

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/383205846>

# MIKROBIOLOGI: Memahami Dunia Mikroskopis

Book · April 2024

---

CITATIONS  
0

READS  
1,037

2 authors, including:



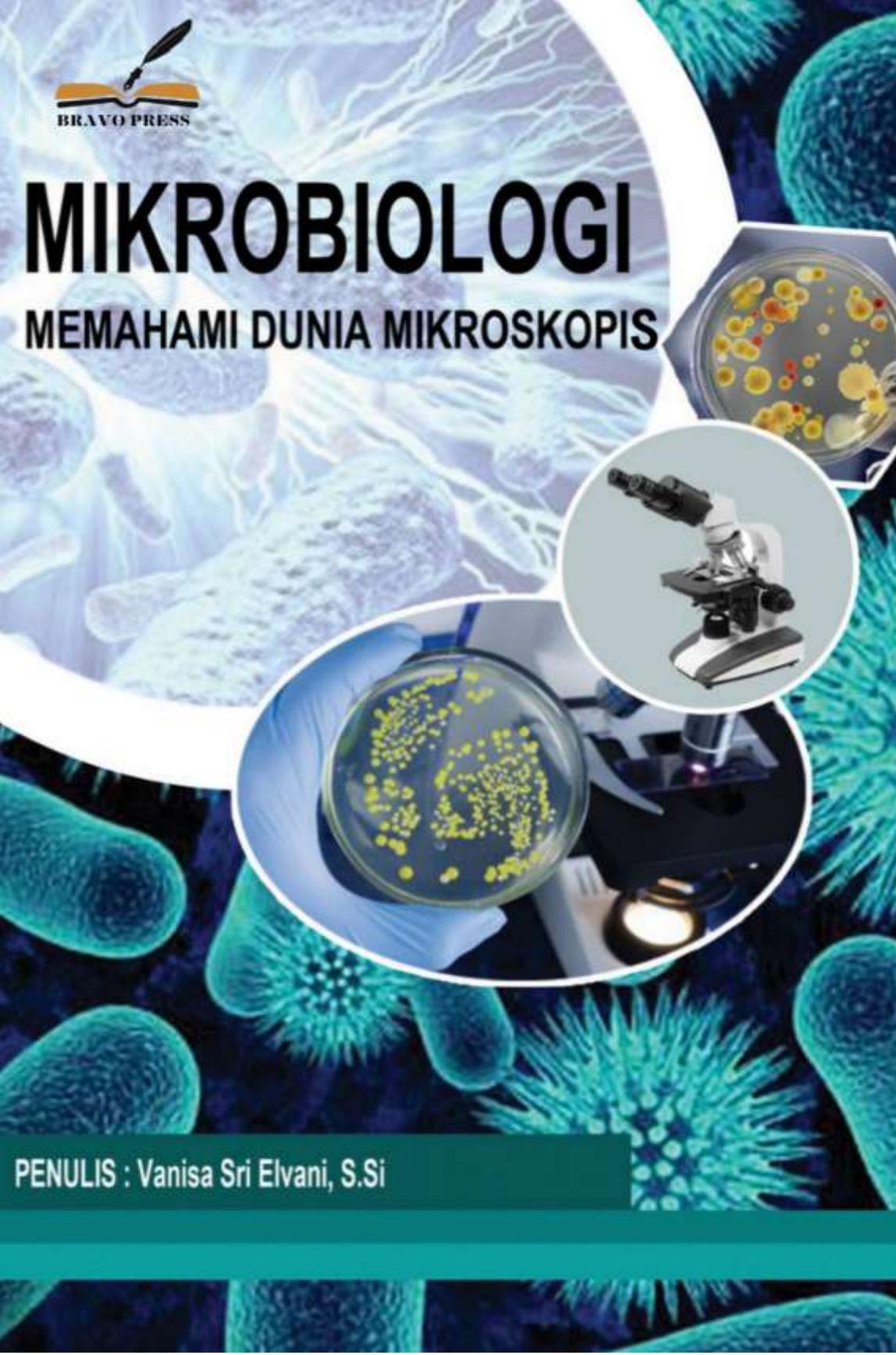
Bravo Press  
Publisher

35 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE

# **MIKROBIOLOGI**

## **MEMAHAMI DUNIA MIKROSKOPIS**



**PENULIS : Vanisa Sri Elvani, S.Si**

# **MIKROBIOLOGI:**

## **Memahami Dunia Mikroskopis**

**Penulis:**

**Vanisa Sri Elvani, S.Si**



**BRAVO PRESS**

**CV. BRAVO PRESS INDONESIA**

# **MIKROBIOLOGI: Memahami Dunia Mikroskopis**

**Penulis :**

Vanisa Sri Elvani, S.Si

**ISBN :** 978-623-10-0255-6

**Editor :** Weni Yuliani, S.Si., MM

**Penyunting :** Fatimah Zahra, M.Hum

**Desain Sampul dan Tata Letak :** Rika Yulisanti

**Penerbit :** CV. BRAVO PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI

**Redaksi :**

Perumahan Indah Harisanda blok f6 Jalan saudara RT 03/RW 06  
Kel/Desa Tuah Madani, Kec. Tuah Madani, Kota Pekanbaru, Riau

Website : [www.bravopress.id](http://www.bravopress.id)

Email : bravopressindonesia@gmail.com

Cetakan pertama, April 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.



# KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul "Mikrobiologi: Memahami Dunia Mikroskopis" dapat diselesaikan. Buku ini mengulas tentang sejarah perkembangan mikroorganisme, ragam cabang ilmu yang terkait dengan mikrobiologi, serta peran serta pengendalian mikroorganisme dalam berbagai konteks. Melalui buku ini, pembaca akan dihadapkan pada pemahaman mendalam tentang dunia mikroskopis yang luas, termasuk signifikansi serta dampaknya dalam berbagai aspek kehidupan dan ilmu pengetahuan.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Pekanbaru, 22 April 2024

Vanisa Sri Elvani, S.Si

# DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>v</b>
<b>BAB 1 PENGANTAR MIKROBIOLOGI.....</b>	<b>1</b>
1.1 Definisi Mikrobiologi .....	1
1.2 Sejarah Perkembangan Mikrobiologi .....	3
1.3 Teori Endosimbion.....	9
<b>BAB 2 PENEMUAN DAN PERKEMBANGAN SEL .....</b>	<b>11</b>
2.1 Mikroorganisme Prokariotik.....	14
2.2 Mikroorganisme Eukariotik .....	16
2.3 Virus .....	21
<b>BAB 3 CABANG-CABANG ILMU MIKROBIOLOGI.....</b>	<b>27</b>
3.1 Bakteriologi.....	27
3.2 Virologi.....	42
3.3 Mikologi .....	50
<b>BAB 4 PERAN MIKROBIOLOGI DALAM KEHIDUPAN SEHARI- HARI .....</b>	<b>65</b>
4.1 Mikrobiologi Lingkungan .....	66
4.2 Mikrobiologi Kesehatan.....	73

4.3 Mikrobiologi Industri .....	76
<b>BAB 5 PENGENDALIAN MIKROORGANISME.....</b>	<b>83</b>
5.1 Pengendalian Secara Kimiawi.....	83
5.2 Pengendalian Menggunakan Agen Fisik.....	84
5.3 Pengendalian Secara Biologi.....	88
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>90</b>

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Antonie Van Leeuwenhoek .....	4
Gambar 1. 2 Mikroskop Sederhana.....	4
Gambar 2. 1 Ilustrasi Sel diamati oleh Hooke.....	11
Gambar 2. 2 Sel Prokariotik (Bakteri) .....	13
Gambar 2. 3 (a) Sel Eukariotik Tumbuhan (b) Sel Eukariotik Hewan .....	14
Gambar 2. 4 Bentuk-bentuk Bakteri.....	15
Gambar 2. 5 ALga Hijau.....	18
Gambar 2. 6 Protozoa <i>Eulpotes eury stomus</i> .....	19
Gambar 2. 7 Khamir <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	20
Gambar 2. 8 Kapang <i>Penicillium notatum</i> .....	21
Gambar 2. 9 Struktur Virus .....	23
Gambar 3. 1 Pohon Filogenetik Bakteri, Arkea, dan Eukaria .....	28
Gambar 3. 2 Jumlah dan Posisi Flagellum Pada Bakteri .....	30
Gambar 3. 3 Perbandingan Dinding Sel Bakteri Gram Positif dan Gram Negatif (sumber: <a href="http://mikrobiologistuff.blogspot.com">http://mikrobiologistuff.blogspot.com</a> )..	38
Gambar 3. 4 Proses Infeksi Virus pada Sel Inang.....	46
Gambar 3. 5 Penempelan Bakteriofage T4 pada Dinding Sel Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	49
.....	

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Perbedaan Karakteristik Sel Bakteri Gram Positif dengan Negatif .....	39
Tabel 3. 2 Karakteristik Umum Jamur .....	53



# **BAB 1**

## **PENGANTAR MIKROBIOLOGI**

Mikrobiologi merupakan cabang ilmu pengetahuan yang menarik dan vital, studinya berfokus pada organisme mikroskopis dan perannya dalam berbagai aspek kehidupan. Dari peran pentingnya dalam ekosistem hingga aplikasinya dalam industri, kedokteran, dan teknologi, mikroorganisme memegang kunci untuk memahami banyak proses fundamental. Melalui lensa mikrobiologi, kita diajak untuk mengeksplorasi dunia yang tidak terlihat oleh mata telanjang, mengungkap misteri kehidupan pada skala terkecil, dan memanfaatkan potensinya yang belum tergali untuk inovasi dan solusi terhadap tantangan global.

### **1.1 Definisi Mikrobiologi**

Mikrobiologi adalah bidang khusus dalam biologi yang berkaitan dengan makhluk hidup yang berukuran terlalu kecil untuk dilihat tanpa alat pembesaran (mikroskop). Secara keseluruhan, organisme mikroskopis tersebut disebut mikroorganisme atau mikroba (cowan). Makhluk hidup yang termasuk pada golongan

mikroorganisme ialah bakteri, virus, fungi, khamir, algae dan protozoa (Atmodjo et al., 2014).

Setiap organisme berbeda antara satu dengan yang lainnya, baik dalam bentuk ukuran, struktur, habitat, metabolisme, dan karakteristik lainnya. Meskipun pada umumnya kita mengetahui bahwa mikroorganisme terdiri dari uniseluler (bersel satu) dan multiseluler (bersel banyak), namun, pada beberapa mikroba, seperti virus adalah tergolong kepada aseluler (tidak terdiri dari sel).

Penemuan mikroskop telah memberikan kontribusi yang sangat besar terhadap kemajuan ilmu mikrobiologi. Dengan adanya mikroskop, para ilmuwan dapat mengamati struktur sel mikroorganisme secara langsung, yang memungkinkan ilmuwan untuk mengklasifikasikan perkembangan sel mikroorganisme. Saat ini, mikroorganisme dibedakan menjadi tiga domain: arkea, bakteri, eukaria. Mikroba dengan domain arkea dan bakteri tergolong ke dalam sel prokariotik (inti selnya tidak dikelilingi membran inti), sedangkan domain eukaria adalah eukariotik (inti sel sejatinya dikelilingi oleh membran inti) (Suryani & Taupiqurrahman, 2021).

## 1.2 Sejarah Perkembangan Mikrobiologi

Penemuan mikroorganisme dimulai dari rasa penasaran yang mendalam dan kemampuan observasi yang tajam. Pengembangan ilmu mikrobiologi, yang mempelajari kehidupan mikrobial, merupakan perjalanan panjang yang penuh dengan tantangan. Selama lebih dari 500 tahun, ilmu ini telah mengalami berbagai rintangan dan hambatan yang signifikan. Proses ini melibatkan kontribusi penting dari banyak ilmuwan berdedikasi. Melalui eksperimen dan penelitian yang dilakukan secara konsisten, mereka secara bertahap memperluas pemahaman tentang organisme mikroskopis dan peran vital mereka dalam berbagai ekosistem.

### 1. Penemuan *Animalcules* oleh Leeuwenhoek

Keberadaan mikroorganisme pertama kali diketahui melalui penemuan mikroskop. Antonie van Leeuwenhoek, seorang pedagang kain asal Belanda, adalah orang pertama yang mengembangkan lensa yang mampu melihat makhluk hidup berukuran kecil. Meskipun tidak memiliki latar belakang pendidikan formal dalam ilmu pengetahuan, minatnya dalam memeriksa kualitas kain di tokonya mendorongnya untuk mempelajari keterampilan membentuk kaca agar dapat membuat berbagai lensa yang memiliki kemampuan pembesaran yang kuat. Pada tahun 1675, ia mengamati organisme bersel tunggal kecil dari tetesan air

## MIKROBIOLOGI:

### Memahami Dunia Mikroskopis

---

yang ia sebut sebagai "animalcules" atau "*wee little beasties*". Observasi ini merupakan yang pertama kali terhadap bakteri dan membuktikan keberadaan dunia mikroskopis yang tidak terlihat oleh mata telanjang. Selama periode 40 tahun, Leeuwenhoek secara teratur mengirim surat kepada Royal Society Inggris dan dalam surat-surat tersebut ia mendeskripsikan berbagai jenis mikroorganisme yang ia amati, termasuk mikroorganisme yang berasal dari plak pada mulut manusia. Berdasarkan penemuannya, kita sekarang dapat melihat keberadaan bakteri dan protista (Maresso, 2019).



1.1



1.2

Gambar 1. 1 Antonie Van Leeuwenhoek

(sumber: <https://www.sapaviva.com/antonie-van-leeuwenhoek/>)

Gambar 1. 2 Mikroskop Sederhana

(sumber: <https://commons.m.wikimedia.org>)

## 2. Penemuan Penting dalam Fermentasi oleh Pasteur

Louis Pasteur, seorang ahli kimia Prancis terkemuka, adalah orang pertama yang mengemukakan bahwa mikroorganisme memiliki sifat unik dan bahwa terjadinya proses fermentasi disebabkan oleh mikroorganisme. Dia juga menemukan proses pasteurisasi untuk membunuh mikroorganisme patogen, serta mengembangkan vaksin untuk penyakit seperti rabies pada hewan dan manusia.

Selanjutnya, Pasteur melakukan serangkaian eksperimen dengan labu leher angsa untuk membuktikan bahwa kehidupan sekarang berasal dari kehidupan sebelumnya, bukan dari generasi spontan. Desain labu lehernya (Gambar 1.2) memungkinkan pertukaran udara dengan lingkungan luar namun mencegah masuknya mikroorganisme udara yang dapat mengkontaminasi kaldu di dalamnya. Hasilnya, Pasteur berhasil menunjukkan bahwa kaldu yang disterilkan dalam labu leher angsa akan tetap steril selama leher angsa tetap utuh. Eksperimen ini menggulingkan teori generasi spontan atau abiogenesis dan memperoleh pengakuan yang luas di kalangan ilmuwan. Sebagai pengakuan atas kontribusinya yang luar biasa, Pasteur dianugerahi Penghargaan Alhumbert oleh Akademi Ilmu Pengetahuan Paris pada tahun 1862. Dalam kuliahnya pada tahun 1864, Pasteur menegaskan bahwa

“*Omne Vivum Ex Vivo*” yang artinya "Semua Kehidupan Berasal Dari Kehidupan Sebelumnya", sebuah pernyataan yang menyiratkan keberhasilan besar dari eksperimennya.



Gambar 1. 3 Louis Pasteur (1822-1895)  
(sumber: <https://wellcomecollection.org>)



Gambar 1. 4 Labu Leher Angsa Penemuan Louis Pasteur

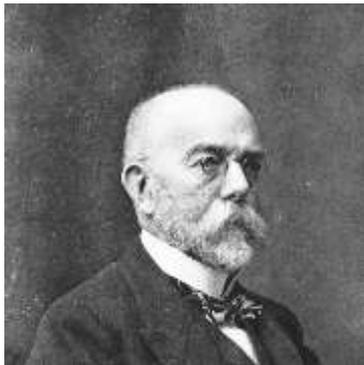
Sumber: (<https://cultivated-x.com/manufacturing-technology/swan-neck-bio-flexcell-fast-cheaper-fermentation-scaling/>).

3. Penemuan Mikroorganisme Penyebab Penyakit oleh Robert Koch

Robert Koch, seorang dokter asal Jerman, adalah pionir dalam menunjukkan hubungan antara mikroba terisolasi dengan penyakit manusia yang diketahui. Melalui serangkaian eksperimen sistematis, ia berhasil mengidentifikasi bakteri penyebab antraks (*Bacillus anthracis*), kolera (*Vibrio cholerae*), dan tuberkulosis (*Mycobacterium tuberculosis*). Pada tahun 1884, Koch mempublikasikan empat postulat yang dikenal dengan postulat Koch yang merangkum metodenya untuk menentukan apakah suatu mikroorganisme tertentu adalah penyebab suatu penyakit tertentu. Postulat Koch tersebut adalah sebagai berikut:

- a) Patogen yang dicurigai harus ditemukan pada setiap kasus penyakit dan tidak ditemukan pada individu yang sehat
- b) Patogen yang dicurigai dapat diisolasi dan dibiakkan dalam kultur murni
- c) Subjek uji sehat yang terinfeksi dengan patogen yang dicurigai harus mengembangkan gejala dan tanda penyakit yang sama terlihat pada postulat satu
- a) Patogen harus diisolasi kembali dari inang baru dan harus identik dengan patogen dari postulat dua

Lebih lanjut, Koch mengembangkan penggunaan mikroskop untuk mempelajari morfologi dan fungsi sel-sel bakteri. Ia mengamati perubahan *Bacillus anthracis* dari bentuk sel vegetatif aktif menjadi spora dorman, dan proses transformasi spora tersebut kembali menjadi sel vegetatif aktif. Pendekatan inovatif ini tidak hanya mengkonfirmasi penyebab spesifik beberapa penyakit tetapi juga meletakkan fondasi untuk praktek mikrobiologi yang mempengaruhi banyak penelitian masa kini. Para ilmuwan sekarang menggunakan kerangka kerja yang diperkenalkan oleh Koch untuk mengembangkan pemahaman tentang mekanisme molekuler penyakit bakteri.



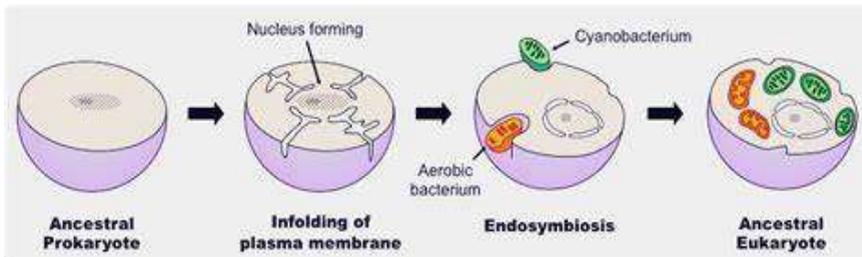
Gambar 1. 5 Robert Koach (1843-1910)  
(sumber: <https://commons.m.wikimedia.org>).

### 1.3 Teori Endosimbion

Teori endosimbion, salah satu teori yang paling mempengaruhi pemahaman kita tentang asal-usul sel eukariotik, mengusulkan bahwa organel-organel kompleks seperti mitokondria dan kloroplas dalam sel eukariotik sebenarnya berasal dari organisme prokariotik yang hidup dalam hubungan simbiosis di dalam sel-sel nenek moyang eukariota. Endosimbiosis menyediakan penjelasan yang memuaskan bagi asal-usul organel-organel kompleks serta menjelaskan banyak kesamaan struktural dan genetik yang teramati antara mitokondria dan kloroplas dengan bakteri prokariotik. Teori endosimbion telah menjadi kerangka kerja yang penting dalam memahami evolusi sel eukariotik dan memiliki dampak besar dalam bidang biologi seluler dan evolusi.

Istilah "teori endosimbion" muncul dari serangkaian penelitian ilmiah yang dimulai pada abad ke-19 oleh para ahli botani dan biologi sel. Teori endosimbion menjelaskan asal usul mitokondria dan kloroplas dalam sel eukariotik (Gambar 1.4). Menurut teori ini, mitokondria berasal dari sel Archaeobacteria yang menelan sel Cyanobacteria yang dapat melakukan fotosintesis. Sel-sel tersebut beradaptasi dan akhirnya membentuk kloroplas. Teori ini didukung dengan bukti ditemukannya DNA tanpa protein histon dalam kedua

organel tersebut, yang mirip dengan bakteri. DNA mitokondria memiliki homologi yang tinggi dengan DNA Cyanobacteria, sedangkan DNA kloroplas memiliki homologi yang tinggi dengan DNA yang ditemukan pada Proteobacteria. Ukuran DNA dalam kedua organel tersebut adalah 70S, dan proses translasi serta sintesis asam lemak pada mitokondria dan kloroplas mirip dengan sel bakteri. Selain itu, keduanya memiliki sistem membran ganda (Parker et al., 2021).



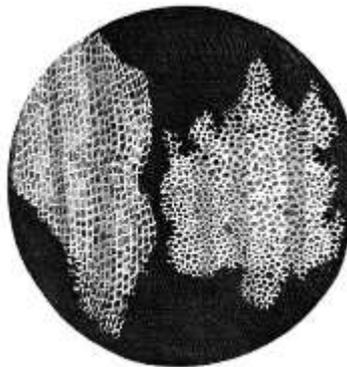
Gambar 1. 6 Teori Endosimbion

(Sumber: <https://socratic.org>)

## BAB 2

# PENEMUAN DAN PERKEMBANGAN SEL

Istilah sel pertama kali diperkenalkan oleh ilmuwan Inggris Robert Hooke pada tahun 1665. Ia mendeskripsikan sel sebagai ruang-ruang kecil di dalam gabus yang ia amati di bawah mikroskop buatannya sendiri. Sayatan tipis gabus yang ia amati menyerupai sarang lebah atau kotak-kotak kecil atau kantung-kantung udara. Pada saat itu, Hooke tidak menyadari bahwa sel-sel gabus yang ia amati sudah mati, hingga struktur internalnya tidak dapat terlihat.



Gambar 2. 1 Ilustrasi Sel diamati oleh Hooke

(sumber: Parker et al., 2021)

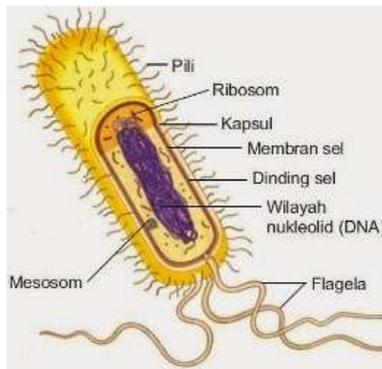
Perkembangan konsep sel sebagai unit dasar kehidupan dimulai dengan deskripsi awal oleh Hooke, namun signifikansinya

belum diakui pada masanya. Schleiden dan Schwann menyumbangkan pengamatan mikroskopis terhadap jaringan tumbuhan dan hewan, yang membawa mereka pada kesimpulan bahwa sel-sel merupakan komponen dasar kehidupan. Pada tahun 1850-an, Robert Remak dan Rudolf Virchow memperkuat teori ini, dengan Virchow mengemukakan prinsip bahwa "omnis cellula a cellula" artinya "semua sel berasal dari sel." Meskipun terdapat kontroversi mengenai pengakuan terhadap perumusan teori sel, konsep tersebut menjadi dasar bagi pemahaman kita tentang kehidupan.

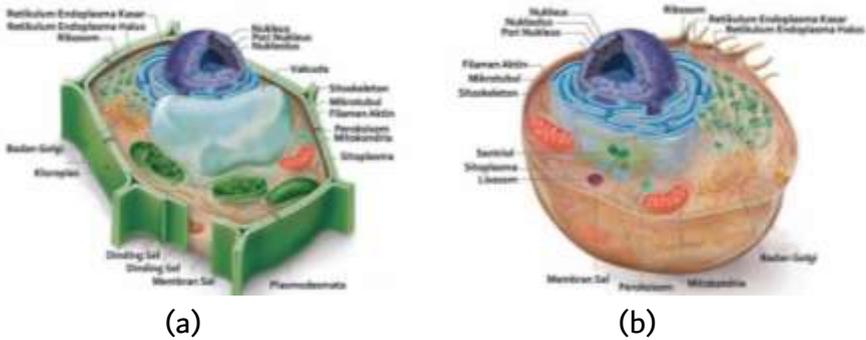
Sel merupakan unit terkecil dari organisme yang memiliki struktur dan fungsi yang sama. Secara struktural, sel dapat dibedakan menjadi sel prokariotik dan eukariotik. Sel prokariotik hanya dimiliki oleh bakteri dan arkea, sedangkan sel eukariotik dimiliki oleh protista, tumbuhan, jamur, dan hewan.

Perbedaan antara dua sel ini terletak pada nama mereka. Kata "prokariota" berasal dari bahasa Yunani "*pro*" yang berarti "sebelum" dan "*karyon*" yang berarti "kernel" atau nukleus. Sel prokariot tidak memiliki nukleus; materi genetiknya terpusat pada satu daerah yang disebut nukleoid, dan tidak ada membran yang memisahkan nukleoid dari daerah lainnya. Di sisi lain, sel eukariotik, yang berasal dari kata "*eu*" yang berarti "sebenarnya" dan "*karyon*",

memiliki nukleus sebenarnya yang tertutup oleh selubung nukleus. Seluruh ruang antara nukleus dan membran sel disebut sitoplasma. Sitoplasma terdiri dari medium cair yang disebut sitosol, dimana di dalamnya terdapat organel-organel yang mempunyai bentuk dan fungsi khusus, dan sebagian besar organel tersebut tidak ada dalam sel prokariotik. Untuk perbandingan yang lebih jelas, perbedaan antara sel prokariotik dan sel eukariotik dapat dilihat pada gambar berikut: (Campbell et al., 2002).



Gambar 2. 2 Sel Prokariotik (Bakteri)  
(sumber: <https://www.studiobelajar.com/sel/>)



Gambar 2. 3 (a) Sel Eukariotik Tumbuhan (b) Sel Eukariotik Hewan  
(sumber: <https://www.jagoansekolah.com>)

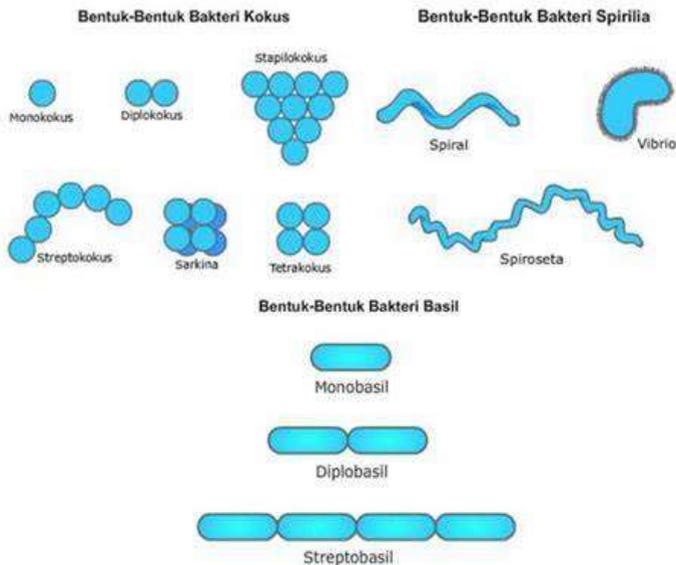
## 2.1 Mikroorganisme Prokariotik

Mikroorganisme prokariotik bersifat *ubiquitous* yang dapat ditemukan dimana-mana dan tersebar luas di berbagai lingkungan, baik di dalam tanah, air, udara, atau organisme hidup lainnya.

### 1. Bakteri

Bakteri, sebagai mikroorganisme prokariotik, dicirikan oleh tidak adanya inti sel sejati (nukleus) dalam materi genetiknya (DNA). Meskipun sebagian besar bakteri yang tersebar luas di lingkungan kita, tak hanya tidak menimbulkan bahaya, tetapi juga memberikan manfaat penting, Dalam klasifikasi morfologis, bakteri menampilkan keragaman yang mengagumkan, dengan kemampuan untuk mengambil berbagai bentuk, yang mencakup bentuk bulat (*coccus*), batang (*bacil*), atau spiral, dan bahkan

kemampuan untuk membentuk struktur yang lebih kompleks seperti koloni atau filamen yang panjang. Keberagaman ini mencerminkan adaptasi bakteri terhadap berbagai kondisi lingkungan dan peran fungsional yang beragam dalam ekosistem.



Gambar 2. 4 Bentuk-bentuk Bakteri

(sumber: <https://homecare24.id/bentuk-bentuk-bakteri-kokus/>)

a) Arkea

Arkea termasuk pada organisme prokariotik uniseluler. Hal yang membedakan arkea dengan bakteri terletak secara genetik, jalur metabolisme, dan komposisi dinding sel dan

membran. Tidak seperti bakteri pada umumnya, sel arkea tidak mengandung peptidoglikan, tapi dinding selnya banyak tersusun substansi yang mirip yang disebut pseudopeptidoglikan. Arkea juga ditemukan pada berbagai habitat di bumi, bahkan lingkungan yang sangat ekstrim, yaitu lingkungan yang sangat dingin, panas, asin, atau sangat asam. Beberapa arkea hidup pada tubuh manusia, tapi tidak ada yang menunjukkan sebagai patogen bagi manusia.

## 2.2 Mikroorganisme Eukariotik

Domain eukaria mencakup semua organisme eukariotik, seperti protista, fungi, tumbuhan, dan hewan, baik yang berbentuk uniseluler maupun multiseluler. Yang membedakan utama eukariota adalah bahwa sel-sel mereka memiliki inti sel sejati.

### 1. Protista

Protista adalah kelompok eukariotik yang bukan tumbuhan, hewan, atau jamur, namun memiliki sebagian karakter dari organisme tersebut.

#### - Alga

Alga dapat tergolong uniseluler atau multiseluler dan memiliki berbagai jenis ukuran, keberadaan, dan habitat. Alga adalah organisme fotosintetik yang mendapatkan

energi dari sinar matahari dan melepaskan oksigen dan karbohidrat ke lingkungannya. Karena organisme lain dapat menggunakan produk limbahnya untuk energi, alga menjadi bagian penting dari banyak ekosistem. Banyak produk konsumen mengandung bahan-bahan yang berasal dari alga, seperti karaginan atau asam alginat, yang ditemukan dalam beberapa merek es krim, saus salad, minuman, lipstik, dan pasta gigi. Turunan dari alga juga memainkan peran penting dalam laboratorium mikrobiologi. Agar, sebuah gel yang berasal dari alga, dapat dicampur dengan berbagai nutrisi dan digunakan untuk menumbuhkan mikroorganisme di dalam cawan Petri. Alga juga sedang dikembangkan sebagai sumber potensial untuk bahan bakar nabati.



Gambar 2. 5 ALga Hijau  
(sumber: <https://ihrm.or.ke>)

- Protozoa

Protozoa adalah protista yang menjadi produsen utama dari banyak jaringan makanan dengan menyediakan nutrisi untuk organisme lain. Beberapa protozoa bergerak dengan bantuan struktur yang mirip rambut (*cilia*) atau struktur mirip cambuk (*flagela*). Beberapa protozoa bersifat fotosintetik; yang lain memakan bahan organik. Beberapa hidup bebas, sedangkan yang lain bersifat parasit, hanya dapat bertahan hidup dengan mengekstrak nutrisi dari organisme inang. Sebagian besar protozoa tidak berbahaya, tetapi

beberapa adalah patogen yang dapat menyebabkan penyakit pada hewan atau manusia.



Gambar 2. 6 Protozoa *Eulpotes eurystomus*  
(sumber: <https://eol.org>)

## 2. Jamur atau fungi

Jamur ada yang uniseluler dan multiseluler.

### - Yeast

Yeast atau khamir adalah jenis jamur uniseluler yang dapat ditemukan pada berbagai lingkungan, dari lautan dalam sampai ke pusat manusia. Beberapa yeast memiliki beberapa manfaat, seperti pengembang adonan roti, minuman fermentasi. Namun, yeast juga bisa menyebabkan busuk pada makanan. Dalam

beberapa kasus penyakit, yeast bisa menjadi patogen, seperti infeksi pada vagina dan sariawan.



Gambar 2. 7 Khamir *Saccharomyces cerevisiae*  
(sumber: <https://www.dairyglobal.net>).

- Mold

Mold atau kapang adalah jamur multiseluler yang memiliki filamen panjang yang koloninya dapat dilihat dengan mata telanjang. Kapang dapat ditemukan diberbagai lingkungan, seperti tanah, makanan yang telah busuk, dan di sudut-sudut kamar mandi yang lembab. Kapang memiliki peran penting dalam dekomposisi tanaman dan hewan yang telah mati. Beberapa kapang bisa menyebabkan alergi, dan yang

lain menghasilkan metabolit yang menyebabkan penyakit yang disebut mikotoksin. Kapang telah digunakan untuk membuat obat-obatan, termasuk penisilin, yang merupakan salah satu antibiotik yang paling sering diresepkan, dan siklosporin, yang digunakan untuk mencegah penolakan organ setelah transplantasi.



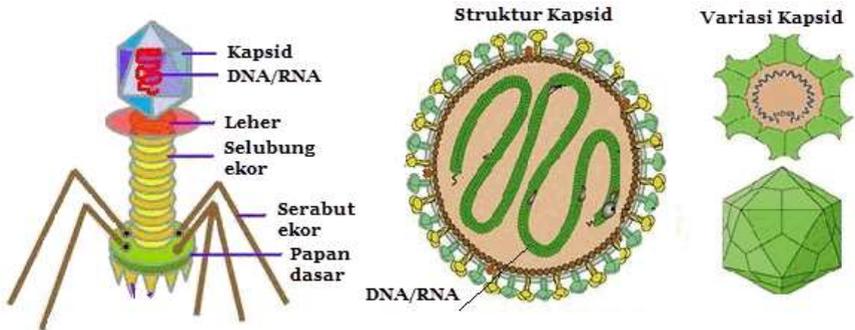
Gambar 2. 8 Kapang *Penicillium notatum*  
(sumber: <https://en.freejpg.com.ar>)

## 2.3 Virus

Virus adalah kata yang berasal dari bahasa Latin yang berarti racun atau bisa. Penamaan virus berkaitan dengan dampak yang

ditimbulkan oleh virus. Virus tidak dapat hidup secara mandiri. Mereka membutuhkan sel inang untuk melakukan replikasi dan kelangsungan hidup. Sel inang yang sering kali dimanfaatkan oleh virus adalah bakteri, virus, dan manusia (Hafsan, 2011). Virus memiliki bentuk ekstraseluler, yang merupakan partikel virus yang dapat membantu transmisi ke inang baru. Virus sangat bergantung pada sel inangnya untuk mendapatkan energi seluler, metabolisme, dan sintesis protein, hingga replikasinya. Oleh sebab itu, virus juga disebut sebagai parasit intraseluler obligat. Virus dapat mereplikasikan dirinya dengan cara merusak sel inang ataupun tidak, dan hal tersebut dapat menjelaskan fakta bahwa beberapa virus adalah agen penyebab suatu penyakit (A'yun, 2022).

Seperti yang digambarkan dalam Gambar 2.9, struktur virus memiliki kemampuan untuk menginfeksi dan mereplikasi dalam sel inang, menjadikannya bergantung pada sel inang untuk melanjutkan siklus hidupnya.



Gambar 2. 9 Struktur Virus

(sumber: <https://www.mikirbae.com>)

Memahami karakter virus merupakan kunci untuk mengungkap misteri tentang bagaimana mereka menyebabkan penyakit dan berevolusi dari waktu ke waktu. Berikut adalah karakteristik umum dari virus, yaitu:

- 1) Virus tidak hidup bebas di alam tetapi bertindak sebagai parasit intraseluler obligat.
- 2) Virus memiliki struktur yang sangat mikroskopis yang hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron.
- 3) Ukurannya terutama berkisar antara 100-2000 milimikron.
- 4) Virus tidak dapat dihalangi atau disaring menggunakan filter yang biasanya efektif untuk menyaring bakteri.

- 5) Bahan genetiknya dapat berupa DNA atau RNA dalam bentuk molekul tunggal dan dapat berupa untai tunggal atau untai ganda.
- 6) Sebuah partikel virus tunggal dikenal sebagai virion yang tidak memiliki kemampuan untuk melakukan fungsi-fungsi biologisnya secara mandiri.
- 7) Virus tidak memiliki sistem enzim sendiri tetapi berinteraksi dengan sistem enzim inang dan mensintesis partikel virus baru.
- 8) Kapsid luar virus, yang terbuat dari protein, tidak bersifat berbahaya atau merugikan. Sebaliknya, kapsid ini memungkinkan virus untuk terikat dan memasuki sel inang yang spesifik, karena strukturnya dapat berinteraksi secara khusus dengan permukaan sel inang yang sesuai.
- 9) Virus adalah parasit intraseluler obligat dan tidak dapat ditumbuhkan pada media kultur buatan.
- 10) Virus yang menginfeksi hewan dan tumbuhan seringkali memiliki rentang inang yang sangat spesifik, yang hanya dapat menginfeksi spesies atau jenis tumbuhan tertentu. Di sisi lain, ada juga virus yang memiliki rentang inang yang lebih luas.
- 11) Virus mampu mereplikasikan diri mereka sendiri

- 12) Virus mudah menular dan menyebarkan penyakit dengan sangat cepat.
- 13) Virus menunjukkan jenis patogenisitas khusus dimana mereka hanya dapat menyebabkan penyakit pada suhu tertentu. Sebagian besar virus menjadi tidak aktif pada 56-69°C (selama 30 menit).
- 14) Sifat genetik virus adalah haploid.
- 15) Virus tidak terpengaruh oleh antibiotik.
- 16) Virus dapat hidup pada rentang pH antara 5-9.
- 17) Virus tetap aktif untuk waktu yang lama ketika disimpan dalam larutan gliserol 50%.
- 18) Ekstrak virus menjadi tidak aktif pada tekanan tinggi dan frekuensi suara tinggi.
- 19) Virus terpresipitasi/mengendap dengan pemberian alkohol etil dan aseton.
- 20) Virus dapat dinetralkan oleh paparan sinar ultraviolet, piridin, urea, dan hidrogen peroksida.
- 21) Virus dapat dikristalkan.
- 22) Virus menunjukkan respons terhadap suhu, radiasi, dan zat kimia.

23) Virus tidak memiliki dinding sel, inti, protoplasma, dan organel sel.

(Trivedi et al., 2010).

## **BAB 3**

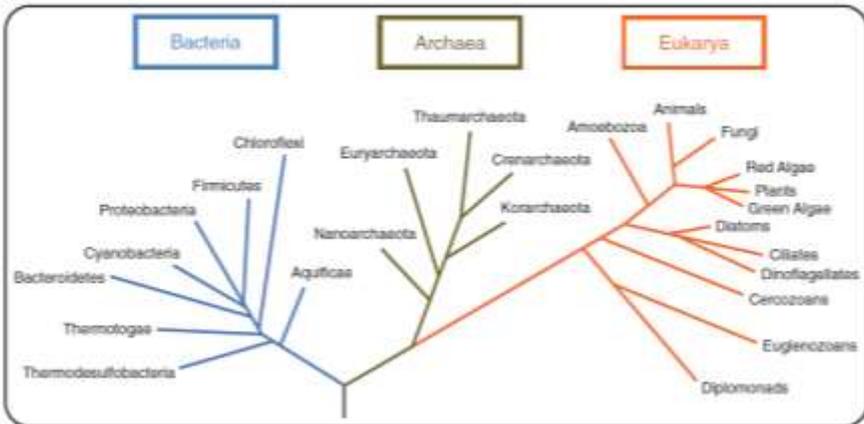
# **CABANG-CABANG ILMU MIKROBIOLOGI**

Pemahaman tentang bakteri, virus, fungi, dan parasit merupakan aspek penting dalam cabang-cabang ilmu mikrobiologi. Setiap cabang ilmu ini meneliti struktur, sifat, dan perilaku mikroorganisme yang berbeda. Dari struktur sel hingga pola penyebaran penyakit, pengetahuan tentang mikroorganisme ini memberikan wawasan mendalam tentang dunia mikroskopis yang mempengaruhi berbagai bidang, seperti kedokteran, pertanian, dan penelitian biologi.

### **3.1 Bakteriologi**

Bakteriologi merupakan salah satu cabang ilmu mikrobiologi yang mencakup tentang sel bakteri, pengendalian bakteri, dan peranan bakteri. Memahami ilmu bakteriologi dapat membantu kita dalam berbagai bidang kehidupan seperti: kesehatan, makanan, pertanian, lingkungan, bioteknologi. Oleh karena itu, sangat bermanfaat untuk memperluas pemahaman kita tentang bakteri, agar dapat mengoptimalkan manfaatnya dan meminimalkan potensi bahayanya dalam kehidupan sehari-hari (Boleng et al., 2015).

Ilmu bakteriologi memfokuskan kajian pada Bakteri dan Arkea, dua kelompok mikroorganismenya yang besar dan sangat beragam. Bakteri dan Arkea menunjukkan struktur sel prokariotik yang ditandai oleh struktur internal yang relatif sederhana, tanpa adanya pembagi ruang internal yang dilapisi membran. Namun, mereka secara filogenetik tidak berhubungan dekat. Dengan menggunakan teknik sekuensing molekuler, pohon evolusi semua sel menunjukkan bahwa arkea sebenarnya lebih berkaitan secara filogenetik dengan sel eukariotik daripada dengan bakteri (Gambar 3.1). Dengan demikian, desain prokariotik umum dari sel-sel Bakteri dan Arkea bukanlah indikator dari hubungan evolusi yang dekat.



Gambar 3. 1 Pohon Filogenetik Bakteri, Arkea, dan Eukaria (sumber: Sattley & Madigan, 2021).

## 1) Struktur Sel Bakteri

Struktur sel bakteri sangat beragam, tetapi ada beberapa karakteristik umum yang dapat diidentifikasi. Misalnya, setiap sel bakteri selalu memiliki membran sel, sitoplasma, ribosom, dan satu (atau beberapa) kromosom. Sebagian besar juga memiliki dinding sel dan beberapa bentuk lapisan permukaan atau glikokaliks. Selain itu, terdapat struktur khusus yang ditemukan pada beberapa, tetapi tidak semua, bakteri, seperti flagela, pili, fimbriae, lapisan S, sitoskeleton, inklusi, mikrokompartemen, endospora, nanokabel, dan membran intraseluler (Cowan & Smith 2024).

Dikarenakan ukuran bakteri yang sangat kecil, sel-sel bakteri dianalisis menggunakan mikroskop elektron di mana berbagai struktur dapat terlihat. Beberapa dari struktur ini terletak di luar dinding sel, sementara yang lainnya berada di dalamnya.

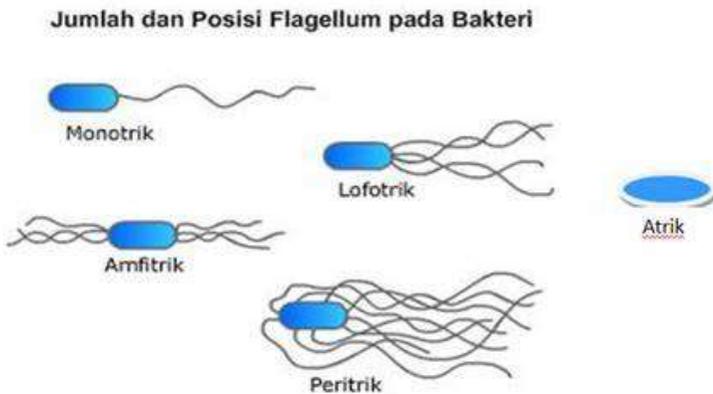
### a. Struktur halus (*ultrastructure*) dalam bakteri

#### a) Struktur luar dinding sel

##### - Flagela

Bakteri ada yang bersifat motil dan tidak motil. Bakteri motil berenang dengan menggunakan flagela yang menyerupai cambuk. Flagela terdiri dari protein dengan berat molekul sekitar 40.000, memiliki ketebalan sekitar  $120\text{\AA}$  dan panjang 4-5  $\mu$ . Lokasi

flagela bervariasi di berbagai bakteri. Bakteri yang tidak memiliki flagela (tunggal: flagellum) disebut *atrichous*, contohnya adalah *Bacilli difteria* dan banyak *cocci* seperti *Lactobacillus* dan *Pasturella*. Jumlah dan posisi flagela pada dinding sel bakteri juga bervariasi sesuai dengan jenisnya, yaitu: monotrik (satu flagellum di satu ujung sel), lofotrik (dua atau lebih flagellum di satu atau kedua ujung sel), amfitrik (satu atau banyak flagellum di ujung sel), dan peritrik (banyak flagellum yang melekat di sekitar sel) (Gambar 3.2).



Gambar 3. 2 Jumlah dan Posisi Flagellum Pada Bakteri  
(sumber: <https://homecare24.id/alat-gerak-bakteri/>)

- Pili (Fimbria)

Pili atau sering juga disebut dengan fimbria adalah struktur tambahan pada bakteri yang menyerupai rambut yang ada di permukaan sebagian besar bakteri gram negatif. Ukurannya lebih kecil dari flagela, dan tidak berperan dalam motilitas bakteri. Dalam satu sel bakteri dapat membawa sekitar 100-500 pili yang tersusun secara petrik. Secara kimiawi, pili terdiri dari 100% protein yang disebut dengan fimbrilin. Terdapat dua jenis pili dalam bakteri yaitu: pili somatik (berfungsi membantu bakteri melekat pada substrat), dan pili seks atau konjugasi (dikendalikan oleh faktor seks dan berperan dalam proses konjugasi/pertukaran informasi genetik bakteri).
- Glikokaliks dan kapsul

Glikokaliks adalah lapisan polisakarida yang melekat pada permukaan sel bakteri. Fungsinya termasuk melindungi sel dari kekeringan, menempelkan sel pada permukaan, dan membantu menghindari serangan dari sel imun. Lapisan polisakarida tersebut bisa tebal dan terikat secara kuat ke sel, dan disebut sebagai kapsul. Kapsul membentuk lapisan pelindung atau selubung di

sekitar dinding sel, terdiri dari jaringan atau rangkaian benang halus. Secara kimiawi, kapsul terdiri dari polisakarida atau polipeptida. Fungsinya adalah memberikan perlindungan terhadap kekeringan serta mungkin memiliki sifat antifagositik, yaitu menghambat atau mencegah penelanan oleh sel darah putih, yang dikenal sebagai fagosit.

- Selubung

Beberapa jenis bakteri yang hidup di lingkungan air tawar dan laut memiliki kemampuan untuk membentuk struktur berupa rantai atau *trichome* yang dikelilingi oleh tabung kosong yang disebut selubung. Kadang-kadang, selubung ini dapat mengandung endapan hidroksida besi atau mangan yang berfungsi untuk memperkuat struktur selubung tersebut.

- *Prosthecae* dan *stalks*

*Prosthecae* adalah perpanjangan yang agak kaku dari dinding sel dan membran sitoplasma bakteri. Mereka ditemukan pada beberapa jenis bakteri aerobik yang hidup di lingkungan air tawar dan laut. *Prosthecae* dapat berupa tunggal (seperti pada bakteri *Caulobacter*) atau lebih dari satu (seperti pada bakteri *Ancalomicrobium*).

Fungsi utama *prosthecae* adalah meningkatkan luas permukaan sel. Hal ini membantu bakteri dalam menyerap nutrisi lebih efisien di lingkungan yang encer, karena luas permukaan yang lebih besar memungkinkan untuk kontak yang lebih baik dengan zat-zat nutrisi dalam lingkungan. Sedangkan *stalk* adalah tambahan struktural yang mirip dengan pita atau tabung yang tidak hidup dan dikeluarkan oleh sel bakteri. Fungsinya adalah untuk membantu dalam menempelkan sel bakteri ke permukaan substrat atau organisme lain.

b) Struktur dalam dinding sel

- Membran sitoplasma

Membran sitoplasma, yang ditemukan pada kedua jenis bakteri Gram positif dan negatif, memiliki ketebalan sekitar 75 nm dan terdiri dari dua lapisan. Lapisan ini terutama terbuat dari fosfolipid (20-30%) dan protein (60-70%). Protein tersebut terbagi menjadi dua jenis: protein integral yang sangat terikat dalam lapisan fosfolipid dan protein perifer yang terikat secara longgar. Membran ini fleksibel dan memiliki struktur yang disebut model mosaik fluida. Fungsinya bukan hanya sebagai penghalang yang mencegah molekul larut

air masuk, tetapi juga memfasilitasi perpindahan nutrien dan limbah dengan bantuan protein tertentu. Selain itu, membran ini berperan dalam proses respirasi selular dan pembuatan komponen dinding sel serta kapsul.

- Sistem membran intraseluler

Sistem membran intraseluler pada bakteri meliputi, mesosom, ribosom, dan kromatofor.

- Mesosom berguna untuk replikasi DNA dan pembelahan sel, dan lebih banyak ditemukan pada bakteri dengan aktivitas respirasi tinggi seperti *Azotobacter*,
- Ribosom dalam sitoplasma bakteri berperan penting dalam sintesis protein. Banyak antibiotik seperti streptomisin dan tetrasiklin yang menghambat sintesis protein pada sel bakteri memiliki target utama pada ribosom bakteri.
- Kromatofor adalah vesikel yang mengandung pigmen dan enzim untuk fotosintesis, yang hanya aktif dalam reaksi cahaya. Kromatofor hanya dimiliki oleh bakteri fotosintetik.

- Sitoplasma  
Secara keseluruhan, sitoplasma bakteri kebanyakan terdiri dari air, serta mengandung asam nukleat, protein, dan lipid, namun tidak memiliki aliran sitoplasma atau sitoskeleton seperti pada sel eukariotik.
- Inklusi sitoplasma  
Inklusi sitoplasma adalah kumpulan bahan cadangan yang terdapat dalam sitoplasma beberapa bakteri. Mereka memiliki berat molekul tinggi dan biasanya tidak bereaksi secara osmotik. Ada empat jenis utama inklusi: polimetafosfat, poli p-hidroksibutirat, granul poliglukan, dan inklusi belerang. Mereka masing-masing memiliki fungsi dan ciri-ciri warna yang berbeda saat diwarnai dengan zat tertentu. Misalnya, granul volutin muncul merah keunguan setelah diwarnai dengan *methylen blue* dan ditemukan dalam bakteri seperti *Spirillum volutans* dan *Corynebacterium diphtheriae*.
- Vakuola  
Beberapa bakteri yang hidup di habitat air membentuk struktur internal yang disebut vakuola gas. Vakuola ini bertanggung jawab untuk memberikan daya apung kepada bakteri dalam air. Ketika dilihat di bawah

mikroskop cahaya, vakuola tersebut tampak terang dan reflektif. Namun, jika diberikan tekanan, vakuola dapat hancur atau pecah dan kehilangan kemampuannya untuk memantulkan cahaya. Dinding vakuola terbuat dari protein dan merupakan fitur khas dari bakteri fotosintetik yang tidak memiliki pigmen, seperti *Polynema*, *Holobacterium*, dan *Clostridium*.

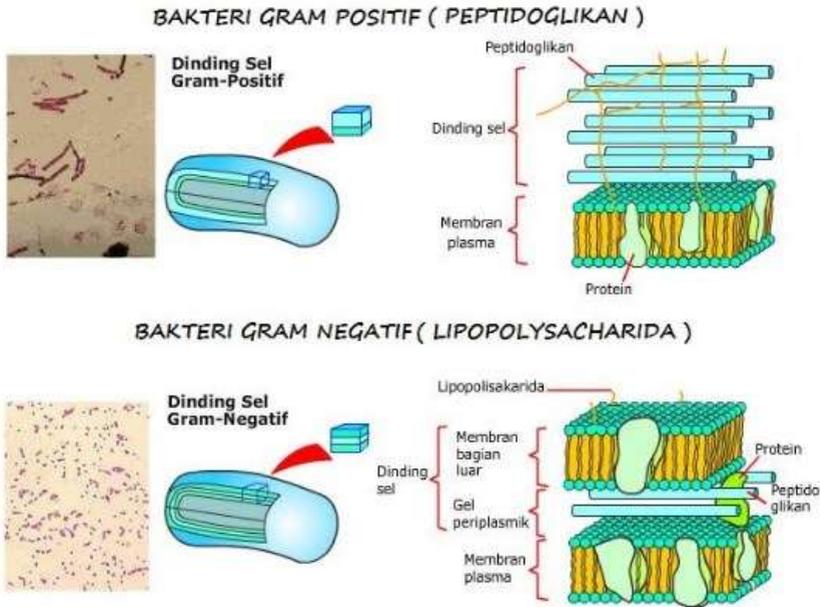
- Materi genetik

Seperti prokariota lainnya, bakteri tidak memiliki inti sel yang jelas. Materi genetiknya, disebut nukleoid atau kromatin bakteri, terletak di dekat pusat sel dan terdiri dari satu molekul DNA melingkar di mana semua gen terhubung. DNA ini bisa dilihat dengan jelas di bawah mikroskop cahaya setelah diwarnai dengan pewarnaan *Feulgen* yang khusus untuk DNA. Di bawah mikroskop elektron, nukleoid terlihat sebagai area terang dengan struktur serat halus, dengan panjang sekitar 1000 nm dan diameter sekitar 3 nm serta berat molekul hampir  $5 \times 10^9$ . Meskipun replikasinya dilakukan dengan metode semikonservatif dan memiliki sekitar 4000 genom, kromosom bakteri berbeda dari kromosom eukariota karena tidak mengandung protein histon. Selain itu,

bakteri memiliki plasmid, segmen DNA kecil yang berbentuk cincin, yang dapat mereplikasi diri tanpa memerlukan bantuan. Plasmid ini tidak terlibat dalam viabilitas dan pertumbuhan bakteri, dan biasanya mengandung 3-4 gen yang memiliki peran tertentu (Trivedi et al., 2010).

b. Dinding sel

Struktur dinding sel bakteri berada di antara kapsul atau lapisan lendir dan membran sitoplasma. Dinding sel bakteri memiliki ketebalan yang bervariasi, sekitar 10 hingga 35 nanometer. Kokohnya dinding sel bakteri disebabkan oleh keberadaan lapisan peptidoglikan di dalam strukturnya. Bakteri Gram positif memiliki lapisan peptidoglikan yang lebih tebal dibandingkan dengan bakteri Gram negatif (Boleng 2015).



Gambar 3. 3 Perbandingan Dinding Sel Bakteri Gram Positif dan Gram Negatif (sumber: <http://mikrobiologistuff.blogspot.com>).

Letak perbedaan	Gram positif	Gram negatif
Dinding sel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tebal (10-80 nm)</li> <li>• Berlapis tunggal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipis (10-15 nm)</li> <li>• Berlapis tiga</li> </ul>
Komposisi dinding sel		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kandungan lipid</li> <li>• Peptidoglikan</li> <li>• Asam teikoat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rendah (1-4%)</li> <li>Tebal</li> <li>Ada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tinggi (11-22%)</li> <li>Tipis</li> <li>Tidak ada</li> </ul>

Kerentanan terhadap antibiotik	Lebih rentan	Kurang rentan
Sifat pewarnaan Gram	Ungu	Merah/pink
Persyaratan dan cara memperoleh nutrisi	Lebih rumit	Kurang rumit
Respon terhadap gangguan fisik	Lebih resisten	Kurang resisten

Tabel 3. 1 Perbedaan Karakteristik Sel Bakteri Gram Positif dengan Negatif

## 2. Struktur Sel Arkea

Meskipun arkea termasuk dalam domain prokariota bersama bakteri, terdapat perbedaan yang signifikan dalam struktur sel mereka. Meski keduanya memiliki beberapa karakteristik dasar seperti ketiadaan inti sel yang terbungkus membran, adanya material genetik dalam bentuk DNA sirkular, dan keberadaan ribosom untuk sintesis protein, perbedaan-perbedaan dalam komposisi membran sel, dinding sel, dan metabolisme menunjukkan variasi yang mencolok antara keduanya. Pemahaman mendalam tentang perbedaan ini menjadi kunci untuk menggali keragaman kehidupan mikroba dan mengapresiasi adaptasi unik yang telah mengarah pada evolusi kedua kelompok prokariota ini.

### 1) Struktur Internal

Salah satu perbedaan utama antara prokariota adalah komposisi membran sitoplasma mereka. Pada bakteri, membran sitoplasma terdiri dari lapisan ganda yang dibentuk oleh asam lemak berantai lurus yang terikat ester. Struktur ini memungkinkan adanya ujung hidrofobik non-polar yang berhubungan satu sama lain di dalam membran, sementara ujung hidrofilik polar menghadap ke luar. Meskipun berbeda dalam struktur, kedua jenis membran sitoplasma memiliki peran penting dalam kehidupan seluler prokariota. Membran ini berfungsi sebagai penghalang permeabilitas yang mengatur aliran zat-zat ke dalam dan keluar dari sel. Selain itu, membran sitoplasma mengandung banyak protein yang terlibat dalam berbagai proses seluler, seperti impor nutrisi, ekskresi limbah, dan produksi enzim untuk pemecahan senyawa kompleks.

Kromosom bakteri dan arkea biasanya hadir dalam bentuk satu molekul DNA sirkuler ganda yang membentuk nukleoid, tetapi beberapa (seperti *Streptomyces*) memiliki kromosom linear. Ketika membahas tentang biologi molekuler arkea, kesamaannya dengan eukariota lebih banyak daripada dengan bakteri. Pada bakteri, DNA di dalam sel dikondensasikan oleh enzim DNA *gyrase*. Meskipun mekanisme yang sama berlaku pada banyak arkea, pada beberapa arkea lainnya, DNA terbungkus mengelilingi gugus

histon, mirip dengan apa yang terjadi pada eukariota. Beberapa arkea memiliki beberapa titik awal replikasi, seperti eukariota, sedangkan bakteri hanya memiliki satu. Mekanisme transkripsi gen pada arkea juga lebih dekat dengan eukariota daripada dengan bakteri.

Beberapa struktur intraseluler terkait dengan proses metabolisme tertentu. Bakteri autotrof mempunyai karboksisom, yang merupakan badan partikulat yang terlibat dalam fiksasi CO<sub>2</sub>. Bakteri fotosintetik memiliki struktur membran intraseluler kompleks, yang merupakan tempat dari proses fotosintesis yang menangkap energi. Mereka menunjukkan hubungan evolusi yang relatif dekat dengan kelompok fungsional lain yang memiliki struktur membran kompleks serupa yang terlibat dalam reaksi lain, termasuk oksidasi amonia, metana, dan besi. Membran dapat terjadi dalam pola yang khas (misalnya, dengan membentuk lapisan dalam membran sitoplasma atau dalam suatu bidang ekuatorial), dan merupakan penanda diagnostik untuk beberapa kelompok.

Dalam hal motilitas, bakteri dan arkea memiliki beragam mekanisme untuk mencapainya. Bakteri umumnya bergantung pada flagela untuk berenang, sementara arkea menggunakan struktur serupa yang disebut arkeela. Meskipun fungsional, flagela dan arkeela memiliki perbedaan dalam struktur dan komposisi.

Flagela bakteri terdiri dari heliks flagelin yang terikat pada membran sitoplasma dan dapat memanjang melalui dinding sel. Gerakan flagela dipicu oleh gradien proton, memungkinkan pergerakan sel. Sementara itu, arkeela, terdiri dari arkeelin, menunjukkan struktur dan mekanisme pergerakan yang berbeda.

Selain flagela dan arkeela, beberapa bakteri menggunakan gliding untuk bergerak di permukaan substrat. Arkea juga memiliki variasi dalam motilitas mereka, dengan mekanisme yang mungkin berbeda dari bakteri. Pemahaman tentang perbedaan ini penting untuk memahami interaksi mikroorganisme dengan lingkungan, termasuk cara mereka bergerak dan mencari sumber daya (Killham & Prosser, 2015).

### **3.2 Virologi**

Virus adalah entitas mikroskopis yang melimpah di sekitar kita, memengaruhi berbagai aspek kehidupan dan lingkungan dengan jumlah yang luar biasa besar. Dalam aktivitas harian, setiap makhluk hidup berinteraksi dengan miliaran partikel virus, yang masuk ke dalam tubuh melalui udara yang dihirup, makanan yang dikonsumsi, dan kontak dengan permukaan serta orang lain. Dalam konteks ini, tubuh kita menjadi tempat tinggal bagi banyak jenis virus, baik yang memengaruhi kesehatan manusia maupun virus yang menginfeksi organisme lain.

## 1. Struktur Virus

Sebagai parasit intraseluler obligat, selama replikasi, virus bergantung sepenuhnya pada biokimia sel inangnya. Tujuan utama virus adalah menyampaikan materi genetiknya ke dalam sel inang untuk diekspresikan. Partikel virus yang lengkap disebut virion. Sebuah virus yang sepenuhnya terdiri dari partikel virus infeksi disebut virion. Virion paling sederhana terdiri dari dua komponen dasar: asam nukleat (RNA tunggal atau ganda atau DNA) dan mantel protein, kapsid, yang berfungsi sebagai selubung untuk melindungi genom virus dari nuklease dan yang selama infeksi melekatkan virion ke reseptor spesifik yang terpapar pada sel inang yang potensial.

Protein ini diatur oleh genom virus. Karena ukurannya terbatas, genom virus hanya mengkodekan beberapa protein struktural. Kapsid virus, yaitu mantel protein, terdiri dari beberapa salinan protein yang dirakit sendiri untuk membentuk struktur tiga dimensi. Perakitan kapsid virus mengikuti dua pola dasar: simetri heliks, di mana subunit protein dan asam nukleat diatur dalam heliks, dan simetri ikosahedral, di mana subunit protein merakit menjadi selubung simetris yang menutupi inti yang mengandung asam nukleat (Gelderblom, 2008).

## 2. Infeksi virus

Proses infeksi dimulai ketika partikel virus menyatu dengan sel targetnya, tetapi metode penyatuan ini berbeda-beda tergantung jenis virus, baik itu bakteriofag, virus tanaman, maupun virus hewan.

### 1) Infeksi virus pada sel hewan

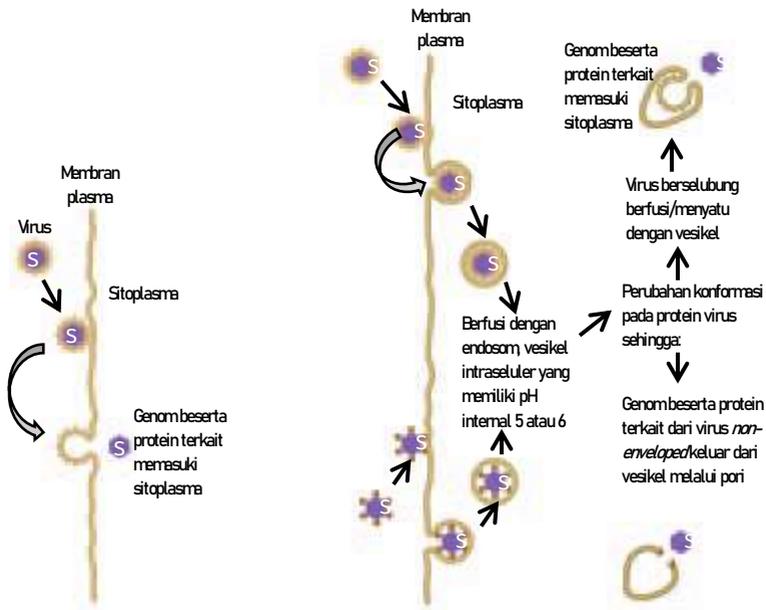
Virus menginfeksi sel hewan melalui serangkaian langkah yang melibatkan penempelan pada permukaan sel, masuk ke dalam sel, dan pembebasan materi genetik virus ke dalam sitoplasma sel.

Pertama, virus menempel pada permukaan sel hewan dengan menggunakan molekul reseptor yang terdapat pada membran sel. Molekul-molekul ini berperan sebagai kunci yang sesuai dengan gembok spesifik pada permukaan sel, memungkinkan virus untuk menempel secara kokoh.

Setelah menempel, langkah selanjutnya adalah masuk ke dalam sel. Ada dua cara utama masuknya virus ke dalam sel hewan: masuk dengan fusi membran atau endositosis. Virus berselubung/*enveloped* (memiliki lapisan lipid eksternal yang mengelilingi protein virus di dalamnya) biasanya menggunakan fusi membran, di mana membran virus berasosiasi dengan membran sel inang, memungkinkan virus untuk melepaskan materi genetiknya

ke dalam sitoplasma sel. Sementara virus *non-enveloped* masuk ke dalam sel inang melalui endositosis, di mana sel membungkus virus dalam vesikel dan membawa virus ke dalam sel. Setelah virus masuk ke dalam sel inang, materi genetiknya dapat dibebaskan ke dalam sitoplasma.

Meskipun virus dapat menempel pada sel dan menunjukkan interaksi dengan reseptor, seringkali infeksi tidak terjadi secara efisien. Hal ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk kegagalan proses masuk virus ke dalam sel atau proses selanjutnya setelah virus masuk ke dalam sel. Sebagian besar RNA virus yang menginfeksi bahkan dapat diurai setelah berinteraksi dengan sel, karena materi genetiknya dihancurkan oleh enzim-enzim di dalam sel inang. Ini dapat menghasilkan rasio partikel virus noninfektif yang tinggi, yang membuat sulit untuk menentukan jalur masuk yang fungsional bagi virus.



Gambar 3. 4 Proses Infeksi Virus pada Sel Inang  
(sumber: Dimmock et al., 2007).

## 2) Infeksi virus pada sel tanaman

Pada sel tanaman, dinding sel bertindak sebagai penghalang bagi virus untuk menempel dan memasuki sel, yang berbeda dengan mekanisme infeksi pada sel hewan. Virus hanya dapat mencapai sitoplasma sel tumbuhan saat terjadi kerusakan pada jaringan tersebut, baik melalui bantuan vektor seperti hewan pemakan tanaman atau jamur invasif, maupun akibat kerusakan mekanik yang disebabkan oleh angin atau hewan yang lewat. Di laboratorium, kerusakan tersebut dapat

disimulasikan dengan aplikasi karborundum abrasif pada daun selama uji lesi lokal dari bahan yang mengandung virus. Meskipun beberapa virus tanaman seperti TMV dapat ditransmisikan secara mekanis tanpa vektor, sebagian besar memerlukan hubungan yang spesifik dengan vektor hewan tertentu yang memakan jaringan tanaman. Setelah virus memasuki tanaman, terjadi pelepasan partikel virus dalam sitoplasma melalui ikatan kapsid dengan protein sitoplasma dan pengaruh kation divalen seperti kalsium.

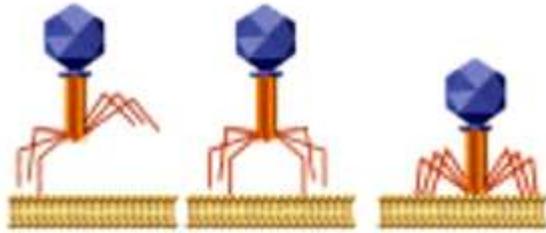
Genom virus yang terlepas kemudian dapat berpindah-pindah di sekitar tanaman melalui plasmodesmata, yang menghubungkan sel-sel tanaman dan membuatnya berfungsi seperti satu sel tunggal. Ini memungkinkan virus untuk menyebar dalam tanaman, bahkan jika virus memiliki mutasi pada protein mantelnya. Untuk melakukan ini, virus tanaman menghasilkan protein pergerakan virus yang membentuk saluran sepanjang plasmodesmata, memfasilitasi transmisi genom virus ke sel-sel yang berdekatan.

### 3) Infeksi virus pada bakteri

Virus yang menginfeksi bakteri disebut bakteriofag, atau biasa disingkat sebagai fag. Ini adalah agen infeksius yang spesifik, menyerang bakteri dengan cara tertentu berdasarkan

interaksi antara permukaan sel bakteri dan komponen spesifik pada fag. Bakteriofag memiliki peran penting dalam mengatur populasi bakteri dan memiliki potensi sebagai agen terapi antibakteri. Proses awal penyerangan bakteriofag terjadi melalui penempelan pada dinding sel bakteri, namun ada pula reseptor sel lain yang menjadi target penempelan fag, seperti pili, flagela, atau kapsul pada sel bakteri. Misalnya, bakteriofag yang memiliki struktur seperti ekor bersisik umumnya menempel pada dinding sel bakteri, dan melakukan hal ini dengan menggunakan ujung ekor mereka.

Perubahan kimia pada reseptor sel bakteri telah dijelaskan untuk beberapa bakteriofag *Salmonella*. Semua ini adalah informasi berharga bagi para ahli kimia dinding sel. Sebagai contoh, jika kita ingin mengisolasi mutan *rfc Salmonella*, prosedur pemilihan yang selektif diperlukan untuk mempermudah langkah ini. Pada umumnya, contoh paling terdokumentasi dari penempelan fag adalah pada fag T2 dan T4. Virus-virus ini memiliki struktur kompleks, termasuk ekor, pelat dasar, pin, dan serat ekor. Penempelan awal dari fag-fag ini pada reseptor pada permukaan bakteri dilakukan oleh ujung distal dari serat ekor yang panjang.



Gambar 3. 5 Penempelan Bakteriofage T4 pada Dinding Sel Bakteri

*Escherichia coli*

(Sumber: Dimmock et al., 2007).

### 3. Manfaat Virus

Meskipun virus sering kali dikaitkan dengan penyakit dan masalah kesehatan, penting untuk menyadari bahwa mereka juga bisa memberikan manfaat. Contohnya, di laut, virus merupakan salah satu jenis organisme yang paling melimpah. Mereka menyusun 94% dari semua partikel yang mengandung asam nukleat di lautan dan 15 kali lebih melimpah dibandingkan bakteri dan arkea. Virus membantu menjaga keseimbangan ekosistem dengan cara mengontrol populasi mikroba laut. Ketika virus menginfeksi mikroba laut, mereka membantu memecahnya menjadi bagian-bagian kecil yang disebut materi partikulat. Ini menghasilkan pelepasan nutrisi penting ke dalam air, yang berguna bagi organisme laut lainnya seperti fitoplankton, dasar dari rantai makanan laut.

Selain itu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa interaksi antara virus dan bakteri atau virus dengan virus lainnya juga bisa bermanfaat. Contohnya, pada manusia, terdapat kasus di mana pasien AIDS yang terinfeksi HIV menunjukkan penurunan keparahan penyakit, jika mereka terus-menerus terinfeksi virus hepatitis G, dan tikus yang terinfeksi laten (virus tidak menyebabkan penyakit) dengan beberapa virus herpes tahan terhadap bakteri patogen *Listeria monocytogenes* dan *Yersinia pestis*. Ini menunjukkan bahwa virus tidak hanya berfungsi sebagai penyebab penyakit, tetapi juga bisa memiliki efek positif dalam beberapa situasi (Flint et al., 2015).

### 3.3 Mikologi

Mikologi, sebuah cabang ilmu dalam biologi, mempelajari fungi dan berbagai aspeknya, termasuk sifat genetik, bio kimia, taksonomi, serta penggunaan dan dampaknya bagi manusia dan lingkungan. Perkembangan sistematis mikologi dimulai setelah perkembangan mikroskop pada abad ke-16, dan karya penting dalam bidang ini dianggap sebagai publikasi Pier Antonio Micheli pada tahun 1729 yang mengenai studi fungi. Dari sini, studi tentang fungi terus berkembang, memperkaya pemahaman kita tentang organisme ini serta perannya dalam ekosistem dan kesehatan manusia.

Fungi, yang sering disebut jamur, umumnya bersifat multiseluler (kecuali khamir, *Saccharomyces cerevisiae*, yang merupakan contoh utama jamur uniseluler), bergantung pada organisme lain untuk mendapatkan energi dan makanan, dan biasanya memiliki beberapa sel dengan dua inti per sel (multinukleat). Mereka tersebar luas di alam, ditemukan di tanah, udara, dan air, serta pada sisa-sisa organik yang membusuk dari tumbuhan atau hewan. Ada sekitar 400.000 jenis jamur. Meskipun demikian, beberapa kelompok organisme yang dulunya dianggap sebagai jamur sekarang dipindahkan dari kingdom fungi karena perbedaan mendasar dalam komposisi dinding sel mereka. Dinding sel jamur sejati terutama terdiri dari kitin dan polisakarida lainnya, tanpa mengandung selulosa seperti pada organisme mirip jamur (Ghany & El-sheik, 2016). Berikut disajikan tabel tentang ciri umum dari jamur:

Karakteristik	Deskripsi
Semua bersifat eukariotik	Memiliki inti sel yang dibatasi membran (yang mengandung kromosom) dan berbagai organel sitoplasma yang dibatasi membran (misalnya,

## MIKROBIOLOGI:

### Memahami Dunia Mikroskopis

---

	mitokondria, vakuola, retikulum endoplasma).
Sebagian besar jamur berbentuk filamen	Terdiri dari filamen mikroskopis individu yang disebut hifa, yang menunjukkan pertumbuhan apikal dan bercabang membentuk jaringan hifa yang disebut miselium.
Beberapa jamur bersifat uniseluler	Beberapa jamur terdiri dari satu sel yang mengandung semua organel seperti khamir.
Protoplasma dari hifa atau dinding kaku mengelilingi sel jamur	Terutama terdiri dari glukukan dan kitin, meskipun selulosa masuk dalam komposisi dinding beberapa spesies.
Berkembang biak secara seksual dan aseksual	Produksi spora pada jamur terbentuk sebagai hasil reproduksi seksual dan aseksual dalam kebanyakan kasus.

Inti jamur umumnya haploid dan kompartemen hifa sering multinukleat	Meskipun inti diploid hadir dalam Oomycota dan beberapa khamir.
Cara memperoleh nutrisi adalah kemoheterotrof (kemo-organotrof)	Mereka memanfaatkan sumber karbon organik di lingkungannya sebagai sumber karbon dan energi dari reaksi biokimia oksidasi senyawa organik, yang diperlukan untuk pertumbuhan dan energi.
Penyimpanan nutrisi	Umumnya nutrisi disimpan dalam bentuk lipid glikogen dan alkohol gula.
Dapat hidup bebas atau membentuk hubungan yang dekat dengan organisme lain	Misalnya dapat hidup bebas, parasit, atau mutualistik (simbiotik).

Tabel 3. 2 Karakteristik Umum Jamur

### 1. Klasifikasi Fungi

Pada awal perkembangan ilmu mikologi, Kingdom Fungi dikelompokkan ke dalam empat filum, yakni Ascomycota, Zygomycota, Basidiomycota, dan Deuteromycota. Pengelompokan

jamur ke dalam empat divisi ini didasarkan pada organ yang terbentuk setelah reproduksi seksual jamur. Klasifikasi Kingdom Fungi mengalami perkembangan signifikan pada tahun 2007. Perkembangan ini merupakan hasil dari upaya penelitian kolaboratif yang melibatkan puluhan ahli mikologi dan ilmuwan lainnya dalam taksonomi jamur. Hasil penelitian tersebut mengklasifikasikan Kingdom Fungi menjadi tujuh filum, antara lain *Microsporidia*, *Blastocladiomycota*, *Neocallimastigomycota*, *Glomeromycota*, *Chytridiomycota*, *Ascomycota*, dan *Basidiomycota*. Dua di antaranya, *Ascomycota* dan *Basidiomycota*, mewakili cabang subkingdom Dikarya, yang merupakan kelompok yang paling kaya akan spesies dan paling akrab, termasuk semua jenis jamur, sebagian besar jamur pembusukan makanan, kebanyakan patogen tanaman, serta ragi yang digunakan untuk membuat bir, anggur, dan roti (Susilo, 2022).

#### 1) *Microsporidia*

*Microsporidia* merupakan kelompok parasit eukariotik uniseluler yang memiliki sifat obligat intraseluler dan membentuk spora. Ciri utama dari kelompok ini adalah spora mereka yang berukuran antara 1 hingga 20  $\mu\text{m}$ , dengan mayoritas berada di kisaran 1–5  $\mu\text{m}$ . *Microsporidia* dapat menginfeksi berbagai inang yang meliputi hampir semua filum

hewan besar dan beberapa protista seperti *Ciliophora*, *Myxozoa*, dan *Apicomplexa*. Siklus hidup mereka terbagi menjadi tiga fase utama: proliferasi, di mana sel-sel mereka membelah dalam sel inang; sporogoni, yang melibatkan pembentukan spora; dan fase lingkungan, di mana spora dilepaskan ke lingkungan untuk menginfeksi inang baru. Microsporidia juga dikenal sebagai parasit oportunistik pada manusia, terutama sejak tahun 1980-an. Contoh spesies dari kelompok ini adalah *Enterocytozoon bieneusi*, yang sering dikaitkan dengan infeksi pada pasien dengan sistem imun yang lemah (Cali et al., 2016).

## 2) *Blastocladiomycota*

*Blastocladiomycota* adalah filum jamur zoospora yang termasuk dalam kelompok dasar fungi, sering ditemukan di tanah dan air tawar sebagai saprofit atau parasit pada tumbuhan vaskular, alga, dan hewan invertebrata seperti yang ditemukan pada genera seperti *Physoderma* yang memparasitasi tumbuhan vaskular, *Paraphysoderma* pada alga, dan *Catenaria* serta *Coelomomyces* yang parasit pada mikroinvertebrata. Ciri khasnya termasuk memiliki zoospora dan zigot tanpa dinding sel untuk penyebaran dan pembentukan talus baru yang dikelilingi oleh dinding sel berkitin. Talus ini bisa berupa monosentrik dengan satu sporangium atau bentuk yang

lebih kompleks dengan banyak sporangium dan hifa. Dalam siklus hidupnya, *Blastocladiomycota* menunjukkan pergantian antara gametotalus haploid dan sporotalus diploid, dan beberapa spesies seperti *Coelomomyces* bahkan mengalami pergantian inang. Ciri khas lainnya adalah produksi zoospora dengan flagelum yang unik dan kadang aplanospora ameboid. Struktur resisten dan berpigmen gelap pada sporangianya menandakan kemampuannya untuk bertahan dalam kondisi lingkungan yang keras, dengan pelepasan meiospora yang dapat menumbuhkan generasi baru (Powell, 2017).

### 3) *Neocallimastigomycota*

Jamur anaerobik, termasuk dalam filum *Neocallimastigomycota*, merupakan garis keturunan awal yang jelas terkait dengan kingdom fungi dan dekat hubungannya dengan chytrids (*filum Chytridiomycota*). Mereka memiliki fisiologi anaerobik yang khas dan struktur flagel yang membedakannya dari filum chytrid. *Neocallimastigomycota* terdiri dari enam genus yang dapat dibedakan berdasarkan morfologi talus dan flagelasi zoospora. Contohnya termasuk *Caecomyces* dan *Cyllamyces* dengan morfologi bulbus, *Neocallimastix* dan *Piromyces* dengan *hyphael monocentric*, serta *Orpinomyces* dan *Anaeromyces* dengan *hyphael*

*polycentric*. Meskipun identifikasi genus jamur anaerobik menggunakan pendekatan mikroskopis sulit, isolat dapat dengan relatif mudah diasingkan ke dalam kelompok ini melalui pemeriksaan langsung dari koloni/kultur. Meskipun reproduksi seksual belum teridentifikasi, jamur anaerobik berkembang biak melalui produksi aseksual zoospora yang dilepaskan dari sporangium. Mereka biasanya ditemukan di dalam usus herbivora, di mana mereka membantu dalam degradasi material tumbuhan yang dikonsumsi. Misalnya, mereka terdeteksi dalam berbagai jenis hewan herbivora seperti sapi, domba, dan kuda, menunjukkan preferensi untuk lingkungan dengan pH netral seperti rumen atau sekum yang menunjang proses pencernaan yang panjang dan efektif (Gruninger et al., 2014).

#### 4) *Glomeromycota*

*Glomeromycota* adalah kelompok fungi *monofiletik* yang hidup sebagai *biotrof obligat* membentuk mikoriza arbuskular (AM) atau *endosimbiosis* dengan *cyanobacteria*. Meskipun merupakan salah satu dari filum fungi yang paling kecil dengan hanya sekitar 230 spesies yang telah dideskripsikan. Takson dalam kelompok ini dideskripsikan berdasarkan morfologi spora besar, multinukleat, yang kadang-kadang diorganisir dalam agregat spora atau sporokarp. Namun, karena kurangnya

karakter morfologi yang jelas, data molekuler semakin digunakan untuk deskripsi takson dari tingkat filum hingga spesies. Secara filogenetik, *Glomeromycota* telah ditempatkan sebagai kelompok yang berhubungan dekat dengan *Ascomycota* dan *Basidiomycota* dalam beberapa analisis, tetapi mereka juga dapat mengelompok dengan fungi zygomycetous dalam analisis lain. Contoh-contoh *Glomeromycota* yang terkenal termasuk *Rhizophagus irregularis* dan *Glomus mosseae* (yang baru-baru ini berganti nama menjadi *Funneliformis mosseae*), yang ditemukan di berbagai habitat dan wilayah di seluruh dunia (Redecker dan Schubler, 2014).

#### 5) Chytridiomycota

Filum *Chytridiomycota* mencakup lebih dari 900 spesies yang tumbuh secara aerobik di tanah, lumpur, atau air, dan banyak di antaranya disebut '*chytrids*'. Mereka menggunakan zoospora untuk bereproduksi, dengan sebagian memiliki lebih dari satu flagelum. Beberapa spesies hidup di estuari atau laut, sementara yang lainnya menjadi saprotrof, memecah materi organik seperti selulosa dan kitin dari sisa-sisa organik. Contohnya adalah *Caulochytrium* yang menjadi parasit pada fungi terestrial. Ada juga chytrids yang menjadi parasit pada alga dan diatom, seperti *Synchytrium* dan *Olpidium*. Contoh

lainnya adalah *Coelomomyces* spp. yang menyebabkan penyakit pada invertebrata air tawar. Dinding sel *chytrids* mengandung kitin dan beberapa juga mengandung selulosa. Thallus mereka dapat berbentuk *holocarpic* atau *eucarpic*, dengan beberapa jenis memiliki struktur sporangia yang berbeda, seperti monosentrik atau polisentrik.

#### 6) *Ascomycota*

Filum *Ascomycota* adalah kelompok jamur terbesar yang mencakup lebih dari 32.000 spesies yang telah dideskripsikan dalam 3400 genus. Dikenal sebagai ascomycetes, jamur ini memiliki spora seksual yang disebut askospora, yang terdapat dalam kantung yang disebut askus. Biasanya, askus mengandung delapan askospora dan melepaskannya dengan mekanisme pelepasan yang khas, seperti disemprotkan dari askus. *Ascomycetes* memiliki berbagai gaya hidup, termasuk sebagai *saprotrof* (memakan bahan organik mati), *nekrotrof* (memakan jaringan hidup), atau *biotrof* parasit (hidup pada atau dalam jaringan hidup). Contohnya termasuk *Erysiphales*, yang menyebabkan penyakit *mildew* serbuk pada tanaman, dan *Taphrinales* yang menyebabkan kelainan pertumbuhan pada tanaman. Beberapa juga tumbuh sebagai endofit dalam asosiasi tanpa gejala dengan tanaman. Dalam siklus hidupnya,

ascomycetes melibatkan reproduksi seksual yang melibatkan fusi nukleus dan meiosis, yang terjadi di dalam askus. Sebagian besar *ascomycetes* memiliki miselium vegetatif haploid yang mampu melakukan reproduksi aseksual melalui fragmentasi, tunas, atau pembentukan konidia. Miselium ini seringkali memberikan kontribusi pada kehidupan sehari-hari seperti di ragi *Saccharomyces cerevisiae* yang dipakai dalam proses fermentasi.

#### 7) *Basidiomycota*

Filum *Basidiomycota* (biasa disebut *basidiomycetes*) merupakan kelompok jamur besar dengan lebih dari 30.000 spesies. Mereka mencakup banyak jenis jamur yang akrab seperti *toadstools*, jamur *bracket*, *puffballs*, *earth balls*, *earth stars*, *stinkhorns*, *false truffles*, dan *jelly* fungi, serta beberapa bentuk yang kurang dikenal. Di sini juga termasuk jamur karat dan jamur smut, yang merupakan patogen tanaman tingkat tinggi dan dapat menyebabkan penyakit tanaman yang serius. Sebagian besar basidiomycetes bersifat terestrial dengan spora yang tersebar oleh angin, tetapi beberapa tumbuh di habitat air tawar atau laut. Banyak di antaranya adalah saprotrof dan terlibat dalam pembusukan bahan organik seperti daun mati dan kayu, tetapi ada juga yang bersifat patogen terhadap pohon

seperti jamur madu, *Armillaria*, dan *Heterobasidion annosum*. Jamur hutan umum seperti spesies *Amanita*, *Boletus*, dan sekutunya tumbuh dalam hubungan simbiotik mutualistik dengan akar pohon, membentuk mikoriza ektotrof. Beberapa jamur basidiomycetes juga dapat menghasilkan basidiokarpus yang dapat dimakan, seperti *Agaricus bisporus*, *Pleurotus* spp., dan *Lentinula edodes*. Namun, ada juga basidiokarpus yang beracun jika dikonsumsi, misalnya *Amanita phalloides*. Struktur karakteristik dari basidiomycetes yang bereproduksi secara seksual adalah basidium, sel yang menghasilkan basidiospora secara eksternal melalui sterigmata yang melengkung. Basidia terbagi oleh septum disebut phragmobasidia atau heterobasidia, sedangkan yang tidak terbagi disebut holobasidia. Rust fungi dan smut fungi menghasilkan basidia dari sel istirahat dikariotik yang disebut teliospora atau *chlamydospores*, yang menghasilkan *basidiospora* melalui *promiselium* (Webster dan Weber, 2007).

Struktur, ukuran, dan kompleksitas berbagai spesies jamur bervariasi, seperti pada kapang, cendawan, dan khamir. Seperti pembahasan dibawah ini:

**Kapang**, atau mold, terdiri dari filamen panjang bercabang yang disebut hifa. Massa hifa kusut yang terlihat dengan mata

telanjang disebut miselium. Sebagai contoh, jamur tempe *Rhizopus oryzae* memiliki struktur hifa yang mencolok. Secara mikroskopis, hifa kapang dapat dibedakan menjadi dua jenis: hifa berseptum, yang disebut monositik, dan hifa tanpa septum, yang disebut senositik. Kapang yang awalnya tanpa septum dapat membentuk septum apabila mengalami kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan, seperti ketika membentuk klamidospora. Pembentukan miselium terjadi melalui anastomosis, di mana cabang-cabang hifa bersatu untuk membentuk jaringan miselium yang berfungsi untuk penyerapan nutrisi dan menghubungkan hifa terpisah.

**Khamir**, atau yeast, adalah jamur uniseluler dengan inti tunggal. Mereka berkembang biak secara aseksual melalui tunas. Sel baru terbentuk di permukaan sel, membesar, dan kemudian menjadi organisme independen. Contoh khamir adalah *Saccharomyces cereviceae*, yang memiliki dua fase hidup: fase hifa dan fase khamir, tergantung pada kondisi lingkungan. Beberapa spesies khamir dapat membentuk pseudohifa atau miselium sejati.

**Cendawan**, atau mushroom, memiliki hifa berbentuk tabung dan membentuk tubuh buah (karpus). Misalnya, jamur tiram *Pleurotus ostreatus* memiliki struktur khas dengan tubuh buah yang terlihat dengan mata telanjang. *Basidiomycota*, yang termasuk

dalam cendawan, memiliki tiga jenis hifa: hifa homokariotik, hifa dikariotik, dan hifa tersier. Hifa homokariotik berkembang menjadi hifa dikariotik ketika dua hifa yang kompatibel bersatu. Hifa tersier terbentuk sebagai tangkai karpus untuk menyangga tubuh buah (Asrianto, 2021).

## 2. Struktur Fungi

Struktur fungi dapat dilihat dari segi subseluler, yang terdiri dari beberapa komponen penting seperti dinding sel, membran sel, dan sitoplasma.

### 1) Kapsul:

- Beberapa spesies fungi memiliki lapisan luar berlendir atau kapsul.
- Kapsul terdiri dari polisakarida yang bersifat cair dan dapat mempengaruhi pertumbuhan fungi.
- Kapsul tidak memengaruhi permeabilitas dinding atau membran sel, tetapi dapat mempengaruhi faktor virulensi, seperti pada *Cryptococcus neoformans*.

### 2) Dinding Sel:

- Dinding sel fungi memberikan kekakuan dan kekuatan pada sel serta mencegah tekanan osmotik pada membran sel.

- Terdiri dari karbohidrat (sekitar 80%), terutama khitin, chitosan, selulosa, glukukan, dan manan.
- Protein (sekitar 10%) juga membangun dinding sel, termasuk enzim dan protein struktural.
- Komposisi dinding sel berbeda-beda antar spesies, yang dapat mempengaruhi antigen dan klasifikasi fungi.

### 3) Membran Sel:

- Membran sel fungi memiliki struktur bilayer yang mirip dengan sel eukariot tingkat tinggi.
- Mengandung fosfolipid, seperti fosfatidilkolin dan fosfatidiletanolamin, serta sterol seperti ergosterol.
- Membran sel berfungsi melindungi sitoplasma, mengatur pemasukan dan pengeluaran zat, dan memfasilitasi sintesis dinding sel dan kapsul.

### 4) Sitoplasma:

- Sitoplasma fungi sering mengandung lebih dari satu inti, dengan kesinambungan sitoplasma antar sel dalam hifa.
- Mengandung mitokondria, yang berperan dalam aktivitas respirasi dan perkecambahan spora.
- Vakuola merupakan organel kompleks yang menyimpan enzim hidrolitik, ion, dan metabolit tertentu (Hafsan, 2011).

## **BAB 4**

# **PERAN MIKROBIOLOGI DALAM KEHIDUPAN SEHARI-HARI**

Mikrobiologi memegang peran penting dalam kehidupan sehari-hari, baik secara langsung maupun tidak langsung. Dalam konteks ini, studi tentang mikroorganisme seperti bakteri, virus, dan jamur memberikan pemahaman mendalam tentang berbagai aspek kehidupan, mulai dari kesehatan hingga lingkungan. Mikroorganisme memainkan peran kunci dalam pembuatan makanan, produksi obat-obatan, pengolahan limbah, dan menjaga keseimbangan ekosistem. Dengan pemahaman yang baik tentang mikrobiologi, kita dapat mengembangkan praktik-praktik yang mempromosikan kesehatan, keberlanjutan lingkungan, dan kesejahteraan umum. Oleh karena itu, pengetahuan tentang mikrobiologi sangat relevan dan berdampak langsung pada kehidupan sehari-hari kita.

## 4.1 Mikrobiologi Lingkungan

Mikrobiologi lingkungan, sebagai salah satu cabang ilmu mikrobiologi, memusatkan perhatiannya pada interaksi, perilaku, aktivitas, dan peran mikroorganisme dalam berbagai ekosistem lingkungan, seperti perairan, permukaan tanah, dan udara. Tujuan utamanya adalah untuk memanfaatkan potensi mikroba dan mengurangi dampak negatif yang mungkin ditimbulkan oleh mereka. Kajian mikrobiologi lingkungan mencakup pemahaman terhadap mikroorganisme dari berbagai tingkatan dan peran mereka dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Kemampuan adaptasi dan reproduksi mikroba hampir merata di seluruh penjuru lingkungan, menjadikan mereka ditemukan di berbagai tempat di planet ini. Oleh karena itu, masalah pencemaran lingkungan menjadi perhatian serius bagi masyarakat dan pemerintah, dengan upaya pengelolaan risiko pencemaran untuk menjaga fungsi ekosistem dan kesehatan masyarakat. Industri dan kegiatan lain yang berpotensi mencemari lingkungan harus mengelola limbahnya dengan hati-hati, memperhatikan efek negatif yang mungkin ditimbulkan bagi komunitas dan lingkungan. Teknologi bioremediasi menjadi solusi yang efektif dalam mengatasi pencemaran lingkungan dengan memanfaatkan mikroba untuk mendegradasi dan menghancurkan

polutan. Selain itu, mikroba juga berperan dalam proses dekomposisi bahan kimia yang dapat dimanfaatkan dalam pengolahan makanan dan pengelolaan air limbah. Kemampuan mikroba dalam dekomposisi bahan kimia merupakan bagian penting dari siklus biogeokimia yang memengaruhi kualitas lingkungan secara keseluruhan (A'yun et al., 2022).

Penerapan mikroorganisme dalam lingkungan mencakup berbagai bidang, termasuk pengolahan limbah, bioremediasi, biomining, dan berbagai proses lainnya yang bertujuan untuk membersihkan polutan, mengekstraksi logam berharga, dan mendukung pemulihan ekosistem yang terganggu.

### 1. Pengolahan limbah

Pengolahan limbah adalah suatu proses penting dalam menjaga kebersihan dan keberlanjutan lingkungan, terutama dalam konteks menjaga kualitas air. Limbah, yang berasal dari berbagai sumber seperti domestik, industri, pertanian, dan perkotaan, dapat mengandung berbagai kontaminan yang dapat mencemari lingkungan air jika tidak ditangani dengan baik. Proses pengolahan limbah dimulai dengan tahap primer, di mana padatan tersuspensi dan material kasar lainnya dihilangkan dari limbah. Tahap sekunder

kemudian mengikuti, dimana tujuan utamanya adalah untuk mengurangi permintaan oksigen biokimia dalam limbah. Dalam tahap ini, mikroorganisme, terutama bakteri, memainkan peran krusial. Contohnya, bakteri seperti Zoogloea membentuk agregat yang efisien dalam menyerap dan mengoksidasi materi organik dalam limbah.

Meskipun proses pengolahan limbah berhasil mengurangi sebagian besar kontaminan, masih ada tantangan yang harus diatasi. Salah satunya adalah tingginya tingkat residu senyawa nitrogen dan fosfat, yang dapat menyebabkan eutrofikasi dan merusak ekosistem air. Selain itu, masih ada zat-zat obat-obatan yang belum sepenuhnya dihilangkan dari limbah, yang dapat memiliki efek negatif pada lingkungan jika dilepaskan kembali ke dalam ekosistem. Oleh karena itu, solusi yang efektif dalam pengolahan limbah harus mempertimbangkan alternatif proses yang lebih lanjut untuk mengatasi residu senyawa tersebut, meminimalkan dampak lingkungan negatif, dan memastikan air yang diolah aman untuk digunakan kembali atau dilepaskan kembali ke lingkungan dengan kadar yang dapat diterima. Dengan demikian, pengolahan limbah tidak hanya menjadi langkah teknis, tetapi juga

menjadi bagian integral dari upaya menjaga keseimbangan ekologis dan kesejahteraan manusia.

## 2. Bioremediasi

Bioremediasi adalah suatu proses yang mengandalkan aktivitas organisme hidup untuk membersihkan polutan yang tersebar di lingkungan. Berbeda dengan perlakuan fisik atau kimia yang hanya memindahkan polutan, bioremediasi melibatkan proses biodegradasi yang mengubah polutan organik menjadi produk anorganik yang tidak berbahaya, seperti karbon dioksida, air, dan ion halida. Salah satu keunggulan bioremediasi adalah biayanya yang umumnya lebih murah dan minim gangguan terhadap lingkungan dibandingkan dengan metode lainnya. Konsorsium mikroorganisme alami, terutama bakteri, memiliki kapasitas untuk mendegradasi berbagai jenis polutan lingkungan, termasuk tumpahan minyak yang besar. Contohnya adalah tumpahan minyak Exxon Valdez dan Nakhodka, yang kemudian berhasil dibersihkan oleh komunitas mikroba endogen dengan peningkatan aktivitas menggunakan pupuk.

Metode bioremediasi juga dapat membantu mengurangi dampak gas rumah kaca. Gas-gas ini, seperti karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), dan nitrogen oksida (N<sub>2</sub>O), dapat memicu

pemanasan global, meningkatkan kerentanan terhadap kerusakan makanan, penyebaran penyakit, dan keparahan bencana alam. Mikroba yang ada di tanah dan lingkungan air berperan dalam memproduksi gas-gas ini. Metana, misalnya, mampu menyerap radiasi dan mempertahankan panas di atmosfer bumi 25 kali lebih besar dari karbon dioksida. Penurunan konsentrasi metana di atmosfer dianggap sebagai langkah cepat untuk mengurangi pemanasan global. Lebih dari separuh emisi metana berasal dari aktivitas manusia, terutama dari peternakan hewan ternak seperti sapi dan domba. Di dalam rumen hewan tersebut, mikroba melakukan fermentasi bahan pakan tanaman menjadi energi untuk hewan, dengan metana sebagai produk sampingannya yang dilepaskan ke atmosfer. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang peran mikroba dalam produksi metana, pengembangan strategi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca tersebut menjadi lebih mungkin.



### 3. Biomining

Biomining merupakan metode inovatif dalam industri pertambangan yang mengandalkan interaksi antara mikroorganisme alami dengan bijih logam. Dalam proses ini, mikroba, terutama bakteri asidofilik, dimanfaatkan untuk melarutkan logam dari bijih sulfida atau besi yang memiliki kandungan logam yang rendah. Proses ini terutama difokuskan pada ekstraksi logam seperti tembaga, nikel, dan seng. Mikroorganisme ini memiliki kemampuan untuk mengoksidasi senyawa anorganik sebagai sumber energi, seperti besi ferros atau sulfida, dengan menggunakan oksigen sebagai penerima elektron, sehingga membentuk senyawa seperti besi ferus atau asam sulfat. Dalam hasil reaksi ini, logam yang terlarut kemudian dapat diambil kembali dari larutan menggunakan metode elektrolisis, sementara larutan sisa dapat didaur ulang untuk penggunaan berikutnya. Sebagai contoh, meskipun emas tidak bereaksi langsung dengan mikroorganisme, proses *bioleaching* (ekstraksi logam dari bijih menggunakan mikroorganisme) di bawah kondisi asam dapat membuka struktur bijih emas berisi sulfida sehingga emas dapat diekstraksi dengan larutan sianida (Glazer dan Nikaido, 2007).

## 4.2 Mikrobiologi Kesehatan

Memahami mikroorganisme yang berperan dalam kesehatan manusia memiliki keterkaitan yang erat dengan bidang farmasi. Dalam industri farmasi, penelitian mikrobiologi kesehatan digunakan untuk mengembangkan obat-obatan baru, seperti antibiotik dan vaksin, yang bertujuan untuk mengatasi penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme patogen. Selain itu, pemahaman yang mendalam tentang interaksi antara mikroba dan tubuh manusia juga penting dalam pengembangan terapi personalisasi dan penelitian obat-obatan yang lebih efektif. Dengan demikian, kajian mikrobiologi kesehatan tidak hanya menjadi landasan ilmiah dalam pengembangan obat, tetapi juga memainkan peran kunci dalam memajukan industri farmasi untuk meningkatkan kesehatan masyarakat secara keseluruhan.

### 1. Antibiotik

Antibiotik berasal dari kata anti yang berarti lawan, dan bios yang berarti hidup. Antibiotik adalah zat kimia yang dihasilkan oleh fungi dan bakteri yang dapat menghambat pertumbuhan (bakteriostatik) ataupun mematikan mikroba patogen

(bakterisidal). Adapun jenis dan fungsi antibiotik yang saat ini sering digunakan adalah sebagai berikut:

- Penisilin: sebagai obat infeksi bakteri *Streptococcus*, meningitis, gonore, dan pneumonia.
- Sefalosporin: sebagai obat infeksi tulang, kulit, dan kantong kemih.
- Aminoglikosida: sebagai obat TBC.
- Tetrasiklin: sebagai obat infeksi sifilis (Atmodjo et al., 2014).

## 2. Vaksin

Vaksin adalah substansi yang digunakan untuk merangsang sistem kekebalan tubuh guna melawan penyakit tertentu. Secara konvensional, vaksin memiliki dua jenis, yaitu vaksin “hidup” yang mengandung virus yang telah dilemahkan untuk mengurangi penyakit, dan vaksin “mati” yang terbuat dari virus yang telah dimatikan sepenuhnya. Proses untuk membuat virus yang dilemahkan disebut attenuasi, di mana virus penyebab penyakit dipilih untuk diubah menjadi lebih aman. Meskipun vaksin mati tidak berkembang biak, yang membuatnya memerlukan dosis yang lebih tinggi dan lebih sering, vaksin hidup memiliki risiko yang lebih besar untuk menyebabkan penyakit. Meskipun keduanya memiliki

kelebihan dan kelemahan masing-masing, baik vaksin hidup maupun mati berperan penting dalam pencegahan penyakit menular.

1) Penyakit manusia yang disebabkan oleh virus

- Hepatitis A: disebabkan oleh Picornavirus, vaksin yang digunakan adalah Picornavirus yang telah dimatikan/dilemahkan
- Hepatitis B: disebabkan oleh Hepadnavirus, vaksin yang digunakan adalah Hepadnavirus yang telah dimatikan (vaksin terdiri dari protein antigen yang dihasilkan melalui rekombinasi DNA)
- Influenza A dan B: disebabkan oleh Orthomyxovirus, vaksin yang digunakan adalah Orthomyxovirus yang telah dimatikan (vaksin terdiri dari protein antigen yang dihasilkan melalui rekombinasi DNA) dan Orthomyxovirus hidup
- Campak: disebabkan oleh Paramyxovirus, vaksin yang digunakan adalah Paramyxovirus hidup (vaksin dapat dikombinasikan dan dapat diberikan bersamaan dengan vaksin gondongan dan rubella).
- Gondongan: disebabkan oleh Paramyxovirus, vaksin yang digunakan adalah Picornavirus hidup

- Polio: disebabkan oleh Picornavirus, vaksin yang digunakan adalah Picornavirus yang telah dimatikan dan Picornavirus hidup
- Rabies: disebabkan oleh Rhabdovirus, vaksin yang digunakan adalah Rhabdovirus yang telah dimatikan
- Rubella: disebabkan oleh Togavirus, vaksin yang digunakan adalah Togavirus hidup
- *Covid-19*: disebabkan oleh SARS-CoV-2, vaksin yang digunakan adalah SARS-CoV-2 yang telah dimatikan

2) Penyakit hewan yang disebabkan oleh virus

- Distemper pada anjing: disebabkan oleh Paramyxovirus, vaksin yang digunakan adalah Paramyxovirus hidup
- Influenza pada kuda: disebabkan oleh Orthomyxovirus, vaksin yang digunakan adalah Orthomyxovirus mati
- Marek pada ayam: disebabkan oleh Herpesvirus, vaksin yang digunakan adalah Herpesvirus hidup.

(Dimmock et al., 2007; WHO, 2022)

### 4.3 Mikrobiologi Industri

Beragam mikroorganisme dapat dianggap sebagai pabrik kimia mini karena kemampuannya yang luar biasa dalam

menciptakan perubahan kimiawi. Dalam proses ini, mereka mampu mengubah berbagai substansi alamiah menjadi produk baru yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Pemanfaatan mikroba dalam industri telah menjadi bagian penting dari kehidupan sehari-hari, di mana berbagai produk yang bermanfaat bagi manusia telah diproduksi secara massal dan komersial. Mulai dari pembuatan cuka, alkohol, ragi roti, hingga produksi penisilin dan enzim, mikroorganisme telah menjadi tulang punggung industri modern. Selain itu, di sektor mikrobiologi perminyakan dan pertambangan, peran mikroba juga tak kalah vitalnya dalam proses ekstraksi dan pengolahan bahan mentah. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa mikroorganisme memiliki peran yang sangat signifikan dalam menjaga roda industri dan memenuhi kebutuhan manusia.

Cara Koordinasi Mikroorganisme dalam Industri Mikrobial:

- 1) Induksi enzim: Ini terjadi ketika kecepatan sintesis enzim tertentu meningkat sebagai respons terhadap paparan terhadap suatu bahan kimia tertentu. Misalnya, mikroorganisme memproduksi enzim tertentu untuk mencerna nutrisi tertentu dalam lingkungan terbatas.
- 2) Pengaturan (represi) katabolit: Ini terjadi ketika kecepatan sintesis enzim tertentu menurun sebagai hasil dari paparan

terhadap sumber karbon yang diassimilasi dengan cepat. Contohnya, dalam pertumbuhan bakteri *E. coli*, sintesis enzim tertentu dapat ditekan oleh keberadaan glukosa.

- 3) Pengaturan umpan balik: Dalam pengaturan umpan balik, enzim-enzim biosintetik diatur melalui proses penghambatan atau represi umpan balik. Ada dua cara pengaturan umpan balik: penghambatan umpan balik (inhibisi) dan sistem represi umpan balik.
- 4) Pengaturan pada jalur bercabang: Mekanisme ini mencegah produk akhir dari satu jalur metabolik umum mengganggu produksi senyawa lain yang diturunkan dari jalur metabolik yang sama. Tanpa mekanisme ini, proses metabolisme dapat menjadi kacau.
- 5) Pengaturan asam amino pada sintesis RNA: Ketika asam amino habis dalam medium pertumbuhan, sintesis RNA dan protein terhenti. Kontrol ini menghemat energi sel karena menghentikan pembentukan RNA ketika tidak ada protein yang dapat disintesis.
- 6) Pengaturan muatan energi: Aktivitas enzim-enzim katabolik dan biosintetik diatur oleh keseimbangan energi dalam sel.

Muatan energi digunakan untuk mengatur proses metabolisme yang membutuhkan ATP.

- 7) Kontrol permeabilitas: Mekanisme ini mengatur selektivitas membran sel terhadap molekul-molekul yang penting untuk metabolisme dan kehidupan sel. Penahan permeabilitas utama adalah membran sel yang memberikan kekuatan dan kontrol aktivitas sel mikroorganisme (Susilo, 2022).

Proses Mikrobiologi Industri telah membawa dampak yang signifikan dalam kehidupan manusia dengan menghasilkan berbagai produk yang bermanfaat. Dari makanan hingga obat-obatan, proses ini telah membuka pintu bagi inovasi yang memperkaya kualitas hidup kita. Berikut ini disajikan beberapa contoh produk dari hasil proses Mikrobiologi Industri yang memberikan manfaat yang signifikan bagi kehidupan manusia.

1. Industri Pangan

Proses fermentasi pangan melibatkan penggunaan mikroba untuk menghasilkan berbagai produk olahan baru serta memodifikasi rasa, aroma, dan tekstur makanan. Selain itu, fermentasi juga meningkatkan kualitas gizi makanan dan melancarkan pencernaan. Dalam proses ini, substrat dipecah oleh mikroba untuk menghasilkan alkohol, karbon dioksida, atau asam

organik. Terdapat dua jenis fermentasi berdasarkan produk akhirnya, yaitu homofermentatif yang menghasilkan asam laktat saja, seperti pada pembuatan yoghurt, dan heterofermentatif yang menghasilkan asam laktat dan etanol dalam jumlah yang sama, seperti pada pembuatan tape. Mikroorganisme yang digunakan untuk fermentasi dapat berasal dari bakteri, seperti Actinobacteriaceae, Firmicutes (seperti *Bacillus*), dan Proteobacteriaceae (seperti *Acetobacter* dan *Gluconacetobacter*), serta dari fungi, seperti *yeast* dan *filamentous* fungi. Contoh produk dari fermentasi pangan ini adalah roti (*Saccharomyces cerevisiae*), tempe (*Rhizopus oryzae*), yoghurt (*Lactobacillus bulgaricus*), nata de coco (*Acetobacter xylinum*), dan jenis produk lainnya (Atmodjo et al., 2014).

## 2. Industri Pertanian

Mikrobiologi pertanian memainkan peran kunci dalam menangani masalah pertanian dan mengembangkan agen biologis untuk mengendalikan hama penyakit tanaman. Misalnya, *Bacillus thuringiensis* (*B. thuringiensis*) telah terbukti efektif sebagai pengendali hayati terhadap larva kumbang pada tanaman kentang. Dalam menghadapi serangan hama ini, *B. thuringiensis* menawarkan solusi yang berkelanjutan dengan kemampuannya untuk menghasilkan  $\beta$ -*eksotoksin*, racun yang dapat menghambat

aktivitas DNA-yang bergantung pada RNA polimerase dari sel bakteri dan mamalia. Jenis-jenis *B. thuringiensis* yang berbeda menargetkan hama tertentu, dan produknya, yang biasanya berupa bubuk kering, dapat diaplikasikan pada tanaman untuk mengendalikan populasi hama. Selain itu, mekanisme aksi *B. thuringiensis* sebagai insektisida melibatkan protoxin yang diubah menjadi protein racun setelah tertelan oleh hama dan mencapai usus mereka. Protein racun kemudian membentuk pori pada membran sel, menyebabkan sel larva bocor dan akhirnya kematian mereka. Di samping itu, teknologi DNA rekombinan juga telah digunakan untuk menghasilkan tumbuhan yang resisten terhadap hama, menggunakan organisme seperti *E. coli* (Prayitno dan Hidayati, 2017).



## **BAB 5**

# **PENGENDALIAN MIKROORGANISME**

Pengendalian mikroorganisme merupakan aspek penting dalam berbagai bidang, mulai dari industri makanan hingga perawatan kesehatan. Metode pengendalian ini bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan pertumbuhan mikroba yang dapat menyebabkan kerusakan atau penyakit. Pengendalian mikroorganisme ini bisa dibedakan menjadi 3 yaitu: pengendalian secara kimiawi, pengendalian menggunakan agen fisik, dan pengendalian secara biologi.

### **5.1 Pengendalian Secara Kimiawi**

Pengendalian mikroorganisme secara kimiawi biasanya melibatkan penggunaan bahan kimia untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme yang tidak diinginkan. Senyawa kimia yang dapat mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme dapat dibedakan menjadi antiseptik, desinfektan, dan bahan kemoterapeutik atau antibiotik.

1. Antiseptik adalah zat kimia yang digunakan pada jaringan hidup untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme.
2. Desinfektan, adalah substansi kimia yang mampu menghambat pertumbuhan sel vegetatif pada materi yang tidak hidup.
3. Bahan kemoterapeutik adalah senyawa kimia yang mampu merusak atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme dalam jaringan hidup, dan sering kali dihasilkan oleh mikroorganisme (Susilo, 2022).

## 5.2 Pengendalian Menggunakan Agen Fisik

Pengendalian mikroorganisme secara fisik melibatkan penggunaan metode atau teknologi yang tidak melibatkan bahan kimia atau zat aktif lainnya. Berikut adalah beberapa cara umum pengendalian mikroorganisme secara fisik:

1. Sinar UV dan Pemanasan
  - Sinar matahari atau ultraviolet (UV) memiliki peran yang signifikan dalam aktivitas bakterisida, terutama dalam sterilisasi alami yang terjadi di lingkungan. Sinar UV yang terkandung dalam sinar matahari menyebabkan penghambatan mikroba. Metode sterilisasi alami ini sering ditemukan di lingkungan air seperti tangki air, sungai, dan danau. Di daerah tropis, sinar matahari langsung seringkali

tidak melewati proses penyaringan atmosfer, sehingga memiliki jumlah mikroba yang aktif. Kondisi ini, ditambah dengan intensitas sinar matahari yang tinggi sepanjang tahun dan kombinasi sinar UV dengan panas, dapat menghasilkan aktivitas yang efektif terhadap mikroba.

- Panas merupakan agen yang paling penting dalam proses sterilisasi, yang dapat digunakan baik dalam bentuk panas lembab maupun panas kering. Beberapa bahan yang sensitif terhadap panas dapat tetap disterilkan pada suhu yang lebih rendah selama waktu yang lebih lama atau melalui siklus berulang. Faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan sterilisasi termasuk sifat panas, suhu, waktu paparan, jumlah mikroba, karakteristik organisme, dan sifat bahan terkontaminasi. Mekanisme aksi panas kering melibatkan denaturasi protein, kerusakan oksidatif, dan efek toksik, sementara panas lembab bekerja dengan mengkoagulasi dan denaturasi enzim serta protein struktural. Metode sterilisasi panas kering meliputi penggunaan panas tinggi, api langsung, incenerasi, dan udara panas, sedangkan panas lembab dapat dilakukan dengan pemanasan menggunakan air pada berbagai

tingkat suhu. Autoklaf, sebagai salah satu alat yang umum digunakan untuk sterilisasi dengan panas lembab, dirancang berdasarkan prinsip-prinsip panas lembab dengan waktu dan suhu yang optimal terkait dengan konsep sterilisasi. Beberapa modifikasi dilakukan untuk meningkatkan efektivitas sterilisasi, termasuk penggunaan uap suhu rendah dengan tambahan formaldehida.

## 2. Pengeringan

Pengeringan adalah proses penghilangan kelembaban dari suatu bahan atau lingkungan. Dengan melakukan pengeringan di udara, sel bakteri akan menjadi rusak karena air merupakan komponen utama dari berat bakteri, dengan hampir empat per lima berat bakteri terisi oleh air, yang juga berperan penting dalam pertumbuhan bakteri. Proses pengeringan mampu menghilangkan air di sel bakteri dan mengganggu pertumbuhannya. Namun, metode ini tidak selalu dapat digunakan karena tidak berpengaruh pada spora.

## 3. Filtrasi

Filtrasi adalah metode utama yang digunakan di laboratorium untuk sterilisasi bahan yang tidak tahan panas, seperti darah, serum, larutan gula, dan antibiotik yang digunakan dalam kultur medium.

Penggunaan filtrasi meliputi beberapa tujuan, seperti sterilisasi larutan yang sensitif terhadap panas, pemisahan bakteriofag dan toksin bakteri, isolasi mikroba dalam sampel cairan, konsentrasi bakteri dalam cairan menggunakan filter disk, dan isolasi virus dengan menggunakan ukuran pori filter yang sangat kecil.

#### 4. Radiasi

Terdapat dua jenis radiasi, yaitu non-ionisasi dan ionisasi:

- Sinar inframerah dan ultraviolet termasuk dalam jenis non-ionisasi. Efektivitas sinar UV sebagai agen pembunuh mikroba dan mutagenik berkorelasi dengan panjang gelombangnya, terutama pada rentang 240 nm-280 nm, dengan panjang gelombang optimal yang diserap oleh DNA pada 260 nm, yang berhubungan dengan replikasi DNA, serta radiasi UV sering digunakan dalam mendesinfeksi air minum atau area tertentu yang tertutup, namun spora bakteri dan virus cenderung lebih tahan terhadap radiasi UV.
- Radiasi ionisasi, seperti sinar X, sinar gamma, dan sinar kosmik, memiliki kekuatan penetrasi yang sangat tinggi dan merusak DNA dengan berbagai mekanisme,

digunakan dalam sterilisasi barang sekali pakai yang dikemas seperti jarum suntik plastik, selang intravena, dan sarung tangan yang tidak tahan panas (A'yun et al., 2022).

### 5.3 Pengendalian Secara Biologi

Mikroorganisme juga dapat dikendalikan melalui pendekatan biologis dengan menggunakan antimikroba. Mekanisme pengendalian mikroba oleh antimikroba adalah:

1. Menghambat Dinding Sel:

Antibiotik seperti penicillin dan cephalosporin digunakan untuk menghambat pembentukan dinding sel bakteri. Penicillin dan cephalosporin mengandung cincin  $\beta$ -laktam dan mampu menghambat enzim yang terlibat dalam pembentukan ikatan silang peptida pada peptidoglikan. Namun, *Chlamydia* dan *Mycoplasma* resisten terhadap kedua antibiotik ini karena tidak memiliki dinding sel yang mengandung peptidoglikan.

2. Penghambatan Sintesis Protein:

Antibiotik seperti erythromycin, tetracyclin, aminoglisida, streptomycin, gentamicin, kanamycin, neomycin, dan amikacin

menghambat sintesis protein dengan berinteraksi dengan ribosom 70S atau subunit 30S.

3. Menghambat Fungsi Membran:

Polymyxin B, seperti polymyxin E (*colistin*), berinteraksi dengan membran sitoplasma bakteri, menyebabkan perubahan struktur dan menjadi bakterisida terhadap bakteri gram negatif, termasuk yang resisten terhadap antibiotik lainnya. Polymyxin digunakan untuk mengobati infeksi yang disebabkan oleh bakteri gram negatif (Hafsan, 2011).

## DAFTAR PUSTAKA

- Atmodjo, S.S., Yasin, Hidayat, M., Sari, D.A., Tuba, S., Erwin, Rumondor, R., Siregar, S., Effendi, Anwar, & Muttaqin, M. (2014). *Dasar-dasar Mikrobiologi*. PT. Masagena Mandiri Medica.
- Asrianto. (2021). *Mikrobiologi*. Amerta Media.
- A'yun, Q., Asmarany, A., Fitriyah, D., Rini, I.A., Argaheni, N.B., Sinaga, J., Suryanti, E., Kristianto, Y., Asril, M., & Hamida, F. (2022). *Mikrobiologi Dasar*. Yayasan Kita Menulis.
- Boleng, D.T. (2015). *Bakteriologi Konsep-konsep Dasar*. UMM Press.
- Burckhardt, R., Barron, M., Bell, J., Hagen, A., Hunt, G., O'rourke, K., Potter, L., & Ready, E. (2023). *Microbes and Society*. American Society for Microbiology.
- Cali, A., Becnel, J.J., & Takvorian, P.M. (2016). *Handbook of the Protist*. Springer.
- Campbell, N.A., Reece, J.B., & Mitchell, L.G., (2002). *Biologi Edisi Kelima-Jilid 1*. Erlangga.
- Cowan, M.K. & Smith, H. (2024). *Microbiology a Systems Approach Seventh Edition*. Mc Graw Hill.

- Dimmock, N.J., Easton, A.J., & Leppard, K.N. (2007). *Introduction to Moern Virology Sixth Edition*. Blackwell Publishing.
- Flint, J., Racaniello, V.R., Rall, G.F., Skalka, A.M., & Enquist, L.W. (2015). *Principles of Virology 4<sup>th</sup> Edition*. ASM Press.
- Gelderblom, H.R. 2008. *Medical Microbiology*. University of Tes Medical Branch (UTMB).
- Ghany, T.M.A. & El-Sheikh, H.H. (2016). *Mycology*. Omics Group.
- Glazer, A.N. & Nikaido, H. (2007). *Microbial Biotechnology*. Cambridge University Press.
- Gruninger, R.J., Puniya, A.K., Callaghan, T.M., Edwards, J.E., Youssel, N., Dagar, S.S., Fliegerova, K., Griffith, G.W., Forster, R., Tsang, A., McAllister, T., & Elshahed, M.S. (2014). Anaerobic Fungi (Phylum Neocallimastigomycota): Advances in understanding of their taxonomy, life cycle, ecology, role, and biotechnological potential. Doi: 10.1111/1574-6941.12383.
- Hafsan. (2011). *Mikrobiologi Umum*. Alauddin University Press.
- Killham, K. & Posser, J.I. (2015). *Chapter 3 The Bacteria and Archaea*. Elsevier.
- Maresso, A.W. (2019). *Bacterial Virulence*. Springer
- Parker, N., Schneegurt, M., Tu, A.H.T., Forster, B.M., & Lister, P. (2021). *Microbiology*. OpenStax, Rice University.
- Powell, M.J. (2017). *Handbook of the Protist*. Springer.

- Prayitno, T.A. & Hidayati, N. (2017). *Pengantar Mikrobiologi*. Media Nusa Creative.
- Redecker, D. & Schubler, A. (2014). *Systematics and Evolution, 2<sup>nd</sup> Edition*. Springer.
- Sattley, W.M. & Madigan, M.T. (2021). Bacteriology. *eLS (Encyclopedia of Life Sciences)*. 1 (5) : 821-829.
- Suryani, Y., & Taupiquurrahman, O. (2021). *Mikrobiologi Dasar*. LP2M UIN SGD Bandung.
- Susilo. (2022). *Buku Ajar Mikrobiologi Dasar*. Ahlimedia Press.
- Trivedi, P.C., Pandey, S., & Bhadauria, S. (2010). *Text Book of Microbiology*. Aavishkar Publishers.
- Webster, J. & Weber, W.S. (2007). *Introduction to Fungi*. Cambridge University Press.
- World Health Organization (WHO). (2022). COVID-19 Vaccine (Whole Virion Inactivated Corona Virus vaccine), BBV152, COVAXIN. WHO.

## BIODATA PENULIS



**Vanisa Sri Elvani, S.Si**

Penulis lahir di Padang Pariaman, Sumatra Barat, pada tanggal 14 Juli 1999. Penulis telah menyelesaikan pendidikan Sarjana (S1) di Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau. Penulis memiliki ketertarikan khusus pada bidang mikrobiologi, dan telah memfokuskan penelitian serta pengembangan keterampilan dalam memahami dunia mikroskopis. Selain itu, Penulis juga aktif dalam kegiatan menulis, menjadikan keterampilan ini sebagai salah satu kegiatan utama dalam mengekspresikan pemikiran dan pengetahuan.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: [elvani.vanisa@gmail.com](mailto:elvani.vanisa@gmail.com).