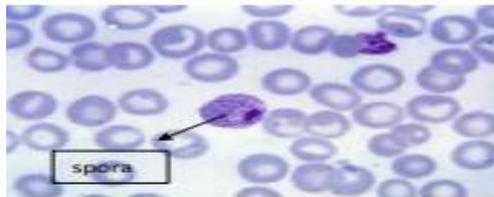




Gambar 3. *Euglena* sp. perbesaran 100x
 Sumber: Moreno, Rogelio (2013)

d. Sporozoa

Kehidupan sporozoa yang rumit, yang merupakan protozoa parasit, selalu melibatkan produksi spora menular. *Plasmodium vivax*, agen malaria yang disebarkan oleh nyamuk *Anopheles*, merupakan parasit paling signifikan di antara sporozoit (Nurhadi dan Yanti, 2018).

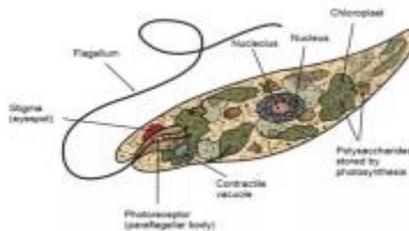


Gambar 4. *Plasmodium vivax* perbesaran 100x
 Sumber: Glenn, Steven (2013)

2. Protista mirip tumbuhan

a. Euglenophyta

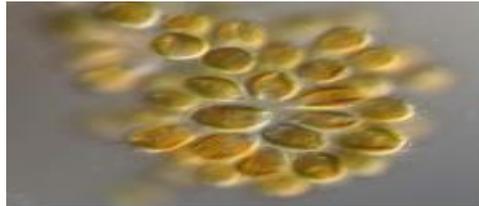
Euglenophyta adalah sekelompok ganggang yang dapat hidup menetap. Beta-karoten dan klorofil keduanya ditemukan dalam kloroplas. Satu, dua, atau tiga flagela dapat ditemukan pada sel. Flagela internal memiliki dasar yang memasuki dasar reservoir. Hidup sendiri di kolam kecil yang kaya organik, menurut Riana Rakatika (2004).



Gambar 5. Struktur tubuh *Euglena* sp.
 Sumber: Bailey, Regina (2018)

b. Chrysophyta

Kromoplas Chrysophylla memiliki warna kuning-hijau hingga coklat keemasan sebagai akibat dari prevalensi karoten dan lutein. Sebagian hidup sendiri atau mendirikan koloni yang memiliki bentuk satu set atau amorf (Riana Rakatika, 2004). Diantaranya adalah Synura.



Gambar 6. Contoh Chrysophyta: Synura perbesaran 200x Sumber: Skaloud, Pavel (2014)

c. Pyrrophyta

Anggota Pyrrophyta memiliki pigmen regional. Biasanya berwarna hijau hingga coklat keemasan, dengan empat pigmen xantofil, betakaroten, klorofil a, dan klorofil c (Riana Rakatika, 2004). seperti Ceratium sp.



Gambar 7. *Ceratium* sp. perbesaran 640x
Sumber: Byungsoo, Chae (2009)

d. Chlorophyta

Kecuali Chara, semua ganggang hijau diklasifikasikan sebagai Chlorophyta. Ganggang hijau memiliki satu sel atau banyak. Ulva spp. adalah salah satu contoh. Monosit, bisa hidup di air tawar atau laut. Zoospora dengan empat flagela digunakan dalam reproduksi seksual heterogami maupun reproduksi aseksual (Riana Rakatika, 2004).



Gambar .8. Ulva sp.
Sumber: Llompert Payeras, A (2008)



e. Phaeophyta

Kromofor alga coklat berwarna kuning-coklat karena mereka memiliki konsentrasi lutein yang lebih tinggi daripada pigmen lainnya. Mayoritas merupakan makhluk laut. Beberapa spesies menempel pada karang atau substrat lain dan tinggal di laut. Sebagai endofit atau epifit, spesies lain hidup berdampingan dengan jenis alga lainnya (Riana Rakatika, 2004: 47). *Sargassum* adalah salah satu contoh.



Gambar 9. *Sargassum*

Sumber: Larson, Rebecca (2021)

f. Rhodophyta

Banyak pigmen hadir dalam ganggang merah, termasuk konsentrasi yang signifikan dari klorofil a, beta-karoten, lutein (terutama lutein), dan phycoerythrin. "Ganggang merah terutama organisme laut" (Riana Rakatika, 2004). *Palmaria palmata* adalah contoh utama.



Gambar 2.10 *Palmaria palmata*

Sumber: Serdar, Zeljko (2014)

3. Protista mirip jamur

a. Plasmodium myxoplasma

Jamur lendir Plasmodium aseluler adalah pengurai yang hidup di hutan dan lahan pertanian dan mengonsumsi materi tanaman. Plasmodium menciptakan sejumlah besar sporangia di bawah kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan, yang menghasilkan spora. Sebagai kelompok sporangia, tubuh buah akan berkembang. Spora dapat berkembang biak ketika kelembaban lingkungan memungkinkan (Aisyah, Wiweka, Pratama,



dan Fadilah, 2016). Salah satu jenis jamur lendir Plasmodium adalah *Phylofism polycephalum*.



Gambar 11. *Physarum polycephalum*
Sumber: Aisyah dkk (2016)

b. Jamur lendir seluler

Berbeda dengan Plasmodium, jamur lendir seluler, juga disebut sebagai Accrasiomycota, adalah makhluk haploid (hanya zigot yang diploid). (McLaughlin & Spatafora, 2014: 22) *Dictyostelium* sp. *Dictyostelium* sp. salah satu contoh.



Gambar 2.12 *Dictyostelium* sp. perbesaran 400x
Sumber: Bando (2010)

c. Jamur Air

Jamur air, juga dikenal sebagai oomycota atau oomycetes, dapat memiliki satu atau lebih sel dan memiliki dinding sel berbasis selulosa. Oomycota juga disebut sebagai jamur berbulu halus atau karat putih. Menurut Aisyah *et al.* (2016), oomycetes multiseluler memiliki banyak inti dan ada sebagai hifa bercabang dan tidak bersekat. *Plasmopara viticola*, parasit tanaman yang memakan serangga anggur, adalah contoh oomycete.



Gambar 2.13 *Plasmopara viticola* sebagai parasit pada tanaman anggur
Sumber: Aisyah dkk (2016)



4.2.4 Peranan Protista dalam Kehidupan

Karena protista adalah organisme autotrof yang membuat makanan mereka sendiri dan bertindak sebagai produsen, mereka dikenal sebagai organisme "mirip tumbuhan". Ini terdiri dari eukariota yang tunggal dan multiseluler dan sel-selnya serupa. Mayoritas protista dalam kelompok ini adalah fitoplankton, yang menyumbang sejumlah besar biomassa dan oksigen karena kapasitas mereka untuk fotosintesis. Akibatnya, di lingkungan perairan, protista berfungsi sebagai dasar rantai makanan (Aisyah *et al.*, 2016: 15). Selain fungsi-fungsi yang disebutkan di atas, orang menggunakan protista yang menyerupai tanaman dalam berbagai cara. Alga yang berwarna merah atau coklat dimanfaatkan sebagai pupuk. Ganggang merah *Porphyra*, yang menghasilkan produk polisakarida penting seperti kerogen dan agar-agar, ditanam sebagai tanaman pangan di Jepang. Keduanya digunakan sebagai pengental dan emulsifier (Aisyah *et al.*, 2016: 16).



DAFTAR PUSTAKA

- Adl, S., M, Simpson, A., G, and Farmer, M., A. (2005). The new higher level classification of eukaryotes with emphasis on the taxonomy of protists. *Journal Eukaryot Microbiol.* 52 (5): 399–451. doi:10.1111/j.1550-7408.2005.00053.x. PMID 16248873.
- Aisyah, Wiweka, A., Pratama, A., & Fadilah, I. S. (2016). Protista: Malang.
- Kara, R. (2011). *Fungi, Algae And Protists*. New York: Britannica Educational Publishing.
- McLaughlin, D. J., & Spatafora, J. W. (2014). Systematics and evolution: Part A: Second edition. Systematics and Evolution: Part A: Second Edition, (July 2014), 1–461. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-55318-9>.
- Muspiroh dan Sahrir. (2018). *Panduan Protista dan Fungi*. Cirebon: IAIN Syekh Nurjati Cirebon.
- Nurhadi dan Yanti, F. (2018). Taksonomi Invertebrata. Retrieved. UINSU.
- Riana Rakatika, R. (2004). Botani Cryptogamae. Tasikmalaya: LPPM Universitas Siliwangi.
- Simonite T (2005). Protists push animals aside in rule revamp. *Nature* 438 (7064): 8–9. doi:10.1038/438008b. PMID 16267517.
- Sumarsih, S. (2003). *Mikrobiologi Dasar*. Yogyakarta: Fakultas Pertanian Upn"Veteran" Yogyakarta, 4.
- Whittaker RH (1969). New concepts of kingdoms or organisms. Evolutionary relations are better represented by new classifications than by the traditional two kingdoms. *Science (journal)* 163 (863): 150–60. doi:10.1126/science.163.3863.150. PMID 5762760.



BAB 5

PEMBIAKAN MIKROORGANISME



5.1 Pendahuluan

Pembiakan mikroorganisme merupakan perbanyakan mikroorganisme melalui proses reproduksi pada medium kultur sesuai kondisi laboratorium yang terkendali. Isolasi menjadi teknik pemisahan mikroorganisme dari tempat asal akan memperoleh biakan murni. Biakan murni untuk mempelajari sifat-sifat biokimia dan morfologi biakan. Pertumbuhan mikroorganisme dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ketersediaan nutrisi dan faktor lingkungan. Mikroorganisme tumbuh dan berkembang pada suatu substrat disebut media.

5.2 Media

Media merupakan bahan nutrisi yang di butuhkan dalam pertumbuhan mikroorganisme. Bahan nutrisi berupa bahan alami dan bahan sintetis. Nutrisi untuk mikroorganisme berupa senyawa sederhana mudah diuraikan tersedia secara langsung atau berasal dari senyawa kompleks biasa diuraikan oleh mikroorganisme menjadi senyawa sederhana melalui proses enzimatik. Mikroorganisme membutuhkan nutrisi untuk tumbuh dan berkembang.

Mikroorganisme membutuhkan media untuk tumbuh dan berkembangbiak yang berbahan dasar air sebagai pelarut. Bahan sgar, gelatin, dan silica gel sebagai pematat. Media mikroorganisme mengandung senyawa, seperti senyawa unsur makro dan unsur mikro. *Phenol red* sebagai indikator kemasaman sekaligus bahan tambahan pembuatan media. Media kultur dapat dikatakan baik apabila media mudah di siapkan, murah, mudah didapatkan, mudah dibuat dan mudah diaplikasikan di laboratorium. Media dapat di bedakan menjadi:

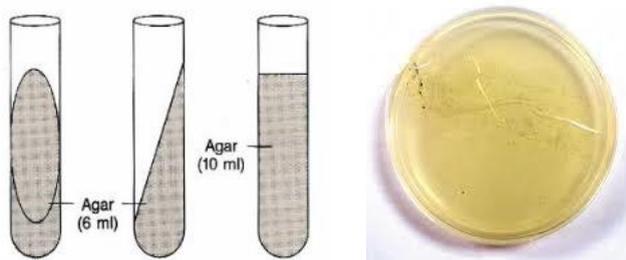
1. Media berdasarkan sifat Fisik
2. Media berdasarkan Komposisi
3. Media berdasarkan Karakteristik Fungsi



5.2.1 Media Berdasarkan Sifat Fisik

5.2.1.1 Media Padat

Media padat merupakan media dengan penambahan agar, supaya mikroorganisme tumbuh di permukaan. Media mengandung 1-2% agar sehingga setelah didinginkan media menjadi padat. Bahan pematid berupa agar berasal dari ganggang merah. Alga merah sebagai bahan dasar pembuatan agar karena bahan ini tidak diuraikan oleh mikroorganisme dan membeku pada suhu diatas 45°C. Media padat terdiri dari media agar miring dan agar deep. Media padat digunakan dalam pengamatan morfologi koloni bakteri, jamur, yeast serta dapat digunakan untuk mengisolasi biakan murni. Bahan utama agar-agar adalah galaktan, yakni kompleks karbohidrat diekstraksi dari alga lautgenus gelidium. Beberapa mikroba tidak menggunakan agar-agar sebagai makanannya. Contoh media padat yaitu Nutrient Agar (NA), Potato Dextrose Agar (PDA), dan Mueller Hinton Agar (MHA).



Gambar 1. Pertumbuhan Bakteri Pada Media Nutrient Agar

Sumber : (Kusumo Adi Arji Atmanto, Lisdiana Amin Asri, 2022)

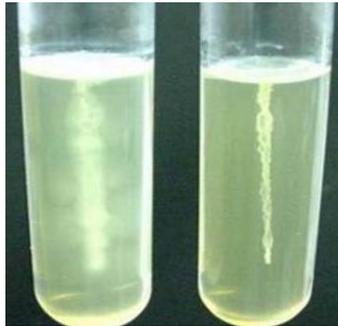
5.2.1.2 Media Semi Padat

Media semi padat digunakan untuk pertumbuhan bakteri dan mengetahui pergerakan bakteri. Bakteri bersifat motil akan terlihat seperti angin tornado, sedangkan bakteri non motil tampak bekas tusukan. Medium semi padat misalnya medium *Carry Blair* mengandung Agar 0,3%-0,4%. Komposisi medium *Carry-Blair* :

Sodium thioglicollate	1,5 gram
Dinatrium fosfat	1,1 gram
Natrium klorida	5,0 gram
Agar	5,0 gram
Kalsium klorida 1%	1,0 gram



Mikroba menggunakan senyawa kimia Sodium thioglycollate untuk mengkonsumsi oksigen dan pertumbuhan secara anaerob pada media. Mikroba menggunakan senyawa dinatrium fosfat sebagai nutrisi untuk pertumbuhan. Selain itu, Natrium Klorida untuk menjaga kesetimbangan osmotik media. Agar untuk memperkuat media dan kalsium klorida mengatur kandungan air dalam media (Supriatin and Rahayyu, 2016). Pertumbuhan bakteri pada medium semi padat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Medium Semi Padat
Sumber: (Supriatin and Rahayyu, 2016)

5.2.1.3 Media Cair

Media cair (*liquid*) adalah media tidak mengandung agar. Pada media cair pertumbuhan mikroba ditandai dengan kekeruhan, terdapat gelembung, dapat pula jika diberikan tabung durham akan terangkat keatas. Medium cair digunakan untuk perbanyakkan sel mikroba. Medium cair contohnya adalah NB (nutrient broth) dan LB (lactose broth).



Gambar 3. Media Lactose Broth (LB)
Sumber: (Jufri and Rahman, 2022)



5.2.2 Media Berdasarkan Komposisi

5.2.2.1 Media sintetis

Medium digunakan untuk mempelajari kebutuhan nutrisi mikroorganisme dan penggunaannya dalam produksi metabolitnya. Medium dapat berupa padat dan cair. Komposisi medium sintetis sudah diketahui berupa zat kimia dengan takaran yang pasti. Medium sintetis seperti Czapek Dox Agar (CDA) dan Sabouraud Dextrose Agar (SDA). Medium sintetis banyak digunakan untuk penelitian pada saat ini. Misalnya medium pertumbuhan *Escherichia coli* dengan menimbang bahan sebagai berikut :

Na ₂ HPO ₄	16,4 g/L
Glukosa	1 g/L
KH ₂ PO ₄	1,5 g/L
(NH ₄)SO ₄	2 g/L
MgSO ₄ .7H ₂ O	200 mg/L
CaCl ₂	10 mg/L
CaCl 2%	10 mg
FeSO ₄ .7H ₂ O	0,5 mg/L

Setelah di homogenkan seluruh zat kimia, kemudian di ukur pH medium sebelum disterilisasi menggunakan autoklaf (Hidayat N, Meitiniarti I, 2018).

5.2.2.2 Media Semi sintetis

Media semi sintetis sebagian komposisinya diketahui secara pasti, misalnya PDA (Potato Dextrose Agar), TEA (Tauge Ekstrak Agar), dan MEA(Malt Ekstrak Agar).

5.2.2.3 Media Non sintetis

Media non sintetis dibuat tanpa mengetahui komposisi secara pasti. Media non sintetis disebut media alamiah biasanya langsung diekstrak dari bahan alaminya, misalnya *tomato juice agar*, *brain heart infution agar*, dan *pancreatic*.

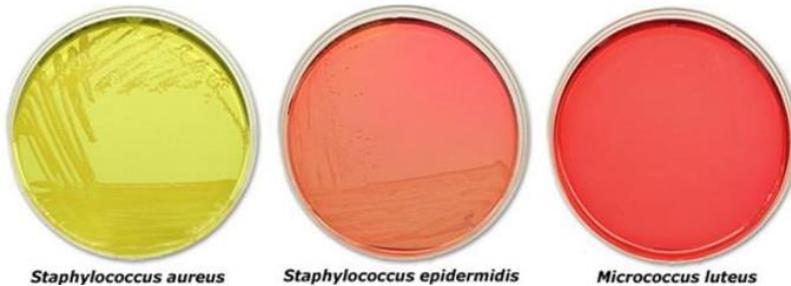
5.2.3 Media berdasarkan Karakteristik Fungsi

5.2.3.1 Media Deferenensial

Media deferenensial merupakan media mengandung unsur untuk identifikasi mikroba jenis tertentu dari biakan murni atau campuran. Media ini mengandung zat pewarna tertentu menghasilkan perubahan karakteristik atau



pola pertumbuhan organisme sehingga dapat mengidentifikasi dan mendiferensiasi. Karakter tersebut dapat berupa warna dan bentuk dari koloni. Perbedaan karakteristik koloni menjadi tahap penting dalam proses diferensiasi untuk proses identifikasi selanjutnya. Beberapa macam media diferensial yaitu Mannitol Salt Agar (MSA), Hektoen Enteric (HE) Agar, Xylose-Lysine-Desoxycholate (XLD) Agar, dan Blood Agar.



Gambar 4. Diferensiasi pada MSA

Sumber: (Kusumo Adi Arji Atmanto, Lisdiana Amin Asri, 2022)

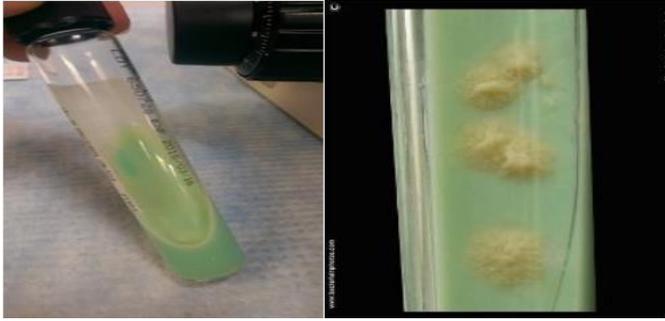
5.2.3.2 Media Selektif

Media selektif untuk menumbuhkan mikroorganisme tertentu sekaligus menghambat pertumbuhan mikroorganisme lain yang tidak diinginkan. Selektivitas dicapai melalui beberapa cara seperti, memanfaatkan karbohidrat dalam bentuk glukosa sebagai sumber karbon dengan menambahkan glukosa dalam medium, penambahan zat pewarna, antibiotik, kadar garam atau inhibitor spesifik dalam mempengaruhi metabolisme sel mikroorganisme. Beberapa media selektif diantaranya yaitu : Thayer Martin Agar, Salmonella Shigella Agar, Brilliant Green Lactose Broth (BGLB) dan Lowenstein Jensen Agar.



Gambar 5. Thayer Martin Agar positif *N.gonorrhoea*

Sumber: (Kusumo Adi Arji Atmanto, Lisdiana Amin Asri, 2022)



Gambar 6. Lowenstein Jensen agar positif *Mycobacterium tuberculosis*
 Sumber: (Kusumo Adi Arji Atmanto, Lisdiana Amin Asri, 2022)

5.2.3.3 Media diperkaya

Media diperkaya merupakan media dengan penambahan zat organik dari makhluk hidup seperti darah dan telur. Media diperkaya (*enrichment media*) adalah penambahan bahan-bahan tertentu pada media untuk merangsang pertumbuhan mikroba yang diinginkan. Media dirancang untuk pertumbuhan mikroorganisme tertentu, mikroba yang diinginkan tidak dapat tumbuh pada media sederhana seperti *Gonococcus*, *Streptococcus* dan *Pneumococcus*. Media diperkaya memiliki konstituen nutrisi mendukung pertumbuhan mikroorganisme tertentu yang diinginkan menggunakan medium kaldu selenit F dan kaldu tetrasonat. Media selenite F untuk menumbuhkan bakteri *Salmonella thyposa* dari tinja. Pemberian nutrisi tambahan tertentu dapat menstimulasi pertumbuhan mikroba, meskipun jumlah sedikit dalam suatu campuran berbagai mikroba. Media diperkaya antara lain: Chocolate media, Yeast-Extract-potasium Nitrat Agar, Alkali Pepton Water (APW), dan MEA untuk khamir.



Gambar 7. Alkali Pepton Water (APW)
 Sumber: (Kusumo Adi Arji Atmanto, Lisdiana Amin Asri, 2022)



5.3 Jenis Biakan Mikroorganisme

5.3.1 Biakan Campuran

Biakan campuran adalah biakan mengandung lebih dari satu jenis mikroorganisme yang tumbuh dalam media. Biakan campuran dapat ditumbuhkan beberapa spesies bakteri, virus, dan jamur.



Gambar 8. Beragam Fungi Tumbuh Pada Media Pertumbuhan
(Sumber: (Ed-har, Widyastuti and Djajakirana, 2017))

5.3.2 Biakan Murni

Biakan murni adalah satu jenis mikroorganisme yang tumbuh pada media. Biakan murni diperlukan pada berbagai metode mikrobiologi salah satunya untuk identifikasi mikroba. Mikroorganisme yang berasal dari satu spesies dibutuhkan untuk pengamatan ciri-ciri morfologi, fisiologi, dan serologi.



Gambar 9. Tahap pemurnian hingga diperoleh biakan murni
Sumber: (Ed-har, Widyastuti and Djajakirana, 2017)

5.4 Kebutuhan Nutrisi Mikroorganisme

Mikroorganisme membutuhkan nutrisi untuk kelangsungan hidupnya. Mikroba membutuhkan berbagai nutrisi dari media, beberapa nutrisi yang dibutuhkan mikroorganisme seperti:

1. Karbon

Karbon dibutuhkan untuk semua struktur dan fungsi seluler. Mikroba autotrof dan heterotrof sangat bergantung pada ketersediaan karbon. Mikroba autotrof dikultivasi dalam media mengandung senyawa anorganik dan memanfaatkan karbon anorganik dalam bentuk karbon dioksida. Organisme Heterotrof tidak dapat dikultivasi pada media mengandung senyawa anorganik dan harus dikultivasi pada median mengandung bahan organik terutama Glukosa. Setiap mikroorganisme memerlukan Glukosa (gula) sebagai sumber karbon untuk memperoleh energi. Jenis gula yang digunakan tergantung dari enzim dihasilkan oleh setiap mikroorganisme.

2. Nitrogen

Nitrogen adalah atom terpenting dalam makromolekul seluler, terutama pada protein dan asam nukleat. Protein merupakan molekul struktural yang membentuk bahan sel sebagai molekul fungsional, beberapa enzim bertanggung jawab atas aktivitas metabolisme sel. Beberapa mikroba menggunakan nitrogen yang bergantung pada senyawa anorganik seperti garam amonium dan intrat serta senyawa organik seperti asam amino.

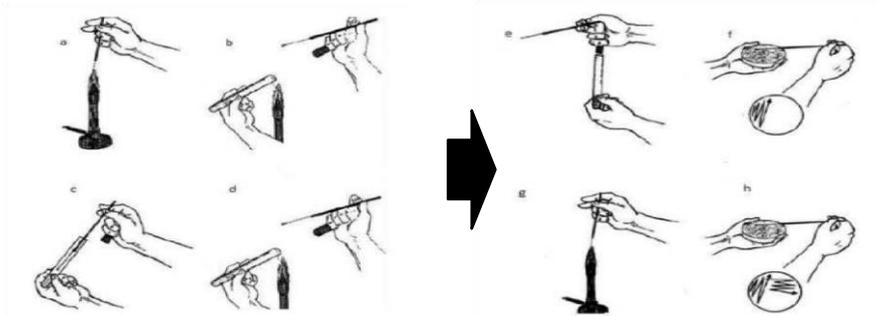
3. Unsur Non Logam

Unsur non logam digunakan sebagai nutrisi seluler seperti sulfur dan fosfor. Sulfur merupakan bagian integral dari asam amino komponen protein. Fosfor digunakan untuk penyusunan asam nukleat DNA dan RNA serta sintesis senyawa organik seperti ATP.

5.5 Cara Memindahkan Biakan

Cara memindahkan biakan menggunakan teknik swab bertujuan memindahkan mikroorganisme sampel, memiliki permukaan luas dan sulit dipindahkan menggunakan *cotton swab*. Teknik pemindahan biakan dilakukan dengan mengusapkan *cotton bud* memutar sehingga seluruh permukaan kapas dari *cotton bud* akan kontak dengan permukaan sampel.



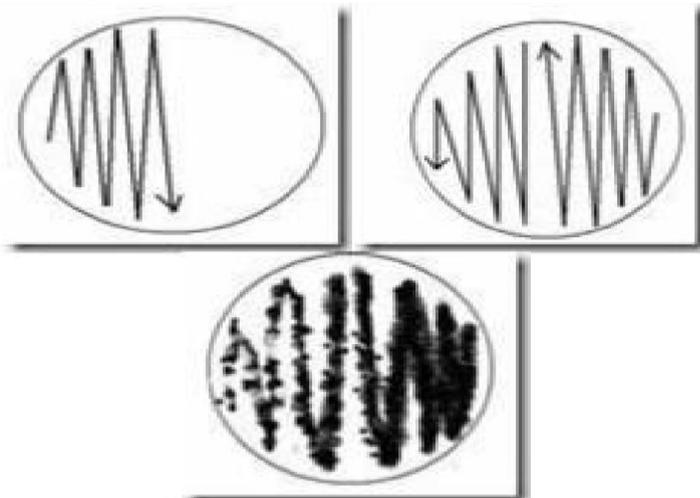


Gambar 10. Teknik transfer aseptis kultur mikroba dari tabung reaksi ke cawan petri
 Sumber:(Utami, Haranie, Kusmiyati, 2018)

Terdapat beberapa tipe pada metode cawan gores, yaitu :

1. Goresan Sinambung

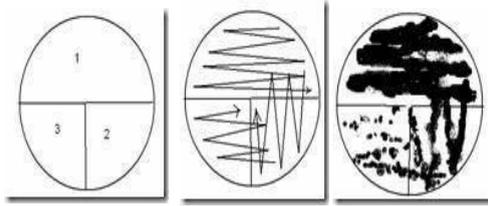
Goresan sinambung tidak untuk mendapatkan koloni tunggal, melainkan peremajaan koloni ke medium baru agar terpenuhi nutrisi sehingga mikroorganismenya dapat tumbuh dan berkembang.



Gambar 11. Tipe Goresan Sinambung
 Sumber: (Majid, Ajizah and Amintarti, 2020)

2. Goresan T

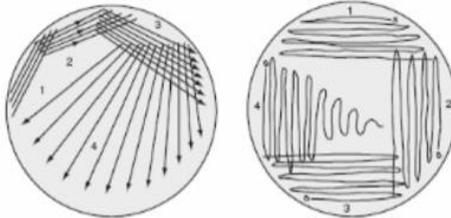
Tipe goresan T digunakan untuk memperoleh koloni tunggal dengan cara membagi wilayah goresan menjadi 3 bagian.



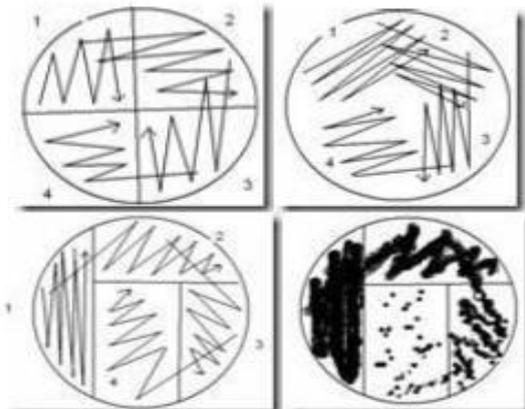
Gambar12. Tipe Goresan T
 Sumber:(Majid, Ajizah and Amintarti, 2020)

3. Goresan Kuadran

Tipe goresan kuadran hampir sama goresan T tetapi pola goresan dibagi ke menjadi 4 bagian. Pemisahan koloni bakteri hingga memperoleh kolonio tunggal dapat dilakukan dengan pembagian 4 bagian. Tipe goresan kuadran menggores secara zig-zag maupun secara terputus pada media cawan agar.



Gambar 13. Model Penggoresan Terputus dan Zig-Zag
 Sumber: (Majid, Ajizah and Amintarti, 2020)



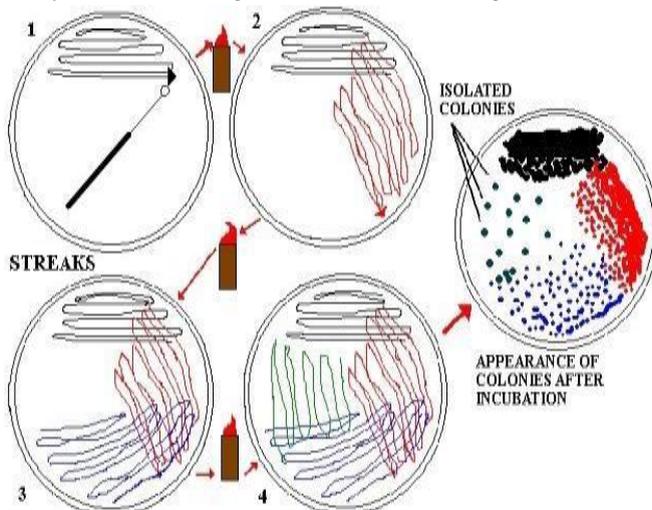
Gambar14. Tipe Goresan Kuadran
 Sumber: (Majid, Ajizah and Amintarti, 2020)



5.6 Isolasi Mikroorganisme

Isolasi mikroorganisme bertujuan untuk memindahkan mikroorganisme dari lingkungan alamiah serta menumbuhkan pada media buatan sehingga diperoleh biakan murni. Kultur murni adalah inokulasi sel-sel mikroba berasal dari pembelahan satu sel tunggal. Kultur murni digunakan untuk identifikasi mikroorganisme dan menumbuhkan biakan murni pada media buatan. Ada beberapa metode isolasi mikroba yaitu :

1. Metode gores (*streak plate*) menggunakan ose kemudian menggoreskannya ke permukaan media agar . Keuntungan metode ini menghemat bahan medium dan waktu pengerjaan. Metode *streak plate* yang dilakukan dengan benar dapat terisolasinya mikroorganisme yang diinginkan. Ada beberapa tipe goresan yaitu: sinambung, radian, kuadran dan goresan T.



Gambar15. Metode cawan gores (*Streak Plate Method*)

Sumber: (Yunilas, 2017)

2. Metode tuang (*pour plate*) menggunakan pencampuran suspensi bakteri yang dituangkan pada cawan petri dilanjutkan menuangkan medium agar bersuhu 50°C pada cawan.
3. Metode (*spread plate*) menuangkan suspensi bakteri ke atas medium agar lalu menyebarkan secara merata menggunakan batang L. Konsentrasi mikroba tidak diketahui, maka diperlukan pengenceran beberapa tahap, sehingga sekurang-kurangnya ada satu dari pengenceran mengandung koloni terpisah (30-300 koloni). Koloni mikroba terpisah tersebut dapat dihitung.

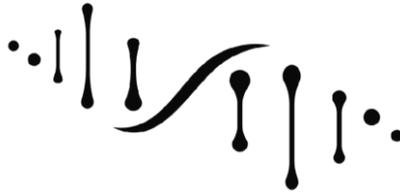
DAFTAR PUSTAKA

- Ed-har, A. A., Widyastuti, R. and Djajakirana, G. (2017) 'ISOLASI DAN IDENTIFIKASI MIKROBA TANAH PENDEGRADASI SELULOSA DAN PEKTIN DARI RHIZOSFER *Aquilaria malaccensis* Isolation and Identification of Cellulose and Pectin-Degrading Soil Microbes from Rhizosphere of *Aquilaria malaccensis*', 1(1), pp. 58–64.
- Hidayat N, Meitiniarti I, dan Y. N. (2018) *Mikroorganisme & Pemanfaatannya*. Pertama. Malang: UB Press.
- Jufri, E. S. and Rahman, I. (2022) 'Analisis Cemaran Bakteri Coliform Pada Minuman Jajanan Dengan Metode MPN (Most Probable Number)', 4, pp. 162–172.
- Kusumo Adi Arji Atmanto, Lisdiana Amin Asri, N. A. K. (2022) 'Media Pertumbuhan Kuman', 04(01), pp. 3069–3075.
- Majid, A., Ajizah, A. and Amintarti, S. (2020) *Panduan Mikrobiologi Umum, Mikrobiologi Umum*.
- Supriatin, Y. and Rahayyu, M. (2016) 'Modification Of Carry-Blair Transport Media For Storage *Salmonella typhi*', 5(2), pp. 72–73.
- Utami, Harianie, Kusmiyati, F. (2018) *Panduan Praktikum Mikrobiologi Umum*. Malang.
- Yunilas (2017) 'Penuntun Praktikum P e t e r n a k a n', in. Sumatra Utara.



BAB 6

PERTUMBUHAN MIKROORGANISME



6.1 Pengertian pertumbuhan mikroorganisme

Setiap makhluk hidup akan mengalami pertumbuhan, tidak terkecuali mikroorganisme. Pertumbuhan didefinisikan sebagai kemampuan untuk bertambah ukuran atau bahkan memperbanyak diri. Pertumbuhan biasanya dapat dideskripsikan baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

Mikroorganisme dikatakan mengalami pertumbuhan apabila jumlahnya bertambah dalam suatu waktu. Pertumbuhan tidak dapat berlangsung terbalik (*irreversible*). Umumnya, mikroorganisme tumbuh dalam bentuk koloni-koloni. Pertumbuhan mikroorganisme dicirikan dengan bertambahnya jumlah koloni sel, total massa koloni sel, dan ukuran koloni sel. Berbagai macam metode pengukuran pertumbuhan mikroorganisme tersedia, diantaranya melalui pengukuran konsentrasi sel (jumlah koloni sel per volume) atau densitas sel (berat koloni sel per volume).

Seperti halnya organisme yang lain, pertumbuhan mikroorganisme dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor tersebut akan menciptakan suatu kondisi lingkungan tertentu untuk mikroorganisme tersebut tumbuh. Pertumbuhan mikroorganisme akan cenderung baik pada kondisi lingkungan yang optimal. Kondisi yang optimal ini dapat dibentuk sedemikian rupa melalui faktor-faktor tersebut, sehingga pertumbuhan mikroorganisme dapat disesuaikan.

6.2 Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme

Pertumbuhan mikroorganisme dipengaruhi oleh berbagai macam faktor-faktor. Pertumbuhan mikroorganisme bergantung pada beberapa faktor, diantaranya adalah nutrisi yang cukup, tersedianya oksigen sesuai kebutuhan, kelembaban yang cukup, pH yang tepat, dan terhindar dari kontaminasi mikroorganisme lain (Mary Jo Zimbardo et al., n.d.).



6.2.1 Media

Media memegang peranan sangat penting dalam pertumbuhan mikroorganisme, karena media berkaitan dengan nutrisi. Secara definisi, media adalah substrat berisi campuran zat-zat nutrient untuk tumbuhnya mikroorganisme. Media harus mencakup berbagai macam kandungan pokok diantaranya: sumber karbon, nitrogen, sulfur, garam inorganik, logam, air, vitamin dan faktor pertumbuhan (Mary Jo Zimbardo et al., n.d.).

Komponen media setidaknya terdiri dari:

a. Sumber karbon

Sumber karbon dapat berasal dari golongan karbohidrat, asam organik, garam asam organik dan poli alkohol. Beberapa contoh sumber karbon yang biasa digunakan dalam membuat media diantaranya adalah glukosa, sukrosa, laktosa, maltose, malt ekstrak, pati, dekstrin, selulosa, minyak nabati, etanol, methanol, gliserol, dan alkana.

b. Sumber nitrogen

Sumber nitrogen didapat dari protein dan senyawa yang mengandung unsur N, contohnya pepton, yeast ekstrak, urea, gas ammonia, soy meal dan garam ammonium.

c. Unsur garam inorganik

Garam inorganik terbagi menjadi dua yakni unsur makro dan mikro. Unsur makro diantaranya N, P, C, O, H, S, K, Ca, Mg, Na dan Cl. Sementara unsur mikro yaitu Fe, Mn, Co, Bo, Zn, Mo dan Al.

d. Faktor pertumbuhan

Faktor pertumbuhan dapat diperoleh dari vitamin, hormon, atau asam lemak. Contoh faktor pertumbuhan yang umum digunakan adalah vitamin B12.

Komposisi khusus dari media yang akan digunakan untuk tumbuhnya mikroorganisme harus disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing mikroorganisme tersebut. Media harus memiliki selektivitas, artinya media harus mampu mendukung pertumbuhan jenis mikroorganisme target dan menghambat pertumbuhan flora lain. Selektivitas ini umumnya dicapai dengan menggunakan senyawa kimia tertentu seperti antibiotik. Sebagai contoh, untuk menghambat bakteri Gram positif dapat digunakan antibiotik penicillin, basitrasin, atau vankomisin. Bakteri gram negatif dapat dihambat dengan antibiotik kolistin, polimiksin. Nistatin digunakan untuk menghambat



pertumbuhan kapang atau jamur. Kombinasi lebih dari satu antibiotik dapat dilakukan untuk meningkatkan selektivitas medium (Bonnet et al., 2020).

Sebagian besar media pertumbuhan mikroorganisme terbuat dari Agar. Agar adalah senyawa polisakarida yang didapat dari dinding sel spesies organisme tertentu seperti alga merah (Shimamura, 2008). Konsentrasi agar yang terlalu tinggi dapat mengurangi flow nutrient sehingga akses bakteri terhadap nutrient dapat berkurang (Bonnet et al., 2020).

Beberapa macam media diantaranya:

1. Media padat

Media padat merupakan media agar yang kemudian dibuat solid (padat) dan biasanya dituangkan ke dalam cawan Petri atau ke dalam tabung reaksi dan dibuat miring (media agar miring). Konsentrasi agar pada media padat berkisar diantara 1.5-2% (Tankeshwar, 2022). Umumnya agar dalam bentuk cair kemudian dipadatkan pada suhu ruangan 37°C, dan dibiarkan memadat. Contoh media padat adalah media NA, media McConkey, dsb.

2. Media cair

Media cair merupakan media agar yang dibuat cair. Mikroorganisme dapat tumbuh dalam media cair ini dan menyebabkan media akan keruh karena adanya pertumbuhan mikroorganisme. Contoh media cair adalah: media kaldu, alkali pepton, dan 7H9 (Rachmawaty, n.d).

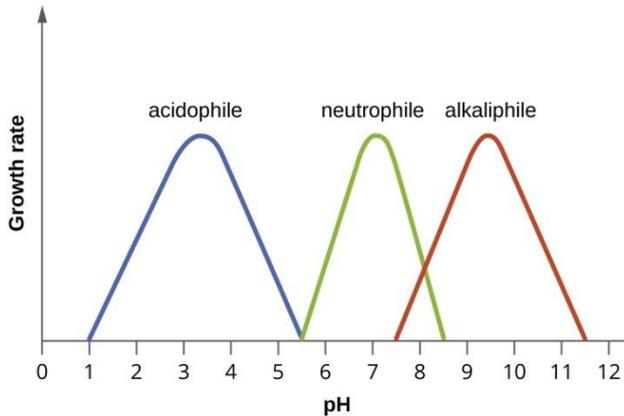
3. Media setengah padat (semisolid)

Media semisolid memiliki konsentrasi agar 0.2-0.5%, sehingga media ini memiliki konsistensi yang tidak padat dan juga tidak terlalu cair. Umumnya, media ini dibuat untuk melihat motilitas (pergerakan) bakteri.

6.2.2 pH

Pertumbuhan mikroorganisme yang maksimal berada pada pH optimumnya. pH optimum setiap mikroorganisme dapat berbeda-beda. Berdasarkan pH optimum nya, mikroorganisme terbagi menjadi tiga kelompok: asidofil memiliki pH optimum asam < 5; neutrophil memiliki pH optimum netral 5.0 – 9.0; dan basophil yang memiliki pH optimum basa > 9.0 (Horikoshi, 1999).





Gambar 6.1 Kurva pH terhadap laju pertumbuhan mikroorganisme
(Sumber : OpenStax, 2020)

pH lingkungan dapat mempengaruhi mikroorganisme secara langsung maupun tidak langsung. pH yang kemudian tiba-tiba berubah dapat mempengaruhi regulasi biologis yang ada di dalam tubuh mikroorganisme. Oleh karenanya, pH pertumbuhan harus dipertahankan sesuai dengan pH optimum pertumbuhan mikroorganisme.

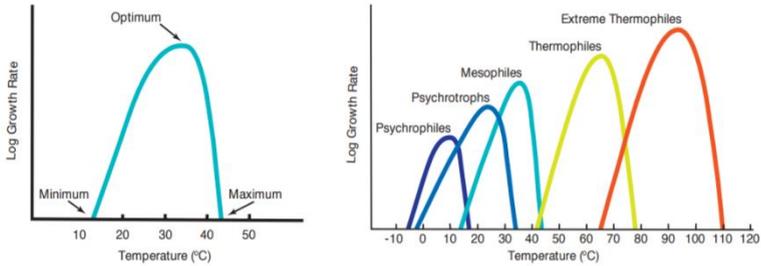
pH memegang peranan penting karena dapat menentukan metabolisme mikroorganisme yang kemudian berhubungan dengan laju pertumbuhan mikroorganisme dan survivalnya. pH juga mampu mempengaruhi reaksi termodinamika di dalam tubuh mikroorganisme, sehingga mikroorganisme memiliki respons tertentu terhadap lingkungan (Jin and Kirk, 2018).

6.2.3 Suhu

Seperti halnya pH, suhu juga sangat berpengaruh pada pertumbuhan mikroorganisme. Suhu dapat mempengaruhi reaksi-reaksi metabolisme yang ada di dalam tubuh mikroorganisme. Berdasarkan suhu, mikroorganisme dapat terbagi menjadi tiga kelompok yakni:

- Psikofril: $< 0^{\circ}\text{C}$
- Psikotropik: $0\text{-}30^{\circ}\text{C}$
- Mesofil: $30\text{-}45^{\circ}\text{C}$
- Termofil: $40\text{-}65^{\circ}\text{C}$
- Hipertermofil: $>65^{\circ}\text{C}$





Gambar 6.2 Kurva suhu terhadap laju pertumbuhan mikroorganismen (Sumber : Biology LibreTexts, 2021)

6.2.4 Kelembaban

Mikroorganismen memiliki kelembaban relatif berkisar pada range 40-80% (Soleha, Rukmono and Hikmatyar, 2015). Namun, penelitian membuktikan bahwa semakin tinggi kelembaban relatif (90%), maka semakin tinggi tingkat pertumbuhan mikroorganismen (Xing et al., 2021).

6.2.5 Oksigen

Mikroorganismen memiliki kebutuhan yang berbeda-beda akan oksigen untuk pertumbuhannya. Klasifikasi mikroorganismen berdasarkan oksigen, sebagai berikut:

- Aerob: mikroba yang membutuhkan oksigen.
- Anaerob: mikroba yang tidak memerlukan oksigen. Oksigen justru menghambat pertumbuhannya.
- Anaerob fakultatif: mikroba yang dapat tumbuh dengan atau tanpa bantuan oksigen.

Sebagai contoh, kultivasi mikroorganismen pada fermentasi aerobik, umumnya sumber oksigen steril dimasukkan ke dalam tanki bioreaktor melalui gas sparger atau dapat terbentuk selama agitasi/pengadukan.

6.2.6 Cahaya

Pertumbuhan mikroorganismen, khususnya bakteri dapat dipengaruhi oleh cahaya. Pada beberapa bakteri, cahaya dapat menghambat laju pertumbuhannya (Misnadiarly dan Husjain, 2014). Cahaya dengan panjang gelombang antara 240-300 nm dapat mematikan bakteri (Waluyo dan Lud, 2009). Mekanisme dampak buruk cahaya terhadap pertumbuhan bakteri dapat dijelaskan melalui reaksi radiasi yang kemudian mengakibatkan kematian sel (Brown dan Movsas, 2011).

6.2.7 Kontaminasi bakteri lain

Keberadaan mikroorganisme/ flora lain yang tidak berkepentingan pada media, dapat mengganggu pertumbuhan mikroorganisme target. Pengendalian flora lain dapat dilakukan dengan metode sterilisasi. Sterilisasi adalah metode untuk membunuh mikroorganisme. Sterilisasi dapat dilakukan dengan beberapa metode, diantaranya:

- Suhu tinggi: steam, panas kering
- Suhu rendah: gas etilen dioksida, hidrogen peroksida
- Senyawa kimia
- Filtrasi

(Mohapatra, 2017).

6.2.8 Tekanan osmotik

Kondisi hiperosmotik, yaitu kondisi dimana tekanan di luar sel lebih tinggi dari dalam sel, dapat mengakibatkan lisis sel bakteri. Kondisi hiposmotik, yaitu keadaan dimana tekanan di luar sel lebih rendah dari dalam sel, juga dapat menyebabkan sel rusak.

Tekanan osmotik dapat berpengaruh terhadap tekanan turgor. Keadaan hiposmotik dapat meningkatkan tekanan turgor, dan tekanan turgor yang tinggi dapat mengganggu pertumbuhan dinding sel. Sementara itu, tekanan turgor yang rendah juga dapat menurunkan laju pertumbuhan bakteri Gram positif. Namun, tidak semua bakteri memiliki sensitifitas terhadap tekanan turgor. Bakteri gram negatif, seperti *Eschericia coli* dilaporkan memiliki insensitivitas terhadap tekanan turgor (Rojas dan Huang, 2018).

6.3 Kurva pertumbuhan mikroorganisme

Pertumbuhan mikroorganisme dapat digambarkan dalam beberapa fase, yaitu:

- 1) Fase lag
- 2) Fase log/ eksponensial
- 3) Fase stasioner
- 4) Fase kematian

FASE LAG. Fase lag dikenal juga dengan fase adaptasi. Fase lag dicirikan sebagai tidak adanya pertumbuhan yang signifikan dari jumlah mikroorganisme di dalam media. Fase ini merupakan fase dimana mikroorganisme (inokulum) baru saja diinokulasikan ke dalam media



pertumbuhan. Mikroorganisme akan beradaptasi dengan lingkungannya. Fase lag setiap mikroorganisme berbeda-beda. Hal itu dapat bergantung pada:

- Komposisi media pertumbuhan

Media pertumbuhan dengan komposisi yang cukup tinggi akan membuat mikroorganisme cepat beradaptasi, sehingga fase lag nya lebih pendek. Apabila mikroorganisme diinokulasi dari kandungan media yang tinggi ke kandungan media yang rendah, maka mikroorganisme tersebut memerlukan waktu adaptasi yang relatif lebih panjang. Hal ini dikarenakan nutrient yang tersedia berbeda dengan sebelumnya, dan tubuh mikroorganisme tersebut perlu beradaptasi sedemikian rupa dengan kondisi yang berbeda itu.

- Jumlah inokulum

Pertumbuhan mikroorganisme pada suatu media juga ditentukan dengan jumlah inokulum. Jumlah inoculum yang terlalu sedikit, dapat membuat fase lag relatif lebih lama. Inokulum sebaiknya berada pada jumlah yang cukup agar fase lag tidak membutuhkan waktu yang lebih lama. Pada kasus kultivasi di dalam bioreaktor/ fermentor, terkadang dibuat kultur starter untuk menghindari kurangnya jumlah inokulum yang akan diinokulasikan ke dalam volume final bioreaktor.

FASE LOG/PERTUMBUHAN EKSPONENSIAL. Fase eksponensial ditandai sebagai fase dimana terjadi pertumbuhan mikroorganisme yang signifikan. Jumlah mikroorganisme bertambah cukup signifikan seiring dengan bertambahnya waktu kultivasi, dicirikan dengan menanjaknya fase log dalam kurva eksponensial. Pada kondisi ini, mikroorganisme sudah dapat beradaptasi dengan lingkungannya dan mulai melakukan reaksi metabolisme, membelah diri, dan berkembang. Kecepatan pertumbuhan mikroorganisme pada fase ini dapat dipengaruhi oleh kandungan nutrisi, pH, suhu, kelembaban, dan tekanan osmotik

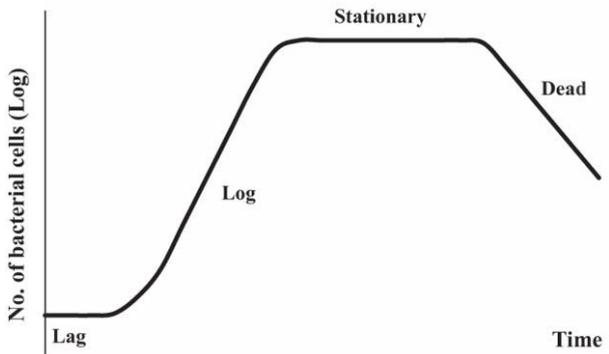
Semakin lama fase log terjadi, maka konsentrasi nutrient akan semakin berkurang dari media. Nutrien akan terpakai oleh mikroorganisme untuk tumbuh dan berkembang. Metabolit primer merupakan metabolit yang sebagian besar akan dihasilkan oleh mikroorganisme pada fase log. Energi yang dibutuhkan mikroorganisme pada fase ini sangatlah besar. Bahkan terkadang, pada tipe *fed-batch* fermentor dapat dilakukan pemberian nutrisi hingga beberapa kali untuk menyediakan asupan energi bagi mikroorganisme tumbuh dengan kecepatan tumbuh yang sangat tinggi.



Pada akhir fase log, pertumbuhan mikroorganisme mulai melambat. Hal ini disebabkan karena berkurangnya konsentrasi nutrient secara signifikan di dalam media. Pada kondisi ini mikroorganisme akan mulai memasuki fase jenuh/saturasi.

FASE STATIONER. Fase stasioner dicirikan dengan jumlah populasi sel mikroorganisme yang cenderung tetap. Laju pertumbuhan akan sama dengan laju kematian, sehingga jumlah populasinya akan stagnan. Mikroorganisme akan mulai kekurangan nutrient, akibat berkurangnya nutrisi pada media yang banyak terpakai di fase log/ eksponensial. Pada fase ini, mikroorganisme mulai memasuki keadaan ekstrim yang kemudian membuat mikroorganisme harus dapat bertahan hidup (survive). Mikroorganisme yang memiliki kemampuan survival yang buruk maka akan mati. Sedangkan yang memiliki kemampuan survival yang baik, maka akan tetap hidup pada media.

FASE KEMATIAN. Fase kematian dicirikan dengan populasi mikroorganisme yang berkurang dengan sangat signifikan. Hal ini dikarenakan, nutrisi di dalam media sudah habis terpakai. Kemampuan survival mikroorganisme akan lebih dibutuhkan pada fase ini. Pada fase ini, terkadang mikroorganisme dapat menghasilkan metabolit-metabolit yang berbahaya.



Gambar 6.3 Kurva pertumbuhan mikroorganisme
(Sumber: Wang et al., 2015)

6.4 Metode pengukuran pertumbuhan mikroorganisme

Pertumbuhan mikroorganisme dapat diukur secara kuantitatif. Jumlah mikroorganisme pada beberapa kasus perlu untuk dihitung karena terkadang jumlah mikroorganisme dapat menjadi acuan dalam menentukan standard higienitas dan sanitasi sesuatu.



Ada beberapa metode yang umum digunakan untuk mengukur secara kuantitatif pertumbuhan mikroorganisme. Secara prinsip, pertumbuhan mikroorganisme diukur dengan melihat dua hal yakni:

- Konsentrasi sel (jumlah sel per volume kultur)
- Densitas sel (berat sel per volume kultur)

Pengukuran jumlah mikroorganisme dapat dibagi menjadi dua metode yaitu metode langsung dan metode tidak langsung. Metode pengukuran secara langsung adalah perhitungan jumlah mikroorganisme yang ada pada suatu volume kultur, tanpa membedakan mana mikroorganisme yang hidup ataupun yang mati. Metode pengukuran tidak langsung merupakan metode perhitungan mikroorganisme yang hidup saja.

6.4.1 Metode pengukuran secara langsung

a. Counting chamber

Secara prinsip, *counting chamber* menggunakan perhitungan *Petroff-Hausser* untuk bakteri dan hemositometer untuk mikroorganisme eukariot (Treuer dan Haydel, 2011). *Counting chamber* menyediakan metode yang mudah, murah dan cepat. Tidak hanya itu saja, karakteristik makroskopik seperti ukuran dan bentuk morfologi dari mikroorganisme juga dapat dideskripsikan dengan metode ini. Metode ini hanya terbatas pada kultur mikroorganisme dengan jumlah yang banyak, yakni lebih besar dari 1.4×10^3 CFU/mL (Kilungo, Carlton-Carew dan Powers, 2013).

b. Electronic counter

Pada *electronic counter*, ampel dialirkan melalui lubang kecil dengan bantuan medan listrik. Tahanan listrik akan terukur melalui elektroda yang ada di kedua sisinya, sehingga sel mikroorganisme dapat terhitung. Metode ini memiliki kelebihan yakni lebih akurat dan cepat. Kekurangan metode ini terletak pada terbatasnya kemampuan untuk membedakan mikroorganisme yang hidup dan yang mati.

c. Colony counter

Metode *colony counter* merupakan metode pengukuran secara visual jumlah sel yang tampak. Satuan yang digunakan adalah *colony forming unit* (CFU). Pada metode ini, perhitungan koloni pada media cawan Petri dapat dilakukan jika koloni berjumlah 25-300.



Keuntungan dari metode perhitungan pertumbuhan mikroorganisme dengan colony counter adalah sederhana, murah dan mudah. Kerugian dari metode ini adalah kurang akurat, dikarenakan koloni yang letaknya berdekatan atau bergerombol bisa saja mendapatkan perhitungan yang kurang sesuai.

d. Teknik filtrasi membran

Secara prinsip, sampel dimasukkan ke dalam membrane filter dengan bantuan vakum. Lalu, bakteri yang terperangkap di dalam membrane filter tersebut kemudian di re-plating ke dalam media lain yang sesuai dan jumlah koloni yang didapat kemudian dihitung. Kelebihan metode ini adalah akurasi lebih tinggi dikarenakan hanya mikroorganisme saja yang dihitung. Kekurangan metode ini adalah biaya yang cukup besar.

6.4.2 Metode pengukuran secara tidak langsung

1. Pengukuran kekeruhan dengan spektrofotometer (turbiditas)

Metode berdasarkan kekeruhan atau turbiditas dapat diukur dengan instrument spektrofotometer. Umumnya, spektrofotometer dapat dilakukan pada panjang gelombang 600nm. *Optical density* pada panjang gelombang 600nm (OD600) menggambarkan densitas atau kerapatan jumlah sel mikroorganisme pada kultur volume tertentu.

2. Pengukuran berdasarkan produk metabolit

Pengukuran berdasarkan produk metabolit menggambarkan bahwa hanya mikroorganisme yang dapat hiduplah yang akan melakukan reaksi-reaksi metabolisme. Produk metabolit diukur karena mewakili jumlah mikroorganisme yang hidup pada suatu kultur.



DAFTAR PUSTAKA

- Biology LibreTexts. (2021). 6.2: *Temperature, pH, and Osmotic Requirements*. [online] Available at: [https://bio.libretexts.org/Courses/North_Carolina_State_University/MB352_General_Microbiology_Laboratory_2021_\(Lee\)/06%3AMicrobial_Physiology/6.02%3ATemperature_pH_and_Osmotic_Requirements](https://bio.libretexts.org/Courses/North_Carolina_State_University/MB352_General_Microbiology_Laboratory_2021_(Lee)/06%3AMicrobial_Physiology/6.02%3ATemperature_pH_and_Osmotic_Requirements).
- Bonnet, M., Lagier, J., Raoult, D. and Khelaifia, S. (2020). Bacterial culture through selective and non-selective conditions: the evolution of culture media in clinical microbiology. *New Microbes New Infect*, (34), p.100622. <https://doi.org/10.1016/j.nmni.2019.100622>.
- Brown, S.L. and Movsas, B. (2011). Human Radiation Injury. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, 80(5), p.1602. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2011.03.027>.
- Horikoshi, K. (1999). Alkaliphiles: some applications of their products for biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 63, pp.735–750. <https://doi.org/10.1128/MMBR.63.4.735-750.1999>.
- Jin, Q. and Kirk, M.F. (2018). pH as a Primary Control in Environmental Microbiology: 1. Thermodynamic Perspective. *Frontiers in Environmental Science*, 6, p.21. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00021>.
- Misnadiarly dan Husjain. (2014). *Mikrobiologi untuk Klinik dan Laboratorium*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Kilungo, A., Carlton-Carew, N. and Powers, L. (2013). Continuous Real-time Detection of Microbial Contamination in Water using Intrinsic Fluorescence. *Journal of Biosensors & Bioelectronics*, (S12). <https://doi.org/10.4172/2155-6210.S12-002>.

- OpenStax (2020). 8.3: *The Effects of pH and Temperature on Microbial Growth*. [online] Biology Libre Texts. Available at: [https://bio.libretexts.org/Courses/Manchester Community College \(MCC\)/Remix of Openstax%3AMicrobiology by Parker Schneegurt et al/08%3A Microbial Growth/8.03%3A The Effects of pH on Microbial Growth](https://bio.libretexts.org/Courses/Manchester_Community_College_(MCC)/Remix_of_Openstax%3AMicrobiology_by_Parker_Schneegurt_et_al/08%3AMicrobial_Growth/8.03%3A_The_Effects_of_pH_on_Microbial_Growth).
- Mohapatra, S. (2017). Sterilization and Disinfection. *Essentials of Neuroanesthesia*, [online] pp.929–944. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805299-0.00059-2>.
- Rachmawaty, F.J. (n.d.). *MEDIA*. [online] Laboratorium Mikrobiologi. Available at: <https://fk.uui.ac.id/mikrobiologi/materi/media/> [Accessed 23 Apr. 2023].
- Rojas, E.R. and Huang, K.C. (2018). Regulation of microbial growth by turgor pressure. *Current opinion in microbiology*, [online] 42, pp.62–70. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2017.10.015>.
- Soleha, T., Rukmono, P. and Hikmatyar, G. (2015). Kualitas Mikrobiologi Udara di Ruang Neonatal Intensive Care Unit (NICU) Rumah Sakit Umum Daerah Dr. H. Abdul Moeloek Bandar Lampung. *Medical Journal of Lampung University*, 4(7), pp.143–148.
- Shimamura, N. (2008). *Agar*. [online] The Tokyo Foundation for Policy Research. Available at: <https://www.tokyofoundation.org/research/detail.php?id=237> [Accessed 23 Apr. 2023].
- Treuer, R. and Haydel, S.E. (2011). Acid-Fast Staining and Petroff-Hausser Chamber Counting of Mycobacterial Cells in Liquid Suspension. *Current Protocols in Microbiology*, 20(1). <https://doi.org/10.1002/9780471729259.mc10a06s20>.
- Xing, J.-J., Jiang, D.-H., Yang, Z., Guo, X.-N. and Zhu, K.-X. (2021). Effect of Humidity-Controlled Dehydration on Microbial Growth and Quality Characteristics of Fresh Wet Noodles. *Foods*, [online] 10(4), p.844. <https://doi.org/10.3390/foods10040844>.

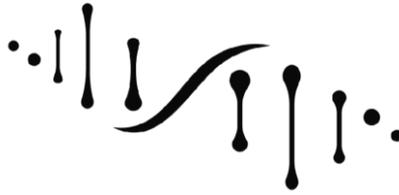


- Tankeshwar, A. (2022). *Bacterial Culture Media: Classification, Types, Uses*. [online] Microbe Online. Available at: <https://microbeonline.com/types-of-bacteriological-culture-medium/> [Accessed 23 Apr. 2023].
- Waluyo and Lud. 2009. *Mikrobiologi Lingkungan*, Universitas Muhammadiyah. Malang: Malang Press.
- Zimbro, M., David, A., Sharon, M., George, E. and Julie, A. (n.d.). *Difco™ & BBL™ Manual: Manual of Microbiological Culture Media*. Second Edition ed. Maryland: Becton, Dickinson and Company.



BAB 7

VIRUS HEWAN DAN TUMBUHAN



7.1 Pendahuluan

Virus merupakan agen infeksi berukuran sangat kecil yang dapat menyerang hewan maupun tumbuhan. Virus hewan umumnya hanya dapat menginfeksi hewan dan manusia, sementara virus tumbuhan hanya dapat menginfeksi tumbuhan, meskipun begitu ada tiga famili virus yaitu: Bunyaviridae, Rhabdoviridae dan Reoviridae yang diketahui dapat menginfeksi tanaman, hewan, dan manusia. Virus hewan maupun virus tumbuhan tidak dapat bereplikasi di luar sel inang dan hanya mengandung satu jenis asam nukleat, baik asam deoksiribonukleat (DNA) atau asam ribonukleat (RNA). Virus hewan maupun virus tumbuhan tidak bereplikasi dengan pembelahan biner. Sebaliknya, virus mengalihkan metabolisme sel inang untuk mensintesis blok bangunan virus, yang kemudian merakit diri menjadi partikel virus baru yang dilepaskan ke lingkungan. Selama proses sintesis ini, virus memanfaatkan energi metabolisme seluler, enzim seluler, dan organel seluler dari inang, yang tidak dapat mereka hasilkan sendiri (Pscheidt, 2017; Reichmann, 2020).

7.2 Virus hewan

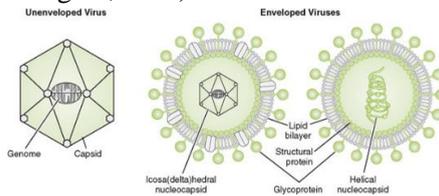
Apakah Anda pernah terkena flu atau cacar air? Jika demikian, maka Anda telah melihat dari dekat jenis virus! Apakah Anda bermimpi suatu hari menemukan obat AIDS atau hanya berharap untuk menghindari virus flu tahun ini, Anda mungkin akrab dengan penderitaan yang dapat disebabkan oleh infeksi virus. Virus hewan dan manusia memiliki banyak jenis dan berbagai efek. Beberapa spesies dapat menyebabkan sakit selama satu atau dua hari sebelum dieliminasi oleh tubuh, sementara yang lain memiliki dampak hingga seumur hidup, dan beberapa jenis bahkan dapat menyebabkan komplikasi yang mengancam jiwa. Karena pengaruhnya terhadap kesehatan dan kualitas hidup



hewan dan manusia, sehingga banyak virus manusia (dan virus hewan terkait) telah dipelajari secara mendetail (Khanacademy, 2023).

7.2.1 Morfologi virus

Virus hewan memperlihatkan variasi ekstrim dalam ukuran dan bentuk. Virus hewan terkecil adalah famili Parvoviridae dan Picornaviridae, dengan masing-masing berukuran sekitar 20 nm dan 30 nm. Virus dari kedua famili ini berbentuk ikosahedron dan mengandung asam nukleat dengan informasi genetik yang terbatas. Virus dari famili Poxviridae berukuran sekitar 250 hingga 400 nm, dengan bentuk tubuh yang sekilas sangat mirip dengan bakteri sederhana akan tetapi secara struktural lebih kompleks. Beberapa virus memiliki bentuk nukleokapsid yaitu berbentuk batang (heliks) yang terbungkus dalam selubung; jenis virus ini ditemukan dalam famili Paramyxoviridae, Orthomyxoviridae, Coronaviridae, dan Rhabdoviridae, seperti pada gambar 8.1 dibawah ini (Krug & Wagner, 2023).

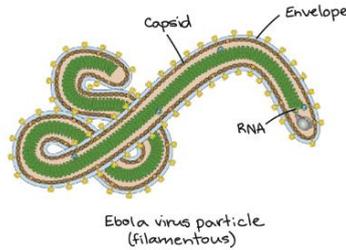


Gambar 8.1 Morfologi virus hewan

(Sumber : <https://oncohemakey.com/viral-structure-classification-and-replication>)

Selain berbentuk batang (heliks) beberapa virus berselubung; seperti famili Herpesviridae, Retroviridae, dan Togaviridae memiliki nukleokapsid poligonal seperti yang dapat dilihat pada gambar 8.1. Sebagian besar virus yang berselubung tampak berbentuk bola, meskipun rhabdovirus adalah silinder yang memanjang (Krug & Wagner, 2023).

Selubung yang membungkus virus merupakan protein yang disebut kapsid. Beberapa virus juga memiliki sebuah membran yang terbuat dari lipid yang disebut envelop. Meskipun umumnya virus berselubung umumnya tampak seperti bola, akantetapi virus Ebola memiliki struktur panjang seperti benang yang berputar ke belakang seperti yang tampak pada gambar 8.2 (Khanacademy, 2023).



Gambar 8.2 Virus Ebola

(Sumber : <https://www.khanacademy.org/science/biology/biology-of-viruses/virus-biology/a/animal-viruses-hiv>)

7.2.2 Infeksi virus

Infeksi virus terdiri dari beberapa tahapan yaitu (Reichmann, 2020; Krug & Wagner, 2023):

1. Adsorpsi

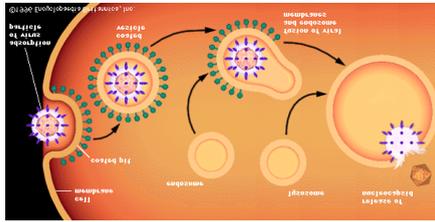
Sel hewan tidak tertutup oleh dinding sel tetapi hanya dibungkus oleh membran bilayer lipoprotein yang fleksibel. Sehingga penetrasi virus hewan, baik yang berselubung ataupun tidak berselubung lipid, menembus sel dalam bentuk utuh melalui proses yang disebut endositosis seperti yang dapat dilihat pada gambar 8.3.

Pada tahapan adsorpsi virus akan menempel pada reseptor spesifik di membran sel hewan. Ada atau tidak adanya reseptor ini menentukan kerentanan jaringan atau spesies terhadap infeksi suatu virus. Virus berselubung permukaan seperti paku yang terlibat dalam proses adsorpsi; namun, sebagian besar virus hewan tidak memiliki struktur perlekatan yang jelas.

2. Penetrasi

Pada tahap ini membran sel menelan partikel virus ke dalam sel, biasanya di area membran yang dilapisi oleh protein khusus yang dikenal sebagai clathrin. Selanjutnya virus akan dilapisi endosom dan lisosom dalam sitoplasma. Pada lingkungan asam, membran virus yang telah diselimuti membran endosom, lisosom dan nukleokapsid selanjutnya akan dilepaskan ke dalam sitoplasma.



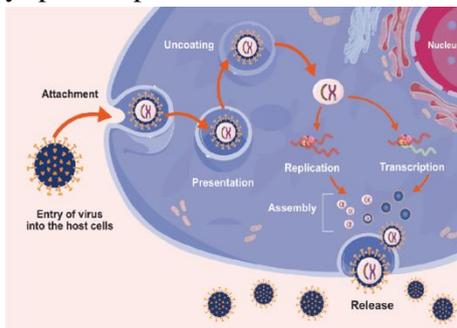


Gambar 8.3 Endositosis virus hewan

(Sumber : <https://www.britannica.com/science/virus/The-cycle-of-infection>)

3. Eklifase

Pada tahapan eklifase, proses biokimia sel dimanipulasi untuk mensintesis asam nukleat dan protein virus. Periode eklifase pada infeksi virus DNA dimulai dengan transkripsi informasi genetik dalam inti sel (kecuali poxvirus), menghasilkan messenger RNA (mRNA), dan translasi menjadi protein (dalam sitoplasma). Setelah protein disintesis, selanjutnya akan bergabung dengan molekul DNA yang baru disintesis menjadi nukleokapsid virion. Munculnya partikel-partikel ini menandakan akhir periode eklifase.



Gambar 8.4 Siklus infeksi virus hewan

(Sumber : https://www.researchgate.net/figure/Mechanism-of-virus-entry-and-replication-in-host-cells_fig1_343804004)

Sedangkan untuk virus RNA, RNA dari virus itu sendiri adalah mRNA yang tidak melewati proses transkripsi, kecuali virus RNA untai negatif, yang harus ditranskripsi menjadi mRNA positif. Akan tetapi seluruh siklus infeksi, dan periode eklifase tidak dapat dijelaskan dalam pengertian klasik. Seperti pada virus tumor RNA menyalin balik RNA mereka menjadi DNA, yang memasuki inti sel dan menjadi terintegrasi ke dalam DNA seluler.

4. Pematangan dan pelepasan

Tahapan pematangan adalah tahap perakitan dan pelepasan virion. Dalam banyak kasus, cangkang protein dirakit terlebih dahulu (prokapsid) lalu dilanjutkan memasukan asam nukleat ke dalamnya. Selama penyisipan ini, terjadi beberapa proses terhadap protein cangkang yaitu pembelahan yang disertai dengan modifikasi struktur untuk menampung asam nukleat. Virus tak berselubung yang matang dalam sitoplasma (misalnya, virus polio) sering keluar dari sel dengan cepat melalui proses fagositosis terbalik, bahkan sebelum kerusakan sel terjadi. Namun, dalam beberapa kasus, sejumlah besar partikel virus dapat menumpuk di dalam sel dalam susunan kristal yang disebut badan inklusi. Virus yang matang di nukleus biasanya dilepaskan secara perlahan, dan menyebabkan kerusakan sel sangat luas. Virus berselubung keluar dari sel melalui proses bertunas. Dimana protein virus (glikoprotein) berinteraksi dengan matriks protein membran sel. Membran sel kemudian melengkung di sekitar kompleks dan membentuk tunas yang terlepas dari bagian sel lainnya.

7.2.3 Transmisi virus

Proses transmisi atau perpindahan virus hewan dari satu penjamu ke penjamu lain melalui beberapa rute yaitu (Payne, 2017):

1. Fecal-oral

Penularan fecal-oral terjadi melalui konsumsi makanan atau air yang terkontaminasi. Virus masuk ke dalam tubuh melalui sel epitel atau limfoid di saluran cerna. Contohnya termasuk rotavirus dan virus seperti Norwalk (norovirus). Norovirus telah menyebabkan wabah terkenal di kapal pesiar, yang menginfeksi ratusan tamu dan awak kapal dalam hitungan hari.

2. Pernafasan

Penularan melalui pernapasan terjadi ketika virus di saluran pernapasan dikeluarkan dalam bentuk droplet. Penularannya bisa langsung dari satu orang ke orang lain saat batuk atau bersin, serta droplet yang menempel pada tangan atau anggota tubuh lainnya. Virus yang dikeluarkan dari saluran pernapasan juga dapat ditularkan melalui kontak dengan permukaan mukosa seperti mata. Contoh virus yang dapat menyebar melalui jalur pernapasan adalah virus influenza, rhinovirus, coronavirus (SARS dan MERS).

3. Cairan tubuh

Penularan virus melalui pertukaran cairan tubuh dapat terjadi akibat transfusi darah, penggunaan jarum suntik terkontaminasi, trauma



(perdarahan), transplantasi organ atau jaringan, kontak seksual, atau inseminasi buatan. Virus manusia HIV, HBV, dan HCV semuanya ditularkan melalui darah yang terkontaminasi. Namun virus ini juga bisa menular melalui kontak dengan cairan tubuh lain seperti air mani atau air liur.

4. Udara

Beberapa virus dapat ditularkan dalam jarak jauh melalui udara, suatu proses yang disebut penularan melalui udara. Virus campak dapat menular melalui udara tanpa kontak dengan droplet dari pasien. Hanya duduk di kamar dengan orang yang terinfeksi campak dapat menular ketubuh orang lainnya.

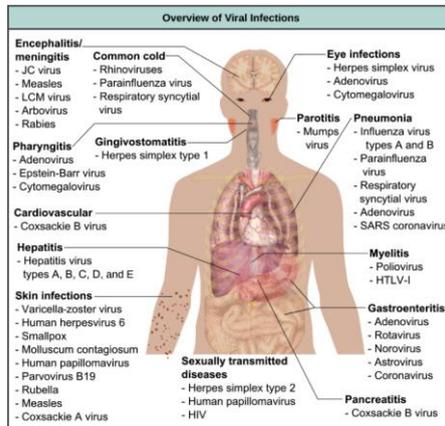
5. Vektor (agen penyakit)

Beberapa virus (seperti virus West Nile, virus ensefalitis kuda, virus dengue, virus chikungunya, dan virus zika) ditularkan dari satu inang ke inang lainnya melalui perantara serangga. Serangga pemakan darah seperti nyamuk, lalat dan kutu adalah vektor yang paling umum.

7.2.4 Patogenesis virus

Patogenesis virus didefinisikan sebagai mekanisme dimana virus menyebabkan penyakit. Sederhananya, patogenesis virus adalah bahwa virus bereplikasi dan membunuh sel, sehingga menyebabkan penyakit. Misalnya kematian sel hati (hepatosit) menyebabkan hepatitis, kematian enterosit dapat menyebabkan diare, kematian sel epitel pernafasan dapat menyebabkan infeksi saluran pernafasan akut. Namun hilangnya fungsi sel, tanpa kematian, juga dapat menimbulkan penyakit. Seperti infeksi HIV, defisiensi imun tidak hanya disebabkan oleh kematian sel; virus juga mengubah fungsi beberapa sel yang dibutuhkan pada sistem kekebalan tubuh (Payne, 2017).





Gambar 8.5 Patogenesis virus pada manusia

(Sumber : <https://www.khanacademy.org/science/biology/biology-of-viruses/virus-biology/a/animal-viruses-hiv>)

Tanda dan gejala penyakit juga dapat diakibatkan oleh kerusakan jaringan yang disebabkan oleh respons imun inang itu sendiri. Contohnya adalah peradangan, yang merupakan pembunuhan sel yang terinfeksi virus oleh sistem kekebalan tubuh, atau pengendapan kompleks imun. Tentu saja, seperti peristiwa biologis lainnya, penyakit seringkali merupakan kombinasi kompleks dari kerusakan langsung oleh virus bersamaan dengan respons imun inang (Payne, 2017).

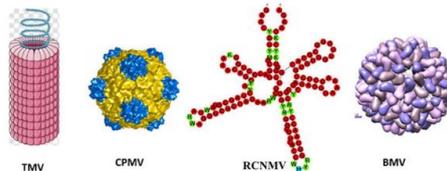
7.3 Virus tumbuhan

Virus tanaman sangat penting secara ekonomi karena banyak dari virus tersebut menginfeksi tanaman pangan dan tanaman hias. Banyak virus tanaman dapat diekstraksi dengan mudah dari jaringan tanaman. Sebagian besar dari virus tersebut memiliki membran lemak yang lebih sedikit dibandingkan virus hewan (Britannica, 2018).

7.3.1 Morfologi virus

Virus tanaman biasanya terdiri dari lapisan luar protein (kapsid) yang mengelilingi untai tunggal RNA. Virus ini biasanya terlihat seperti partikel berbentuk batang atau bola dibawah mikroskop elektron. Selain itu ada beberapa virus juga memiliki membran lipid luar yang disebut envelope, seperti Virus kuning nekrotik selada dan virus layu bintik tomat yang membantu virus mengikat sel tanaman. Beberapa virus tanaman terdiri dari DNA, di mana DNA

tersebut ada yang berantai ganda (seperti virus mosaik kembang kol) atau berantai tunggal (seperti virus garis jagung). Beberapa virus tanaman terdiri dari dua atau lebih bentuk partikel, termasuk virus atas keriting bit dan virus mosaik mentimun terdiri dari dua atau lebih partikel, serta ada virus tanaman yang memiliki bentuk dan komposisi kimia yang lebih kompleks (Pscheidt, 2017).

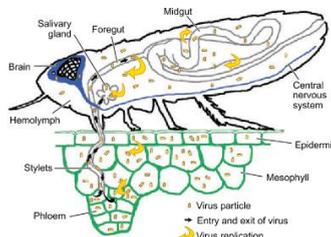


Gambar 8.6 Morfologi virus tumbuhan

(Sumber : https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-plant-viruses_fig1_346663558)

7.3.2 Infeksi virus

Sel tumbuhan memiliki dinding sel yang kaku, yang biasanya tidak dapat ditembus oleh virus tumbuhan. Virus tumbuhan, belum mengembangkan sistem tersendiri untuk menyuntikkan asam nukleat ke dalam sel inang, sehingga umumnya virus hanya ditularkan melalui serangga atau jamur yang memakan atau menempel pada tanaman. Di laboratorium, virus tumbuhan dapat menembus sel tumbuhan jika dinding selnya telah terkelupas atau jika protoplas sel (membran plasma, sitoplasma, dan nukleus) tidak berdinging. Untuk sebagian besar virus RNA tumbuhan bereplikasi di sitoplasma. Replikasi sebagian besar virus DNA tumbuhan, terjadi di nukleus. Pada virus ini, transkripsi berlangsung di nukleus, mRNA bermigrasi ke sitoplasma, di mana ia diterjemahkan, dan protein virus ini bermigrasi kembali ke nukleus, tempat mereka berkumpul dengan genom progeni yang baru direplikasi (Krug & Wagner, 2023).



Gambar 8.7 Infeksi virus tumbuhan

(Sumber : <https://www.semanticscholar.org/paper/Insect-vector-interactions->

7.3.3 Transmisi virus

Tumbuhan tidak batuk atau bersin, menyebarkan virus seperti pada hewan/manusia. Sementara itu virus tidak memiliki kaki atau sayap untuk bergerak sehingga virus tanaman harus memiliki tumpangan agar dapat berpindah dari tanaman yang terinfeksi ke tanaman yang sehat. Virus melakukan proses ini melalui berbagai mekanisme termasuk penggunaan serbuk sari, biji, cangkok akar alami, serangga, tungau, nematoda, jamur, dan/atau manusia (Pscheidt, 2017).

Manusia

Manusia adalah vektor virus tanaman terbaik, terutama saat menyebarkan tanaman baru. Mendapatkan tanaman baru dari tanaman induk yang terinfeksi virus adalah cara yang efisien untuk menghasilkan banyak tanaman yang terinfeksi virus. Perbanyak tanaman secara aseksual melalui stek atau okulasi dapat dengan mudah memindahkan virus. Peralatan terkontaminasi yang digunakan dalam perbanyak atau panen, seperti pisau pemotong, dapat memindahkan virus yang ditularkan secara mekanis. Misalnya, virus *Asparagus 2* ditularkan terutama melalui getah yang terinfeksi pada pisau pemotong selama panen (Pscheidt, 2017).

Serbuk sari

Serbuk sari atau benih yang terinfeksi virus adalah cara lain virus dapat berpindah ke tanaman baru. *Prunus narcotic ringspot virus (PNRSV)* dan *Prune dwarf virus (PDV)* umum ditemukan di kebun buah batu karena dapat disebarkan ke pohon yang sehat melalui serbuk sari yang terinfeksi. Lebah juga dapat menjadi vektor tanpa disadari memindahkan serbuk sari yang terinfeksi virus seperti virus syok *Blueberry*. Penularan benih dapat terjadi bila virus pada jaringan tanaman induk menyebar ke bagian benih dan dari embrio benih ke dalam semai. Meskipun virus dapat bereplikasi dalam serbuk sari atau mencemari permukaan serbuk sari, virus tersebut mungkin tidak dapat ditularkan secara alami ke tanaman yang sehat (Pscheidt, 2017).



Serangga dan tungau

Serangga dan tungau eriophyid adalah vektor bagi sebagian besar virus tanaman. Kutu daun, wereng, thrips, lalat putih, dan beberapa kumbang dapat menjadi vektor virus. Kutu daun memakan tanaman menggunakan stilet yang menembus sel tanaman. Virus dapat dengan mudah diambil di dalam dan/atau pada stilet ketika kutu memakan tanaman yang terinfeksi virus. Virus kemudian dapat dipindahkan ketika aphid memakan tanaman yang sehat. Kemampuan kutu daun untuk menularkan virus mungkin hanya bertahan beberapa menit hingga beberapa jam. Jenis penularan yang cepat ini disebut penularan non-persistent atau non-circulative, stylet-borne transmission (seperti Cauliflower mosaic virus). Jika kemampuan untuk menularkan virus berlangsung selama beberapa hari dan melibatkan virus yang terkandung dalam usus depan serangga (seperti virus kuning Lettuce yang menular dan vektor kutu kebul), ini disebut penularan non-sirkulatif, semi-persisten. Ada beberapa virus tanaman, seperti virus kerdil kuning Barley, yang dapat menginfeksi serangga kemudian beredar dalam tubuh hingga dan berakhir di kelenjar ludah serangga tersebut. Serangga kemudian dapat memindahkan virus ke tanaman sehat mana pun saat makan selama sisa hidupnya; ini disebut transmisi sirkulatif yang persisten. Terkadang virus juga bisa diwariskan oleh keturunan serangga ini (Pscheidt, 2017).

Nematoda

Nematoda belati dalam genus *Xiphinema* juga mampu menularkan virus tanaman. Nematoda parasit tanaman ini hidup dalam tanah dan memiliki bagian mulut stilet. Nematoda yang memakan akar tanaman yang terinfeksi memperoleh virus dan selanjutnya, memakan akar tanaman yang sehat, dan menularkan virus (Pscheidt, 2017).

Jamur

Jamur dan organisme mirip jamur juga dapat menularkan virus tanaman. Oomycete *Oidium virulentum* mentransmisikan virus vena besar selada *Mirafiori*, agen penyebab penyakit vena besar selada. Organisme mirip jamur tular tanah *Polymyxa graminis* mentransmisikan virus mosaik tular tanah Gandum (Pscheidt, 2017).



7.3.4 Patogenesis virus

Patogenesis virus dapat terjadi pada pada daun, bunga dan buah yang menunjukkan gejala diantaranya (RHS, 2023):

1. Pada daun: Pola hijau pucat atau kuning (klorosis) termasuk bintik-bintik, garis-garis, belang-belang, pola mozaik dan daun ek, bintik-bintik cincin, vena kliring (urat daun itu sendiri menjadi pucat atau tidak berwarna) atau pita vena (area yang berbatasan langsung dengan vena adalah lebih pucat atau warna yang berbeda). Terkadang area yang terkena berbagai gejala ini berwarna lain, seperti merah atau ungu. Mungkin ada bercak jaringan berwarna coklat, mati (nekrotik). Anda mungkin juga melihat penyempitan daun, pertumbuhan kerdil atau distorsi, kadang-kadang dengan permukaan yang sangat berkurang di antara pembuluh darah (kerutan), menyerupai kerusakan oleh hormon pembunuh gulma. Daun mungkin juga berkerut (keriput), menggulung, atau membungkuk (epinasty)
2. Pada pucuk: Jumbai batang kerdil (dikenal sebagai sapu penyihir, meskipun ini juga dapat disebabkan oleh penyebab lain), garis atau bintik kuning atau coklat pada batang
3. Pada bunga: Bunga kecil atau terdistorsi. Garis-garis warna kedua (paling sering putih) di kelopak ('pecah')
4. Pada buah: Distorsi dan pola warna tidak beraturan seperti marbling atau bintik cincin, dan isi yang cacat



Gambar 8.8 Patogenesis virus tumbuhan

(Sumber : <https://www.apsnet.org/edcenter/disandpath/viral/introduction/PlantVirusClassification/Pages/Purpose.aspx>)

DAFTAR PUSTAKA

- Britannica (2018) *Plant virus*, Encyclopedia Britannica. Available at: <https://www.britannica.com/science/plant-virus> (Accessed: 14 March 2023).
- Khanacademy (2023) *Animal & human viruses*, Khan Academy. Available at: <https://www.khanacademy.org/science/biology/biology-of-viruses/virus-biology/a/animal-viruses-hiv> (Accessed: 12 March 2023).
- Krug, R.M. and Wagner, R.R. (2023) *Virus*, Encyclopedia Britannica. Available at: <https://www.britannica.com/science/virus> (Accessed: 15 March 2023).
- Payne, S. (2017) '*Introduction to Animal Viruses.*', *Viruses*, pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803109-4.00001-5>.
- Pscheidt, J.W. (2017) *Plant Viruses: Dead or Alive?*, A Pacific Northwest Extension Publication. Available at: <https://pnwhandbooks.org/plantdisease/pathogen-articles/common/plant-viruses/plant-viruses-dead-alive> (Accessed: 10 March 2023).
- Reichmann, M.E. (2020) '*Animal virus*', in. New York: McGraw Hill. Available at: <https://doi.org/10.1036/1097-8542.036100>.
- RHS (2023) *Plant viruses*, The Royal Horticultural Society. Available at: <https://www.rhs.org.uk/disease/plant-viruses> (Accessed: 15 March 2023).



BAB 8

METABOLISME BAKTERI

8.1 Pendahuluan

Metabolisme mengacu pada semua reaksi biokimia yang terjadi dalam sel atau organisme. Studi tentang metabolisme bakteri berfokus pada keragaman kimia dari oksidasi substrat dan reaksi disimilasi (reaksi di mana molekul substrat dipecah), yang biasanya berfungsi pada bakteri untuk menghasilkan energi. Selain itu, ruang lingkup metabolisme bakteri juga membahas tentang penyerapan dan pemanfaatan senyawa anorganik atau organik yang diperlukan untuk pertumbuhan dan pemeliharaan keadaan tetap seluler (reaksi asimilasi). Masing-masing reaksi eksergonik (penghasil energi) dan endergonik (membutuhkan energi) ini di dalam sel bakteri hidup, dikatalisis oleh sistem enzim terintegrasi, hasil akhirnya adalah replikasi sel. Kemampuan sel mikroba untuk hidup, berfungsi, dan bereplikasi dalam lingkungan kimia yang sesuai (seperti media kultur bakteri) dan perubahan kimia yang dihasilkan selama transformasi ini merupakan ruang lingkup metabolisme bakteri (Jurtshuk, 1996).

Metabolisme secara garis besar terbagi menjadi katabolisme dan anabolisme. Katabolisme merupakan reaksi disimilasi atau peruraian nutrisi dan menghasilkan energi. Sebaliknya, anabolisme merupakan reaksi asimilasi dimana terjadi penggunaan energi untuk sintesis dan fungsi-fungsi sel lainnya, misalnya sintesis dinding sel, transport, pergerakan dan lainnya (Suryani, 2022).

8.2 Klasifikasi Mikroba

Mikroba menjalankan metabolisme untuk melangsungkan perkembangbiakannya. Dalam proses tersebut, mikroba membutuhkan sumber karbon, nitrogen, serta kebutuhan oksigen. Mikroba dapat dikelompokkan secara nutrisi berdasarkan bagaimana mereka memenuhi kebutuhan mereka akan karbon, energi, dan elektron atau hidrogen. Kebutuhan nutrisi khusus dari mikroorganisme juga digunakan untuk membedakan satu mikroba dari yang lain untuk tujuan taksonomi. Berdasarkan sumber nutrisi, atau metabolisme, ada tiga jenis fisiologis bakteri utama yaitu heterotrof (atau kemoorganotrof),



autotrof (atau kemolitotrof), dan bakteri fotosintetik (atau fototrof) seperti pada tabel 10.1.

Tabel 10.1 Pengelompokan Fisilogi Bakteri

Tipe fisiologi	Sumber C	Sumber N	Sumber Energi	Sumber Atom H
Heterotrof (kemoorganotrof)	Organik	Organik dan anorganik	Oksidatif atau senyawa organik	-
Autotrof (kemolitotrof)	CO ₂	anorganik	Oksidatif atau senyawa anorganik	-
Fotosintetic:				
Fotolitotrof	CO ₂	anorganik	sinar matahari	H ₂ S atau H ₂
Sianobakteria	CO ₂	anorganik	sinar matahari	Fotolisis H ₂ O
Fotoorganotrof	CO ₂	anorganik	sinar matahari	senyawa organik

(Sumber: Medical Microbiology, 4th ed., <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK7919/table/A390/?report=objectonly>)

8.2.1 Klasifikasi Mikroorganisme Berdasarkan Sumber Energi

Ada dua sumber energi yang tersedia untuk mikroorganisme. Berdasarkan hal tersebut maka mikroorganisme diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yaitu **kemotrof** dan **fototrof**. Kemotrof yaitu mikroba yang mengoksidasi senyawa kimia (baik organik maupun anorganik) menjadi energi. Sedangkan fototrop adalah mikroba yang menggunakan cahaya sebagai sumber energinya (Chan, 2003).

Berdasarkan sumber karbon utamanya, mikroorganisme dikelompokkan menjadi autotrof yaitu mikroba yang menggunakan karbon dioksida, dan heterotrof, memerlukan sumber karbon organik.

Selanjutnya jika dikombinasikan dengan pemanfaatan karbon untuk menghasilkan nutrisinya, maka menghasilkan pengelompokan sebagai berikut (Chan, 2003):

- 1) **Kemoautotrof:** mikroba yang mengoksidasi zat kimia anorganik sebagai sumber energi dan karbon dioksida sebagai sumber utama karbon.
- 2) **Kemoheterotrof:** mikroba yang menggunakan zat kimia organik sebagai sumber energi dan senyawa organik sebagai sumber utama karbon.
- 3) **Fotoautotrof:** mikroba yang menggunakan cahaya sebagai sumber energi dan karbondioksida sebagai sumber utama karbon.
- 4) **Fotoheterotrof:** mikroba yang menggunakan cahaya sebagai sumber energi dan senyawa organik sebagai sumber utama karbon.

Mikroorganisme juga hanya memiliki dua sumber atom hidrogen atau elektron. Berdasarkan hal tersebut, mikroba dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu: litotrof dan organotrof. Litotrof, menggunakan zat anorganik tereduksi sebagai sumber elektronnya. Mikroba yang memperoleh elektron atau atom hidrogen (setiap atom hidrogen memiliki satu elektron) dari senyawa organik disebut organotrof (Chan, 2003).

8.2.2 Berdasarkan sumber oksigen

Ada atau tidak adanya oksigen molekuler dapat menjadi faktor penting dalam kemampuan bakteri untuk tumbuh di setiap lingkungan. Ketika bakteri menggunakan oksigen dalam respirasi seluler dan reaksi kimia lainnya, dihasilkan senyawa superoksida beracun dan peroksida. Produk sampingan yang sangat reaktif ini merusak sel kecuali dinetralkan dengan cepat. Bakteri aerob (tumbuh di lingkungan O_2) menghasilkan enzim seperti katalase, peroksidase dan/atau superoksida dismutase yang memecah bentuk racun dari oksigen dan produk samping senyawa antara tersebut. Sedangkan bakteri anaerob menghasilkan ATP melalui cara anaerob (respirasi anaerob dan/atau fermentasi). Bakteri anaerob tidak memiliki toleransi terhadap oksigen karena tidak dapat menghasilkan katalase, peroksidase dan/atau superoksida dismutase untuk menghilangkan produk sampingan beracun dari O_2 .

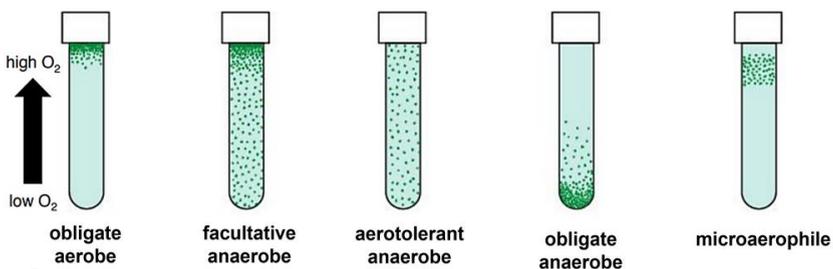
Spesies bakteri diklasifikasikan berdasarkan kebutuhan oksigennya sebagai berikut (Carroll *et al.*, 2007):

- 1) **Aerob obligat:** menghasilkan energi ATP melalui respirasi aerobik, membutuhkan sekitar 20% oksigen atmosfer.
- 2) **Mikroaerofil:** menghasilkan ATP melalui respirasi aerobik atau fermentasi, membutuhkan antara 5-15% oksigen atmosfer untuk pertumbuhan



- 3) **Anaerob aerotoleran:** Menghasilkan ATP melalui respirasi anaerob dan dapat melakukan fermentasi. Oksigen dapat hadir, tetapi mereka tidak menggunakannya untuk produksi atau fermentasi ATP
- 4) **Anaerob fakultatif:** menghasilkan ATP melalui respirasi aerobik, respirasi anaerobik, dan/atau fermentasi. Organisme ini tumbuh sama baiknya di lingkungan aerobik atau anaerobik.
- 5) **Anaerob obligat:** menghasilkan ATP melalui respirasi anaerob atau fermentasi. Bakteri ini mati jika terdapat O₂ karena kekurangan enzim yang dibutuhkan untuk memecah bentuk racun dari oksigen dan produk samping.

Sifat ini dapat diamati dengan cara mengkultur bakteri dalam media agar thioglikolat pada tabung. Lokasi dan distribusi tumbuhnya bakteri dalam media tabung ini menunjukkan kebutuhan oksigen bakteri dan diklasifikasikan sebagai aerob obligat, mikroaerofil, anaerob fakultatif, anaerob aerotoleran, atau anaerob obligat, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.1.



Gambar 10.1 Perbedaan pertumbuhan mikroba terhadap kebutuhan oksigen
(Sumber:

[https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Microbiology_Laboratory_Manual_\(Hartline\)/01%3A_Labs/1.21%3A_Bacterial_Oxygen_Requirements](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Microbiology_Laboratory_Manual_(Hartline)/01%3A_Labs/1.21%3A_Bacterial_Oxygen_Requirements))

8.3 Metabolisme Mikroba

Metabolisme mengacu pada semua reaksi biokimia yang terjadi dalam sel atau organisme. Metabolisme bakteri meliputi beragam reaksi kimia dari oksidasi substrat dan reaksi disimilasi (reaksi di mana molekul substrat dipecah), yang berfungsi untuk menghasilkan energi. Selain itu juga membahas penyerapan dan pemanfaatan senyawa anorganik atau organik yang diperlukan untuk pertumbuhan dan pemeliharaan keadaan tetap seluler (reaksi asimilasi). Masing-masing reaksi eksergonik (penghasil energi) dan endergonik (memerlukan energi) ini dikatalisis di dalam sel bakteri hidup oleh sistem

enzim terintegrasi, hasil akhirnya adalah replikasi diri sel. Kemampuan sel mikroba untuk hidup, berfungsi, dan bereplikasi dalam lingkungan kimia yang sesuai (seperti media kultur bakteri) dan perubahan kimia yang dihasilkan selama transformasi ini merupakan ruang lingkup metabolisme bakteri (Jurtschuk, 1996).

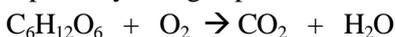
8.3.1 Mikroorganisme Heterotrofik

Bakteri heterotrofik, yang mencakup semua patogen, memperoleh energi dari oksidasi senyawa organik. Karbohidrat (terutama glukosa), lipid, dan protein adalah senyawa yang paling sering digunakan. Oksidasi biologis senyawa organik ini oleh bakteri menghasilkan sintesis ATP sebagai sumber energi kimia. Proses ini juga memungkinkan pembentukan senyawa organik sederhana (molekul prekursor) yang dibutuhkan oleh sel bakteri untuk reaksi biosintetik atau asimilasi.

Senyawa perantara siklus Krebs berfungsi sebagai molekul prekursor (blok bangunan) untuk biosintesis senyawa organik kompleks yang membutuhkan energi pada bakteri. Reaksi degradasi yang secara bersamaan menghasilkan energi dan menghasilkan molekul prekursor untuk biosintesis konstituen seluler baru disebut amfibolik.

Semua bakteri heterotrofik membutuhkan senyawa organik yang telah terbentuk sebelumnya. Senyawa yang mengandung karbon dan nitrogen ini adalah substrat pertumbuhan, yang digunakan secara aerobik atau anaerobik untuk menghasilkan ekuivalen pereduksi (misalnya, nikotinamid adenin dinukleotida tereduksi; $\text{NADH} + \text{H}^+$); ekuivalen pereduksi ini pada gilirannya merupakan sumber energi kimia untuk semua sistem oksidatif dan fermentasi biologis. Heterotrof tumbuh dengan mudah dalam media yang mengandung karbohidrat, protein, atau nutrisi kompleks lainnya seperti darah. Juga, media pertumbuhan dapat diperkaya dengan penambahan senyawa alami lainnya seperti susu atau hidrokarbon (untuk mempelajari organisme pengoksidasi hidrokarbon) (Jurtschuk, 1996).

Glukosa adalah substrat yang paling umum digunakan pada metabolisme heterotrofik. Sebagian besar organisme aerobik mengoksidasi glukosa sepenuhnya dengan persamaan reaksi berikut:



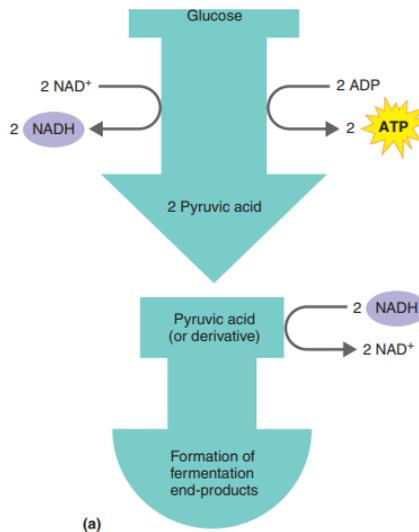
Respirasi terjadi ketika senyawa organik (biasanya karbohidrat) dioksidasi sempurna menjadi CO_2 dan H_2O . Dalam respirasi aerobik, molekul



O_2 berfungsi sebagai penerima electron terakhir. Untuk respirasi anaerobik, NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_2 , atau fumarat dapat berfungsi sebagai penerima elektron terminal (bukan O_2), tergantung pada jenis bakterinya. Hasil akhir dari proses respirasi adalah oksidasi sempurna dari molekul substrat organik, dan produk akhir yang terbentuk terutama adalah CO_2 dan H_2O . Amonia terbentuk juga jika substrat oksidasinya adalah protein atau asam amino (Jurtshuk, 1996).

Fermentasi

Fermentasi adalah contoh lain dari metabolisme heterotrofik, membutuhkan senyawa organik sebagai penerima elektron (atau hidrogen) terminal. Dalam fermentasi, produk akhir organik sederhana terbentuk dari disimilasi anaerobik glukosa (atau senyawa lain). Energi (ATP) dihasilkan melalui reaksi dehidrogenasi yang terjadi saat glukosa dipecah secara enzimatik. Produk akhir organik sederhana yang terbentuk dari proses oksidasi biologis yang tidak lengkap ini juga berfungsi sebagai penerima elektron dan hidrogen akhir. Pada reduksi, produk akhir organik ini disekresikan ke dalam media kultur sebagai metabolit limbah (biasanya alkohol atau asam). Senyawa substrat organik tidak teroksidasi sempurna oleh bakteri, namun menghasilkan energi yang cukup untuk pertumbuhan mikroba. Sebagian besar fermentasi mikroba, disimilasi glukosa terjadi melalui jalur glikolitik (Jurtshuk, 1996)(Gbr. 10.2).



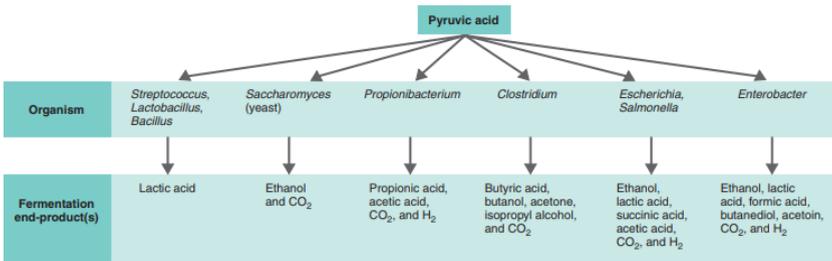
Gambar 10.2 Disimilasi glukosa jalur glikolitik
(Sumber: Fundamental of Microbiology)

Proses fermentasi oleh berbagai mikroorganisme menghasilkan senyawa yang berbeda. Berikut jenis-jenis hasil fermentasi:

- 1) **Fermentasi etanol.** Pada fermentasi ini piruvat yang dihasilkan dari proses glikolisis diturunkan secara enzimatis menghasilkan asetaldehida. Asetaldehida kemudian dapat direduksi oleh $\text{NADH} + \text{H}^+$ menjadi etanol yang diekskresikan oleh sel.
- 2) **Asam laktat,** merupakan produk fermentasi tunggal yang dihasilkan oleh streptokokus (misalnya, *Streptococcus lactis*) dan banyak lactobacilli (misalnya, *Lactobacillus casei*, *L. pentosus*). Organisme yang hanya menghasilkan asam laktat dari fermentasi glukosa adalah homofermentor. Bakteri asam laktat homofermentatif mendisimilasi glukosa secara eksklusif melalui jalur glikolitik.
- 3) **Produk campuran:** organisme yang memfermentasi glukosa menjadi beberapa produk akhir, seperti asam asetat, etanol, asam format, dan CO_2 , disebut sebagai heterofermenter. Contoh bakteri heterofermentatif termasuk spesies *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, dan *Microbacterium*. Fermentasi heterofermentatif lebih umum di antara bakteri, seperti pada fermentasi asam campuran yang dilakukan oleh bakteri dari keluarga Enterobacteriaceae (misalnya *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, dan spesies *Proteus*). Banyak dari fermentor glukosa ini biasanya menghasilkan CO_2 dan H_2 dengan kombinasi produk akhir asam yang berbeda (format, asetat, laktat, dan suksinat).
- 4) Bakteri lain seperti *Enterobacter aerogenes*, *Aeromonas*, *Serratia*, *Erwinia*, dan spesies *Bacillus* juga membentuk CO_2 dan H_2 serta produk akhir netral lainnya (etanol, asetilmetilkarbinol [asetoin], dan 2,3-butilen glikol).
- 5) Banyak clostridium anaerob obligat (misalnya, *Clostridium saccharobutyricum*, *C. thermosaccharolyticum*) dan spesies *Butyribacterium*, memfermentasi glukosa dengan produksi butirrat, asetat, CO_2 , dan H_2 , sedangkan spesies *Clostridium* lainnya (*C. acetobutylicum* dan *C. butyricum*) juga membentuk hasil fermentasi ini, ditambah lainnya (butanol, aseton, isopropanol, format, dan etanol).
- 6) Bakteri asam propionat anaerob (spesies *Propionibacterium*) dan spesies *Veillonella* terkait memfermentasi glukosa untuk membentuk CO_2 , propionat, asetat, dan suksinat. Pada bakteri ini, propionat dibentuk oleh pembalikan sebagian dari reaksi siklus Krebs dan melibatkan fiksasi CO_2 oleh piruvat (reaksi Wood-Werkman) yang membentuk oksaloasetat

(perantara empat karbon). Oksaloasetat kemudian direduksi menjadi malat, fumarat, dan suksinat, yang didekarboksilasi menjadi propionat. Propionat juga dibentuk oleh jalur tiga karbon lainnya dalam spesies *C. propionicum*.

- 7) Bakteri asam asetat aerobik obligat (*Acetobacter* dan spesies *Gluconobacter*) juga dapat memfermentasi glukosa, menghasilkan asetat dan glukonat. Rangkuman jalur dimana berbagai produk akhir fermentasi utama terbentuk dari disimilasi glukosa melalui piruvat perantara umum ditunjukkan pada gambar 10.2



Gambar 10.3 Beberapa produk akhir fermentasi
(Sumber: Fundamental of Microbiology)

8.3.2 Metabolisme Mikroorganisme Fotoautotrof

Fotoautotrof menggunakan cahaya sebagai sumber energi dan karbon dioksida sebagai sumber utama karbon. Kelompok ini meliputi bakteri fotosintetik (bakteri hijau dan ungu dan cyanobacteria), alga, dan tumbuhan hijau. Dalam reaksi fotosintesis cyanobacteria, ganggang, dan tumbuhan hijau, atom hidrogen air digunakan untuk mereduksi karbon dioksida, dan gas oksigen dilepaskan. Karena proses fotosintesis ini menghasilkan O₂, maka disebut oksigenik.

Selain cyanobacteria, ada beberapa famili prokariota fotosintesis lainnya. Masing-masing diklasifikasikan menurut cara mereduksi CO₂. Bakteri ini tidak dapat menggunakan H₂O untuk mereduksi CO₂ dan tidak dapat melakukan fotosintesis ketika ada oksigen (harus berada dalam lingkungan anaerobik). Akibatnya, proses fotosintesisnya tidak menghasilkan O₂ dan disebut anoksigenik.

8.3.3 Mikroorganisme Autotrof

Bakteri yang tumbuh semata-mata dengan menggunakan senyawa anorganik (ion mineral), tanpa menggunakan sinar matahari sebagai sumber

energi, disebut autotrof, kemotrof, kemoautotrof, atau kemolitotrof. Seperti organisme fotosintetik, semua autotrof menggunakan CO_2 sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan; nitrogennya berasal dari senyawa anorganik seperti NH_3 , NO_3^- , atau N_2 (Tabel 10.1). Sumber energi untuk organisme tersebut adalah oksidasi senyawa anorganik tertentu.

Juga ditemukan di antara mikroorganisme autotrofik adalah bakteri pengoksidasi sulfur atau senyawa sulfur, yang jarang menunjukkan mode metabolisme autotrofik yang ketat seperti bakteri nitrifikasi obligat. Senyawa belerang yang dioksidasi oleh bakteri tersebut adalah H_2S , S_2 , dan S_2O_3 . Di antara bakteri belerang terdapat dua organisme yaitu *Thiobacillus ferrooxidans*, yang mendapatkan energinya untuk pertumbuhan autotrofik dengan mengoksidasi unsur sulfur atau besi besi, dan *T. denitrificans*, yang mendapatkan energinya dengan mengoksidasi S_2O_3 secara anaerobik, menggunakan NO_3^- sebagai akseptor elektron terminal tunggal. *T. denitrificans* mereduksi NO_3^- menjadi molekul N_2 , yang dibebaskan sebagai gas; proses biologis ini disebut **denitrifikasi** (Jurtshuk, 1996). Semua bakteri autotrofik mengasimilasi CO_2 , yang direduksi menjadi glukosa dari bahan seluler organik yang disintesis.

8.3.4 Mikroorganisme Fotoheterotrofik

Bakteri fotoheterotrof menggunakan cahaya sebagai sumber energi tetapi tidak dapat mengubah karbon dioksida menjadi gula; sebaliknya, mereka menggunakan sebagai sumber senyawa organik karbon, seperti alkohol, asam lemak, asam organik lainnya, dan karbohidrat. Fotoheterotrof bersifat anoksigenik. Bakteri nonsulfur hijau, seperti *Chloroflexus* dan bakteri nonsulfur ungu, seperti *Rhodospseudomonas*, adalah fotoheterotrof.



DAFTAR PUSTAKA

- Carroll, K. C. M., Carroll, K. C., Hobden, J. A., Miller, S., Morse, S. A., Mietzner, T. A., Detrick, B., Mitchell, T. G., McKerrow, J. H., & Sakanari, J. A. (Eds.). (2007). Microbial Metabolism. In *Jawetz, Melnick, & Adelberg's Medical Microbiology* (27th ed., Issue 1, pp. 1–26). <https://accessmedicine.mhmedical.com/Content.aspx?bookid=1551§ionid=94105694>
- Chan, E. C. S. (2003). Microbial nutrition and basic metabolism. In D. Mara & N. Horan (Eds.), *Handbook Water and Wastewater Microbiology* (p. 2003). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-470100-7.50046-7>
- Jurtshuk, P. J. (1996). Chapter 4 Bacterial Metabolism. In S. Baron (Ed.), *Medical Microbiology*. (4th ed., p. 4). NCBI Bookshelf. A service of the National Library of Medicine, National Institutes of Health. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK7919/>
- Suryani, Y. (2022). Fisiologi Mikroorganisme. In *Fisiologi Mikroorganisme*. Gunung Djati Publishing.



BAB 9

GENETIKA MIKROBA



9.1 Pendahuluan

Sejak temuan J.G. Mendel diterbitkan pada tahun 1966, bidang genetika mengalami kemajuan dan perluasan yang signifikan. Bahkan dalam beberapa dekade terakhir, laju pertumbuhan dan perkembangan genetika sangat pesat, dan banyak penerapannya telah terbukti mempengaruhi kehidupan kita sehari-hari. Genetika adalah ilmu yang terus berkembang dan berkembang, dan merupakan salah satu bidang studi terpenting saat ini (Rahmadina, 2019). Pentingnya gen bagi keberadaan makhluk hidup juga semakin dikenal luas di masyarakat luas. Telah ditemukan bahwa gen berperan dalam menentukan lamanya hidup semua makhluk hidup yang menghuni bumi. Karena itu, pada kenyataannya, banyak harapan tentang masa depan umat manusia telah diletakkan di tangan perluasan dan perkembangan genetika selanjutnya (Fadillah & Angraini, 2018).

Ada banyak perpustakaan referensi dan buku-buku yang ditulis untuk siswa SMA pada umumnya yang berisi definisi genetika tradisional. Studi tentang hereditas serta variasi merupakan fokus dari subbidang biologi yang dikenal sebagai genetika. Studi tentang pewarisan serta cara-cara di mana ciri-ciri yang diwariskan diungkapkan adalah fokus bidang biologi genetika (Rahmadina, 2019).

Definisi tradisional genetika mengacu pada studi ilmiah tentang transmisi karakteristik dari orang tua kepada keturunannya menurut seperangkat aturan yang telah ditentukan sebelumnya. Perbandingan fenotipe dan genotipik dari keturunan yang dihasilkan dari perkawinan antar individu mengikuti aturan tertentu yang disebut sebagai pola hereditas. Jelas sekali bahwa pengertian genetika sebagaimana diuraikan di atas masih terkait erat dengan sejarah perluasan dan perkembangan bidang genetika yang dimulai pada masa J.G. Mendel. Dalam contoh khusus ini, tepat untuk mengatakan bahwa fokus penelitian yang J.G. Mendel dilaporkan sepenuhnya pada warisan. Kemajuan genetika molekuler adalah fondasi di mana pemahaman kita saat ini



tentang genetika dibangun. Genetika adalah cabang ilmu yang menyelidiki blok bangunan keturunan serta pergeseran peraturan dalam berbagai proses fisiologis yang menentukan karakteristik makhluk hidup. Gen adalah segmen DNA yang nukleotidanya membawa informasi tentang karakteristik biokimia atau fisiologis tertentu. Gen adalah blok bangunan dasar dari hereditas; mereka juga merupakan unit warisan (Campbell dkk., 2002).

Brown (1989) menegaskan bahwa studi gen berada di bawah lingkup disiplin biologi yang dikenal sebagai genetika. Menurut Russell (1992), genetika adalah ilmu yang mempelajari pewarisan. Kajian ini mencakup kajian tentang struktur dan fungsi gen serta proses pewarisan, yang meliputi pewarisan sifat dari satu generasi ke generasi berikutnya. Menurut Corebima (2010), genetika didefinisikan sebagai cabang biologi yang menyelidiki materi genetik dalam hal struktur, reproduksi, fungsi, perubahan dan rekombinasi, keberadaannya dalam populasi, dan rekayasannya. Ini dapat dipahami dengan cara yang lebih kompleks. Corebima (2010) memaparkan definisi genetika yang dirumuskan berdasarkan hasil pengelompokan substansi kajian genetika rentang waktu dari era J.G. Mendel hingga saat ini. Definisi ini didasarkan pada temuan bahan studi genetik. Pemahaman genetika ini menganut pendekatan konseptual, substansi, atau material, berlawanan dengan pendekatan historis yang ditempuh oleh sejumlah besar buku genetika, baik terbitan dalam maupun luar negeri. Pemahaman genetika ini, yang merupakan substansi dari fokus utama penyelidikan, adalah tentang gen. Meskipun pewarisan juga menjadi fokus penyelidikan, itu bukanlah hal yang utama (Brown, 2002).

9.2 Sejarah Perkembangan Genetika

Pada akhir abad ke-19, seorang biarawan Austria bernama Gregor Johann Mendel berhasil melakukan analisis yang cermat dengan interpretasi yang tepat atas hasil percobaan persilangannya pada tanaman kacang polong. Peristiwa ini dianggap sebagai awal sejarah perkembangan genetika sebagai ilmu (*Pisum sativum*). Mendel sebenarnya bukanlah orang pertama yang melakukan penelitian yang melibatkan proses persilangan. Namun, berbeda dengan orang-orang sezamannya, yang percaya bahwa setiap orang memiliki karakteristik uniknya sendiri, Mendel mengamati pola pewarisan yang disebabkan oleh alam, yang membuatnya lebih mudah untuk dipahami. Di masa depan, deduksinya tentang pola pewarisan sifat-sifat tersebut akan



menjadi landasan utama tumbuhnya genetika sebagai cabang ilmu; akibatnya, Mendel dikenal sebagai "bapak genetika" (Susanto dkk., 2022).

Metode konvensional dalam mempelajari genetika telah mengarahkan para peneliti pada kesimpulan bahwa gen bertanggung jawab untuk menyumbangkan sifat fenotipik mendasar serta karakteristik struktural dan fisiologis umum sel atau organisme. Pada tingkat organisme, karakteristik fenotipik biasanya diamati, seperti warna mata seseorang pada manusia atau resistensi terhadap antibiotik pada bakteri. Dasar kimia dari variasi fenotipik, serta perubahan urutan DNA dalam gen atau dalam organisasi gen Gregor Mendel, seorang ahli botani dari Austria, dianggap sebagai orang pertama yang melakukan penelitian genetika menggunakan tanaman kacang polongnya. Pada tahun 1860-an, dia menyilangkan garis kacang polong dan memeriksa karakteristik keturunannya. Kacang polong akan memiliki warna, bentuk, ukuran, dan karakteristik lain yang berbeda sebagai akibat langsung dari percobaan ini. Sebagai hasil dari penelitian ini, dia menemukan hukum dasar yang mengatur keabadian (Muthiadin, 2014).

9.3 Genetika Mikroorganisme

Studi tentang karakteristik hereditas dan mekanisme pertahanan mikroorganisme adalah subjek dari disiplin ilmu yang dikenal sebagai genetika mikroorganisme. Aspek teoretis dan praktis dari analisis genetik klasik dan molekuler mikroorganisme prokariotik dan eukariotik, rekayasa genetika mikroorganisme, dan penerapannya pada bidang perlindungan lingkungan, kesehatan masyarakat, dan produksi pangan tercakup dalam artikel ini (Ani dkk., 2021).

Dalam konteks konsep hereditas, genetika bakteri, juga disebut sebagai genom bakteri, terdiri dari dua fenomena biologis: hereditas dengan sifat stabil dan variasi genetik, yang menghasilkan karakteristik sel punca yang berbeda seperti mutasi. Kedua fenomena biologis ini berperan dalam konsep hereditas. Plasmid, kromosom, dan faktor R adalah komponen yang membentuk unit genom bakteri. Kromosom adalah gen bakteri yang dikemas menjadi satu molekul DNA sirkular. Ia memiliki panjang satu milimeter, beratnya dua hingga tiga persen dari total berat kering satu sel, dan terdiri dari empat juta pasang kilobase DNA. Plasmid adalah potongan materi genetik yang terletak di luar kromosom dan bebas di sitoplasma bakteri. Mereka tersebar luas di seluruh populasi bakteri (Poerwoko, 2019).



9.4 Materi Genetik: Asam Nukleat

Setiap makhluk hidup memiliki sejumlah materi genetik. Karena menyimpan informasi genetik, asam nukleat merupakan salah satu makromolekul yang dianggap berperan penting dalam fungsi organisme hidup. Polinukleotida adalah nama lain untuk asam nukleat. Ini disebabkan oleh fakta bahwa asam nukleat terdiri dari banyak molekul nukleotida yang bertindak sebagai monomernya. Gugus fosfat, gula pentosa, dan basa nitrogen, juga dikenal sebagai basa nukleotida, adalah bagian penyusun struktur setiap nukleotida (basa N). Asam deoksiribonukleat, juga dikenal sebagai asam deoksiribonukleat (DNA), dan asam ribonukleat, juga dikenal sebagai asam ribonukleat, adalah dua jenis asam nukleat yang dapat ditemukan (RNA). Fondasi kimia setiap sel terdiri dari asam nukleat, khususnya asam ribonukleat (RNA) dan asam nukleat dioksiribosa (DNA) (Harahap dkk., 2021). Baik DNA dan RNA memiliki sejumlah karakteristik kimia dan fisik yang sama karena ikatan antara unit mononukleotida adalah sama. Ikatan ini dibentuk oleh jembatan fosfodiester yang menghubungkan posisi 3' dari satu mononukleotida ke posisi 5' dari mononukleotida lainnya. DNA dan RNA juga berbagi sejumlah kesamaan struktural. Asam nukleat merupakan salah satu bentuk materi genetik yang dapat diuraikan menjadi senyawa organik penyusunnya. Ahli biokimia telah melakukan penelitian tentang asam nukleat sejak senyawa ini pertama kali diisolasi dari inti sel. Asam nukleat merupakan komponen dari setiap sel hidup dan juga dapat ditemukan pada virus (Sarumaha, 2021).

9.5 Asam Deoksiribonukleat (DNA)

DNA adalah kependekan dari asam deoksiribonukleat, yang merupakan sejenis asam nukleat. Asam nukleat adalah biomolekul utama yang menyusun berat kering setiap organisme. Asam deoksiribonukleat, atau DNA, adalah nama yang lebih umum untuk jenis asam ini. Inti sel biasanya di mana DNA dapat ditemukan ketika ditemukan di dalam sel. Singkatnya, fungsi DNA dalam sel adalah sebagai materi genetik; dengan kata lain, DNA menyimpan instruksi tentang bagaimana sel harus melakukan semua tugasnya. Secara umum, ini berlaku untuk setiap organisme (Schuette dkk., 2011).

Namun, ada beberapa pengecualian, yang paling terkenal adalah jenis virus tertentu (dan virus bukanlah organisme), seperti HIV (Human Immunodeficiency Virus). Blok pembangun DNA adalah gugus fosfat, gula deoksiribosa, dan basa nitrogen. DNA adalah polimer yang terdiri dari tiga



elemen utama ini. Karena masing-masing dari ketiga konstituen ini disebut sebagai nukleotida dan DNA dianggap sebagai polinukleotida, unit monomer DNA disebut nukleotida. Struktur untai komplementer DNA mengungkapkan pasangan basa (adenin dengan timin dan guanin dengan sitosin) yang penting untuk pembentukan DNA beruntai ganda. Untai primer DNA terdiri dari gugus fosfat dan gula yang bergantian satu sama lain. Gula yang ditemukan dalam DNA disebut 2-deoksiribosa, dan merupakan pentosa, yang artinya memiliki lima karbon. Dua gugus gula terhubung ke fosfat melalui ikatan fosfodiester yang terbentuk antara atom karbon ketiga di cincin satu gula dan atom karbon kelima di gula lainnya. Ikatan fosfodiester ini bertanggung jawab untuk menghubungkan gugus gula dengan fosfat. Salah satu perbedaan paling signifikan antara DNA dan RNA adalah jenis gula yang digunakan untuk membangun setiap molekul; DNA menggunakan deoksiribosa, sedangkan RNA menggunakan ribose (Susilowati, 2019).

Struktur DNA adalah heliks ganda, yang dibentuk oleh pelintiran dua untai DNA. Dalam struktur yang dikenal sebagai heliks ganda, orientasi rantai nukleotida dalam satu untai molekul dicerminkan dengan orientasi nukleotida di untai molekul lainnya. Istilah untuk konfigurasi ini adalah antiparalel. Setiap untai termasuk untai utama, yang merupakan struktur utama, serta basa nitrogen, yang bertanggung jawab untuk berinteraksi dengan untai komplementer DNA dalam heliks. Ikatan hidrogen inilah yang membuat dua helai heliks ganda DNA tetap melekat satu sama lain. Ikatan ini terbentuk antara basa yang ada di kedua untai. Adenin, Guanin, Timin, dan Sitosin adalah empat basa yang ditemukan dalam DNA. Adenin dilambangkan dengan huruf A, sitosin dengan huruf C, guanin dengan huruf G, dan timin dengan huruf T. Molekul adenin membentuk ikatan hidrogen dengan molekul timin, sedangkan molekul guanin berikatan dengan molekul sitosin. Selama proses replikasi DNA, untai DNA baru diproduksi dengan mendasarkan konstruksinya pada urutan nukleotida yang ada dalam DNA yang telah digandakan (Sumitro dkk., 2017).

9.6 Asam Ribonukleat (RNA)

RNA, juga dikenal sebagai asam ribonukleat, adalah sejenis asam nukleat yang dapat ditemukan di semua sel hidup, termasuk sel hewan, tumbuhan, dan virus. Ini adalah komponen dari kelompok asam nukleat. Salah satu perbedaan paling signifikan antara RNA dan DNA adalah bahwa hanya



RNA yang mengandung gula yang diperlukan untuk pembentukan ribosa dan urasil. Inti, sitoplasma, dan ribosom adalah lokasi khas untuk RNA dalam sel. Bentuk normalnya, baik single-stranded maupun single-chained, memiliki tiga subtype, yaitu messenger RNA, transport RNA, dan rRNA, dengan jumlah yang bervariasi sesuai dengan jumlah aktivitas sintesis protein (Holmes, 2008).

Proses utama yang menghubungkan gen dengan protein masing-masing disebut transkripsi dan translasi. Gen tidak secara langsung bertanggung jawab atas sintesis protein; sebaliknya, mereka memberikan instruksi untuk produksinya. Karena itu, gen perlu ditranskripsi DNA-nya terlebih dahulu. Penciptaan RNA dari instruksi DNA adalah yang kami maksud ketika kami berbicara tentang transkripsi. Informasi tersebut hanya ditranskripsi atau disalin dari satu molekul ke molekul lain karena kedua asam nukleat menggunakan bahasa yang sama. Selama proses replikasi DNA, rantai DNA asli bertindak sebagai cetakan untuk pembuatan rantai baru yang melengkapi yang asli (Sumbono, 2021).

Konstruksi urutan nukleotida RNA dipandu oleh transkripsi, yang berfungsi sebagai templat untuk konstruksi ini. Produk transkripsi termasuk messenger RNA (mRNA), transfer RNA (tRNA), dan ribosomal RNA (rRNA). Sintesis sebenarnya dari polipeptida yang terjadi sesuai dengan instruksi yang terkandung dalam mRNA disebut sebagai translasi. Selama langkah ini, urutan basa molekul mRNA diubah menjadi urutan asam amino polipeptida. Proses ini disebut sebagai translasi. Ribosom adalah partikel kompleks yang membantu memfasilitasi perakitan teratur asam amino menjadi rantai polipeptida. Ini adalah lokasi di mana terjemahan berlangsung (Fauziah dkk., 2023).

Berikut ini memberikan ringkasan tingkat tinggi tentang peran transkripsi dan translasi dalam proses transfer informasi genetik. DNA adalah titik awal untuk transmisi informasi ke RNA, yang kemudian diteruskan ke protein. Transkripsi dan translasi adalah dua langkah terpenting dalam proses arus informasi. Gen adalah yang menyediakan instruksi yang diperlukan untuk membuat molekul mRNA. Selama proses translasi, informasi yang dikodekan dalam mRNA diterjemahkan dan digunakan untuk menentukan urutan asam amino yang disambung bersama untuk membentuk polipeptida tertentu. Proses translasi berlangsung pada ribosom (Sinaga, 2010).



9.7 Fungsi Materi Genetik

Tiga tugas utama yang menjadi tanggung jawab DNA tercantum di bawah ini.

1. Materi genetik harus memiliki kapasitas untuk menyimpan informasi genetik dan kemampuan untuk secara efektif mengirimkan informasi ini dari orang tua kepada keturunannya, serta dari satu generasi ke generasi berikutnya. Fungsi ini, yang dikenal sebagai fungsi genotipik, dilakukan melalui proses replikasi.
2. Perkembangan fenotip organisme perlu dikendalikan oleh materi genetik dalam beberapa cara. Artinya, pertumbuhan dan diferensiasi organisme dari tahap zigot hingga individu dewasa harus diarahkan oleh materi genetik. Fungsi ini dikenal sebagai fungsi fenotipik, dan pelaksanaannya dilakukan melalui ekspresi gen.
3. Organisme yang bersangkutan harus memiliki kemampuan untuk mengubah materi genetiknya setiap saat agar dapat menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungannya yang terus berubah. Proses evolusi tidak mungkin terjadi tanpa adanya perubahan sifat ini. Fungsi ini merupakan salah satu yang berperan dalam proses evolusi dan dilakukan melalui proses mutase (Nusantari, 2015).

9.8 Sel Prokariotik

Istilah "sel prokariotik" berasal dari kata Yunani "prokariota", di mana "pro" mengacu pada kata kuno dan "karyote" mengacu pada inti dari sesuatu. Istilah "sel prokariotik" berasal dari frase Yunani "sebelum nukleus", yang menggambarkan sel-sel ini. Oleh karena itu, sel prokariotik dapat digambarkan sebagai organisme uniseluler yang tidak memiliki nukleus. Struktur sel prokariotik adalah uniseluler, dan terdiri dari tiga komponen utama: membran sel, ribosom, dan nukleotida. Bentuk dan ukuran sel prokariotik mirip dengan bakteri. Bahkan sel prokariotik memiliki kemampuan untuk menyerap bahan organik untuk pertumbuhannya sendiri (Ihsan & Pi, 2021).

Menurut klasifikasi taksonominya, kelompok archaeobacteria dan eubacteria dianggap sebagai anggota kelompok sel prokariotik. Archaeobacteria adalah kelompok bakteri yang mampu bertahan hidup di lingkungan dengan salinitas atau tingkat keasaman tinggi, serta suhu tinggi sekitar 1000 derajat Celcius. Selain itu, mereka juga dapat bertahan hidup di lingkungan dengan suhu tinggi. Selain itu, organisme prokariotik bersifat anaerobik dan aerobik,



yaitu kelompok eubakteria yang dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan yang tidak bergantung pada ada atau tidaknya oksigen, memiliki peptidoglikan sebagai bahan penyusun dinding sel, mengandung pigmen bakterioklorofil untuk fotosintesis, dan dapat menghasilkan ATP lebih efisien karena adanya DNA melalui mekanisme yang disebut sistem transpor electron (Palczar & Chan, 1988).

9.9 Sel Eukariotik

Nukleoplasma, yang merupakan bagian dari membran inti yang mengelilingi DNA pada sel eukariotik, dibuat lekukan sehingga dapat menampung DNA tersebut. Akibatnya, akan menjadi jelas bahwa membran dalam unit menimbulkan membran inti dalam sel, sedangkan pembengkokan membran luar menghasilkan pembentukan membran inti luar sel. Akibatnya, orang dapat berargumen bahwa membran inti sel sebenarnya adalah membran ganda. Organisme eukariotik dicirikan oleh adanya membran inti; akibatnya, inti sel disebut sebagai nukleus. Diperkirakan pada saat itu sel eukariotik telah berevolusi dari sel prokariotik melalui proses evolusi biologis sehingga akhirnya memiliki fungsi yang kompleks setelah ditemukannya DNA di dalam inti sel. Namun, teori ini sejak itu telah dibantah (Ani dkk., 2021).

Organisme eukariotik mengandung berbagai macam organel, yang masing-masing secara struktural dan fungsional berbeda dari yang lain. Selain nukleus, mitokondria merupakan salah satu organel sel yang berperan sangat penting dalam fungsi sel secara keseluruhan. Di sisi lain, ada organisme eukariotik yang dikenal sebagai eukariotik anaerobik, yang keberadaannya tidak bergantung pada keberadaan oksigen (Wardani dkk., 2022). Dihipotesiskan bahwa sel-sel anaerobik, yang tidak dapat hidup di lingkungan kaya oksigen, akan berevolusi menjadi eukariota anaerobik di masa depan. Tahap awal proses pembelahan sel mitosis bertanggung jawab untuk pembentukan organel membran. Sistem membran terhubung ke lapisan terluar nukleoplasma. Organel seluler tertentu dilapisi lipid, yang merupakan komponen dasar sel. Lapisan luar nukleoplasma berfungsi untuk melestarikan struktur nukleus dan pori-pori nuklir, sedangkan lapisan dalam nukleoplasma bertanggung jawab untuk menjaga komponen kromosom tetap pada tempatnya selama interfase (Harahap dkk., 2021).



DAFTAR PUSTAKA

- Ani, M., Astuti, E. D., Nardina, E. A., Azizah, N., Hutabarat, J., Sebtalesy, C. Y., Winarsih, W., Maryani, S., Yani, D. P., & Argaheni, N. B. (2021). *Biologi Reproduksi Dan Mikrobiologi*. Yayasan Kita Menulis.
- Brown, T. A. (2002). The human genome. Dalam *Genomes. 2nd edition*. Wiley-Liss.
- Campbell, N. A., Reece, J. B., & Mitchell, L. G. (2002). Biologi edisi kelima jilid 1. *Jakarta: Erlangga*.
- Fadillah, E. N., & Angraini, E. (2018). Pengembangan modul praktikum genetika berbasis keterampilan proses sains untuk mahasiswa Program Studi Pendidikan Biologi. *Edubiotik: Jurnal Pendidikan, Biologi Dan Terapan*, 3(01), 34–42.
- Fauziah, P. N., Rohmah, M. K., Umar, F., Wahdi, F. H., Setiyabudi, L., & Sihombing, M. A. E. M. (2023). *BIOLOGI MOLEKULER*. TOHAR MEDIA.
- Harahap, D. G. S., Noviantari, A., Hidana, R., Yanti, N. A., Nugroho, E. D., Nurdyansyah, F., Widyastuti, D. A., Pratiwi, R. H., Nendissa, D. M., & Nendissa, S. J. (2021). *Dasar-dasar mikrobiologi dan penerapannya*. Penerbit Widina.
- Holmes, F. L. (2008). *Reconceiving the gene: Seymour Benzer's adventures in phage genetics*. Yale University Press.
- Ihsan, B., & Pi, S. (2021). *Dasar-dasar mikrobiologi*. Insan Cendekia Mandiri.
- Muthiadin, C. (2014). *Pengantar Rekayasa Genetika*.
- Nusantari, E. (2015). *Genetika Belajar Genetika dengan Mudah & Komprehensif: Dilengkapi Data Hasil Riset tentang Kesulitan Memahami Konsep Genetika dan Riset dalam Pembelajaran Genetika*. Deepublish.
- Palczar, J. M., & Chan, E. C. S. (1988). *Dasar-dasar Mikrobiologi 2*. Jakarta: penerbit UI press.
- Poerwoko, M. S. (2019). *Genetika (Teori, Soal dan Contoh Penyelesaian)*.
- Rahmadina, R. (2019). *Modul Ajar Genetika Dasar*.

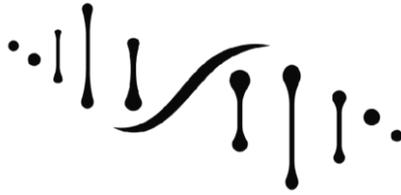


- Sarumaha, M. (2021). *Biologi Sel: Modul Singkat Sel dalam Perkembangannya*. Penerbit Lutfi Gilang.
- Schuetz, J. L., Yashar, B. M., & Uhlmann, W. R. (2011). *A guide to genetic counseling*. John Wiley & Sons.
- Sinaga, E. (2010). *Biologi Molekuler Regulasi Ekspresi Gen*.
- Sumbono, A. (2021). *Asam Nukleat Seri Biokimia Pangan Dasar*. Deepublish.
- Sumitro, S. B., Widyarti, S., & Permana, S. (2017). *Biologi Sel*. Universitas Brawijaya Press.
- Susanto, A. H., Amurwanto, A., Wahyono, D. J., Sasongko, N. D., Yuniaty, A., & Aziz, S. (2022). *Buku Ajar*.
- Susilowati, R. P. (2019). *Kajian Sel dan Molekuler (Hubungannya dengan Penyakit pada Manusia)*.
- Wardani, K. A., Sakati, S. N., Sulami, N., Syahrir, M., & Kanan, M. (2022). *Teori Mikrobiologi*. Yayasan Penerbit Muhammad Zaini.



BAB 10

MIKROBIOLOGI AIR



10.1 Pendahuluan

WHO menyatakan bahwa kualitas air minum adalah salah satu elemen penting untuk menjaga seseorang kesehatan. Menjaga kualitas air minum memiliki selalu menjadi tindakan preventif dan cara pengendalian penyebaran penyakit melalui air (Awopetu et al., 2013). Air sangat penting tetapi pada saat yang sama dapat ditransfer penyakit ke lebih dari satu tempat atau lebih satu orang. Studi telah menunjukkan bahwa minum air yang terkontaminasi, baik itu air terkontaminasi virus/bakteri atau beracun zat kimia, dapat mengakibatkan berbagai kesehatan penyakit seperti diare, kolera, demam tifoid, disentri, kanker dan masalah kulit. Diare adalah penyakit yang paling sering menyebar melalui air. Diperkirakan ada 4,6 miliar kasus diare yang menyebabkan 2,2 juta kematian setiap tahun (Darmiatun, 2017).

Akses ke air minum bersih diperlukan untuk masyarakat yang sehat dan berkembang. Diperkirakan lebih dari 5 miliar orang (71% dari populasi global) menggunakan apa yang telah didefinisikan oleh WHO sebagai layanan air minum yang dikelola dengan aman, terletak di tempat, tersedia saat dibutuhkan dan bebas dari kontaminasi. Sayangnya, pada tahun 2015, 29% populasi global (2,1 miliar orang) kekurangan layanan air minum yang dikelola dengan aman—didefinisikan oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) sebagai air di rumah, tersedia, dan aman.

Ada 844 juta orang di dunia yang kekurangan layanan dasar air minum, yang didefinisikan sebagai air minum dari sumber yang lebih baik, asalkan waktu pengumpulan tidak lebih dari 30 menit untuk perjalanan pulang pergi, termasuk waktu antrean menunggu. Gambar 2 menunjukkan perbedaan regional dalam akses ke berbagai jenis air di seluruh dunia (Yates, 2019).

Kekhawatiran atas kurangnya akses ke air minum yang aman membuat Program Pemantauan Bersama WHO/UNICEF menetapkan tujuan



untuk “Memastikan Ketersediaan dan Pengelolaan Air dan Sanitasi Berkelanjutan untuk Semua” sebagai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG) 6, dengan target mencapai “akses universal dan merata ke air minum yang aman dan terjangkau untuk semua” pada tahun 2030. Selanjutnya, mereka telah mendefinisikan air minum yang aman sebagai air yang “memiliki tingkat risiko sama dengan atau kurang dari 1 dalam 10.000 kemungkinan infeksi tahunan atau 1 dalam 1 juta tahun hidup yang disesuaikan dengan disabilitas”(Darmiatun, 2017) .

Air minum dapat diterima dan layak untuk diminum bila jernih, tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa tidak enak. Ini harus secara mikroskopis bebas dari organisme patogen dan dengan demikian mikrobiologi air berguna.

Flora bakteri di lingkungan perairan.

Sebagian besar organisme saprofit, beberapa di antaranya termasuk dalam genus *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Flavobacterium*, *Chromobacterium*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, dll. Pengembangan biofilm di sungai, jaringan pipa air, dan proses industri. Beberapa patogen oportunistik seperti *Legionella*, mungkin ada di mana-mana di lingkungan air.

Pemeriksaan Mikrobiologi air. (Cabral, 2010)

WHO mendefinisikan pengawasan pasokan air sebagai 'menjaga dengan hati-hati setiap saat, dari sudut pandang kesehatan masyarakat, atas keamanan dan penerimaan pasokan air minum'. Ini melibatkan dua kegiatan pelengkap (a) inspeksi sanitasi dan (b) analisis kualitas air. Meskipun air dapat mengandung bahan kimia yang tidak diinginkan, risiko terbesar bagi kesehatan manusia adalah dari kontaminasi tinja pada persediaan air. Oleh karena itu, aspek analisis yang paling penting adalah untuk menentukan apakah ada kontaminasi feses atau tidak. Pasokan air harus secara teratur diuji untuk memastikan kebebasannya dari kontaminasi. Ketergantungan terletak pada pengujian pasokan mikroorganisme yang menunjukkan bahwa pencemaran tinja telah terjadi atau tidak . Tentang rute yang ditularkan melalui air, manusia terinfeksi dengan menelan bakteri patogen, virus, atau parasit dalam air yang tercemar oleh kotoran atau urin manusia atau hewan. Contoh-contoh penyakit yang ditularkan melalui air biasa yang berasal dari bakteri seperti kolera, disentri basiler, diare *E. coli*, leptospirosis, tifus dan paratifoid dan serupa dengan disentri amuba asal parasit, kriptosporidiosis, giardiasis, balantidiasis,



dan salmonellosis. Karena diare virus rotavirus, hepatitis A dan Poliomielitis sering terjadi.

Flora bakteri yang dapat ditemukan dalam air tanpa-tanpa kontaminasi tinja antara lain: Bakteri air alami (terutama berasal dari udara oleh hujan): *Micrococcus*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Flavobacterium*, bakteri tanah *Acinetobacter* (tercuci ke dalam air): *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, *Klebsiella* spp. Adapun bakteri yang dapat ditemukan di air setelah kontaminasi tinja antara lain: Bakteri usus (melalui kotoran): *E. coli*, *Klebsiella*, *S. faecalis*, *Clostridium perfringens*.

10.2 Penyakit yang Ditularkan Melalui Air

Secara global, setiap tahun, 1,5 juta orang meninggal karena penyakit yang ditularkan melalui air. Mayoritas dari orang-orang ini adalah anak-anak kecil yang meninggal karena dehidrasi yang disebabkan oleh diare. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia, ada hampir 1,7 miliar kasus diare pada anak kecil setiap tahunnya, dan diare adalah penyebab kematian kedua bagi anak di bawah usia 5 tahun.

Di Amerika Serikat dan negara-negara lain di mana pengolahan air minum dipraktekkan secara rutin, orang biasanya berasumsi bahwa semua air minum diolah, namun sebenarnya tidak demikian. Misalnya, di Amerika Serikat, Badan Perlindungan Lingkungan memperkirakan bahwa 15% populasi memperoleh air minum mereka dari sumur pribadi yang tidak diolah atau sumber lain yang tidak diolah. Berdasarkan statistik yang disusun oleh Pusat Pengendalian dan Pencegahan Penyakit, sebagian besar wabah air minum di Amerika Serikat terkait dengan air tanah yang tidak diolah atau diolah secara tidak memadai, dan kekurangan sistem distribusi. Misalnya, dalam pembaruan terbaru tentang wabah yang ditularkan melalui air di Amerika Serikat (2013–14), CDC melaporkan 1006 kasus penyakit, 130 di antaranya disebabkan oleh *Legionella*, dan 86% di antaranya berasal dari wabah penyakit gastrointestinal akut. Penyakit yang dominan. Investigasi epidemiologi memperkirakan bahwa antara 12 juta hingga 19,5 juta penyakit yang ditularkan melalui air terjadi setiap tahun di Amerika Serikat, hanya sebagian kecil yang diketahui dan/atau dilaporkan (Yates, 2019)



10.3 Patogen yang ditularkan melalui air

Di seluruh dunia, diyakini bahwa rute infeksi yang paling umum dengan patogen yang ditularkan melalui air adalah rute "fecal-oral": infeksi terjadi akibat paparan air atau makanan dari limbah yang tidak diolah dengan benar atau terkontaminasi langsung dengan kotoran manusia atau hewan yang tidak diolah. Mikroorganisme semacam itu disebut sebagai patogen enteric (Smith et al., 2013)

Meskipun mikroorganisme lain (misalnya, *Legionella*, *Naegleria*) dapat menyebabkan penyakit yang ditularkan melalui air, sebagian besar perhatian dan fokus secara global adalah pada mikroorganisme yang berasal dari enterik. Sebagian besar alasannya adalah banyak dari mikroorganisme ini dapat dengan mudah ditangani melalui penerapan intervensi yang relatif sederhana seperti mencuci tangan dan tindakan sanitasi lainnya.

Kotoran individu yang terinfeksi adalah sumber utama mikroorganisme patogen dalam air limbah rumah tangga: ratusan jenis mikroorganisme yang berbeda dapat hadir dalam feses manusia dan hewan yang terinfeksi. Selain itu, urine dapat menjadi sumber mikroorganisme patogen tertentu, seperti *Leptospira* dan polyomavirus. Banyak faktor yang mempengaruhi konsentrasi dan jenis patogen yang ditemukan dalam air limbah domestik setiap saat; ini termasuk kejadian penyakit pada populasi yang menghasilkan air limbah, musim dalam setahun, faktor iklim (seperti curah hujan, suhu), jumlah air yang digunakan, status ekonomi populasi, dan kualitas air minum. Apabila feses atau air limbah yang tercemar feses masuk ke badan air yang digunakan sebagai sumber air minum, maka berpotensi terjadi penularan penyakit. Kelompok utama mikroorganisme patogen yang ditularkan melalui air dan makanan yang terkontaminasi tinja meliputi bakteri, virus, dan parasit.

Seperti disebutkan sebelumnya, mikroorganisme nonfekal lainnya juga menyebabkan penyakit yang ditularkan melalui air dari konsumsi atau penggunaan air minum; ini biasanya adalah mikroorganisme yang berasal dari air atau sedimen. Misalnya, *Legionella*, bakteri yang ditularkan melalui aerosol, sering menjadi penyebab penyakit terkait air minum. Memang, pada tahun 2001, CDC mulai memasukkan laporan wabah *Legionella* dengan data pengawasan air minum, dan *Legionella* adalah agen penyebab penyakit yang ditularkan melalui air yang paling sering diidentifikasi dalam wabah yang dilaporkan di Amerika Serikat pada tahun 2013. Khususnya, itu bertanggung jawab atas 13 kematian yang terkait dengan penyakit yang ditularkan melalui



air pada periode waktu itu. *Naegleria fowleri*, sebuah amuba yang secara alami muncul di sedimen badan air hangat tertentu, juga telah dilaporkan sebagai penyebab beberapa wabah penyakit yang ditularkan melalui air. Infeksi oleh mikroorganisme ini biasanya mengakibatkan kematian. Serangkaian fakta yang menggambarkan efek kesehatan manusia, sumber dan kejadian, rute paparan, dan pentingnya air minum untuk banyak patogen yang ditularkan melalui air telah disusun oleh Organisasi Kesehatan Dunia.

10.4 Bakteri

Bakteri secara alami ada di saluran pencernaan manusia dan hewan; sebenarnya, mereka diperlukan untuk berfungsinya sistem pencernaan. Sebagian besar bakteri ini tidak berbahaya. Namun, ketika seseorang terinfeksi oleh bakteri patogen enterik, mikroorganisme ini tumbuh dan bereproduksi di saluran pencernaan, dan ditumpahkan dalam bahan tinja. Karena bakteri enterik beradaptasi dengan baik pada kondisi yang ada di saluran pencernaan, yang meliputi konsentrasi karbon organik yang tinggi, pH rendah, dan suhu yang relatif tinggi (37 C), mereka cenderung memiliki waktu yang relatif sulit tumbuh di lingkungan. Hal ini karena kondisi di tanah, air, dll umumnya sangat berbeda dengan di saluran cerna: unsur hara umumnya terdapat dalam konsentrasi rendah dan/atau dalam bentuk yang sulit dimetabolisme, suhu tidak optimal untuk pertumbuhan, kadar air lebih rendah, dll. Akibatnya, bakteri enterik biasanya tidak bersaing dengan baik dengan bakteri tanah atau air asli untuk mendapatkan nutrisi yang tersedia. Ini berdampak buruk pada kemampuan mereka untuk bereproduksi, atau bahkan bertahan hidup tanpa bereproduksi, di lingkungan. Dengan demikian, umur panjang mereka di lingkungan luar biasanya terbatas pada beberapa hari hingga beberapa minggu, tergantung pada kondisi lingkungan (Yates, 2019)

Secara historis, patogen bakteri telah menjadi fokus penyakit yang ditularkan melalui air, terutama karena mereka termasuk mikroorganisme pertama yang dikenali. Bakteri menyebabkan banyak penyakit, seperti kolera, tipus, dan disentri yang bertanggung jawab atas epidemi besar (dan, dalam kasus kolera, pandemi) di seluruh dunia. Secara umum, banyak bakteri patogen relatif mudah dihilangkan melalui proses pengolahan air limbah dan air minum, dan oleh karena itu kurang diperhatikan dibandingkan kelompok patogen lain di banyak negara industri. Namun, patogen ini masih menjadi perhatian besar di banyak negara kurang industri, karena kurangnya proses pengolahan sanitasi



yang memadai di negara tersebut. Menurut WHO/UNICEF, pada tahun 2015 hanya 39% populasi global (2,9 miliar orang) yang menggunakan layanan sanitasi yang dikelola secara aman; yaitu, kotoran dibuang dengan aman di tempat atau diolah di luar lokasi. Lebih dari 2 miliar orang kekurangan sanitasi dasar, dan hampir 1 miliar orang masih melakukan buang air besar sembarangan (Cabral, 2010).

Beberapa bakteri patogen yang paling umum ditemukan pada kotoran manusia dan hewan yang ditularkan melalui air dan makanan yang terkontaminasi tercantum dalam Tabel 1. Beberapa karakteristik yang relevan, seperti infektivitas, kelangsungan hidup dalam air, ketahanan terhadap klorin, dan dampak kesehatan juga disediakan.

Barikut ini tabel beberapa bakteri yang dapat dibawa oleh air.

Tabel 2. Bakteri yang dibawa oleh air
(Sumber: Kuswiyanto, 2014)

No	Bakteri	Karakteristik	Penyakit yang ditimbulkan
1	<i>Salmonella typhosa</i>	Gram negatif, bergerak dengan flagel peritrik, tidak membentuk spora, cepat mati di terik matahari, tidak dapat bertahan lama di perairan bebas.	Tipus abdominal
2	<i>Shigella dysenteriae</i>	Basil gram negative, tidak bergerak.	disentri
3	<i>Vibrio cholera</i>	Gram negative yang bentuknya agak lengkung dan memiliki flagel monotrik.	Penyakit Kolera
4	<i>Clostridium tetani</i>	Basil anaerob, membentuk spora, menghasilkan toksin yang menyebabkan penyakit tetanus	Tetanus

Penyebaran infeksi melalui air oleh agen patogen tergantung pada faktor-faktor seperti kelangsungan hidup pathogen dalam air dan dosis yang diperlukan untuk membangun infeksi pada individu yang rentan (dosis-respons). Selain kelangsungan hidup patogen, latensi (periode antara ekskresi patogen dan menjadi infeksi pada inang baru-faktor dalam beberapa organisme) dan kemampuan patogen untuk berkembang biak di lingkungan mempengaruhi dosis infeksi. Minimal dosis infeksi telah ditentukan hanya untuk sebagian yang dikeluarkan melalui feses dan, oleh karena itu,

bakteri, virus, protozoa, dan cacing yang berpotensi menularkan air (Smith et al., 2013).

10.5 Virus

Meskipun bahan feces selalu mengandung bakteri nonpatogen konsentrasi tinggi karena mereka adalah bagian dari flora normal saluran pencernaan, seperti bakteri patogen, virus patogen biasanya hanya ada dalam bahan feces jika individu tersebut terinfeksi. Virus enterik sangat berbeda dari bakteri enterik dalam beberapa cara. Beberapa perbedaan yang paling penting dalam konteks ini adalah: 1) Virus tidak hidup. Mereka hanya dapat bereproduksi di dalam sel inang yang rentan, karena mereka menggunakan mekanisme biokimia inang dalam memperbanyak diri.; 2) Virus relative lebih spesifik daripada bakteri. Dengan demikian, banyak virus yang hanya mampu menginfeksi satu spesies atau beberapa spesies saja. Hal ini dapat membuat lebih mudah untuk mengidentifikasi sumber kontaminasi. Misalnya, jika virus khusus manusia ditemukan di dalam air, jelas bahwa air tersebut telah terkontaminasi oleh kotoran manusia (Cabral, 2010)

Karena virus secara metabolic inert ketika berada di luar sel inang, mereka tidak terpengaruh seperti nutrisi bakteri dilingkungan eksternal. Karena mereka tidak dapat bereproduksi di lingkungan, jumlahnya hanya dapat berkurang seiring waktu. Virus biasanya mampu bertahan lebih lama dilingkungan, dibandingkan dengan bakteri. Biasanya, virus dapat bertahan selama minggu ke bulan; kelangsungan hidup bahkan telah dilaporkan selama 2 tahun di air tanah yang dingin. Virus jauh lebih kecil dari bakteri. Virus enteric tipikal berukuran 25-80 nm, sedangkan ukuran tipikal bakteri enteric adalah 1-2 mm. Hal ini mempengaruhi kemampuan mereka untuk diangkut melalui tanah dan masuk ke air tanah.

Lebih dari 100 jenis virus enterik dapat hadir dalam air limbah domestik. Jenis gejala yang diakibatkan oleh infeksi virus enterik sangat beragam — mulai dari infeksi tanpa gejala hingga diare yang relatif ringan dan sembuh sendiri, hingga penyakit yang lebih parah, termasuk penyakit pernapasan, hepatitis menular, kelumpuhan, ensefalitis, dan miokarditis. Beberapa virus enterik manusia patogen, bersama dengan beberapa karakteristik yang relevan, seperti infektivitas, kelangsungan hidup dalam air, ketahanan terhadap klorin, dan dampak kesehatan.



10.6 Indikator Kontaminasi Air Tinja

Seperti yang dinyatakan sebelumnya, bakteri selalu ada di saluran pencernaan manusia dan hewan lain, dan karena itu ada di feses. Di sisi lain, mikroorganisme enterik patogen biasanya hanya ada ketika seseorang terinfeksi. Oleh karena itu, jika seseorang ingin menilai keamanan air untuk konsumsi manusia, air harus terus dipantau keberadaan patogen untuk memastikan ada atau tidaknya patogen. Selain itu, ada ratusan patogen berbeda yang mungkin ada dalam tinja, sehingga air perlu dipantau untuk semua mikroorganisme ini guna memastikan keamanan untuk dikonsumsi (Darmiatun, 2017).

Namun, secara teknis atau ekonomis tidak layak untuk menguji air limbah untuk keberadaan semua jenis patogen yang berbeda, juga tidak layak untuk terus memantau air untuk mikroorganisme patogen. Akibatnya, kualitas mikrobiologis air secara historis telah dinilai dengan memantau keberadaan organisme alternatif—organisme enterik yang selalu ada dalam bahan tinja—yang disebut mikroorganisme indikator. Alasan penggunaan mikroorganisme indikator feses adalah, jika ditemukan dalam air, air tersebut mengandung bahan feses, dan oleh karena itu dapat juga mengandung mikroorganisme patogen. Sebaliknya, jika indikator feses tidak ada, air dianggap tidak terkontaminasi oleh feses, dan oleh karena itu, tidak ada patogen feses. Indikator umum atau kelompok organisme indikator yang digunakan adalah total bakteri coliform, bakteri coliform termotoleran (disebut juga bakteri fecal coliform), enterococci (disebut juga fecal streptococci); contohnya termasuk *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, dan *Bifidobacterium*.

Sementara fokus awal pemantauan keamanan air adalah potensi keberadaan bakteri patogen, di negara-negara industri, banyak penyakit bakteri telah dikendalikan melalui penggunaan air minum dan pengolahan air limbah, termasuk disinfeksi. Karena hal ini telah terjadi, lebih banyak fokus dalam pengolahan air minum dan air limbah adalah pada pengendalian konsentrasi patogen parasit dan virus. Sayangnya, indikator bakteri yang disebutkan di atas tidak selalu berkorelasi baik dengan keberadaan atau perilaku patogen nonbakteri. Upaya sedang dilakukan untuk mengidentifikasi indikator yang lebih tepat, seperti bakteriofag (virus yang menginfeksi bakteri indikator tinja) untuk patogen ini (Yates, 2019).



10.7 Karakteristik Indikator Mikroba

Pada tahun 1966, Bonde mengembangkan delineasi sistematis pertama dari atribut organisme indikator ideal untuk penilaian risiko kesehatan atau efisiensi pengobatan. Sayangnya, tidak ada organisme indikator atau kelompok organisme yang ditemukan memiliki semua atribut ini. Banyak wabah penyakit yang ditularkan melalui air telah terjadi tanpa adanya mikroorganisme indikator, yang setidaknya dalam beberapa kasus disebabkan oleh fakta bahwa patogen kurang tahan terhadap disinfektan dan lingkungan.

Secara teknologi, ekonomi, dan praktis tidak mungkin untuk menguji air untuk semua kemungkinan mikroorganisme patogen. Akibatnya, praktik yang biasa dilakukan adalah, dan terus berlanjut, memantau air untuk satu atau lebih mikroorganisme indikator (atau kelompok mikroorganisme indikator) untuk menunjukkan ada atau tidaknya risiko kesehatan yang terkait dengan konsumsi air. Kelompok yang berbeda telah digunakan selama bertahun-tahun sebagai indikator kualitas mikrobiologi air minum dan air rekreasi. Misalnya, total bakteri coliform telah digunakan selama hampir satu abad untuk menilai kualitas mikrobiologi air minum (Yates, 2019).

10.8 Bakteri koliform

Kelompok mikroorganisme indikator yang paling lama digunakan untuk penilaian kualitas mikrobiologis air minum dan air limbah adalah total bakteri koliform. Baru-baru ini, bakteri koliform lain, termasuk koliform termotoleran (sebelumnya disebut koliform tinja dan subgrup dari koliform total), dan *E. coli*, bakteri koliform termotoleran spesifik, yang dianggap berasal dari tinja, telah ditambahkan ke indikator yang umum digunakan. organisme. Badan Perlindungan Lingkungan AS mewajibkan pemantauan semua sumber air minum publik untuk bakteri koliform total. Penggunaan standar total coliform untuk menilai keamanan mikrobiologi air memiliki efek dramatis dalam mengurangi wabah penyakit yang ditularkan melalui air di negara-negara yang menerapkannya (Cabral, 2010).

Sejumlah penelitian, telah mendokumentasikan bahwa banyak mikroorganisme patogen, terutama virus enterik dan parasit, tidak mudah dinonaktifkan oleh proses pengolahan air dan air limbah seperti halnya coliform. Fakta bahwa wabah penyakit yang ditularkan melalui air terus terjadi setiap tahun di negara-negara yang telah menerapkan standar pemantauan coliform adalah bukti nyata bahwa cara yang lebih baik untuk menilai kualitas



mikrobiologis air harus ditemukan. Meskipun tidak ada organisme indikator yang sempurna, penelitian terus dilakukan untuk menemukan cara yang cepat, relatif murah, dan akurat untuk menilai kualitas mikrobiologis air (Awopetu et al., 2013).

10.9 Enterokokus tinja

Seperti bakteri coliform, fecal enterococci atau fecal streptococci, yang termasuk beberapa anggota genus *Streptococcus* dan *Enterococcus*, ditemukan di saluran usus manusia dan banyak hewan. Penggunaan kelompok organisme ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan kelompok coliform untuk menilai keamanan mikrobiologis air. Ini termasuk fakta bahwa mereka jarang berkembang biak di perairan lingkungan, mereka lebih tahan terhadap proses pengolahan dan tekanan lingkungan, dan umumnya bertahan lebih lama di lingkungan daripada bakteri coliform. Penggunaan yang paling umum untuk organisme ini adalah untuk menunjukkan kualitas mikrobiologi air mandi rekreasi. Selain itu, enterococci direkomendasikan sebagai salah satu kelompok organisme indikator tinja yang dapat digunakan untuk menilai kualitas mikrobiologis air tanah oleh US Environmental Protection Agency (Yates, 2019).



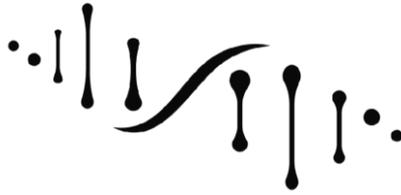
DAFTAR PUSTAKA

- Awopetu, M. S., Coker, A. O., Aribisala, J. O., & Awopetu, S. O. (2013). Water quality in a pipe distribution network: A case study of a communal water distribution network in Ibadan, Nigeria. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 171, 175–186. <https://doi.org/10.2495/WRM130161>
- Cabral, J. P. . (2010). Water Microbiology . Bacterial Pathogens and Water. *Environmental Research and Public Health*, 7, 3657–3703. <https://doi.org/10.3390/ijerph7103657>
- Darmiatun, S. (2017). Microbiology and Chemical Quality of Drinking Water From Household-Level Distribution Network. *Jurnal Pembangunan Dan Alam Lestari*, 8(2), 93–97. <https://doi.org/10.21776/ub.jp.al.2017.008.02.06>
- Kuswiyanto. (2014). *Bakteriologi 2: Buku Ajar Analisis Kesehatan* (Pertama). Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Smith, J. J., Keegan, A., Macquarie, P., Council, H., & McNeill, A. (2013). *Water Microbiology* (Issue August 2019, pp. 12–16).
- Yates, M. V. (2019). Drinking water microbiology. In *Encyclopedia of Microbiology* (4th ed.). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.66123-8>



BAB 11

MIKROBIOLOGI PANGAN



11.1 Pendahuluan

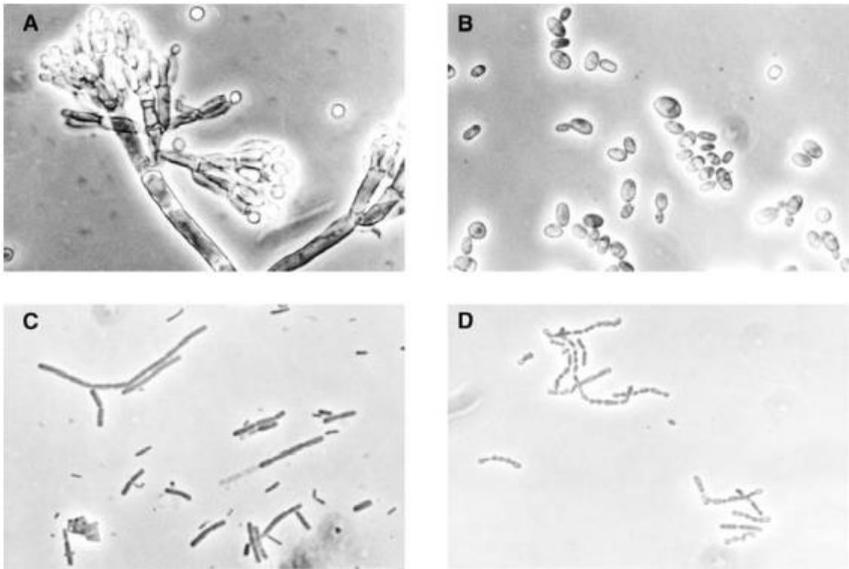
Mikrobiologi adalah ilmu yang mencakup studi tentang terjadinya signifikansi bakteri, jamur, protozoa dan ganggang yang merupakan awal dan akhir dari rantai makanan yang rumit di mana semua kehidupan bergantung. Rantai makanan ini dimulai di mana pun organisme berfotosintesis sehingga mendapatkan energi cahaya untuk mensintesis karbon dioksida, air dan garam mineral yang membentuk protein, lemak, dan karbohidrat yang digunakan semua makhluk hidup lainnya untuk makanan.

11.2 Morfologi dan struktur mikroorganisme dalam makanan

11.2.1 Ragi dan kapang

Ragi dan kapang bersifat eukariotik, tetapi ragi bersifat uniseluler sedangkan jamur bersifat multiseluler. Sel eukariotik umumnya jauh lebih besar (20 hingga 100 μm) daripada sel prokariotik (1 hingga 10 μm). Sel eukariotik memiliki dinding sel yang kaku dan membran plasma yang tipis. Dinding sel tidak memiliki mukopeptida, kaku, dan terdiri dari karbohidrat. Membran plasma mengandung sterol. Sitoplasma bersifat mobile (streaming) dan mengandung organel (mitokondria, vakuola) yang terikat membran. Ribosom adalah tipe 80S dan melekat pada retikulum endoplasma. DNA bersifat linier (kromosom), mengandung histones, dan tertutup dalam membran. Pembelahan sel dilakukan dengan mitosis (misal, Reproduksi aseksual); Reproduksi seksual, disebut dengan meiosis.





Gambar 14.1 Foto morfologi mikroba.

(A) Kapang: Konidial kepala *Penicillium* sp. menunjukkan konidiofor (tangkai) dan konidia. (B) Ragi: *Saccharomyces cerevisiae*, beberapa membawa tunas.

(C) Bakteri berbentuk batang: *Bacillus* sp., tunggal dan rantai.

(D) Bakteri berbentuk bola: *Streptococcus* sp., rantai.

Sumber : (Ray and Bhunia, 2013)

Dinding sel terdiri dari selulosa, kitin, atau keduanya. Jamur (thallus) terdiri dari sejumlah besar filamen yang disebut hifa. Agregat hifa disebut miselium. Tanda hubung dapat berupa nonseptate, septate-uninucleate, atau septate-multinucleate. Tanda hubung bisa bersifat vegetatif atau reproduksi. Hypha reproduksi biasanya memanjang di udara dan membentuk eksospora, baik bebas (konidia) atau dalam karung (sporangium). Bentuk, ukuran, dan warna spora digunakan untuk klasifikasi taksonomi. Ragi tersebar luas di alam. Sel-selnya berbentuk oval, bulat, atau memanjang, berukuran sekitar $5-30 \times 2-10 \mu\text{m}$. Mereka nonmotil. Dinding sel mengandung polisakarida (glikan), protein, dan lipid. Dinding dapat memiliki bekas luka, menunjukkan situs pemula. Membran berada di bawah dinding. Sitoplasma memiliki penampilan granular halus untuk ribosom dan organel (Ray and Bhunia, 2013).

11.2.2 Sel Bakteri

Bakteri bersifat uniseluler, sebagian besar berukuran sekitar $0,5-1,0 \times 2,0-10 \mu\text{m}$, dan memiliki tiga bentuk morfologis: bulat (cocci), berbentuk

batang (basil), dan melengkung (koma). Berdasarkan Gram-stain, sel bakteri dikelompokkan sebagai Gram-negatif atau Gram-positif. Sel gram negatif memiliki dinding sel kompleks yang mengandung membran luar (OM) dan membran tengah (MM). OM terdiri dari lipopolisakarida (LPS), lipoprotein (LP), dan fosfolipid. Molekul fosfolipid disusun dalam bilayer, dengan bagian hidrofobik (asam lemak) di dalam dan bagian hidrofilik (gliserol dan fosfat) di luar. Molekul LPS dan LP tertanam dalam lapisan fosfolipid. OM memiliki fungsi transportasi dan penghalang yang terbatas. Resistensi bakteri Gram-negatif terhadap banyak enzim (lisozim, yang menghidrolisis mukopeptida), molekul hidrofobik (SDS dan garam empedu), dan antibiotik (penisilin) disebabkan oleh sifat penghalang OM. Molekul LPS juga memiliki sifat antigenik. Di bawah OM adalah MM, terdiri dari lapisan tipis peptidoglikan atau mukopeptida yang tertanam dalam bahan periplasmik yang mengandung beberapa jenis protein. Di bawah bahan periplasmik adalah plasma atau membran dalam, terdiri dari bilayer fosfolipid di mana banyak jenis protein tertanam.

Sel gram positif memiliki dinding sel tebal yang terdiri dari beberapa lapisan mukopeptida (bertanggung jawab atas struktur kaku yang tebal) dan dua jenis asam teichoic (Gambar 2.2). Beberapa spesies juga memiliki lapisan di atas permukaan sel, yang disebut surface layer protein (SLP). Molekul asam teichoic dinding terkait dengan lapisan mukopeptida, dan molekul asam lipoteichoic terkait dengan mukopeptida dan membran sitoplasma. Asam teichoic bermuatan negatif (karena gugus fosfat) dan dapat mengikat atau mengatur pergerakan molekul kationik masuk dan keluar sel. Asam teichoic memiliki sifat antigenik dan dapat digunakan untuk mengidentifikasi bakteri Gram-positif secara serologis. Karena kompleksitas dalam komposisi kimia dinding sel, bakteri Gram-positif dianggap telah berevolusi sebelum bakteri Gram-negatif (Ray and Bhunia, 2013).

11.2.3 Virus

Virus dianggap sebagai entitas non-seluler. Virus bakteri (bakteriofag) penting dalam mikrobiologi makanan dimana tersebar luas di alam. Virus terdiri dari asam nukleat (DNA atau RNA) dan beberapa protein. Protein membentuk kepala (mengelilingi asam nukleat) dan ekor. Bakteriofag menempel pada permukaan sel bakteri inang dan menginokulasi asam nukleatnya ke dalam sel inang. Selanjutnya, banyak terbentuk di dalam sel



inang dan dilepaskan di luar setelah lisis sel. Beberapa virus patogen telah diidentifikasi sebagai penyebab penyakit bawaan makanan pada manusia. Namun, karena virus sulit dideteksi dalam makanan, keterlibatan virus patogen lainnya dalam penyakit bawaan makanan tidak diketahui dengan benar. Dua virus terpenting yang terlibat dalam wabah bawaan makanan adalah hepatitis A dan virus mirip Norwalk. Keduanya adalah virus RNA untai tunggal. Hepatitis A adalah virus enterik polihedral kecil, telanjang, berdiameter sekitar 30 nm. Untai RNA tertutup dalam kapsid (Ray and Bhunia, 2013).

11.3 Mikroorganisme dan makanan

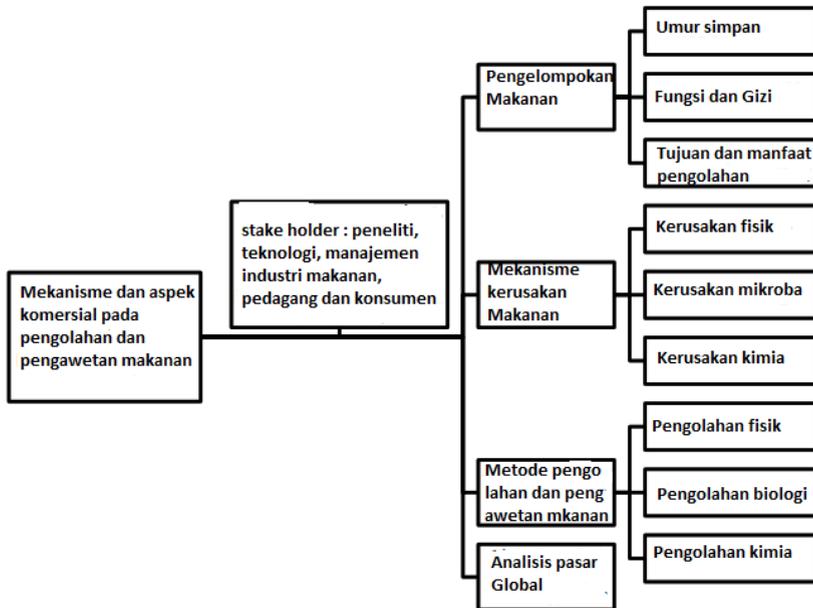
Makanan yang kita makan selalu mengandung berbagai jenis mikroba baik menguntungkan maupun merugikan dipengaruhi oleh tempat tumbuh, bertahan hidup dan berinteraksi dalam makanan dari waktu ke waktu. Mikroorganisme yang ada berasal dari mikroflora alami dari bahan baku dan organisme yang diperkenalkan selama panen, pemrosesan, penyimpanan dan distribusi. Hal-hal tersebut dipengaruhi oleh sifat-sifat makanan, lingkungan penyimpanannya, sifat-sifat organisme itu sendiri dan efek pemrosesan. Dalam beberapa contoh, mikroorganisme memanifestasikan kehadirannya dalam beberapa cara: (i) mereka dapat menyebabkan pembusukan; (ii) mereka dapat menyebabkan penyakit bawaan makanan; (iii) mereka dapat mengubah sifat makanan dengan cara yang bermanfaat seperti fermentasi makanan (Adams and MO, 2005).

11.3.1 Pengawetan Makanan untuk mencegah pembusukan

Makanan adalah zat organik yang dikonsumsi untuk tujuan gizi. Nilai gizi, warna, tekstur, dan daya konsumsi makanan rentan terhadap pembusukan. Pengawetan makanan didefinisikan sebagai proses atau teknik yang dilakukan untuk menjaga faktor internal dan eksternal yang dapat menyebabkan pembusukan makanan. Tujuan utama pengawetan makanan adalah untuk meningkatkan umur simpannya dengan mempertahankan nilai nutrisi, warna, tekstur, dan rasa asli. Teknik pengawetan makanan konvensional seperti pengeringan, pembekuan, pendinginan, pasteurisasi, dan pengawetan bahan kimia digunakan secara komprehensif di seluruh dunia. Kategori makanan berdasarkan umur simpan. Pembusukan makanan adalah proses alami; melalui proses ini, makanan secara bertahap kehilangan warna, tekstur, rasa, kualitas nutrisinya, dan dapat dimakan. Susu dan produk susu, daging, unggas, telur,



dan makanan laut adalah contoh makanan yang mudah rusak. Pembusukan mikroba adalah sumber umum pembusukan makanan, yang terjadi karena aksi mikroorganisme. Mikroorganisme yang terlibat dalam pembusukan makanan dapat dibagi menjadi tiga kategori utama, yaitu jamur, ragi, dan bakteri. Ada faktor intrinsik dan ekstrinsik yang dapat mempengaruhi pembusukan mikroba dalam makanan. Sifat intrinsik makanan menentukan umur simpan yang diharapkan atau daya tahan makanan dan juga mempengaruhi jenis dan tingkat pembusukan mikroba. Enzim endogen, substrat, sensitivitas cahaya, dan oksigen adalah sifat intrinsik utama yang terkait dengan pembusukan makanan. Untuk mengontrol kualitas dan keamanan makanan, sifat-sifat ini dapat dikontrol selama formulasi produk makanan. Faktor intrinsik pembusukan makanan meliputi pH, aktivitas air, kandungan nutrisi, dan potensial oksidasi-reduksi. Faktor ekstrinsik pembusukan makanan termasuk kelembaban relatif, suhu, kehadiran, dan aktivitas mikroba lainnya (Amit *et al.*, 2017).



Gambar 14.1. kajian mekanisme dan aspek komersial pengawetan dan pengolahan pangan
 Sumber : (Amit *et al.*, 2017)

11.3.2 Keamanan makanan

Makanan pada dasarnya bersifat biologis. Hal ini mampu mendukung pertumbuhan mikroba yang berpotensi menjadi sumber penyakit bawaan

makanan. Virus lebih bertanggung jawab atas sebagian besar penyakit bawaan makanan, tetapi rawat inap dan kematian yang terkait dengan infeksi bawaan makanan disebabkan oleh agen bakteri. Penyakit berkisar dari gastroenteritis ringan hingga sindrom neurologis, hati, dan ginjal yang disebabkan oleh toksin dari mikroba penyebab penyakit. Agen bakteri bawaan makanan adalah penyebab utama penyakit bawaan makanan yang parah dan fatal. Lebih dari 90% penyakit keracunan makanan disebabkan oleh spesies *Staphylococcus*, *Salmonella*, *Clostridium*, *Campylobacter*, *Listeria*, *Vibrio*, *Bacillus*, dan *E. coli*. Misalnya, di AS dan Prancis, dalam dekade terakhir abad ke-20, *Salmonella* adalah penyebab paling sering dari penyakit bawaan makanan bakteri terhitung 5.700 sampai 10.200 kasus, diikuti oleh *Campylobacter* untuk 2600 hingga 3500 kasus dan *Listeria* sebanyak 304 kasus (Fung, Wang and Menon, 2018).

Patogen dan racun mikroba yang biasa ditemui termasuk kategori berikut : *Salmonella*, *Campylobacter*, dan *Enterohemorrhagic Escherichia coli* (EHE coli) adalah salah satu patogen bawaan makanan yang paling umum. Gejalanya meliputi demam, sakit kepala, mual, muntah, sakit perut, dan diare. Sumber salmonellosis meliputi telur, unggas, dan produk hewani lainnya. *Campylobacter* disebabkan oleh susu mentah, unggas mentah atau setengah matang dan minum air. EHE coli dikaitkan dengan susu yang tidak dipasteurisasi, daging yang kurang matang, serta buah dan sayuran segar. Infeksi *Listeria* meningkatkan risiko abortus spontan dan kelahiran mati. *Listeria* ditemukan dalam produk susu yang tidak dipasteurisasi dan berbagai makanan siap saji dan dapat tumbuh pada suhu dingin (refrigerator). *Vibrio cholerae* menginfeksi orang melalui air atau makanan yang terkontaminasi. Gejalanya meliputi sakit perut, muntah, dan diare berair yang banyak, yang dapat menyebabkan dehidrasi parah dan kemungkinan kematian.

Deteksi patogen bawaan makanan yang cepat dan akurat sangat penting untuk bio-surveilans kesehatan masyarakat untuk mencegah infeksi bawaan makanan dan memastikan keamanan makanan. Keamanan pangan dan gizi berhubungan erat. Makanan yang tidak aman menciptakan lingkaran setan penyakit dan malnutrisi yang mempengaruhi bayi, anak kecil, lansia dan orang sakit. Karena rantai pasokan pangan melintasi berbagai perbatasan nasional dan regional, kolaborasi antara pemerintah, produsen, pemasok, distributor, dan konsumen pada akhirnya akan memastikan keamanan pangan di abad ke-21.



11.3.3 Fermentasi

Fermentasi adalah salah satu metode pengolahan makanan tertua menjadi bentuk yang cocok untuk pengawetan (Ditu and Gheorghe, 2017). Hal-hal penting dalam proses fermentasi meliputi : senyawa organik tertentu, metabolit yang berbeda, berasal dari substrat yang dapat difermentasi, berfungsi sebagai donor dan akseptor elektron. fermentasi memainkan setidaknya lima peran dalam pengolahan makanan: (1) pengayaan makanan manusia melalui pengembangan beragam rasa, aroma, dan tekstur dalam makanan; (2) pengawetan sejumlah besar makanan melalui asam laktat, alkohol, asam asetat, fermentasi alkali, dan fermentasi garam tinggi; (3) pengayaan substrat makanan secara biologis dengan vitamin, protein, asam amino esensial, dan asam lemak esensial; (4) detoksifikasi selama pemrosesan fermentasi makanan; dan (5) penurunan waktu memasak dan kebutuhan bahan bakar (Steinkraus, 2002).

Karakteristik fungsional bakteri dalam makanan fermentasi terdiri dari aktivitas probiotik, aktivitas bakteriostatik, antioksidan, sintesis biopeptida, sifat fibrinolitik, sintesis asam poli-glutamat dan juga dapat mendegradasi beberapa senyawa antinutrisi. Probiotik yang disintesis oleh mikroorganisme hidup memberikan manfaat bagi inang. Mikroorganisme probiotik yang paling umum milik genus *Lactobacillus*, *Enterococcus*, dan *Bifidobacterium* dan kelompok bakteri asam laktat (BAL). Sejumlah besar bakteri menghasilkan senyawa dengan efek menguntungkan atau merugikan. Produk susu fermentasi memiliki efek menguntungkan pada kesehatan manusia, seperti pencegahan kanker, penyakit kardiovaskular, dan periodontitis.

Sayuran fermentasi yang dikenal sebagai kimchi memiliki banyak manfaat kesehatan, seperti pencegahan kanker dan obesitas, penurunan kadar kolesterol, promosi sistem kekebalan tubuh (Park et al., 2014), dan pencegahan diare dan sembelit. Apel adalah buah dengan efek positif pada atribut kesehatan manusia karena kandungan polifenolnya yang memiliki sifat antioksidan, mengurangi risiko penyakit kronis, seperti penyakit kardiovaskular. Pomace apel yang difermentasi diperoleh dari fermentasi *solid state* pomace apel. Konsentrasi ragi dan kualitas nutrisi protein meningkat selama fermentasi pomace, sebagai akibat dari pertumbuhan mikroba.

11.4 Pengaruh Aktivitas Air (Aw) pada Mikroba

Aktivitas air (A) merupakan faktor utama dalam mencegah atau membatasi pertumbuhan mikroba. Pengaruh pada mikroorganisme vegetatif



dan spora adalah salah satu yang paling kompleks. . Kondisi lingkungan yang buruk, seperti perubahan yang menyebabkan stres osmotik, dapat menimbulkan respon sporulasi pada mikroorganisme pembentuk spora, tetapi endospora bakteri dan beberapa spora jamur memiliki persyaratan khusus, seperti optimum nilai untuk memulai perkecambahannya. Aktivitas air telah menjadi salah satu sifat intrinsik yang paling penting dalam memprediksi kelangsungan hidup mikroorganisme dalam makanan karena pengaruh langsungnya terhadap kualitas dan stabilitas produk.

Tabel 14.1 Minimum Aw untuk pertumbuhan mikroorganisme

Aw	Penghambatan mikroorganisme
1,00–0,95	Pseudomonas, Escherichia, Proteus, Shigella, Klebsiella, Basil, Clostridium perfringens, C.botulinum dan beberapa ragi
0,95–0,91	Salmonella, Vibrio parahaemolyticus, Clostridium botulinum, Listeria monocytogenes, Bacillus cereus
0,91–0,87	Staphylococcus aureus (aerobik), ragi (Kandida, Torulopsis, Hansenula), Mikrokokus)
0,87–0,80	kapang (mycotoxigenic penicillia), Staphylococcus aureus, Saccharomyces (bailii) ,Debaryomyces
0,80–0,75	bakteri halofilik, mycotoxigenic aspergilli
0,75–0,65	Jamur xerofilik (Aspergillus chevalieri, A. candidus, Wallemia sebi), Saccharomyces bisporus)
0,65–0,61	Ragi osmofilik (Sacharomyces rouxii), beberapa cetakan (Aspergillus echinulatus, Monascus bisporus)
< 0,61	Tidak ada proliferasi mikroba

Sumber : (Tapía, Alzamora and Chirife, 2020)

Minimal Aw untuk pertumbuhan bervariasi tergantung pada jenisnya zat terlarut yang digunakan dalam media pertumbuhan. Mayoritas bakteri pembusuk akan tumbuh hingga sekitar Aw 0,95. Ragi sangat suka tumbuh pada makanan tinggi gula. Berikut disajikan perkiraan nilai aw beberapa makanan di kisaran 0,86-0,99.

Tabel 14.2 Perkiraan nilai aw beberapa makanan di kisaran 0,86-0,99

Produk makanan	Perkiraan nilai Aw
Makanan segar: Susu, sayuran, buah-buahan, dan daging	0,97–0,99
Produk kalengan	0,97–0,98



Produk makanan	Perkiraan nilai Aw
Yogurt, pasta tomat	0,98
Berbagai macam keju	0,97
Mayonaise	0,95
Margarin	0,94
Minyak zaitun	0,93-0,95
Mie basah	0,92-0,94

Sumber : (Tapía, Alzamora and Chirife, 2020)

11.5 Mikrobiologi Pengawetan Makanan

Dalam bab ini kita akan mensurvei teknik utama pengawetan makanan.

Tabel 14.3 Prosedur pengawetan makanan

Prosedur	Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan atau kelangsungan hidup
Pendinginan, distribusi dingin, dan penyimpanan	Suhu rendah untuk menghambat pertumbuhan
Pembekuan, distribusi dan penyimpanan beku	Suhu rendah dan pengurangan aktivitas air untuk mencegah pertumbuhan
Pengeringan, pengawetan, dan pelestarian	Pengurangan aktivitas air yang cukup untuk menunda atau mencegah pertumbuhan
Kemasan 'atmosfer modifikasi' yang vakum dan bebas oksigen	Kandungan oksigen rendah untuk menghambat aerob ketat dan menunda pertumbuhan anaerob fakultatif
Kemasan 'modified atmosphere' yang diperkaya karbon dioksida	Penghambatan spesifik beberapa mikroorganisme oleh karbon dioksida
Penambahan asam	nilai pH diturunkan dan penambahan asam tertentu
Fermentasi laktat	nilai pH diturunkan dengan pemberian mikroba
Emulsifikasi	Kompartementalisasi dan keterbatasan nutrisi dalam makanan emulsi air dalam minyak
Penambahan bahan pengawet	Penghambatan kelompok mikroorganisme tertentu
Pasteurisasi dan apertisasi	Pengiriman panas yang cukup untuk menonaktifkan mikroorganisme target ke tingkat yang diinginkan
Penerapan tekanan hidrostatik tinggi	Tekanan-inaktivasi bakteri vegetatif, ragi dan jamur

Sumber : (Adams and MO, 2005)

11.5.1 Pasteurisasi dan Apertisasi

Pasteurisasi, istilah yang diberikan untuk proses panas biasanya dalam kisaran 60-80 °C dan diterapkan hingga beberapa menit, digunakan untuk dua tujuan. Pertama adalah penghapusan patogen atau patogen spesifik yang terkait dengan suatu produk. Jenis pasteurisasi ini seringkali merupakan persyaratan hukum yang diperkenalkan sebagai tindakan kesehatan masyarakat ketika suatu produk telah sering terlibat sebagai kendaraan penyakit. Contoh penting adalah susu, telur cair curah (lihat Bagian 7.10.5) dan campuran es krim, yang semuanya memiliki catatan keamanan yang jauh lebih baik sebagai hasil dari pasteurisasi. Alasan kedua untuk mempasteurisasi suatu produk adalah untuk menghilangkan sebagian besar organisme pembusukan potensial, sehingga memperpanjang umur simpannya. Pasteurisasi diperkenalkan untuk meningkatkan keamanan, efeknya bisa bermanfaat dua kali lipat. Proses ini tidak dapat membedakan antara patogen target dan organisme lain dengan sensitivitas panas yang sama sehingga pasteurisasi dapat menghancurkan *Salmonella* dan juga akan meningkatkan umur simpan. Produk yang dipasteurisasi bertujuan untuk meningkatkan kualitas pengawetan produk dan aman secara intrinsik karena faktor lain seperti pH rendah.

Apertisasi mengacu pada proses di mana satu-satunya organisme yang bertahan dari pemrosesan adalah non-patogen dan tidak mampu berkembang di dalam produk dalam kondisi penyimpanan normal. Akibatnya, produk yang diapertisasi memiliki umur simpan yang lama bahkan ketika disimpan pada suhu sekitar. Istilah ini diciptakan sebagai alternatif dari deskripsi yang masih banyak digunakan secara komersial steril yang keberatan dengan alasan bahwa sterilitas bukanlah konsep relatif; suatu bahan steril atau tidak. Makanan yang diawetkan atau steril secara komersial belum tentu steril - sepenuhnya bebas dari organisme yang layak. Namun bebas dari organisme yang mampu tumbuh dalam produk dalam kondisi penyimpanan normal. Jadi untuk makanan kaleng di daerah beriklim sedang, tidak masalah jika spora termofil yang layak hadir karena organisme tidak akan tumbuh pada suhu sekitar yang berlaku.

11.5.2 Ultrahigh Pressure (UHP)

Pada umumnya spora bakteri hanya dapat dibunuh dengan tekanan yang sangat tinggi (>1000 MPa). Peningkatan tekanan hidrostatik antara 30 dan 50MPa dapat mempengaruhi ekspresi gen dan sintesis protein. Perawatan Ultrahigh Pressure (UHP) telah dikenal sebagai teknik pengawetan potensial



selama hampir lebih dari satu abad. Berbagai produk dengan tekanan telah ada di pasar Jepang selama beberapa tahun, termasuk olahan buah, jus buah, kue beras, dan cumi mentah. Di Prancis, jus buah dengan tekanan tersedia. Berbagai produk dengan tekanan telah ada di pasar Jepang selama beberapa tahun, termasuk olahan buah, jus buah, kue beras, dan cumi mentah. Di Prancis, jus buah dengan tekanan tersedia. Cara kerja tekanan pada spora bakteri masih menjadi spekulasi. Spora bakteri dibunuh secara langsung oleh tekanan yang lebih tinggi dari 1000MPa. Namun, spora sensitif terhadap tekanan antara 50 dan 300MPa (Smelt, 1998)

11.5.3 Penyimpanan suhu rendah - dingin dan beku

Makanan dingin adalah makanan yang disimpan pada suhu di atas titik bekunya, biasanya 0-5°C. Penyimpanan dingin dapat mengubah sifat pembusukan dan tingkat di mana itu terjadi. Terjadi perubahan kualitatif dalam karakteristik pembusukan, karena suhu rendah memberikan efek selektif yang mencegah pertumbuhan dari mesophiles dan mengarah ke mikroflora yang didominasi oleh psychrotrophs. Hal ini dapat dilihat pada kasus susu mentah yang pada zaman churn susu dan koleksi pinggir jalan memiliki mikroflora pembusukan yang sebagian besar terdiri dari laktokokus mesofilik yang akan mengkontaminasi susu. Suhu rendah juga dapat menyebabkan perubahan fisiologis pada mikroorganisme yang memodifikasi atau memperburuk karakteristik pembusukan. Dua contoh tersebut adalah peningkatan produksi pigmen fenazin dan karotenoid pada beberapa organisme pada suhu rendah dan stimulasi produksi polisakarida ekstraseluler di *Leuconostoc* spp. Dalam kebanyakan kasus, perubahan tersebut mungkin mewakili gangguan metabolisme karena koefisien termal yang berbeda dan energi aktivasi dari berbagai reaksi kimia yang terdiri dari metabolisme mikroba. Meskipun psikrotrof dapat tumbuh dalam makanan dingin, mereka melakukannya hanya relatif lambat sehingga timbulnya pembusukan tertunda. Dalam hal ini perubahan suhu dalam kisaran suhu dingin dapat memiliki efek yang nyata. Misalnya, waktu generasi untuk satu pseudomonad yang diisolasi dari ikan adalah 6,7 jam pada suhu 5°C dibandingkan dengan 26,6 jam pada suhu 0°C. Di mana organisme ini merupakan kontributor penting untuk pembusukan, perubahan kecil suhu akan memiliki implikasi besar untuk umur simpan. Waktu penyimpanan fillet haddock dan cod telah ditemukan berlipat ganda jika suhu penyimpanan menurun dari 2,8 °C menjadi -0,3 °C.



Karena pendinginan bukanlah proses bakterisidal, penggunaan bahan baku berkualitas mikrobiologis yang baik dan penanganan higienis adalah persyaratan utama untuk produksi makanan dingin yang aman. Mesophiles yang bertahan dari pendinginan, meskipun dalam keadaan terluka, dapat bertahan dalam makanan untuk waktu yang lama dan dapat pulih dan melanjutkan pertumbuhan jika kondisinya kemudian menjadi menguntungkan. Dengan demikian, pendinginan akan mencegah peningkatan risiko dari patogen mesofilik, tetapi tidak akan menjamin eliminasi. Namun ada patogen yang akan terus tumbuh pada suhu dingin tertentu dan peran kunci pendinginan dalam industri makanan modern telah memusatkan perhatian khusus pada hal ini. Beberapa makanan tidak dapat menerima penyimpanan dingin karena terjadinya *chilling injury* di mana suhu rendah mengakibatkan kerusakan jaringan yang menyebabkan cacat visual dan kerusakan mikrobiologis yang dipercepat. Buah-buahan tropis sangat rentan terhadap bentuk kerusakan ini.

11.5.4 Pembekuan

Pembekuan adalah teknik yang paling sukses untuk pengawetan makanan jangka panjang karena kandungan nutrisi sebagian besar dipertahankan dan produk menyerupai bahan segar lebih dekat daripada makanan yang diapertisasi. Makanan mulai membeku di suatu tempat di kisaran -0,5 hingga -3 °C, titik beku lebih rendah daripada air murni karena zat terlarut yang ada. Ketika air diubah menjadi es selama pembekuan, konsentrasi zat terlarut dalam air yang tidak beku meningkat, mengurangi titik bekunya lebih jauh sehingga bahkan pada suhu yang sangat rendah, misalnya -60 °C, sebagian air akan tetap tidak beku. Suhu yang digunakan dalam penyimpanan beku umumnya kurang dari -18 °C. Pada suhu ini tidak ada pertumbuhan mikroba yang mungkin, meskipun aktivitas mikroba residual atau enzim endogen seperti lipas dapat bertahan dan akhirnya merusak suatu produk. Pada buah-buahan dan sayuran dengan merebus sebelum dibekukan bertujuan untuk menonaktifkan polifenol oksidase endogen yang sebaliknya akan menyebabkan produk berubah warna selama penyimpanan. Freezer burn adalah cacat kualitas non-mikrobiologis lain yang mungkin timbul pada makanan beku, di mana perubahan warna permukaan terjadi karena sublimasi air dari produk dan transfernya ke permukaan yang lebih dingin di dalam freezer. Ini dapat dicegah dengan membungkus produk dalam bahan kedap air atau dengan melapisi dengan lapisan es. Suhu rendah bukan satu-satunya faktor penghambat yang



beroperasi dalam makanan beku; Suhu beku memiliki aktivitas air rendah yang dihasilkan oleh pembuangan air dalam bentuk es. Ditinjau dari kualitas mikrobiologis, efek ini hanya signifikan ketika makanan beku disimpan pada suhu di mana pertumbuhan mikroba dimungkinkan (di atas -10°C). Dalam situasi ini, organisme yang tumbuh pada suatu produk bukanlah organisme yang biasanya terkait dengan pembusukannya pada suhu dingin tetapi ragi dan jamur yang keduanya bersifat psikrotrofik dan toleran terhadap berkurangnya aktivitas air. Dengan demikian daging dan unggas disimpan pada -5 hingga -10°C perlahan-lahan dapat rusak dengan awalnya muncul cacat permukaan seperti bintik-bintik hitam karena pertumbuhan cetakan *Cladosporium herbarum*, bintik-bintik putih yang disebabkan oleh *Sporotrichum carnis* atau pertumbuhan berbulu *Thamnidium elegans*.

Pencairan makanan beku adalah proses yang lebih lambat daripada pembekuan. Bahkan dengan bahan ukuran sedang bagian luar produk akan berada pada suhu pencairan beberapa saat sebelum interior. Jadi dengan suhu pencairan yang tinggi, mesophiles mungkin tumbuh di permukaan suatu produk. sementara interiornya masih beku. Pencairan lambat pada suhu yang lebih rendah umumnya lebih disukai. Ini memang memiliki beberapa efek mematikan karena sel-sel mikroba mengalami kondisi buruk dalam kisaran 0 hingga -10°C lebih lama, tetapi juga akan memungkinkan psikrotrof untuk tumbuh. Asalkan produk tidak mengalami kontaminasi setelah pencairan, mikroflora yang berkembang akan berbeda dari pada bahan segar karena efek mematikan selektif dari pembekuan. Bakteri asam laktat sering bertanggung jawab atas pembusukan sayuran yang dicairkan sedangkan mereka umumnya hanya terdiri dari sekitar 1% dari mikroflora pada produk dingin segar yang sebagian besar gram-negatif. Pembekuan dan pencairan mungkin membuat beberapa makanan lebih rentan terhadap serangan mikrobiologis karena penghancuran penghalang antimikroba dalam produk dan kondensasi, tetapi makanan yang dicairkan tidak rusak lebih cepat daripada yang belum dibekukan. Perlakuan terhadap pembekuan ulang produk yang telah dicairkan menyebabkan penurunan kualitas tekstur sehingga terjadi risiko mikrobiologis.

11.6 Aplikasi nanoteknologi dalam mikrobiologi pangan

Perubahan gaya hidup konsumen modern saat ini telah menyebabkan peningkatan permintaan akan makanan siap saji atau olahan minimal. Konsumen menuntut produk yang aman secara mikrobiologis, segar,



bermutu, hygiene, stabil pada penyimpanan, nyaman diproduksi menggunakan teknologi ramah lingkungan. Namun demikian, jenis produk ini rentan terhadap serangan pembusukan dan mikroorganisme patogen selama pemrosesan dan distribusi. Proses pengolahan seperti mengupas, memotong, atau mencuci, jika tidak dilakukan dengan benar, dapat menjadi penyebab masalah kesehatan masyarakat, terutama jika makanan ini ditangani dan didistribusikan dalam kondisi yang tidak tepat. Juga, kontaminasi mikroba telah menyebabkan infeksi patogen dan nutrisi yang buruk terkait dengan menyapah makanan. Dengan demikian, menangani kerusakan bakteri adalah salah satu subjek paling penting dalam produksi, pemrosesan, transportasi, dan penyimpanan makanan. Dalam hal ini, nanopartikel antimikroba memiliki efek yang menjanjikan dalam mencegah kerusakan makanan dan memperpanjang umur simpan makanan (Jaiswal, Shankar and Rhim, 2019). Berbagai jenis pengisi nanosized tergantung pada ukuran (kurang dari 100 nm) dan bentuk (nanopartikel, nanofibrils, nanocubes, nanoplates, nanorods, dan nanotubes) telah digunakan untuk meningkatkan kinerja film berbasis biopolimer untuk aplikasi kemasan makanan. Nanoteknologi berfokus pada karakterisasi, pembuatan dan manipulasi struktur biologis dan non biologis yang lebih kecil dari 100 nm. Aplikasi utama nanoteknologi dalam program keamanan pangan adalah efek antimikroba dari nanopartikel dan nanosensor untuk mendeteksi patogen dan mikroorganisme pencemar (Nasr, 2019).

Efek antimikroba dari nanopartikel

Nanokapsulasi dapat digunakan untuk menerapkan aktivitas antimikroba dengan nanoteknologi. enkapsulasi minyak atsiri ke dalam sistem pengiriman nanometrik untuk dimasukkan ke dalam jus buah meningkatkan aktivitas antimikroba tanpa merubah kualitas mutu produk. Enkapsulasi asam benzoat (1.100 µg/mL) dalam nanopartikel asam polilaktat-koglikolat monocytogenes, menghambat *Listeria monocytogene*, *Salmonella typhimurium* dan *Escherichia coli* pada daging ayam mentah dan matang.

Nanoteknologi dalam kemasan makanan

Bahan kemasan makanan nano dapat memperpanjang umur makanan, meningkatkan keamanan makanan, waspada konsumen bahwa makanan terkontaminasi atau busuk, memperbaiki robekan pada kemasan, dan bahkan melepaskan pengawet untuk memperpanjang umur makanan dalam kemasan dengan meningkatkan sifat penghalang. Bahan nano kemasan makanan



mengumpulkan aplikasi sensor nano untuk deteksi mikroba dan aktivitas antimikroba partikel nano.

Toksikologi dan efek negatif dari nanopartikel

Penerapan nanoteknologi dalam makanan telah menimbulkan kekhawatiran bahwa konsumsi bahan dan aditif berukuran nano melalui makanan dan minuman dapat menimbulkan bahaya tertentu bagi kesehatan konsumen. Ketika nanopartikel diterapkan ke dalam bahan kemasan makanan, kontak langsung dengan makanan hanya mungkin terjadi setelah migrasi partikel nano.



DAFTAR PUSTAKA

- Adams, M. and MO, M. (2005) 'Food Microbiology', in *Handbook Food Microbiology*, p. 184.
- Amit, S.K. *et al.* (2017) 'A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing', *Agriculture and Food Security*, 6(1), pp. 1–22. doi:10.1186/s40066-017-0130-8.
- Ditu, L.-M. and Gheorghe, I. (2017) *Introduction in Soft Chemistry and Food Fermentation, Soft Chemistry and Food Fermentation*. Elsevier Inc. doi:10.1016/b978-0-12-811412-4.00001-1.
- Fung, F., Wang, H.S. and Menon, S. (2018) 'Food safety in the 21st century', *Biomedical Journal*, 41(2), pp. 88–95. doi:10.1016/j.bj.2018.03.003.
- Jaiswal, L., Shankar, S. and Rhim, J.W. (2019) *Applications of nanotechnology in food microbiology*. 1st edn, *Methods in Microbiology*. 1st edn. Elsevier Ltd. doi:10.1016/bs.mim.2019.03.002.
- Nasr, N.F. (2019) 'Applications of nanotechnology in food microbiology', *Methods in Microbiology*, 46(April), pp. 43–60. doi:10.1016/bs.mim.2019.03.002.
- Ray, B. and Bhunia, A. (2013) *Fundamental Food Microbiology, Fundamental Food Microbiology*. doi:10.1201/b16078.
- Smelt, J.P.P.M. (1998) 'Recent advances in the microbiology of high pressure processing', *Trends in Food Science and Technology*, 9(4), pp. 152–158. doi:10.1016/S0924-2244(98)00030-2.
- Tapía, M.S., Alzamora, S.M. and Chirife, J. (2020) 'Effects of Water Activity (aw) on Microbial Stability as a Hurdle in Food Preservation', *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*, pp. 323–355. doi:10.1002/9781118765982.ch14.

