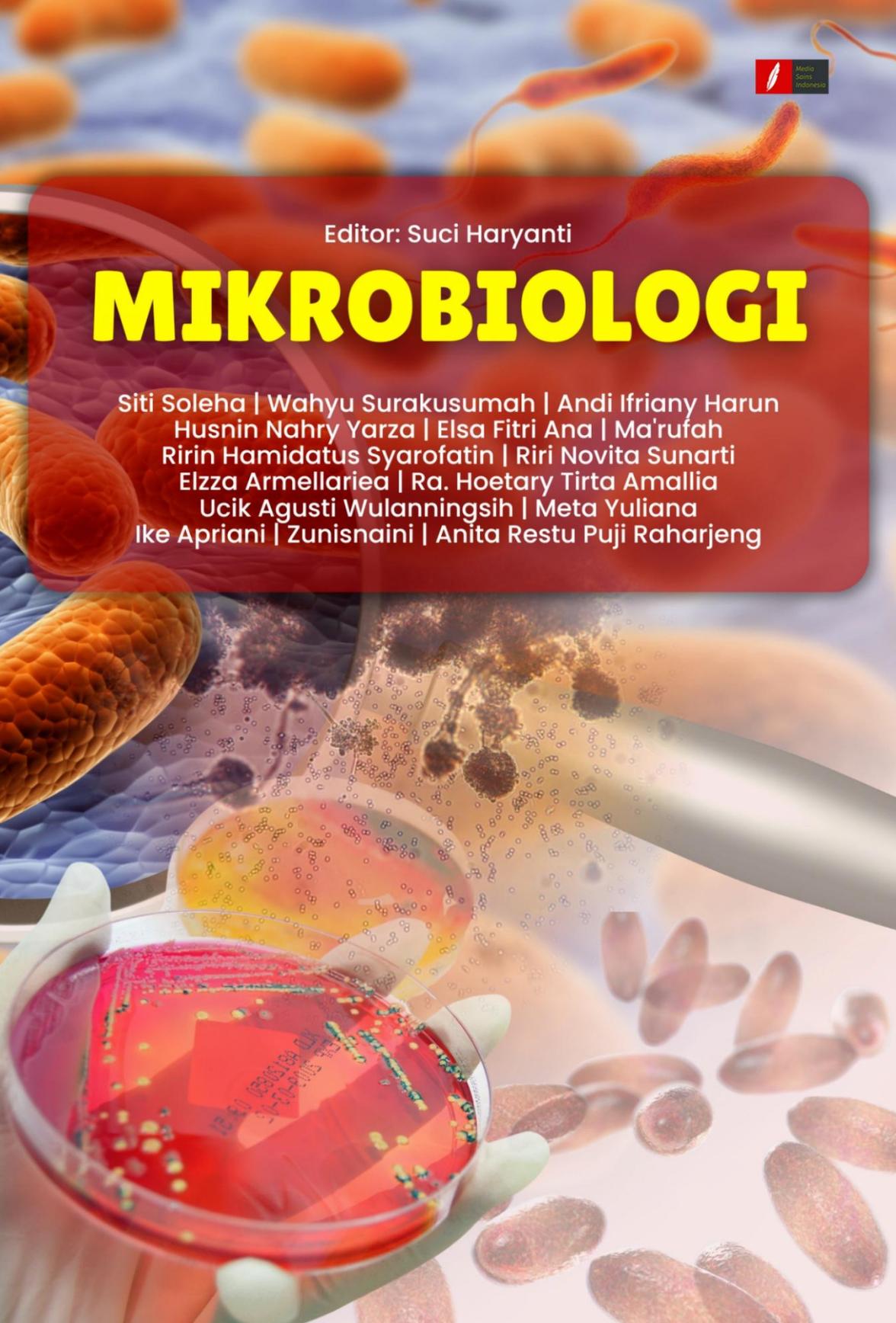


Editor: Suci Haryanti

# MIKROBIOLOGI

Siti Soleha | Wahyu Surakusumah | Andi Ifriany Harun  
Husnin Nahry Yarza | Elsa Fitri Ana | Ma'rufah  
Ririn Hamidatus Syarofatin | Riri Novita Sunarti  
Elzza Armellariea | Ra. Hoetary Tirta Amallia  
Ucik Agusti Wulanningsih | Meta Yuliana  
Ike Apriani | Zunisnaini | Anita Restu Puji Raharjeng



BUNGA RAMPAI  
**MIKROBIOLOGI**

## **UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta**

### **Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4**

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

### **Pembatasan Pelindungan Pasal 26**

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

### **Sanksi Pelanggaran Pasal 113**

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

# MIKROBIOLOGI

Siti Soleha | Wahyu Surakusumah  
Andi Ifriany Harun | Husnin Nahry Yarza  
Elsa Fitri Ana | Ma'rufah  
Ririn Hamidatus Syarofatin | Riri Novita Sunarti  
Elzza Armellariea | Hoetary Tirta Amallia  
Ucik Agusti Wulanningsih | Meta Yuliana  
Ike Apriani | Zunisnaini  
Anita Restu Puji Raharjeng

Editor:

Suci Haryanti

Penerbit



CV. MEDIA SAINS INDONESIA  
Melong Asih Regency B40 - Cijerah  
Kota Bandung - Jawa Barat  
[www.medsan.co.id](http://www.medsan.co.id)

Anggota IKAPI  
No. 370/JBA/2020

# MIKROBIOLOGI

Siti Soleha | Wahyu Surakusumah  
Andi Ifriany Harun | Husnin Nahry Yarza  
Elsa Fitri Ana | Ma'rufah  
Ririn Hamidatus Syarofatin | Riri Novita Sunarti  
Elzza Armellariea | Hoetary Tirta Amallia  
Ucik Agusti Wulanningsih | Meta Yuliana  
Ike Apriani | Zunisnaini  
Anita Restu Puji Raharjeng

Editor:

**Suci Haryanti**

Tata Letak:

**Eleazar Mali Paruntung**

Desain Cover:

**Nathanael**

Ukuran:

**A5 Unesco: 15,5 x 23 cm**

Halaman:

**viii, 278**

ISBN:

**978-623-512-588-6**

Terbit Pada:

**Juni 2025**

Hak Cipta 2025 @ Media Sains Indonesia dan Penulis

*Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit atau Penulis.*

**PENERBIT MEDIA SAINS INDONESIA**

(CV. MEDIA SAINS INDONESIA)

Melong Asih Regency B40 - Cijerah

Kota Bandung - Jawa Barat

[www.medsan.co.id](http://www.medsan.co.id)

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga buku bunga rampai "Mikrobiologi: Dari Konsep Dasar hingga Aplikasi Modern" dapat diselesaikan dengan baik.

Mikrobiologi sebagai cabang ilmu biologi yang mempelajari organisme mikroskopis telah mengalami perkembangan yang sangat pesat dalam beberapa dekade terakhir. Dari yang awalnya hanya fokus pada identifikasi dan klasifikasi mikroorganisme, kini mikrobiologi telah merambah ke berbagai bidang aplikasi yang sangat luas, mulai dari kesehatan, lingkungan, industri, hingga bioteknologi.

Buku bunga rampai ini hadir sebagai upaya untuk menghadirkan perspektif komprehensif tentang mikrobiologi dalam satu kesatuan yang utuh. Melalui kontribusi dari lima belas penulis yang merupakan ahli di bidangnya masing-masing, buku ini mengulas mikrobiologi dari berbagai sudut pandang - mulai dari konsep dasar pengenalan mikrobiologi, struktur dan fungsi sel mikroba, hingga aplikasi terkini dalam era bioteknologi dan kecerdasan buatan.

Keunikan buku ini terletak pada pendekatan multidisipliner yang menggabungkan aspek teoritis dan praktis. Pembaca akan diajak memahami tidak hanya "apa" dan "bagaimana" tentang mikroorganisme, tetapi juga "mengapa" dan "untuk apa" pengetahuan tersebut penting dalam kehidupan sehari-hari. Mulai dari pemahaman dasar tentang klasifikasi mikroba, peran mikroba patogen dalam penyebaran penyakit, sistem imunologi sebagai pertahanan tubuh, hingga pemanfaatan mikroba dalam industri makanan dan lingkungan.

Buku ini ditujukan untuk mahasiswa, dosen, peneliti, praktisi kesehatan, serta siapa saja yang memiliki ketertarikan terhadap dunia mikrobiologi. Harapan kami, buku ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat dan mampu menginspirasi pembaca untuk lebih mendalami

dan mengaplikasikan ilmu mikrobiologi dalam berbagai aspek kehidupan.

Akhirnya kami mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah mendukung dalam proses penyusunan dan penerbitan buku ini, secara khusus kepada Penerbit Media Sains Indonesia sebagai inisiator. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi pembaca sekalian

Jakarta, Juni 2025

Editor

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
1	PENGENALAN MIKROBIOLOGI..... 1
	Siti Soleha, M.Sc..... 1
	Definisi dan Ruang Lingkup Mikrobiologi..... 1
	Klasifikasi Mikroba ..... 2
	Peran dan Manfaat Mikroba..... 4
	Cabang-cabang Ilmu Mikrobiologi..... 5
	Teknik Dasar Dalam Mikrobiologi ..... 10
	Tantangan dan Perkembangan Mikrobiologi di Era Modern..... 15
	Kesimpulan..... 16
2	STRUKTUR DAN FUNGSI MIKROBA ..... 23
	Dr. Wahyu Surakusumah ..... 23
	Pengantar Mikroba dan Sel Mikroba ..... 25
	Sel Prokariotik dan Eukariotik..... 29
	Struktur Sel Mikroba ..... 31
	Fungsi Setiap Komponen Sel Mikroba..... 35
	Perbedaan Struktur Sel antara Mikroba Patogen dan Non-Patogen ..... 39
	Aplikasi dan Relevansi Peran Pemahaman Struktur Sel Mikroba..... 43
3	KLASIFIKASI DAN IDENTIFIKASI MIKROBA ..... 49
	Apt. Andi Ifriany Harun, M.Si. .... 49
	Pendahuluan ..... 49
	Pengertian Klasifikasi Mikroba..... 50

	Pendekatan Sistem Klasifikasi .....	51
	Metode Identifikasi Mikroba.....	56
	Aplikasi Klasifikasi dan Identifikasi Mikroba.....	59
4	MIKROBA DAN LINGKUNGAN .....	65
	Husnin Nahry Yarza, M.Si.....	65
	Pemanfaatan Mikroorganisme untuk Keberlanjutan Lingkungan .....	67
5	MIKROBA PATOGEN.....	79
	Dr. Elsa Fitri Ana, S.Keb., Bd., M.Ked.Trop. ....	79
	Pendahuluan .....	79
	Klasifikasi Patogen.....	79
	Mekanisme Penyakit Oleh Patogen.....	83
	Transmisi Patogen .....	86
	Identifikasi Patogen.....	88
	Kesimpulan.....	90
6	IMUNOLOGI DAN RESPON IMUN DASAR .....	97
	Ma'rufah, S.Si., M.Biomed. ....	97
	Pengertian Immunologi dan Respon Imun .....	97
	Komponen Sistem Imun.....	99
	Penggolongan Sistem Imun.....	106
	Respon Imun Primer dan Sekunder .....	109
	Gangguan pada Sistem Imun.....	110
7	IMUNOLOGI DAN RESPON IMUN .....	115
	Ririn Hamidatus Syarofatin, S.Si., S.Pd., M.Pd. .	115
	Sejarah Perkembangan Immunologi.....	115
	Definisi dan Konsep Dasar Immunologi .....	116
	Respon Imun .....	116

	Respon Imun Non-Spesifik ( <i>Innate Immunity</i> ).....	118
	Respon Imun Spesifik ( <i>Adaptive Immunity</i> ) .....	123
8	ANTIBIOTIK DAN RESISTEN ANTIBIOTIK .....	133
	Dr. Riri Novita Sunarti, M.Si .....	133
	Definisi dan Sejarah Antibiotik .....	133
	Jenis-Jenis Antibiotik .....	135
	Mekanisme Kerja Antibiotik .....	136
	Resistensi Antibiotik .....	140
	Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Resistensi Antibiotik .....	141
	Dampak Resistensi Antibiotik pada Kesehatan Masyarakat .....	143
9	MIKROBA DAN PENYAKIT .....	149
	Elzza Armellariea, S.Si., S.Pd. ....	149
	Pendahuluan .....	149
	Ukuran Mikroba .....	149
	Klasifikasi Mikroba .....	150
	Mikroba Penyebab Penyakit pada Manusia .....	151
	Mikroba Penyebab Penyakit pada Hewan .....	154
	Mikroba Penyebab Penyakit pada Tumbuhan ....	156
10	MIKROBIOLOGI KLINIK DAN PERANNYA DALAM PENANGANAN PENYAKIT INFEKSI.....	165
	Dr. Ra. Hoetary Tirta Amallia, M.Kes. ....	165
	Pendahuluan .....	165
	Sejarah dan Perkembangan Mikrobiologi Klinik.....	165
	Mikroorganisme Patogen dan Dampaknya terhadap Kesehatan Manusia .....	166

	Mikroorganisme Dan Turunannya Sebagai Pembawa Obat.....	172
	Diagnostik Molekuler dalam Ilmu Mikrobiologi Klinik.....	175
	Kesimpulan.....	178
11	PENGobatan PENYAKIT YANG DISEBABKAN OLEH MIKROBA: MELAWAN MIKROBA PATOGEN .....	187
	Ucik Agusti Wulanningsih, M.Pd., Gr.....	187
	Pendahuluan .....	187
	Jenis-Jenis Mikroba Patogen .....	188
	Mekanisme Infeksi Mikroba .....	189
	Prinsip Dasar Pengobatan.....	191
	Perkembangan Terbaru dalam Terapi Antimikroba .....	194
	Tantangan Global Terkait Resistensi Obat .....	197
	Peran Penting Tenaga Medis Serta Masyarakat dalam Mengatasi Ancaman Infeksi.....	199
	Kesimpulan.....	201
12	MIKROBA DAN MAKANAN .....	207
	Meta Yuliana, M.Si.....	207
	Fermentasi.....	207
	Jenis-jenis Makanan Fermentasi .....	210
	Fermentasi dan Kesehatan Manusia .....	214
	Patogen pada Makanan.....	217

13	MIKROBA DAN LINGKUNGAN INDUSTRI.....	223
	Dr. Ike Apriani, M.Si. ....	223
	Peran Mikroba dalam Proses Industri .....	223
	Teknologi Fermentasi dalam Industri.....	234
	Konsep Fermentasi Industri Masa Depan .....	236
14	MIKROBA DAN BIOTEKNOLOGI .....	241
	Zunisnaini, S.Si., M.Sc. ....	241
	Definisi dan Sejarah Bioteknologi Mikroba.....	241
	Peran Mikroba dalam Bioteknologi Pangan .....	242
	Bioteknologi Mikroba dalam Perbaikan Tanaman .....	244
	Bioteknologi Mikroba dalam Kesehatan .....	247
	Bioteknologi Mikroba dalam Produksi Biofuel ....	248
15	MIKROBIOLOGI DAN MASA DEPAN: INOVASI DAN TANTANGAN DALAM ERA BIOTEKNOLOGI.....	257
	Anita Restu Puji Raharjeng, M.Si., M.BioMed.Sc.	257
	Pendahuluan .....	257
	Mikrobiologi dalam Kesehatan dan Kedokteran .....	257
	Mikrobiologi dalam Lingkungan dan Keberlanjutan .....	259
	Mikrobiologi dalam Industri dan Teknologi Pangan.....	262
	Mikrobiologi dan Kecerdasan Buatan (AI).....	265
	Tantangan dan Masa Depan Mikrobiologi .....	266
	Kesimpulan.....	266



# PENGENALAN MIKROBIOLOGI

**Siti Soleha, M.Sc.**

Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang

## **Definisi dan Ruang Lingkup Mikrobiologi**

Frasa “mikrobiologi” berasal dari tiga kata Yunani: *micros* (berarti “kecil”), *bios* (berarti “hidup”), dan *logos* (berarti “ilmu”). Mikrobiologi adalah studi yang mempelajari organisme yang berukuran kecil (mikroskopis) untuk dilihat dengan jelas oleh mata telanjang (tanpa alat bantu). Mikroba, juga disebut mikroorganisme, istilah yang digunakan untuk semua organisme hidup berukuran mikroskopis, yaitu makhluk hidup yang sangat kecil. Kelompok ini mencakup bakteri, jamur (ragi dan kapang), virus, protozoa, dan alga mikroskopis. Mikrobiologi adalah tentang studi tentang sel mikroba dan cara kerjanya serta memengaruhi manusia, tumbuhan, hewan, dan lingkungan (Pattipeiluhu et al., 2024).

Ahli mikrobiologi terdahulu memberikan kontribusi yang luar biasa bagi perkembangan mikrobiologi dan memberikan dampak serta dorongan bagi mikrobiologi modern. Antonie van Leeuwenhoek yang secara luas dianggap sebagai bapak bidang mikrobiologi. Antonie van Leeuwenhoek adalah ahli mikrobiologi pertama yang melihat dan mendeskripsikan bakteri melalui eksperimennya. bereksperimen pada organisme mikroskopis (misalnya bakteri). Antonie van Leeuwenhoek merupakan ilmuwan pertama yang membuat mikroskop sederhana. Mikroskop tersebut yang terdiri dari lensa kaca cembung ganda yang diapit di antara dua pelat perak untuk mengamati mikroorganisme (Kutschera, 2023).

Studi mikrobiologi mencakup keanekaragaman dan evolusi sel mikroba serta bagaimana berbagai bentuk kehidupan mikroba (bakteri, virus, alga, archaea, protozoa, dan fungi) mempengaruhi bentuk kehidupan non-mikroba lainnya. Studi ini mencakup dampak mikroorganisme di dunia termasuk berbagai aktivitasnya (baik yang bermanfaat maupun yang merugikan) di tanah, air, di tubuh manusia dan hewan, di tanaman, dan bahkan di makanan (Ma et al., 2023). Mikrobiologi adalah dasar dari semua ilmu biologi karena secara langsung maupun tidak langsung mikroorganisme mempengaruhi semua bentuk kehidupan di planet bumi.

### **Klasifikasi Mikroba**

Mikroorganisme, yang juga dikenal sebagai mikroba diklasifikasikan ke dalam lima kelompok yaitu bakteri, archae, virus, jamur, mikroalga dan protozoa (Bahram et al., 2021; Gad et al., 2024; Minamino & Kinoshita, 2023; Mukhopadhyay, 2024; Sheikh et al., 2024; Yuan et al., 2022).

#### **1. Bakteri**

Bakteri adalah organisme bersel tunggal (uniseluler) yang relatif sederhana. Karena materi genetiknya tidak terbungkus dalam membran inti khusus, sel bakteri disebut prokariota. Sel bakteri memiliki berbagaimacam bentuk, seperti bacillus (batang), coccus (bulat atau oval) dan spiral. Bakteri terbungkus dalam dinding sel yang sebagian besar tersusun dari kompleks karbohidrat dan protein yang disebut peptidoglikan. Bakteri umumnya bereproduksi dengan membelah menjadi dua sel yang sama, proses ini disebut pembelahan biner. Sebagian besar bakteri menggunakan bahan kimia organik, yang di alam dapat berasal dari organisme hidup maupun mati. Beberapa bakteri dapat membuat makanannya sendiri melalui fotosintesis, dan beberapa dapat memperoleh nutrisi dari zat anorganik. Beberapa bakteri menggunakan alat gerak yang disebut flagella.

## 2. Archae

Archaea seperti bakteri, yang merupakan sel prokariotik, tetapi dinding selnya tidak memiliki peptidoglikan. Archaea sering ditemukan di lingkungan ekstrem. Archaea dibagi menjadi tiga kelompok utama yaitu metanogen (menghasilkan metana sebagai produk limbah dari respirasi), halofil ekstrem (hidup di lingkungan yang sangat asin seperti Great Salt Lake dan Laut Mati) dan termofil ekstrem (hidup di air panas yang mengandung belerang, seperti mata air panas di Taman Nasional Yellowstone).

## 3. Virus

Virus merupakan entitas unik yang menempati area abu-abu antara organisme hidup dan tak hidup. Tidak seperti organisme seluler, virus tidak dapat melakukan proses metabolisme secara mandiri, karena tidak memiliki mesin seluler yang diperlukan. Virus hanya dapat bereplikasi di dalam sel inang yang hidup, membajak mekanisme seluler inang untuk mereproduksi materi genetiknya dan menghasilkan partikel virus baru. Karakteristik unik ini membuat studi virus menjadi penting dalam berbagai bidang seperti kedokteran, bioteknologi, dan virologi.

## 4. Jamur

Jamur merupakan kelompok organisme eukariotik yang memainkan peran penting dalam ekosistem dan kesehatan manusia. Jamur memiliki karakteristik unik yang menggolongkannya sebagai kingdom terpisah dalam klasifikasi biologi. Jamur merupakan bagian penting dari siklus nutrisi, produksi pangan, pengobatan, dan bioteknologi. Akan tetapi, beberapa spesies jamur juga dapat bersifat patogen, yang menyebabkan berbagai penyakit pada manusia, hewan, dan tumbuhan. Jamur bersifat heterotrofik, artinya mereka tidak dapat menghasilkan makanan mereka sendiri melalui fotosintesis seperti tanaman. Sebaliknya, jamur memperoleh nutrisi dengan

menyerap bahan organik dari lingkungan mereka, sering kali melalui sekresi enzim yang memecah zat-zat kompleks.

#### 5. Mikroalga

Mikroalga pada dasarnya adalah organisme bersel tunggal tetapi juga dapat membentuk koloni atau filamen. Mikroalga dicirikan oleh kemampuannya untuk berfotosintesis, memanfaatkan sinar matahari untuk mengubah karbon dioksida dan air menjadi glukosa dan oksigen. Proses ini, yang dikenal sebagai fotosintesis, terjadi di kloroplas sel mikroalga, dengan berbagai spesies mengandung berbagai jenis pigmen fotosintesis, seperti klorofil, karotenoid, dan fikobilin. Komposisi pigmen ini dapat bervariasi tergantung pada spesies dan kondisi lingkungan, yang berkontribusi pada keragaman warnanya, seperti mikroalga hijau, cokelat, dan merah. Mikroalga merupakan sumber daya yang menjanjikan dengan berbagai aplikasi, mulai dari biofuel dan suplemen makanan hingga keberlanjutan lingkungan.

#### 6. Protozoa

Protozoa adalah kelompok organisme eukariotik bersel tunggal yang termasuk dalam kingdom Protista. Mikroorganisme ini sangat beragam, baik dalam struktur maupun perilakunya. Protozoa diklasifikasikan berdasarkan cara bergerak dan makan. Protozoa dapat ditemukan diberbagai lingkungan, mulai dari tanah dan air tawar hingga usus hewan, termasuk manusia.

### **Peran dan Manfaat Mikroba**

Mikroba sangat penting bagi kehidupan sebagaimana yang telah ketahui dan proses-proses yang mendukung kehidupan (misalnya, dalam siklus biogeokimia dan mikrobiota tumbuhan dan hewan). Mikroba menyediakan model-model penting yang memberikan pengetahuan mendasar tentang proses-proses kehidupan. Sebagian besar Mikroba membantu menjaga

keseimbangan kehidupan di lingkungan. Mikroba laut dan air tawar membentuk dasar rantai makanan di lautan, danau, dan sungai. Mikroba tanah membantu memecah limbah dan memasukkan gas nitrogen dari udara ke dalam senyawa organik, dengan demikian mikroba berperan dalam mendaur ulang unsur-unsur kimia di antara tanah, air, organisme hidup, dan udara.

Mikroba tertentu memainkan peran penting dalam fotosintesis, proses penghasil makanan dan oksigen yang sangat penting bagi kehidupan di bumi. Manusia dan banyak hewan lainnya bergantung pada mikroba usus untuk pencernaan dan sintesis beberapa vitamin yang dibutuhkan tubuh, termasuk beberapa vitamin B untuk metabolisme dan vitamin K untuk pembekuan darah. Mikroba juga memiliki banyak aplikasi komersial. Mereka digunakan dalam sintesis produk kimia seperti vitamin, asam organik, enzim, alkohol, dan banyak obat. Misalnya, mikroba digunakan untuk menghasilkan aseton dan butanol, vitamin B2 (riboflavin) dan B12 (kobalamin).

Industri makanan juga menggunakan mikroba dalam proses produksinya, misalnya, cuka, asinan kubis, acar, kecap, keju, yogurt, roti, dan minuman beralkohol. Selain itu, enzim dari mikroba dapat dimanipulasi untuk menghasilkan selulosa, alat bantu pencernaan, dan pembersih saluran air, zat terapeutik seperti insulin. Meskipun terdapat sebagian kecil Mikroba yang bersifat patogen (penyebab penyakit), pemanfaatan mikroba untuk produksi obat-obatan dan terapi kesehatan masih terus dikembangkan. Manusia sangat bergantung pada mikroba dalam banyak aspek kehidupan.

### **Cabang-cabang Ilmu Mikrobiologi**

Bidang mikrobiologi sangat luas dan beragam, serta mencakup beberapa subdisiplin, yang masing-masing berfokus pada berbagai aspek mikroorganisme dan interaksinya dengan lingkungan, inang, dan organisme lain. Cabang-cabang mikrobiologi menyediakan pengetahuan dan teknik khusus untuk mempelajari mikroorganisme dalam berbagai konteks, mulai dari

aplikasi medis hingga proses lingkungan. Cabang ilmu mikrobiologi adalah mikrobiologi industri, mikrobiologi medis, mikrobiologi pertanian, mikrobiologi lingkungan, mikrobiologi pangan, genetika mikroba, bakteriologi, virologi dan mikologi.

#### 1. Mikrobiologi industri

Mikrobiologi industri memainkan peran penting dalam masyarakat modern dengan memanfaatkan kekuatan mikroorganisme untuk menghasilkan produk-produk penting di berbagai sektor, mulai dari makanan dan minuman hingga farmasi dan biofuel. Bidang ini terus berkembang dengan kemajuan teknologi yang meningkatkan hasil produksi, efisiensi, dan keberlanjutan. Dengan semakin fokusnya pada keberlanjutan lingkungan, masa depan mikrobiologi industri tampak menjanjikan, dengan semakin beralihnya teknologi hijau dan sumber daya terbarukan (Lee & Lavoie, 2013).

#### 2. Mikrobiologi medis

Mikrobiologi medis, sebagai cabang mikrobiologi yang mempelajari mikroba patogen dan hubungannya dengan penyakit, memiliki sejarah panjang yang dimulai pada abad pertama SM. Mikrobiologi medis memainkan peran penting dalam pemahaman penyakit infeksi yang disebabkan oleh mikroba patogen. Sejarah perkembangan teori penyakit yang melibatkan mikroba, serta kemajuan dalam diagnosis, pencegahan, dan pengobatan penyakit infeksi, menunjukkan betapa pentingnya mikrobiologi dalam kedokteran modern. Pemahaman yang lebih baik tentang mikroba patogen dan siklus hidup mereka dapat membantu dalam mengembangkan strategi yang lebih efektif untuk mencegah dan mengobati penyakit yang mereka sebabkan. Dengan demikian, mikrobiologi medis terus berkembang sebagai bidang yang vital dalam penelitian medis dan kesehatan Masyarakat (Sakai & Morimoto, 2022).

### 3. Mikrobiologi pertanian

Mikrobiologi pertanian sangat berperan dalam mendukung keberlanjutan sistem pertanian melalui pemahaman mendalam tentang mikroba yang bermanfaat dan yang merugikan. Di sisi satu, mikroba patogen dapat merusak tanaman dan mengurangi hasil pertanian, namun di sisi lain, mikroba yang bermanfaat seperti pengikat nitrogen dan mikroba pengendali hayati sangat berpotensi untuk meningkatkan kesuburan tanah, mendukung pertumbuhan tanaman, dan mengurangi ketergantungan pada bahan kimia. Dengan perkembangan lebih lanjut dalam ekologi mikroba, kita dapat menciptakan pendekatan baru untuk mempertahankan keseimbangan ekosistem tanah yang mendukung pertanian berkelanjutan (Frac et al., 2022).

### 4. Mikrobiologi lingkungan

Mikrobiologi lingkungan merupakan bidang penting yang memberikan wawasan penting mengenai interaksi antara mikroorganisme dan lingkungan. Mikroba terlibat dalam proses-proses mendasar seperti siklus nutrisi, degradasi polutan, dan stabilitas ekosistem. Dengan memanfaatkan kekuatan mikroba, mikrobiologi lingkungan menawarkan solusi inovatif untuk beberapa masalah lingkungan paling mendesak di dunia, termasuk pengendalian polusi, pengolahan limbah, dan mitigasi perubahan iklim. Studi berkelanjutan mengenai ekologi mikroba, keanekaragaman hayati, dan teknik bioremediasi akan sangat penting dalam memajukan praktik lingkungan yang berkelanjutan (Silverstein et al., 2023; Lennon et al., 2023).

### 5. Mikrobiologi pangan

Mikrobiologi pangan merupakan cabang ilmu mikrobiologi yang mempelajari mikroorganisme yang ada dalam makanan, baik yang dapat menyebabkan kerusakan (pembusukan), yang digunakan untuk proses fermentasi, maupun yang dapat menjadi

patogen bagi manusia. Bidang ini sangat penting karena hampir semua jenis makanan, termasuk susu dan produk olahannya, tidak terlepas dari kontaminasi mikroorganisme yang dapat mempengaruhi kualitas, keamanan, dan daya tahan makanan tersebut.

## 6. Genetika mikroba

Genetika mikroba adalah cabang dari ilmu genetika yang mempelajari pewarisan sifat dan mekanisme genetik dalam mikroorganisme, yang mencakup bakteri, virus, jamur, alga, dan mikroorganisme lainnya. Mikroba memiliki mekanisme genetika yang unik dan sangat beragam, yang memungkinkan mereka untuk beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan lingkungan dan menjadi subjek utama dalam studi evolusi, patogenesis, serta aplikasi bioteknologi. Genetika mikroba mencakup berbagai topik yang sangat relevan baik dalam ilmu dasar biologi maupun dalam aplikasi industri dan medis. Dengan memahami struktur genetik, mekanisme pewarisan, mutasi, dan regulasi genetik pada mikroba, kita dapat lebih baik memahami evolusi mikroba, serta mengembangkan solusi untuk tantangan global seperti resistansi antibiotik dan bioteknologi.

## 7. Bakteriologi

Bakteriologi adalah cabang ilmu mikrobiologi yang mempelajari bakteri, mikroorganisme prokariotik yang memiliki peran sangat penting dalam ekosistem, kesehatan manusia, serta industri. Seiring dengan kemajuan teknologi dan pemahaman ilmiah, bakteriologi kini mencakup tidak hanya studi tentang bakteri, tetapi juga beberapa kelompok mikroorganisme prokariotik lainnya, termasuk Archaea. Dengan kemajuan teknik molekuler, khususnya analisis filogeni dan sekuens DNA, bakteriologi telah berkembang jauh melampaui pendekatan tradisional berbasis morfologi, membawa pemahaman yang lebih dalam tentang keragaman,

evolusi, dan peran mikroorganisme dalam ekosistem. Teknik molekuler ini juga telah memberikan kontribusi besar dalam klasifikasi mikroorganisme dan dalam pengembangan terapi yang lebih tepat untuk penyakit yang disebabkan oleh bakteri.

#### 8. Virologi

Virologi adalah cabang ilmu mikrobiologi yang mempelajari virus, yakni entitas biologis yang terdiri dari asam nukleat (DNA atau RNA) dan dilapisi oleh lapisan protein. Virus tidak dapat melakukan replikasi secara mandiri, melainkan memerlukan sel inang untuk memperbanyak diri. Mereka memiliki kemampuan untuk menginfeksi organisme berbagai spesies, termasuk hewan, tumbuhan, dan bakteri (bakteriofag). Virologi tidak hanya mencakup pemahaman tentang struktur, sifat, dan replikasi virus, tetapi juga dampaknya pada kesehatan manusia, hewan, tumbuhan, dan lingkungan, termasuk kemampuan virus untuk menyebabkan berbagai penyakit. Pemahaman yang lebih mendalam tentang virus, siklus hidupnya, serta kemampuan mereka untuk bereplikasi di dalam sel inang memberikan dasar bagi pengembangan vaksin, terapi antiviral, dan strategi pencegahan infeksi virus yang efektif (Barton & Mandell, 2020; Zhang et al., 2020).

#### 9. Mikologi

Mikologi merupakan cabang ilmu mikrobiologi yang mempelajari jamur (fungi). Jamur memiliki peran penting dalam ekosistem karena mereka bertindak sebagai dekomposer, membantu dalam penguraian bahan organik. Meskipun banyak jenis jamur bermanfaat, sejumlah spesies juga bersifat patogen dan dapat menyebabkan berbagai penyakit pada manusia, hewan, serta tumbuhan. Ilmu mikologi mencakup berbagai aspek, mulai dari morfologi, taksonomi, biosistematika, perkembangbiakan, hingga kajian tentang penyakit yang disebabkan oleh jamur, seperti hipersensitivitas, miktotoksikosis, misetisme, serta infeksi jamur lainnya. Beberapa

jenis jamur digunakan dalam industri, seperti dalam pembuatan obat-obatan (antibiotik seperti penicillin yang berasal dari jamur *Penicillium*), makanan (jamur yang dapat dimakan, misalnya, jamur tiram atau jamur kancing), dan proses fermentasi.

## **Teknik Dasar Dalam Mikrobiologi**

Teknik dasar dalam mikrobiologi merupakan serangkaian metode yang digunakan untuk mempelajari, mengidentifikasi, dan menganalisis Mikroba seperti bakteri, virus, jamur, dan protozoa. Mikrobiologi sebagai cabang ilmu yang sangat penting dalam berbagai bidang, mulai dari kesehatan, pertanian, hingga industri, memerlukan teknik-teknik yang tepat untuk mendapatkan data yang akurat dan dapat diandalkan. Teknik dasar ini meliputi prosedur pengambilan sampel, sterilisasi, kultur Mikroba, pewarnaan mikroskopik, hingga identifikasi dan uji sensitivitas terhadap antibiotik. Dengan pemahaman yang mendalam tentang teknik-teknik ini, ilmuwan dapat mengeksplorasi karakteristik Mikroba lebih jauh dan memberikan kontribusi besar dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (Nga et al., 2011; Paray et al., 2023; Rutala et al., 2023; Salam et al., 2023).

### **1. Pengambilan sampel**

Teknik pengambilan sampel harus diperhatikan sebelum sampel dianalisis. Instruksi pengambilan sampel harus memuat metode pengambilan sampel dan rencana pengambilan sampel, peralatan yang akan digunakan, tindakan pencegahan yang harus diperhatikan untuk menghindari kontaminasi bahan atau penurunan kualitasnya, jumlah sampel yang akan diambil, instruksi untuk setiap pembagian atau pengumpulan sampel yang diperlukan, jenis wadah sampel yang akan digunakan, dan tindakan pencegahan khusus yang harus diperhatikan, terutama yang berkaitan dengan pengambilan sampel bahan steril, bahan yang dikumpulkan untuk analisis mikrobiologi, dan bahan berbahaya. Dalam hal ini, pengambilan sampel untuk analisis

mikrobiologi menawarkan tantangan tambahan dan oleh karena itu, harus dikumpulkan, disimpan, dan ditangani secara memadai untuk menjaga integritas sampel guna menghasilkan data yang bermakna.

## 2. Sterilisasi dan desinfeksi

Sterilisasi dan desinfeksi adalah dua proses penting dalam mikrobiologi yang bertujuan untuk mengendalikan pertumbuhan Mikroba, baik itu bakteri, virus, jamur, atau parasit, pada berbagai media atau permukaan. Meskipun keduanya memiliki tujuan yang sama, yaitu mengurangi atau menghilangkan Mikroba, cara dan tingkat efektivitasnya berbeda. Sterilisasi merupakan proses untuk menghilangkan semua bentuk kehidupan Mikroba, baik dalam bentuk vegetatif maupun spora, pada benda atau media tertentu. Proses ini sangat efektif dan dilakukan dengan menggunakan metode yang mampu membunuh Mikroba hingga tingkat 100%. Sterilisasi sering digunakan dalam lingkungan medis, laboratorium, dan industri pangan untuk memastikan bahwa peralatan atau bahan yang digunakan bebas dari kontaminasi mikroba yang berbahaya.

## 3. Pengenceran sampel

Pengenceran berseri merupakan teknik mikrobiologi yang digunakan untuk mengurangi konsentrasi Mikroba pada sampel melalui serangkaian pengenceran bertahap. Teknik ini digunakan ketika kultur mikroba terlalu pekat untuk dianalisis atau dihitung secara langsung. Dengan mengencerkan sampel secara sistematis, ahli mikrobiologi dapat memperoleh konsentrasi yang memungkinkan untuk mengestimasi populasi mikroba melalui metode penghitungan lempeng, seperti teknik *spread plate* atau *pour plate*.

Pada proses pengenceran, volume suspensi mikroba asli yang diketahui (misalnya, 1 mL) dipindahkan ke dalam volume pengencer steril yang diketahui

(misalnya, 9 mL larutan garam steril atau kaldu nutrisi), sehingga menghasilkan pengenceran 1:10. Proses ini diulang secara berurutan, sehingga menghasilkan pengenceran lebih lanjut seperti 1:100, 1:1000, dan seterusnya (Gambar 1). Setelah pengenceran, sebagian dari setiap pengenceran ditaburkan ke media agar yang sesuai, diinkubasi, dan koloni yang dihasilkan (unit pembentuk koloni, atau CFU) dihitung.

#### 4. Kultur Mikroba

Kultur Mikroba merupakan teknik dasar dalam mikrobiologi yang melibatkan pertumbuhan sel mikroba dalam kondisi laboratorium yang terkendali untuk mempelajari karakteristiknya, mengidentifikasi spesies, atau menghasilkan produk yang bermanfaat. Kultur memungkinkan ahli mikrobiologi untuk mengisolasi dan memperbanyak Mikroba dari lingkungan alami, seperti tanah, air, makanan, atau sampel klinis, untuk menganalisis morfologi, fisiologi, genetika, dan patogenisitasnya. Mikroba biasanya tumbuh di dalam atau pada media kultur, yang dapat berupa padat (media agar) atau cair (kaldu), dan menyediakan nutrisi, pH, dan kondisi lingkungan yang diperlukan (seperti suhu dan ketersediaan oksigen) untuk pertumbuhan. Kultur sangat penting untuk banyak aplikasi, termasuk identifikasi mikroba, pengujian kerentanan antibiotik, produksi vaksin, fermentasi, dan penelitian. Metode kultur secara umum diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu kultur murni (kultur yang hanya mengandung satu spesies mikroba, yang diperoleh melalui teknik *streak plate* atau *pour plate*), kultur campuran (kultur yang mengandung dua spesies atau lebih), kultur *batch* (kultur pada sistem tertutup di mana nutrisi tidak diisi ulang dan limbah terakumulasi) dan *continuous culture* (kultur pada sistem terbuka dimana media baru terus ditambahkan dan limbah dibuang).

## 5. Pewarnaan mikroskopis

Pewarnaan mikroskopis merupakan teknik dasar untuk meningkatkan kontras spesimen mikroskopis, khususnya Mikroba, sehingga strukturnya dapat diamati lebih jelas di bawah mikroskop. Pewarnaan memungkinkan ahli mikrobiologi untuk memvisualisasikan bentuk, susunan, ukuran, dan komponen struktural sel, serta membedakan antara jenis Mikroba, seperti bakteri Gram-positif dan Gram-negatif. Pewarnaan mikroskopis sangat penting untuk diagnostik klinis, taksonomi, dan penelitian mikrobiologi. Ini sering kali merupakan langkah pertama dalam mengidentifikasi Mikroba yang tidak diketahui dalam suatu sampel.

Pewarnaan melibatkan pewarna pada sel mikroba, yang mengikat komponen seluler tertentu. Pewarna ini dapat bersifat basa (bermuatan positif) atau asam (bermuatan negatif), tergantung pada struktur target. Pilihan pewarna dan metode pewarnaan tergantung pada tujuan pengamatan. Jenis pewarnaan mikroskopis diantaranya adalah pewarnaan sederhana (menggunakan pewarna Tunggal), pewarnaan diferensial (menggunakan lebih dari satu pewarna, misalnya pada pewarnaan Gram), pewarnaan khusus (dugunakan pada pewarnaan kapsul, pewarnaan endospore dan pewarnaan flagel).

## 6. Teknologi analisis

Bidang mikrobiologi menghadapi perubahan baru setiap saat, semua karena kemajuan teknologi yang pesat. Penelitian dasar dalam mikrobiologi sekarang lebih efektif daripada sebelumnya dengan munculnya teknologi modern seperti PCR, analisis genomik komprehensif, dan penggunaan mikroskop elektron. Kemajuan teknologi ini memungkinkan proses yang rumit tersebut dan memberikan alat yang cukup ampuh untuk analisis dan studi Mikroba yang terperinci dan tepat yang sebelumnya tidak mungkin dilakukan (De Medici et al., 2023; Mullins et al., 2024; Zhu et al., 2025).

*Polymerase Chain Reaction* (PCR) merupakan salah satu alat penting dalam mikrobiologi untuk amplifikasi DNA yang tepat dan cepat. Teknologi ini bergantung pada serangkaian langkah reaksi termal yang mereplikasi DNA, sehingga memungkinkan peneliti untuk menggandakan DNA dalam jumlah kecil dan dapat dianalisis. Teknologi ini selanjutnya berevolusi menjadi Real-Time PCR, sebuah teknologi di mana proses amplifikasi, melalui probe fluoresensi, dilakukan secara real-time. Dengan jenis PCR ini, dimungkinkan untuk menentukan dengan tepat berapa banyak DNA yang ada dan dalam waktu yang lebih singkat.

*Genomic analysis* telah membuka wawasan baru dalam studi karakterisasi genetik Mikroba. Analisis ini memungkinkan penelitian *complete genome sequence* suatu Mikroba, sehingga membantu dalam menguraikan lebih lanjut sifat genetik, adaptasi terhadap lingkungan, dan fungsi vital.

Mikroskop elektron merupakan salah satu peralatan paling canggih yang dikembangkan untuk memberikan gambar beresolusi tinggi dari struktur halus organisme hidup, termasuk Mikroba. Mikroskop elektron digunakan untuk mempelajari secara sangat rinci komponen sel mikroba seperti dinding sel dan struktur internal. Praktik semacam itu akan menjelaskan bagaimana Mikroba ini berinteraksi untuk mengubah kondisi lingkungan atau kimia.

Penerapan nanoteknologi dalam mikrobiologi saat ini telah menjadi salah satu teknologi canggih yang digunakan untuk mempelajari efek nanopartikel pada mikroba. Nanopartikel dapat bertindak sebagai bahan antimikroba atau mampu meningkatkan interaksi Mikroba dengan lingkungan. Penerapan nanoteknologi berkaitan dengan studi tentang efek nanopartikel pada pertumbuhan Mikroba dan interaksinya dengan bahan lingkungan, hal ini terkait dengan aplikasi dalam pengolahan air atau peningkatan teknik pemurnian.

7. Teknik analisis spektral, seperti FTIR dan NMR, diterapkan dalam analisis komposisi kimia mikroba. Alat-alat ini memungkinkan untuk mendeteksi susunan kimia yang ada di dalam sel atau produk sampingan yang akan dihasilkannya. Analisis spektral ini dapat digunakan dalam menganalisis struktur tertentu seperti asam lemak dan protein, yang memiliki keterlibatan besar dalam interaksi biologis dan kimia internal dalam Mikroba.

### **Tantangan dan Perkembangan Mikrobiologi di Era Modern**

Pada era modern, mikroorganisme dimanfaatkan sebagai agen biologi untuk memproduksi bioetanol sebagai pengganti bahan bakar minyak bumi dengan yang diperoleh dari fermentasi ragi akan berarti terjadi revolusi baru di pasar energi. Proses mikrobiologi dengan pada dunia industri jauh lebih menguntungkan daripada proses industri lainnya, yang menjadi alasan kuat bidang ini harus terus dikembangkan. Pertama, kemampuan spesifik Mikroba tertentu untuk menghasilkan molekul tertentu dapat dimanfaatkan. Molekul ini dapat berupa metabolit sekunder atau hasil samping metabolisme mikroba. Sementara proses industri kimia dapat menghasilkan produk yang sama, prosesnya sering kali lebih kompleks, melibatkan lebih banyak langkah, dan atau dicampur dengan beberapa produk sampingan yang tidak diinginkan. Kedua, molekul yang diperoleh dari Mikroba disintesis dalam kondisi ringan, sehingga biaya energi dan peralatan lebih rendah dibandingkan dengan proses sintesis kimia. Meskipun demikian, mikrobiologi industri masih memiliki beberapa keterbatasan, karena harus menjaga mikroorganisme dari mutasi, kontaminan mikroba lainnya, pesaing, dan faktor lingkungan (Erkmen, 2021; Siddiqui et al., 2023).

Selama beberapa dekade terakhir, biologi molekuler dan rekayasa genetika telah berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang mekanisme dan kondisi utama yang memengaruhinya Mikroba. Untuk pertama kalinya, mesin mikrobiologi ini dapat dimodifikasi secara selektif

dan efisien; kemampuan alamnya telah ditingkatkan atau kemampuan baru yang berasal dari organisme lain (baik mikroba atau bahkan tanaman) telah ditambahkan ke dalamnya. Akibatnya, mesin hidup ini menjadi lebih produktif dan lebih tahan terhadap perubahan, dan dengan demikian dapat digunakan untuk reaksi biokimia baru lainnya.

Perkembangan mikrobiologi pada era modern masih harus menghadapi banyak tantangan. Misalnya, diperlukan teknologi yang sesuai untuk mensintesis suatu molekul dengan cara yang lebih murah dan lebih efisien, dengan menggunakan karbon dioksida sebagai sumber karbon, air sebagai penerima elektron, dan sinar matahari sebagai energi penggerak. Banyak ilmuwan telah mencoba memecahkan persamaan ini selama bertahun-tahun, tanpa menyadari bahwa proses seperti itu, yaitu fotosintesis, sudah ada dan telah digunakan oleh organisme fotosintetik (banyak Mikroba dan semua tanaman) selama jutaan tahun. Sebagai contoh terakhir, peralihan dari bahan bakar berbasis minyak bumi ke bioetanol yang disebutkan sebelumnya akan berarti revolusi baru di pasar energi, dan akan mengubah hubungan komersial internasional secara signifikan. Meskipun demikian, ini hanyalah langkah pertama menuju tujuan akhir: baterai berbasis hidrogen. Mikrobiologi tidak diragukan lagi akan mengambil bagian dalam tugas ini juga.

## **Kesimpulan**

Mikrobiologi adalah ilmu yang mempelajari mikroorganisme seperti bakteri, virus, jamur, alga, archaea, dan protozoa, yang memiliki peran penting dalam berbagai aspek kehidupan. Disiplin ini mencakup pemahaman tentang struktur, fungsi, klasifikasi, serta manfaat dan dampak mikroba terhadap manusia, hewan, tumbuhan, dan lingkungan. Mikroorganisme dapat berkontribusi positif dalam bidang pertanian, industri, pangan, medis, dan lingkungan, meskipun sebagian juga bersifat patogen. Mikrobiologi memiliki berbagai cabang ilmu khusus dan memanfaatkan teknik-teknik

laboratorium serta teknologi modern seperti PCR, mikroskop elektron, dan analisis genom untuk eksplorasi lebih mendalam. Di era modern, mikrobiologi berkembang pesat dengan tantangan dan peluang besar, termasuk dalam bidang energi terbarukan dan bioteknologi, menjadikannya kunci dalam inovasi sains dan teknologi masa depan.

## Daftar Pustaka

- Bahram, M., Netherway, T., Frioux, C., Ferretti, P., Coelho, L. P., Geisen, S., Bork, P., & Hildebrand, F. (2021). Metagenomic assessment of the global diversity and distribution of bacteria and fungi. *Environmental Microbiology*, 23(1), 316–326. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15314>
- De Medici, D., Cook, N., & Rodriguez-Lazaro, D. (2023). Editorial: New advances in identification and quantification of foodborne pathogens, volume II. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1205923>
- Erkmen, O. (2021). *Microbiological Analysis of Foods and Food Processing Environments*. Academic Press.
- Fraç, M., Hannula, E. S., Belka, M., Salles, J. F., & Jedryczka, M. (2022). Soil mycobiome in sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 13(November), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1033824>
- Gad, M., Yosri, M., Fawzy, M. E., Moghazy, R. M., Elfeky, E. M. S., Marouf, M. A., & El-Khateeb, M. A. (2024). Microeukaryotic communities diversity with a special emphasis on protozoa taxa in an integrated wastewater treatment system. *Environmental Sciences Europe*, 36(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00907-8>
- Kutschera, U. (2023). *Antonie Leeuwenhoek ( 1632 – 1723 ): Master of Fleas and and Father of Microbiology Father of Microbiology entrepreneur*. July, 10–12.
- Lee, R. A., & Lavoie, J. M. (2013). From first- to third-generation biofuels: Challenges of producing a commodity from a biomass of increasing complexity. *Animal Frontiers*, 3(2), 6–11. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0010>
- Lennon, J. T., Frost, S. D. W., Nguyen, N. K., Peralta, A. L., Place, A. R., & Treseder, K. K. (2023). Microbiology and Climate Change: a Transdisciplinary Imperative.

- MBio*, 14(1), 1–6.  
<https://doi.org/10.1128/mbio.03335-22>
- Ma, L. chao, Zhao, H. qing, Wu, L. B., Cheng, Z. le, & Liu, C. (2023). Impact of the microbiome on human, animal, and environmental health from a One Health perspective. *Science in One Health*, 2(August), 100037. <https://doi.org/10.1016/j.soh.2023.100037>
- Minamino, T., & Kinoshita, M. (2023). Structure, Assembly, and Function of Flagella Responsible for Bacterial Locomotion. *EcoSal Plus*, 11(1), 1–31. <https://doi.org/10.1128/ecosalplus.esp-0011-2023>
- Mukhopadhyay, B. (2024). A reminder—peptidoglycan cell walls indeed occur in the archaeal domain, specifically in the members of Methanobacteria and Methanopyri classes. *Frontiers in Microbiology*, 15(May 1979), 1982–1985. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1329047>
- Mullins, E., Bresson, J. L., Dewhurst, I. C., Epstein, M. M., Firbank, L. G., Guerche, P., Hejatko, J., Moreno, F. J., Naegeli, H., Nogué, F., Rostoks, N., Sánchez Serrano, J. J., Savoini, G., Veromann, E., Veronesi, F., Cocconcelli, P. S., Glandorf, D., Herman, L., Jimenez Saiz, R., ... Dalmay, T. (2024). New developments in biotechnology applied to microorganisms. *EFSA Journal*, 22(7), 1–39. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8895>
- Nga, T. V. T., Nghia, H. D. T., Tu, L. T. P., Diep, T. S., Mai, N. T. H., Chau, T. T. H., Sinh, D. X., Phu, N. H., Nga, T. T. T., Chau, N. V. V., Campbell, J., Hoa, N. T., Chinh, N. T., Hien, T. T., Farrar, J., & Schultz, C. (2011). Real-time PCR for detection of *Streptococcus suis* serotype 2 in cerebrospinal fluid of human patients with meningitis. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 70(4), 461–467. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2010.12.015>

- Paray, A. A., Singh, M., & Amin Mir, M. (2023). Gram Staining: A Brief Review. *International Journal of Research and Review*, 10(9), 336–341. <https://doi.org/10.52403/ijrr.20230934>
- Pattipeiluhu, S. M., Warella, J. C., & Asmalinda, A. (2024). *Book · July 2024. July*.
- Rutala, W. A., Boyce, J. M., & Weber, D. J. (2023). Disinfection, sterilization and antisepsis: An overview. *American Journal of Infection Control*, 51(11), A3–A12. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2023.01.001>
- Sakai, T., & Morimoto, Y. (2022). The History of Infectious Diseases and Medicine. *Pathogens*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/pathogens11101147>
- Salam, M. A., Al-Amin, M. Y., Pawar, J. S., Akhter, N., & Lucy, I. B. (2023). Conventional methods and future trends in antimicrobial susceptibility testing. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(3), 103582. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2023.103582>
- Sheikh, J., Swee, T. ., Malik, S., Saidin, S., & Chua, L. . (2024). Bacterial Morphology and Microscopic Advancements; Navigating from Basics to Breakthroughs. *Microbiological and Immunological Communications*, 03(1), 1–40. <https://doi.org/10.55627/mic.003.01.0567>
- Siddiqui, S. A., Erol, Z., Rugji, J., Taşçı, F., Kahraman, H. A., Toppi, V., Musa, L., Di Giacinto, G., Bahmid, N. A., Mehdizadeh, M., & Castro-Muñoz, R. (2023). An overview of fermentation in the food industry - looking back from a new perspective. *Bioresources and Bioprocessing*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40643-023-00702-y>
- Silverstein, M. R., Segrè, D., & Bhatnagar, J. M. (2023). Environmental microbiome engineering for the mitigation of climate change. *Global Change Biology*, 29(8), 2050–2066. <https://doi.org/10.1111/gcb.16609>

- Yuan, H., Zhang, W., Yin, H., Zhang, R., & Wang, J. (2022). Taxonomic dependency of beta diversity for bacteria, archaea, and fungi in a semi-arid lake. *Frontiers in Microbiology*, 13(November). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.998496>
- Zhu, J., Wang, H., & Chen, L. (2025). Recent advances in nanomaterials for the detection of mycobacterium tuberculosis (Review). *International Journal of Molecular Medicine*, 55(3), 1–17. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2024.5477>

## **Profil Penulis**



### **Siti Soleha, M.Sc.**

Ketertarikan penulis terhadap bidang ilmu biologi dimulai pada tahun 2012 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk ke Jurusan Biologi Universitas Sriwijaya. Setelah lulus S1, penulis melanjutkan S2 di Universitas Gadjah Mada pada Fakultas Biologi dengan konsentrasi Mikrobiologi. Fokus penelitian penulis yaitu pada mikroorganisme dan peranannya dalam inovasi teknologi. Ketertarikan dalam mengkaji mikrobiologi telah membawa penulis untuk mendalami aplikasi nanoteknologi, sebuah bidang yang menjanjikan solusi mutakhir untuk berbagai tantangan global

Penulis memiliki kepakaran dibidang Mikrobiologi. Dan untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti dibidang kepakaran tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga Dunia Usaha dan Dunia Industri (DUDI). Penelitian penulis telah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah bereputasi dan menjadi acuan bagi komunitas ilmiah di bidang yang sama. Selain sebagai peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara. Di luar meneliti dan menulis, penulis sering diundang sebagai pembicara dalam seminar nasional untuk membahas kepakarannya.

Email Penulis: [sitisutawan@gmail.com](mailto:sitisutawan@gmail.com)

## STRUKTUR DAN FUNGSI MIKROBA

**Dr. Wahyu Surakusumah**  
Universitas Pendidikan Indonesia

Bab ini membahas struktur dan fungsi sel mikroba sebagai dasar pemahaman dalam ilmu mikrobiologi. Materi mencakup enam cakupan utama yang saling berkaitan untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang bagaimana mikroba tersusun dan berfungsi dalam kehidupannya. Pertama, akan dibahas pengantar mengenai mikroba dan sel mikroba. Pada bagian ini, dijelaskan definisi mikroba (mikroorganisme) sebagai makhluk hidup mikroskopis yang mencakup berbagai jenis seperti bakteri, archaea, protozoa, jamur mikroskopis, alga mikroskopis, serta virus (yang meskipun bukan makhluk hidup sejati, tetap dibahas dari sisi strukturnya karena relevan dalam konteks mikrobiologi). Pemahaman ini menjadi fondasi untuk mengenali keragaman bentuk dan karakteristik dasar mikroba. Kedua, bab ini membahas perbedaan mendasar antara sel prokariotik dan eukariotik. Mikroba prokariotik seperti bakteri dan archaea memiliki struktur sel yang lebih sederhana, tanpa inti sejati, sedangkan mikroba eukariotik seperti protozoa, jamur, dan alga memiliki struktur sel kompleks dengan organel-organel terikat membran. Perbandingan ini meliputi ciri-ciri khas, struktur sel, dan fungsi komponen utama dalam masing-masing jenis sel. Selanjutnya, fokus diarahkan pada struktur sel mikroba, yang dibagi menjadi struktur eksternal dan internal. Struktur eksternal meliputi

dinding sel (dengan variasi bahan seperti peptidoglikan, kitin, atau selulosa), membran plasma, kapsul atau lapisan lendir, serta alat gerak seperti flagela dan pili. Struktur-struktur ini berperan dalam perlindungan, perlekatan, dan mobilitas mikroba. Struktur internal mencakup sitoplasma, ribosom, materi genetik (berbentuk nukleoid pada prokariot dan inti pada eukariot), serta organel-organel khusus pada mikroba eukariotik seperti mitokondria, retikulum endoplasma, dan badan Golgi.

Bab ini juga menguraikan fungsi masing-masing komponen sel mikroba, mulai dari peran dalam metabolisme, sintesis protein, reproduksi, hingga interaksi dengan lingkungan. Pemahaman terhadap fungsi ini penting untuk menjelaskan bagaimana mikroba bertahan hidup, beradaptasi, dan berkembang biak. Selain itu, dibahas pula perbedaan struktur antara mikroba patogen dan non-patogen. Mikroba patogen memiliki struktur-struktur khusus yang mendukung kemampuan infeksi, seperti kapsul pelindung, enzim virulen, atau pili untuk menempel pada sel inang. Disediakan contoh mikroba patogen tertentu dan penjelasan bagaimana struktur selnya berkontribusi terhadap kemampuan menyebabkan penyakit.

Terakhir, materi ini ditutup dengan pembahasan aplikasi dan relevansi ilmu struktur sel mikroba dalam berbagai bidang. Dalam dunia medis, pemahaman ini sangat penting untuk pengembangan antibiotik dan vaksin. Dalam industri, mikroba dimanfaatkan dalam proses bioteknologi seperti fermentasi dan produksi enzim. Di bidang lingkungan, mikroba berperan dalam proses bioremediasi untuk membersihkan polutan dari alam. Dengan cakupan ini, bab ini bertujuan memberikan dasar ilmiah yang kuat mengenai struktur dan fungsi sel mikroba sebagai kunci untuk memahami peran mikroorganisme dalam kesehatan, industri, dan ekosistem.

## **Pengantar Mikroba dan Sel Mikroba**

### **1. Definisi Mikroorganisme**

Mikroorganisme, atau mikroba, adalah makhluk hidup berukuran sangat kecil yang umumnya tidak dapat dilihat dengan mata telanjang dan hanya dapat diamati melalui mikroskop. Mikroorganisme dapat berupa organisme bersel satu (uniseluler) atau multiseluler sederhana yang tidak memiliki diferensiasi jaringan kompleks. Mereka hidup hampir di seluruh lingkungan di Bumi, termasuk di tempat-tempat ekstrem seperti sumber air panas, lautan dalam, dan lingkungan asam atau sangat asin.

Mikroorganisme memiliki peran yang sangat penting dalam kehidupan, baik secara ekologis, industri, maupun medis. Mereka terlibat dalam siklus biogeokimia, produksi makanan dan obat, serta juga dapat menjadi penyebab penyakit. Untuk memahami mikroorganisme secara menyeluruh, penting untuk mengkaji struktur dan fungsi dasar sel mereka.

### **2. Jenis dan Karakter Dasar Mikroorganisme**

Mikroba, atau mikroorganisme, adalah makhluk hidup mikroskopis yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Mereka mencakup berbagai jenis organisme seperti bakteri, archaea, jamur mikroskopis (misalnya ragi), protozoa, dan virus. Meskipun ukurannya sangat kecil, mikroba memiliki keragaman struktur dan fungsi yang luar biasa. Mikroba prokariotik seperti bakteri dan archaea tidak memiliki inti sel sejati, sementara mikroba eukariotik seperti jamur dan protozoa memiliki inti yang terorganisasi. Mikroba dapat bersifat uniseluler maupun multiseluler sederhana, dan hidup di hampir semua habitat, dari lingkungan ekstrem seperti mata air panas hingga tubuh manusia. Karakteristik dasar seperti bentuk sel (kokus, basil, spiral), komposisi dinding sel, cara reproduksi, dan kemampuan metabolik menjadi dasar penting dalam klasifikasi dan pemahaman peran mikroba dalam berbagai aspek kehidupan.

Berikut adalah kelompok utama mikroorganisme yang akan dibahas dalam konteks struktur dan fungsi sel dasarnya:

a. Bakteri

1) Struktur Dasar:

Bakteri adalah mikroorganisme prokariotik yang tidak memiliki inti sel sejati. Materi genetiknya berada di dalam nukleoid. Bakteri memiliki dinding sel yang umumnya terdiri atas peptidoglikan, membran plasma, dan kadang-kadang kapsul di bagian luar. Mereka juga memiliki flagela (untuk gerak) dan pili (untuk perlekatan).

2) Fungsi Utama Struktur:

Struktur yang sederhana namun efisien memungkinkan bakteri untuk melakukan metabolisme, reproduksi cepat (pembelahan biner), serta adaptasi terhadap berbagai lingkungan. Ribosom mereka berfungsi untuk sintesis protein.

b. Archaea

1) Struktur Dasar:

Secara morfologis mirip dengan bakteri, archaea juga merupakan prokariot yang tidak memiliki membran inti. Namun, komposisi kimia dinding sel dan membran plasmanya berbeda: tidak mengandung peptidoglikan, melainkan pseudopeptidoglikan atau protein.

2) Fungsi Utama Struktur:

Archaea mampu hidup di lingkungan ekstrem seperti suhu tinggi, pH ekstrem, dan kadar garam tinggi. Struktur membrannya yang unik memungkinkan stabilitas dan fungsi dalam kondisi ekstrem.

c. Protozoa

1) Struktur Dasar:

Protozoa adalah organisme eukariotik bersel tunggal. Mereka memiliki inti sel sejati dan organel-organel seperti mitokondria dan retikulum endoplasma. Beberapa protozoa memiliki alat gerak seperti silia, flagela, atau pseudopodia.

2) Fungsi Utama Struktur:

Organel-organel sel mendukung kehidupan protozoa sebagai organisme heterotrof, memungkinkan pencernaan intraseluler dan pergerakan aktif. Mereka dapat berkembang biak secara aseksual maupun seksual.

d. Jamur Mikroskopis (Fungi)

1) Struktur Dasar:

Terdiri atas sel-sel eukariotik, jamur mikroskopis seperti ragi (yeast) dan kapang (mold) memiliki dinding sel yang tersusun dari kitin. Organel seperti inti sel, mitokondria, dan retikulum endoplasma hadir dan aktif.

2) Fungsi Utama Struktur:

Struktur sel jamur mendukung kemampuan mereka dalam menguraikan bahan organik melalui enzim eksternal. Beberapa berperan sebagai dekomposer, sementara yang lain bersifat patogen bagi manusia atau tumbuhan.

e. Alga Mikroskopis

1) Struktur Dasar:

Alga mikroskopis merupakan organisme eukariotik yang dapat melakukan fotosintesis. Mereka memiliki kloroplas, dinding sel (biasanya selulosa), dan inti sel sejati.

2) Fungsi Utama Struktur:

Struktur fotosintetik memungkinkan alga menghasilkan oksigen dan berperan sebagai produsen dalam rantai makanan perairan. Mereka juga menyimpan cadangan makanan dalam bentuk pati.

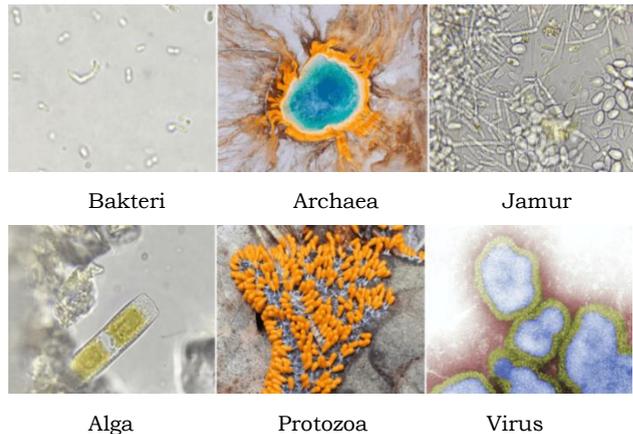
f. Virus

1) Struktur Dasar:

Virus bukanlah organisme seluler dan tidak memiliki struktur sel. Mereka terdiri atas materi genetik (DNA atau RNA) yang dibungkus oleh kapsid protein. Beberapa virus juga memiliki selubung lipid dari membran sel inang.

2) Fungsi Utama Struktur:

Struktur virus memungkinkan mereka menginfeksi sel inang dan menggunakan mesin sel inang untuk replikasi. Tanpa inang, virus tidak dapat memperlihatkan ciri-ciri kehidupan.



Gambar 1. Kelompok utama Mikroorganisma  
(Sumber: Joyfulmicrobe.com)

## **Sel Prokariotik dan Eukariotik**

Pemahaman mengenai perbedaan struktur dan fungsi antara sel prokariotik dan eukariotik merupakan dasar penting dalam mikrobiologi. Struktur sel yang sederhana pada prokariot memungkinkan efisiensi replikasi dan metabolisme cepat, sedangkan kompleksitas eukariot mendukung fungsi-fungsi seluler yang lebih beragam. Pengetahuan ini penting dalam identifikasi mikroorganisme, pemahaman proses patogenik, serta pengembangan terapi dan bioteknologi berbasis mikroba.

### **1. Karakteristik Umum Sel Prokariotik**

Sel prokariotik merupakan tipe sel yang tidak memiliki membran inti sejati. Materi genetiknya berupa DNA sirkular yang terletak di dalam daerah sitoplasma yang disebut nukleoid. Prokariot tidak memiliki organel bermembran seperti mitokondria atau retikulum endoplasma. Struktur sel ini sederhana namun sangat efisien dalam menunjang kehidupan dan adaptasi terhadap lingkungan ekstrem.

Ciri-Ciri Umum Sel Prokariotik:

- a. Tidak memiliki inti sel sejati (DNA terletak bebas di nukleoid).
- b. Tidak memiliki organel bermembran (seperti mitokondria, RE, dan Golgi).
- c. Dikelilingi oleh dinding sel yang kuat (biasanya tersusun atas peptidoglikan pada bakteri).
- d. Memiliki membran plasma sebagai pengatur lalu lintas zat.
- e. Reproduksi secara aseksual, umumnya melalui pembelahan biner.
- f. Ukuran sel umumnya kecil (0,1–5  $\mu\text{m}$ ).

Contoh Organisme Prokariotik:

- a. Bakteri: *Escherichia coli*, *Streptococcus pneumoniae*

- b. Archaea: Halobacterium salinarum, Methanobacterium

## 2. **Karakteristik Umum Sel Eukariotik**

Sel eukariotik memiliki struktur yang lebih kompleks dibandingkan sel prokariotik. Sel ini memiliki inti sejati yang dibungkus oleh membran, serta berbagai organel bermembran yang berfungsi khusus dalam aktivitas seluler. Eukariot dapat berupa organisme uniseluler (seperti protozoa) maupun multiseluler (seperti tumbuhan dan hewan).

Ciri-Ciri Umum Sel Eukariotik:

- a. Memiliki inti sel sejati yang dibungkus membran nukleus.
- b. Memiliki berbagai organel bermembran: mitokondria, retikulum endoplasma (RE), badan Golgi, lisosom, dan kloroplas (pada alga/tumbuhan).
- c. Struktur internal kompleks dan terorganisir.
- d. Dinding sel (jika ada) tersusun dari selulosa (alga), kitin (jamur), atau tidak ada (protozoa).
- e. Ukuran lebih besar dibandingkan prokariot (10–100  $\mu\text{m}$ ).
- f. Dapat bereproduksi secara seksual maupun aseksual.

Contoh Organisme Eukariotik:

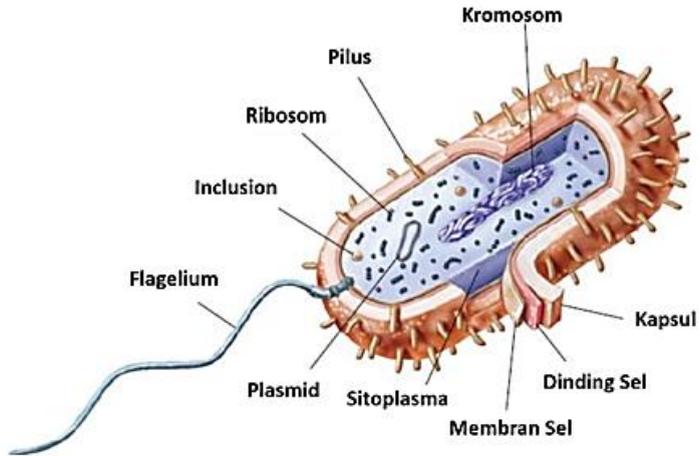
- a. Protozoa: Amoeba proteus, Paramecium caudatum
- b. Jamur mikroskopis: Saccharomyces cerevisiae (ragi)
- c. Alga mikroskopis: Chlorella vulgaris, Euglena

Tabel 1  
Perbedaan Struktur Sel prokariotik dan Sel Eukariotik

Komponen/Struktur	Sel Prokariotik	Sel Eukariotik
Inti Sel	Tidak ada (nukleoid)	Ada, dibungkus membran
Materi Genetik	DNA sirkular, bebas di sitoplasma	DNA linear dalam inti
Dinding Sel	Umumnya ada (peptidoglikan)	Ada pada tumbuhan (selulosa) dan jamur (kitin)
Membran Plasma	Ada	Ada
Organel Bermembran	Tidak ada	Ada (RE, mitokondria, badan Golgi, lisosom, dll.)
Ribosom	Ada, tipe 70S (kecil)	Ada, tipe 80S (besar)
Ukuran Sel	Umumnya kecil (0,1–5 $\mu\text{m}$ )	Lebih besar (10–100 $\mu\text{m}$ )
Motilitas	Flagela sederhana (protein flagellin)	Flagela/silia kompleks (tubulin)
Reproduksi	Aseksual (pembelahan biner)	Seksual dan/atau aseksual
Contoh Organisme	Bakteri, Archaea	Protozoa, jamur, alga, tumbuhan, hewan

### **Struktur Sel Mikroba**

Struktur sel mikroba mencerminkan adaptasi organisme mikroskopis terhadap berbagai lingkungan dan fungsinya dalam mempertahankan hidup, berkembang biak, dan berinteraksi. Secara umum, struktur sel mikroba dapat dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu struktur eksternal dan struktur internal, yang keduanya memiliki peran vital dalam kelangsungan hidup mikroorganismenya.



Gambar 2. Struktur Sel mikroba

## 1. **Struktur Eksternal Sel Mikroba**

Struktur eksternal mencakup bagian luar sel yang berperan penting dalam perlindungan, adhesi, komunikasi, dan interaksi dengan lingkungan. Komponen utama struktur eksternal meliputi:

### a. Dinding Sel

- 1) Fungsi: Memberi bentuk, kekakuan, dan perlindungan terhadap tekanan osmotik.
- 2) Komposisi:
  - a) Bakteri: Tersusun atas peptidoglikan (murein), lapisan tebal pada Gram-positif dan tipis pada Gram-negatif.
  - b) Archaea: Tidak mengandung peptidoglikan, tetapi memiliki lapisan pseudopeptidoglikan atau protein.
  - c) Jamur mikroskopis: Dinding sel tersusun atas kitin.
  - d) Alga mikroskopis: Mengandung selulosa atau polisakarida lain.

Mekanisme kerja: Dinding sel bekerja sebagai pelindung pasif terhadap tekanan eksternal dan sebagai pengatur selektif terhadap zat yang masuk ke dalam sel.

b. Membran Plasma

- 1) Fungsi: Mengatur transportasi zat masuk dan keluar dari sel serta tempat berlangsungnya proses metabolik tertentu.
- 2) Komposisi: Tersusun dari fosfolipid bilayer dengan protein integral dan perifer.

Mekanisme kerja: Membran plasma bekerja dengan mekanisme difusi, transpor aktif, dan transpor pasif. Dalam sel prokariot, beberapa reaksi metabolik seperti respirasi terjadi pada membran plasma.

c. Kapsul atau Lapisan Lendir (Glikokaliks)

- 1) Fungsi: Perlindungan dari fagositosis, retensi air, dan adhesi terhadap permukaan.
- 2) Komposisi: Polisakarida atau protein.

Mekanisme kerja: Membantu bakteri menempel pada permukaan inang atau permukaan lainnya dan membentuk biofilm.

d. Flagela dan Pili/Fimbriae

1) Flagela:

- a) Fungsi: Motilitas (pergerakan sel).
- b) Komposisi: Protein flagellin (pada prokariot).
- c) Mekanisme kerja: Bergerak dengan rotasi seperti baling-baling, digerakkan oleh gradien ion (proton motive force).

2) Pili/Fimbriae:

- a) Fungsi: Adhesi ke permukaan atau sel lain, serta transfer genetik (konjugasi).

- b) Mekanisme kerja: Melekatkan mikroba pada permukaan sel atau jaringan; pilus seks membentuk jembatan transfer DNA.

## 2. **Struktur Internal Sel Mikroba**

Struktur internal mencakup komponen-komponen yang berada di dalam membran plasma, yang terlibat dalam fungsi genetik, sintesis protein, metabolisme energi, dan penyimpanan cadangan makanan.

### a. Sitoplasma

- 1) Fungsi: Medium tempat berlangsungnya reaksi biokimia.
- 2) Komposisi: Air, ion, protein, enzim, dan molekul lain.

Mekanisme kerja: Enzim dan molekul metabolik larut di sitoplasma bekerja dalam berbagai jalur metabolik seperti glikolisis.

### b. Ribosom

- 1) Fungsi: Sintesis protein.
- 2) Tipe:
  - a) Prokariotik: 70S (subunit 50S + 30S).
  - b) Eukariotik: 80S (subunit 60S + 40S), meskipun mitokondria dan kloroplas memiliki ribosom 70S.

Mekanisme kerja: Ribosom membaca mRNA dan menyusun rantai polipeptida berdasarkan urutan kodon.

### c. Nukleoid dan Inti Sel

- 1) Nukleoid (pada prokariot): Wilayah di sitoplasma tempat DNA sirkular berada.
- 2) Inti Sel (Nukleus) (pada eukariot): Organel bermembran yang menyimpan DNA linear.

Mekanisme kerja: DNA di nukleoid atau inti mengalami transkripsi menjadi mRNA, yang kemudian diterjemahkan di ribosom.

d. Organel Lain (Khusus Sel Eukariotik)

1) Mitokondria:

- a) Fungsi: Tempat respirasi seluler dan produksi ATP.
- b) Mekanisme kerja: Melalui siklus Krebs dan rantai transport elektron.

2) Retikulum Endoplasma (RE):

- a) RE kasar: sintesis protein.
- b) RE halus: sintesis lipid dan detoksifikasi.

3) Badan Golgi:

Fungsi: Modifikasi dan pengemasan protein serta sekresi vesikel.

4) Vakuola/Lisosom (pada jamur):

Fungsi: Pencernaan intraseluler dan penyimpanan cadangan makanan.

### **Fungsi Setiap Komponen Sel Mikroba**

Setiap komponen sel mikroba memiliki fungsi spesifik yang saling melengkapi dalam menunjang kehidupan mikroorganisme. Fungsi-fungsi ini berkaitan erat dengan proses metabolisme, reproduksi, serta interaksi mikroba dengan lingkungannya, termasuk kemampuan untuk beradaptasi, bertahan hidup, dan dalam beberapa kasus, menyebabkan penyakit.

#### **1. Fungsi Komponen Eksternal Sel Mikroba**

Komponen eksternal sel mikroba merupakan struktur di luar membran plasma yang berperan penting dalam interaksi mikroba dengan lingkungannya. Struktur-struktur ini, seperti dinding sel, kapsul, flagela, pili, dan lapisan S (surface layer), memiliki fungsi spesifik yang mendukung kelangsungan hidup mikroba. Dinding sel, misalnya, memberikan bentuk dan perlindungan terhadap tekanan osmotik, sementara kapsul membantu mikroba menghindari sistem imun inang. Flagela

memungkinkan pergerakan aktif, sedangkan pili berperan dalam perlekatan dan transfer gen antar sel. Komponen-komponen ini tidak hanya penting dalam proses infeksi dan kolonisasi, tetapi juga menjadi target utama dalam pengembangan antibiotik dan vaksin. Memahami fungsi komponen eksternal sel sangat penting dalam mengkaji patogenisitas, resistensi, serta potensi aplikasi mikroba dalam berbagai bidang.

a. Dinding Sel

- 1) Fungsi utama: Memberi bentuk dan melindungi sel dari tekanan osmotik.
- 2) Peran dalam metabolisme: Meski tidak terlibat langsung, ia menjaga stabilitas internal agar metabolisme berlangsung optimal.
- 3) Peran dalam interaksi: Dinding sel mengandung molekul yang dikenali oleh sistem imun inang, seperti lipopolisakarida (LPS) pada bakteri Gram-negatif.

b. Membran Plasma

- 1) Fungsi utama: Mengatur lalu lintas molekul ke dalam dan luar sel.
- 2) Peran dalam metabolisme: Merupakan tempat reaksi metabolik penting seperti respirasi seluler (pada prokariot) dan pembentukan ATP.
- 3) Peran dalam interaksi: Mendeteksi sinyal lingkungan dan merespons perubahan osmolaritas atau keberadaan zat toksik.

c. Kapsul/Lapisan Lendir (Glikokaliks)

- 1) Fungsi utama: Melindungi sel dari fagositosis dan kekeringan.
- 2) Peran dalam interaksi: Membantu mikroba melekat pada permukaan (biofilm) dan jaringan inang.

d. Flagela dan Pili/Fimbriae

1) Flagela:

- a) Fungsi: Pergerakan menuju atau menjauhi rangsangan (kemotaksis).
- b) Peran dalam metabolisme: Memungkinkan mikroba mencapai sumber nutrisi.

2) Pili/Fimbriae:

- a) Fungsi: Adhesi dan transfer gen (pili seks).
- b) Peran dalam reproduksi: Transfer plasmid melalui konjugasi memungkinkan pertukaran sifat genetik, termasuk resistensi antibiotik.

2. Fungsi Komponen Internal Sel Mikroba

Komponen internal sel mikroba memainkan peran penting dalam menjalankan fungsi vital kehidupan, termasuk pertumbuhan, metabolisme, dan reproduksi. Meskipun mikroba seperti bakteri tergolong prokariotik dan tidak memiliki organel bermembran seperti pada sel eukariotik, mereka tetap memiliki struktur internal yang sangat terorganisir. Struktur seperti sitoplasma, ribosom, nukleoid, dan plasmid masing-masing memiliki fungsi khusus—misalnya, ribosom sebagai tempat sintesis protein dan plasmid yang sering membawa gen resistensi antibiotik. Pada mikroba eukariotik seperti jamur dan protozoa, organel seperti mitokondria dan retikulum endoplasma memberikan efisiensi metabolisme yang lebih tinggi. Pemahaman tentang fungsi komponen internal ini sangat penting dalam bidang bioteknologi, pengobatan, dan pengendalian mikroba patogen.

a. Sitoplasma

- 1) Fungsi utama: Medium untuk reaksi biokimia dan tempat organel berada.

- 2) Peran dalam metabolisme: Jalur metabolik seperti glikolisis terjadi di sitoplasma.
  - 3) Peran dalam reproduksi: Tempat berlangsungnya sintesis DNA dan RNA.
- b. Ribosom
- 1) Fungsi utama: Sintesis protein berdasarkan informasi genetik dari mRNA.
  - 2) Peran dalam metabolisme: Memproduksi enzim dan protein struktural yang dibutuhkan untuk metabolisme.
  - 3) Peran dalam reproduksi: Membentuk protein esensial untuk pembelahan sel.
- c. Nukleoid (Prokariot) dan Inti Sel (Eukariot)
- 1) Fungsi utama: Menyimpan dan mengatur materi genetik.
  - 2) Peran dalam metabolisme dan reproduksi: Mengatur sintesis protein melalui transkripsi dan translasi; menggandakan DNA saat pembelahan.
  - 3) Peran dalam adaptasi: Gen-gen tertentu dapat aktif/inaktif tergantung kondisi lingkungan.
- d. Mitokondria (khusus eukariotik)
- 1) Fungsi utama: Penghasil energi melalui respirasi seluler.
  - 2) Peran dalam metabolisme: Menghasilkan ATP dari glukosa dan oksigen.
  - 3) Peran dalam stres seluler: Merespons kondisi oksidatif atau kekurangan nutrisi.
- e. Retikulum Endoplasma dan Badan Golgi
- 1) RE Kasar: Sintesis dan modifikasi protein.
  - 2) RE Halus: Sintesis lipid dan detoksifikasi senyawa beracun.

- 3) Badan Golgi: Pengemasan protein dan eksositosis.
  - 4) Peran dalam metabolisme dan sekresi: Memfasilitasi ekspor enzim atau toksin oleh mikroba patogen.
- f. Vakuola dan Lisosom (pada jamur mikroskopis dan alga)
- 1) Fungsi: Penyimpanan cadangan makanan dan pencernaan zat asing.
  - 2) Peran dalam metabolisme: Mengatur tekanan osmotik dan memecah molekul kompleks menjadi energi.
3. Peran Komponen Sel dalam Interaksi dengan Lingkungan
- Mikroba hidup dalam berbagai kondisi lingkungan, termasuk yang ekstrem. Struktur sel mendukung kemampuan adaptasi ini:
- a. Glikokaliks dan biofilm: Melindungi dari antibiotik dan sistem imun.
  - b. Spora (pada bakteri tertentu): Struktur dorman untuk bertahan dalam kondisi ekstrem.
  - c. Flagela dan taksis: Menuntun sel menuju sumber nutrisi atau menjauhi racun.

### **Perbedaan Struktur Sel antara Mikroba Patogen dan Non-Patogen**

Mikroorganisme patogen dan non-patogen memiliki kesamaan struktur dasar seluler, tetapi mikroba patogen telah mengalami adaptasi struktural khusus yang memungkinkannya untuk menginfeksi, bertahan dalam inang, dan menyebabkan penyakit. Pemahaman perbedaan ini sangat penting dalam bidang mikrobiologi medis dan pengembangan strategi antimikroba.

Tabel 2. Perbedaan Umum Struktur Sel Patogen dan Non-Patogen

Komponen	Mikroba Non-Patogen	Mikroba Patogen
Kapsul/glikokaliks	Tidak selalu ada	Umumnya tebal, membantu menghindari fagositosis
Pili/fimbriae	Sering tidak dimiliki atau sedikit	Banyak, digunakan untuk adhesi pada sel inang
Dinding sel	Struktur standar	Mengandung komponen virulen seperti LPS, asam mikolat
Sekresi enzim/toksin	Tidak ada atau sedikit	Menghasilkan toksin (eksotoksin, endotoksin) dan enzim pencernaan
Kemampuan membentuk spora	Tidak umum	Beberapa membentuk spora untuk bertahan
Mobilitas (flagela)	Terbatas	Umumnya aktif untuk penetrasi jaringan

### 1. Adaptasi Struktural yang Mendukung Virulensi

Virulensi mikroba, yaitu kemampuan suatu mikroorganisme untuk menyebabkan penyakit, sangat bergantung pada berbagai adaptasi struktural yang dimilikinya. Struktur-struktur khusus pada permukaan dan bagian dalam sel mikroba memungkinkan mereka menempel pada inang, menghindari sistem imun, serta menyerang atau merusak jaringan tubuh. Beberapa adaptasi penting meliputi kapsul yang melindungi dari fagositosis, pili atau fimbriae yang memungkinkan adhesi pada permukaan sel inang, serta flagela yang mendukung pergerakan menuju target infeksi. Selain itu, komponen dinding sel seperti lipopolisakarida (LPS) pada bakteri Gram-negatif dapat memicu respons imun yang kuat. Memahami berbagai adaptasi struktural ini sangat penting dalam konteks

pengembangan terapi antimikroba, vaksin, dan strategi pencegahan penyakit menular.

Beberapa struktur sel mikroba patogen menunjukkan adaptasi khusus untuk meningkatkan kemampuannya dalam menginfeksi dan bertahan di tubuh inang:

a. Kapsul

- 1) Melindungi mikroba dari fagositosis oleh makrofag.
- 2) Contoh: *Streptococcus pneumoniae* — kapsul polisakarida adalah faktor virulensinya utama.

b. Fimbriae dan Pili

- 1) Memungkinkan mikroba menempel kuat pada jaringan inang.
- 2) Contoh: *Neisseria gonorrhoeae* memiliki pili tipe IV untuk adhesi epitel urogenital.

c. Dinding Sel yang Dimodifikasi

- 1) Beberapa mikroba patogen memiliki dinding sel kaya lipid atau lapisan lilin.
- 2) Contoh: *Mycobacterium tuberculosis* — mengandung asam mikolat, yang membuatnya tahan terhadap fagositosis dan deterjen.

d. Sekresi Toksin dan Enzim

- 1) Banyak mikroba patogen menghasilkan protein yang merusak jaringan inang.
- 2) Contoh: *Clostridium tetani* menghasilkan neurotoksin tetanospasmin yang memblokir neurotransmisi.

e. Flagela

- 1) Memberi mobilitas, memungkinkan mikroba menjangkau lokasi infeksi.

- 2) Contoh: *Helicobacter pylori* menggunakan flagelanya untuk menembus mukosa lambung.
- f. Sistem Sekresi (Type III Secretion System - T3SS)
- 1) Digunakan oleh bakteri Gram-negatif untuk menyuntikkan protein ke dalam sel inang.
  - 2) Contoh: *Salmonella enterica*, *Shigella spp.*
2. Contoh Spesifik Mikroba Patogen dan Hubungan dengan Struktur Selnya
- a. *Streptococcus pneumoniae*
    - 1) Struktur penting: Kapsul polisakarida.
    - 2) Peran: Menghindari sistem imun (fagositosis), penyebab utama pneumonia dan meningitis.
  - b. *Escherichia coli* (Strain Patogen seperti EHEC, EPEC)
    - 1) Struktur penting: Pili, flagela, dan sistem sekresi T3SS.
    - 2) Peran: Menempel pada usus, mengubah struktur permukaan epitel, menghasilkan toksin shiga.
  - c. *Mycobacterium tuberculosis*
    - 1) Struktur penting: Dinding sel kaya lipid (asam mikolat).
    - 2) Peran: Tahan terhadap antibodi dan fagolisosom, menyebabkan infeksi kronis paru-paru.
  - d. *Neisseria meningitidis*
    - 1) Struktur penting: Kapsul dan pili.
    - 2) Peran: Menempel pada sel epitel, menembus sawar darah-otak, menyebabkan meningitis.
  - e. *Clostridium botulinum*
    - 1) Struktur penting: Spora dan eksotoksin (toksin botulinum).

- 2) Peran: Spora bertahan lama, toksin memblokir sinapsis saraf (penyebab botulisme).

Perbedaan utama antara mikroba patogen dan non-patogen terletak pada struktur sel yang menunjang virulensi. Mikroba patogen telah mengembangkan komponen khusus untuk bertahan di dalam tubuh inang, menghindari sistem imun, dan merusak jaringan. Pemahaman mengenai struktur ini menjadi dasar dalam penemuan antibiotik, vaksin, dan terapi baru dalam dunia medis.

### **Aplikasi dan Relevansi Peran Pemahaman Struktur Sel Mikroba**

Pemahaman yang mendalam mengenai struktur sel mikroba memainkan peranan penting dalam berbagai bidang kehidupan, termasuk bidang medis, industri, dan lingkungan. Pengetahuan ini memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk pengembangan teknologi dan solusi terhadap berbagai tantangan global. Berikut adalah uraian aplikasi dan relevansi struktur sel mikroba dalam tiga bidang utama:

1. Bidang Medis: Target Antibiotik dan Pengembangan Vaksin

Struktur sel mikroba, terutama perbedaan antara dinding sel bakteri Gram positif dan Gram negatif, sangat penting dalam pengembangan antibiotik. Antibiotik seperti penisilin bekerja dengan cara menghambat sintesis dinding sel, sehingga pemahaman terhadap komponen seperti peptidoglikan menjadi sangat relevan. Selain itu, struktur permukaan sel mikroba seperti lipopolisakarida (LPS), kapsul, dan protein membran luar menjadi target utama dalam pengembangan vaksin karena dapat memicu respon imun tubuh. Pemahaman ini juga membantu dalam mengidentifikasi mekanisme resistensi antibiotik, yang krusial dalam menghadapi krisis resistensi antimikroba.

## 2. Bidang Industri: Bioteknologi Mikroba

Dalam industri bioteknologi, mikroba digunakan untuk memproduksi berbagai produk seperti enzim, biofuel, bahan kimia, dan obat-obatan. Pengetahuan tentang struktur sel, seperti membran sel dan organel prokariotik, penting dalam rekayasa genetika untuk meningkatkan efisiensi produksi. Misalnya, manipulasi pori-pori membran dan transport protein memungkinkan peningkatan sekresi produk metabolit ke luar sel. Selain itu, pemahaman tentang struktur sel memungkinkan optimalisasi proses fermentasi dan sintesis metabolit sekunder yang bernilai ekonomi tinggi.

## 3. Bidang Lingkungan: Bioremediasi

Dalam bidang lingkungan, pemahaman struktur sel mikroba mendukung aplikasi bioremediasi, yaitu penggunaan mikroba untuk menguraikan polutan atau limbah berbahaya. Struktur seperti flagela dan pili memungkinkan mikroba bergerak menuju sumber polusi (kemotaksis), sementara enzim-enzim spesifik yang dihasilkan oleh mikroba memungkinkan degradasi senyawa kimia kompleks. Adaptasi struktur membran terhadap kondisi ekstrem juga menjadikan mikroba sebagai agen pembersih yang efektif dalam berbagai kondisi lingkungan.

## Daftar Pustaka

- Ainutajriani, Artanti D, Rohmayani V. *Bakteriologi Dasar*. Jakarta: Penerbit Rena Cipta Mandiri; 2024.
- Bauman RW. *Microbiology with Diseases by Body System*. 5th ed. Pearson; 2020.
- Boleng DT. *Bakteriologi: Konsep-Konsep Dasar*. Malang: UMM Press; 2018.
- Madigan MT, Bender KS, Buckley DH, Sattley WM, Stahl DA. *Brock Biology of Microorganisms*. 16th ed. Pearson; 2021.
- Nurdin GM, Hidayah N. *Mikrobiologi Dasar: Teori dan Praktik*. Surabaya: Penerbit Agma; 2023.
- Pelczar MJ, Chan ECS, Krieg NR. *Microbiology: Concepts and Applications*. New York: McGraw-Hill; 1993.
- Prescott LM, Harley JP, Klein DA. *Microbiology*. 10th ed. New York: McGraw-Hill Education; 2017.
- Retnaningrum E, Darmasiwi S, Siregar AR. *Bahan Ajar Mikrobiologi*. Yogyakarta: UGM Press; 2021.
- Rini CS, Rohmah J. *Buku Ajar Mata Kuliah Bakteriologi Dasar*. Sidoarjo: Umsida Press; 2020.
- Slonczewski JL, Foster JW. *Microbiology: An Evolving Science*. 5th ed. New York: W.W. Norton & Company; 2019.
- Suryani Y, Taupiqurrahman O. *Mikrobiologi Dasar*. Bandung: Gunung Djati Publishing; 2021.
- Tortora GJ, Funke BR, Case CL. *Microbiology: An Introduction*. 13th ed. Pearson; 2020.
- Ulilalbab A, Rahayu N, Amalia I. *Pengantar Mikrobiologi*. Yogyakarta: Sada Kurnia Pustaka; 2023.
- Waluyo L. *Mikrobiologi Umum*. Malang: UMM Press; 2019.
- Waluyo L. *Dasar-Dasar Mikrobiologi dan Parasitologi*. Malang: UMM Press; 2024.

Widhi APK, Ardhani P, Kusuma N. *Mikrobiologi Fundamental untuk Kedokteran*. Purwokerto: UNSOED Press; 2023.

## **Profil Penulis**



### **Dr. Wahyu Surakusumah**

Penulis merupakan staf pengajar di Program Studi Biologi, Universitas Pendidikan Indonesia. Ia menempuh pendidikan Sarjana di program studi Biologi di Institut Teknologi Bandung (ITB), kemudian melanjutkan pendidikan Magister pada Program Studi Teknik Lingkungan di ITB. Gelar Doktor diperolehnya dari Program Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor (IPB). Sebagai akademisi dan peneliti, penulis memiliki minat dalam bidang pengelolaan lingkungan dan bioremediasi.

Ketertarikannya ini tercermin dalam berbagai penelitian yang telah dilakukannya, baik secara mandiri maupun kolaboratif, yang berfokus pada pengembangan metode ramah lingkungan untuk mengatasi pencemaran dan meningkatkan kualitas ekosistem. Ia juga aktif mempublikasikan hasil penelitiannya dalam jurnal ilmiah serta berkontribusi dalam seminar dan kegiatan pengabdian masyarakat yang berkaitan dengan pelestarian lingkungan. Dengan latar belakang pengelolaan lingkungan di bidang biologi, teknik lingkungan, serta pengelolaan sumber daya alam, penulis berkomitmen untuk terus mengembangkan ilmu pengetahuan yang aplikatif dan bermanfaat dalam menjaga keberlanjutan lingkungan hidup

Email Penulis: [wahyu\\_bioupi@upi.edu](mailto:wahyu_bioupi@upi.edu)



# KLASIFIKASI DAN IDENTIFIKASI MIKROBA

**Apt. Andi Ifriany Harun, M.Si.**  
Univesitas Tanjungpura

## **Pendahuluan**

Mikroorganisme atau biasa disebut mikroba merupakan contoh dari sel prokaryotik dan eukaryotik. Pada sel prokaryotik, belum terdapat diferensiasi sel menjadi organel-organel sehingga selnya masih sederhana. Sedangkan pada sel eukaryotik, sudah terjadi diferensiasi sel. Mikroba memiliki ukuran yang sangat kecil (diameter kurang dari 0.1 mm), tidak dapat dilihat langsung secara kasatmata tanpa bantuan mikroskop. Mikroba bisa tersusun dari uni seluler (satu sel) atau multiseluler (beberapa sel). Contoh bakteri yang tersusun dari sel prokaryotik adalah virus, bakteri, dan archaea, sedangkan fungsi, protozoa dan alga mikroskopik (mikroalga) termasuk golongan eukaryotik (Padoli, 2016).

Karena ukurannya yang sangat kecil, mikroba mudah terbawa oleh hembusan angin, sehingga mikroba dapat ditemui di mana-mana, termasuk di tanah, debu, udara, dan air. Mikroba ada yang bermanfaat bagi manusia, misalnya pada pembuatan tempe, keju, tapi ada juga yang merugikan manusia (Nurhayati, 2022). Peran penting lain dari mikroba yaitu dalam berbagai proses biologi, seperti penguraian bahan organik, produksi makanan, dan patogenesis penyakit. Contoh mikroba yang bermanfaat adalah *Lactobacteria* yang bertugas membantu menguraikan zat-zat yang dibutuhkan oleh

tanaman untuk memperoleh nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman tersebut. Ada juga *Epistylis*, suatu mikroba yang dapat digunakan untuk menentukan apakah air yang kita konsumsi atau air yang digunakan sehari-hari kualitasnya baik atau buruk, dan *Microthrix parvicella* yang dapat memicu penggumpalan lumpur pada tanah yang berlumpur sehingga sukar ditumbuhi tanaman. Sedangkan contoh mikroba yang berbahaya dan merugikan manusia adalah *Mycobacterium tuberculosis* yang jika terdapat di paru-paru, dapat menyebabkan penyakit tuberculosis atau yang lebih dikenal dengan penyakit TBC (Kulwa, 2019). *Salmonella thypii*, adalah bakteri yang dapat menyebabkan penyakit demam thipoid atau penyakit thypus, dan masih banyak lagi contoh mikroba yang dapat merugikan.

Kegunaan yang sangat penting ketika melakukan proses klasifikasi dan identifikasi mikroba adalah untuk memahami sifat dan perilaku mikroba, memahami peran mikroba dalam lingkungan dan tubuh manusia, serta mengembangkan strategi untuk mengendalikan pertumbuhan mikroba.

### **Pengertian Klasifikasi Mikroba**

Karena luasnya dunia mikroba yang meliputi prokaryotik dan eukaryotik, maka mikroba perlu diklasifikasikan untuk memudahkan penggolongannya. Ilmu yang mempelajari tentang klasifikasi dan pembagian sistematis organisme ke dalam suatu kelompok atau golongan tertentu disebut taksonomi. Ada perbedaan antara klasifikasi dan sistematika mikroba. Kalau dalam klasifikasi mikroba, mikroba dikelompokkan ke dalam kelompok taksonomi berdasarkan kemiripannya, sedangkan sistematika mikroba yaitu pengklasifikasian, penamaan, dan pengidentifikasian mikroba secara terperinci. Sistematika mikroba biasanya berdasarkan buku Bergey's Manual of Determinative Bacteriology (Rini, 2020). Identifikasi adalah proses untuk menentukan apakah suatu mikroba yang baru ditemukan merupakan bagian dari kelompok yang sudah dikenal atau merupakan spesies baru. Penamaan adalah

tata cara pemberian nama ilmiah pada mikroba berdasarkan aturan tata nama international (International Code Bacteriology Nomenclature (ICBN) (Idramsa, 2013)

### **Pendekatan Sistem Klasifikasi**

Ada dua pendekatan untuk menyusun sistem klasifikasi dari suatu mikroba, yaitu sistem klasifikasi fenetik dan filogenetik. Pada sistem klasifikasi fenetik, hubungan/kemiripan suatu mikroba didasarkan pada kesamaan karakter dari anggota-anggota suatu kelompok. Sedangkan pada sistem klasifikasi filogenetik (kladistik) didasarkan pada hubungan perjalanan evolusi karakter setiap anggota kelompok (Idramsa, 2013).

### **Sistem Klasifikasi Fenetik**

Dalam jangka waktu yang cukup lama, para ahli taksonomi masih tergantung pada sistem klasifikasi fenetik, yang membuat keteraturan keanekaragaman organisme dan kejelasan fungsi dari struktur morfologi (Madigan, 2009). Klasifikasi fenetik membandingkan sebanyak mungkin sifat fenotip, dimana sifat dengan bobot yang sama menunjukkan similaritas yang sama dan dibuat menjadi sebuah kelompok (takson)

### **Sistem Klasifikasi Filogenetik**

Pada sistem ini, hubungan kekerabatan (kedekatan genetik) didasarkan pada hubungan evolusioner, dengan membandingkan karakter khusus suatu spesies dengan asumsi spesies dengan karakter yang sama. Filogeni disajikan dalam bentuk filogenetik. Filogeni klasik menggunakan menggunakan karakter fisik atau morfologi, sedangkan filogeni modern menggunakan sumber informasi genetik (DNA) dan urutan protein (Cleenwerck, 2008). Penggunaan DNA dalam studi filogenetik untuk menentukan perkiraan kecepatan evolusi dapat dilakukan karena terjadi perubahan basa nukleotida menurut waktu. Perkiraan kecepatan evolusi dapat merekonstruksi hubungan evolusi antara satu kelompok dengan kelompok organisme lainnya.

Menurut Hillis (1996), alasan digunakan sekuen DNA dalam studi filogenetika adalah:

1. DNA merupakan unit dasar informasi yang mengkode organisme
2. Lebih memudahkan dalam mengekstrak dan menggabungkan informasi mengenai proses evolusi suatu kelompok organisme, sehingga mudah untuk dianalisis
3. Memudahkan dalam pembuatan model dari peristiwa evolusi secara komparatif
4. Menghasilkan informasi yang banyak dan beragam, dengan demikian akan ada banyak bukti tentang keberadaan suatu hubungan filogenetik

Sistem klasifikasi mikroba terdiri dari beberapa Tingkat, yaitu :

#### 1. Domain

Dalam klasifikasi makhluk hidup, domain adalah tingkatan taksonomi tertinggi, di atas kerajaan (kingdom). Tiga domain utama adalah Archaea, Bacteria, dan Eukarya. Archaea dan Bacteria adalah kelompok prokariota (tidak memiliki inti sel), sedangkan Eukarya mencakup semua organisme eukariota (memiliki inti sel).

#### **Domain Archaea**

Domain ini mencakup mikroorganisme prokariotik yang sering ditemukan di lingkungan ekstrem, seperti sumber air panas atau daerah dengan kadar garam tinggi. Mereka memiliki struktur sel yang berbeda dari bakteri.

#### **Domain Bacteria**

Domain ini mencakup semua bakteri, yang merupakan organisme prokariotik yang lebih umum dan memiliki struktur sel yang lebih khas dibandingkan Archaea.

## **Domain Eukarya**

Domain ini mencakup semua organisme eukariotik, yaitu organisme yang sel-selnya memiliki inti sejati. Domain ini meliputi kingdom Protista, Fungi, Plantae, dan Animalia.

Perbedaan Utama masing-masing Domain adalah :

### a. Struktur Sel

Karena termasuk ke dalam golongan sel prokaryotik, domain Archaea dan Bacteria tidak memiliki inti sel dan organel yang dilindungi membran, sedangkan Eukarya memiliki inti sel dan organel yang dilindungi membrane (eukaryotik).

### b. Komposisi Sel

Archaea dan Bacteria memiliki komposisi biokimia yang berbeda, terutama dalam dinding sel dan membran plasma.

### c. Metabolisme

Archaea dan Bacteria memiliki berbagai jenis metabolisme yang berbeda, termasuk beberapa jenis yang hanya ditemukan pada kelompok ini.

## 2. Kingdom

Kingdom adalah penggolongan dalam sistem klasifikasi yang menempati urutan kedua setelah domain, yang didalamnya terdapat berbagai macam golongan makhluk hidup dengan karakteristik yang umum, seperti bagaimana cara memperoleh makanan (autotroph atau heterotroph), jenis sel (prokaryotik atau eukaryotik), dan struktur tubuhnya. Penggolongan kingdom umumnya terdiri dari lima kingdom, walaupun ada juga yang menggolongkannya ke dalam enam atau tujuh kingdom. Kelima kingdom tersebut adalah Monera, Protista, Fungi, Plantae, dan Animalia.

Contoh kingdom yang umum, yaitu :

- a. **Monera:** adalah kingdom sel prokaryotik, dimana tidak ada inti sel yang terbungkus membran, dan bersel satu, contohnya bakteri.
- b. **Protista:** Merupakan sel eukaryotik, baik bersel satu atau bersel banyak. Contohnya protozoa dan ganggang.
- c. **Fungi:** Makhluk hidup heterotrof yang menyerap nutrisi dari lingkungan, dan tidak bisa memproduksi makanannya sendiri, seperti jamur dan kapang.
- d. **Plantae:** Makhluk hidup autotrof (membuat makanan sendiri) yang memiliki sel eukariotik dengan dinding sel, seperti tumbuhan.
- e. **Animalia:** Makhluk hidup heterotrof yang memiliki sel eukariotik dan umumnya bergerak, seperti hewan.

### 3. Filum

Di filum, organisme dikelompokkan berdasarkan kesamaan ciri-ciri umum yang lebih luas seperti morfologi, fisiologi, atau genetik, sehingga dapat dibedakan dari satu filum dengan filum lain dalam satu kingdom yang menunjukkan adanya nenek moyang yang sama. Kegunaan klasifikasi filum untuk membantu pemahaman tentang evolusi, hubungan antar organisme, dan karakteristik umum dari kelompok mikroba tertentu. Contoh filum dalam taksonomi bakteri adalah :

- a. Cyanobacteria. Filum ini memperoleh energinya dari proses fotosintesis. Filum ini dapat hidup di berbagai macam habitat di seluruh penjuru bumi, tersebar di air tawar, air laut, dan ekosistem darat, mereka juga ditemukan di relung terekstrem seperti sumber air panas, pabrik garam, dan teluk air tawar. Cyanobacteria bisa disebut dengan alga hijau-biru.

- b. Actinobacteria umumnya beranggotakan bakteri gram positif yang umumnya hidup di tanah, walaupun ada juga pada tumbuhan dan hewan, dan beberapa ada yang bersifat patogen, seperti *mycobacterium*. Fungsi filum actinobacteria yang terpenting adalah dapat mengdekomposisi materi organik seperti selulosa dan kitin sehingga menambah cadangan hara di dalam tanah dan merupakan bagian penting dari pembentukan humus.
- c. Chlamydiae. secara alami ditemukan hidup hanya di dalam sel hewan (termasuk manusia), serangga, dan protozoa.

#### 4. Kelas

Berada di bawah filum, terdiri dari beberapa kelas, yaitu Bacilli dan Gammaproteobacteria

#### 5. Ordo

Tingkat di bawah kelas, terdiri dari ordo Bacillales dan enterobacteriales

#### 6. Famili

Berada di bawah ordo, terdiri dari beberapa famili, seperti Bacillaceae dan Enterobacteriaceae

#### 7. Genus

Berada di bawah famili, terdiri dari genus Bacillus dan Escherichia

#### 8. Spesies

Tingkatan terendah dalam klasifikasi, terdiri dari beberapa spesies, seperti Bacillus subtilis dan Escherichia coli.

Contoh klasifikasi Escherichia coli adalah :

Domain : Bacteria  
 Filum : Pseudomonadota  
 Kelas : Gammaproteobacteria  
 Ordo : Enterobacteriales

Famili : Enterobacteriaceae  
Genus : Escherichia  
Spesies : Escherichia coli

### **Metode Identifikasi Mikroba**

Umumnya metode identifikasi mikroba dapat dibagi dalam 2 kelompok, yaitu metode fenotipik dan genotipik. Metode fenotipik didasarkan pada pengamatan karakteristik atau ekspresi gen yang dapat dilihat, diukur, atau diamati dari suatu sampel. Sedangkan metode genotipik adalah metode yang digunakan untuk menentukan atau menganalisis susunan genetik suatu organisme termasuk pemeriksaan urutan DNA atau RNA untuk mengidentifikasi spesies, galur, atau karakteristik genetik lainnya. Metode ini lebih berfokus pada informasi genetik.

### **Metode fenotipik**

Metode ini meliputi mikroskopis, pewarnaan, kultur dan koloni, biokimia, dan uji serologi.

#### 1. Mikroskopis

Pengamatan mikroskopis meliputi bentuk, ukuran, dan susunan sel, diamati dengan bantuan mikroskop, sehingga mikroba dapat diidentifikasi berdasarkan bentuk dan ukurannya.

#### 2. Pewarnaan

Pewarnaan digunakan untuk membedakan bakteri gram positif dan bakteri gram negatif dengan menggunakan pewarna khusus, misalnya pewarnaan gram.

#### 3. Kultur dan Koloni

Memperhatikan karakteristik koloni bakteri pada media tertentu, seperti bentuk, ukuran, warna, dan tekstur.

#### 4. Biokimia

Memeriksa kemampuan mikroba untuk mengolah atau memfermentasi zat tertentu, seperti gula atau asam amino.

#### 5. Uji Serologis

Menggunakan antibodi untuk mendeteksi mikroba tertentu.

Metode fenotipik dapat digunakan untuk :

##### 1. Identifikasi dan Analisis

Metode ini dapat digunakan untuk identifikasi jenis bakteri, karakteristik tumbuhan, atau sifat-sifat lain berdasarkan apa yang dilihat atau diukur.

##### 2. Karakteristik Fisik

Contohnya identifikasi bakteri berdasarkan pewarnaan gram, uji biokimia, atau morfologi koloni.

##### 3. Ekspresi Gen

Metode ini digunakan untuk menganalisis ekspresi gen yang menghasilkan fenotipe tertentu. Misalnya penelitian tentang warna bunga yang dapat diamati karena gen tertentu.

##### 4. Tingkat Organisme

Fenotipe dapat diamati mulai dari tingkat sel hingga Tingkat organisme lengkap. Contohnya warna mata, tinggi badan, atau ketahanan terhadap penyakit tertentu.

##### 5. Pemilihan dan Pemeliharaan

Metode fenotipik juga dapat digunakan untuk pemilihan tanaman atau ternak dengan fenotipe yang diinginkan.

## **Metode Genotipik**

Beberapa tujuan dari metode genotipik adalah :

1. Identifikasi spesies atau galur

Dengan menganalisis urutan genetik tertentu, dapat diidentifikasi jenis bakteri atau strain tertentu, seperti gen 16S rRNA pada bakteri.

2. Analisis variasi genotip

Metode genotipik dapat digunakan untuk melihat perbedaan dalam susunan genetik antar individu atau populasi, yang dapat mengungkap variasi genetik dan evolusi.

3. Penelitian mutasi atau perubahan genetik

Analisis genotipik dapat membantu mengidentifikasi mutasi genetik yang menyebabkan penyakit atau resistensi terhadap obat.

4. Identifikasi resistensi antimikroba

Metode genotipik dapat digunakan untuk mendeteksi gen yang menyebabkan resistensi terhadap antibiotik, yang penting untuk pengobatan infeksi.

Contoh metode genotipik adalah :

1. PCR

Metode yang digunakan untuk mengamplifikasi (memperbanyak) DNA atau RNA tertentu dari mikroba, yang kemudian dapat diidentifikasi.

2. Analisis 16S rRNA

Menggunakan urutan DNA dari gen 16S rRNA untuk mengidentifikasi mikroba, terutama bakteri.

3. Pengurutan DNA

Mengurutkan DNA seluruh mikroba untuk mendapatkan informasi lengkap tentang genomnya.

#### 4. Analisis Maldi-Tof MS

Metode yang mengukur berat molekul senyawa dalam mikroba untuk identifikasi.

#### 5. Uji Sensitivitas Antibiotik

Menentukan sensitivitas mikroba terhadap antibiotik tertentu.

### **Aplikasi Klasifikasi dan Identifikasi Mikroba**

Penggunaan mikroskop adalah aplikasi klasifikasi dan identifikasi mikroba yang sangat sederhana. Selain penggunaan mikroskop, aplikasi dan identifikasi mikroba bahkan sampai metode pada tingkat molekuler. Klasifikasi mikroba melibatkan pengelompokan berdasarkan karakteristik morfologi, fisiologi, dan genetik, sementara identifikasi bertujuan untuk menentukan jenis mikroorganisme tertentu.

Contoh aplikasi penting dari klasifikasi dan identifikasi mikroba adalah:

#### 1. Diagnosis penyakit.

Identifikasi mikroba dapat membantu dalam diagnosis penyakit infeksi dan pengembangan strategi pengobatan.

#### 2. Pengembangan vaksin

Pengembangan vaksin yang efektif terhadap suatu penyakit, terutama penyakit infeksi sangat dimungkinkan jika sudah dilakukan klasifikasi dan identifikasi mikroba. Jika mikroba sudah diidentifikasi, baik itu bakteri, terutama virus, maka toksin dari mikroba tersebut dapat dilemahkan kekuatan toksisitasnya untuk selanjutnya dikembangkan menjadi vaksin baru.

#### 3. Pengendalian lingkungan

Mikroba yang sudah diklasifikasi dan diidentifikasi dapat dikembangkan untuk mengurangi dampak negatif mikroba pada lingkungan, sehingga kerusakan lingkungan dapat dikendalikan. Deteksi

dan identifikasi mikroba dapat dilakukan pada sampel air, tanah, dan udara untuk memantau kualitas lingkungan

#### 4. Industri makanan

Klasifikasi dan identifikasi mikroba dapat membantu dalam pengembangan produk makanan yang aman dan berkualitas, dengan cara memastikan keamanan dan kualitas produk pangan dengan mengidentifikasi mikroba yang tidak diinginkan.

Berikut adalah beberapa kegunaan utama klasifikasi dan identifikasi mikroba:

##### 1. Membedakan dan Mengelompokkan Mikroba:

- a. Klasifikasi membantu membedakan satu mikroba dari yang lain, bahkan yang sangat mirip.
- b. Organisme yang memiliki kesamaan karakteristik dikelompokkan, sehingga memudahkan studi dan pemahaman tentang keanekaragaman hayati.
- c. Identifikasi memungkinkan kita untuk mengetahui sifat-sifat morfologi, biokimia, dan molekuler dari mikroba.

##### 2. Mengidentifikasi Patogen:

- a. Identifikasi mikroba membantu mendeteksi keberadaan bakteri patogen atau mikroorganisme penyebab penyakit.
- b. Pengetahuan tentang jenis patogen sangat penting untuk diagnosis dan pengobatan penyakit infeksi.
- c. Identifikasi juga membantu dalam pengembangan strategi pengendalian penyakit, seperti vaksinasi dan terapi.

3. Studi Evolusi dan Hubungan Antar Spesies:
  - a. Klasifikasi dan identifikasi membantu memahami evolusi dan hubungan filogenetik (evolusi) antar spesies mikroba.
  - b. Analisis filogenetik dapat digunakan untuk melacak asal-usul dan penyebaran mikroba, serta untuk memahami bagaimana mereka beradaptasi dengan lingkungannya.
4. Pemanfaatan Mikroba dalam Berbagai Bidang:
  - a. Identifikasi mikroba yang bermanfaat, seperti bakteri asam laktat dalam industri fermentasi, sangat penting untuk pemanfaatan mereka secara optimal.
  - b. Pengetahuan tentang mikroba juga penting dalam bidang pertanian, seperti dalam penggunaan mikroba sebagai pupuk hayati atau dalam pengendalian hama dan penyakit tanaman.
  - c. Dalam dunia kedokteran, identifikasi mikroba sangat penting untuk diagnosis, pengobatan, dan pengembangan obat-obatan baru.
5. Keamanan Produk dan Lingkungan:
  - a. Identifikasi mikroba membantu memastikan keamanan produk makanan dan minuman, serta menjaga kualitas air dan tanah.
  - b. Pendeteksian mikroba yang berbahaya, seperti bakteri pengotor, dapat mencegah terjadinya masalah kesehatan dan kerusakan lingkungan.

## Daftar Pustaka

- Cleenwerck Ilse, dan Paul De Vos, (2008), Polyphasic taxonomy of acetic acid bacteria: An overview of the currently applied methodology, *International Journal of Food Microbiology* 125 hal 2-14.
- Hillis, D.M., C. Moritz, and B.K. Mable, (1996), *Molecular Systematic*. 2<sup>nd</sup> Ed, Sinauer Associates, Massachusetts.
- Padoli. (2016). *Mikrobiologi dan Parasitologi Keperawatan*, Pusdik SDM Kesehatan, Badan Pengembangan dan Pemberdayaan Sumber Daya Manusia Kesehatan, Kemenkes RI, Jakarta.
- Kulwa, F., et.al (2019), A State of The Art Survey for Microorganism Image Segmentation Methods and Future Potential, *IEEE Access*, 7, hal 100243-1—269. DOI : 10.1109/ACCESS.2019.2930111.
- Nurhayati , E., et.al. (2022), Cemaran Mikroba pada Suhu Dingin Dalam Kulkas Rumah Tangga, *Jurnal Vokasi Kesehatan*, Vol 8 (1), 59-63, Poltekkes, Pontianak <http://ejournal.poltekkes-pontianak.ac.id/index.php/JVK>
- Rini, C.S., Rohmah J., (2020), *Buku Ajar Mata Kuliah Bakteriologi Dasar*, Cetakan Pertama, Umsida Press, Universitas Muhammadiyah, Sidoarjo. ISBN : 978-623-6833-66-7.
- Idramsa, (2013), Peran Sistematika Mikrobial Dalam Mengungkap Keanekaragaman Mikroorganisme, *Jurnal Keluarga Sehat Sejahtera* Vol. 11 (22) ISSN : 1693 – 1157, hal 58-63
- Madigan et al. (2009). *Biology of Microorganisms*. Twelfth Edition. Benjamin Cummings. Singapore

## **Profil Penulis**



### **Apt. Andi Ifriany Harun, M.Si.**

Penulis lahir di Makassar pada hari minggu, tanggal 27 desember 1970. Menyelesaikan pendidikan S1 di FMIPA Jurusan Farmasi Universitas Hasanuddin pada tahun 1996. Tahun 1998 menyelesaikan pendidikan profesi apoteker dan tahun 2001 menyelesaikan S2 Jurusan Kimia (biokimia) di Universitas Hasanuddin.

Tahun 1998 mengikuti program karya siswa yang dilaksanakan oleh Dikti dan diterima sebagai dosen pada Universitas Tanjungpura dari tahun 2000 sampai sekarang. Sampai saat ini, hal yang paling sulit dalam menulis adalah mencari ide dan dorongan untuk memulai menulis, tetapi jika sudah mulai menulis, tulisannya akan mengalir dengan sendirinya dan menjadi sesuatu yang menyenangkan.

Tahun 2001-2010 menjadi apoteker pengelola apotek (APA) pada apotek Vega di Pontianak.

Bookchapter yang sudah ditulis sudah 4, yaitu Antibiotik dan Resistensi Antibiotik. (desember 2021) dan Ilmu Biomedik Dasar (desember 2022), Biokimia Farmasi (Januari 2024), mikrobiologi Farmasi (Januari 2025), dan 1 buku referensi dengan judul jejak akrilamida dalam kopi, fakta, risiko, dan Solusi (2025)

Email Penulis: andi.ifriani@fkip.untan.ac.id



## MIKROBA DAN LINGKUNGAN

**Husnin Nahry Yarza, M.Si.**

Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka

Mikroba merupakan organisme yang sangat kecil/mikro tidak mampu diamati menggunakan mata telanjang, sehingga untuk mengamatinya diperlukan mikroskop. Mikroba atau mikroorganisme sangat bermanfaat untuk lingkungan kita. Lingkungan kita sangat bergantung dengan keberadaan mikroorganisme yang ada di alam. Mikroba terdiri dari bakteri, jamur, mikroalga dan archae. Seperti dalam proses biodegradasi tanah sangat diperlukan adanya jutaan mikroba *Rhizobium* dalam membantu pemupukan tanah dengan mengambil nitrogen dari udara. Mikroba dan lingkungan adalah suatu kesatuan yang terdiri dari mikroba yang tumbuh dan hidup di lingkungan tanah, udara, air dan sedimen yang menjadi tempat hewan dan tumbuhan menempatnya. Banyak dari jenis mikroorganisme yang mengambil peran penting ataupun hubungan simbiotik dengan individu lain sehingga dapat memberikan efek baik bagi lingkungan (Irianto, 2016).

Setelah sebelumnya diulas mikroba dengan klasifikasi dan strukturnya pada bab ini akan dikupas secara apik mikroba dengan lingkungan, seperti apa? Mari kita pelajari bersama!

Air merupakan sumber daya yang sangat penting dan sangat bermanfaat untuk keberlangsungan makhluk hidup di muka bumi ini. Air sangat berperan dalam setiap aspek kehidupan seperti industri, produksi panga, pembangunan, ekonomi dan kesejahteraan masyarakat

(Ariesyadi, 2024). Setetes air sangat berharga untuk kehidupan. Air ini berfungsi erat kaitannya antara ekosistem dan keberlangsungan kehidupan. Air dan sanitasi berperan yakni air bersih dibutuhkan oleh semua makhluk. Air bersih ini akan berujung pada air limbah. Sebagai contoh kasus jika satu orang dalam sehari memanfaatkan 100 L air untuk keberlangsungan hidupnya seperti mandi, minum, mencuci, mengolah makanan dan toilet maka kurang lebih sekitar 85 L akan menjadi limbah atau mencemari perairan (Ariesyadi, 2024). Jadi banyaknya aktivitas manusia ini, diperlukan pengelolaan air bersih dari pencemaran dan ini tidak bisa lepas dari pengelolaan sanitasi. Dan juga diharapkan dengan adanya bantuan mikroorganisme ini dapat membantu keberlanjutan lingkungan dan mengurangi kerusakan lingkungan.

Banyak aktivitas manusia dalam menaikkan kesejahteraan hidupnya jarang memperhatikan keamanan dan keberlanjutan lingkungan (*Sustainable environment*). Seperti kegiatan penebangan pohon, pertanian, pengiriman minyak bumi, industri, perikanan, polusi udara, polusi air dan polusi suara. Kegiatan-kegiatan ini kian menurunkan dan merusak, yang menghasilkan gangguan dari kualitas lingkungan tersebut (Dewi, 2021). Ancaman terhadap cemar kondisi lingkungan perairan, sungai dan saluran-saluran air di kota-kota besar yang mencakup pembuangan limbah domestik, sampah dan limbah cair industri. Proses pemurnian alami untuk limbah air yang terkontaminasi memang sangat sulit dan apalagi jika tercemar air yang sangat parah. Kerusakan perairan merupakan masalah dunia dan terus meningkat di negara maju dan berkembang. Hal ini juga dapat mempengaruhi pada kesehatan fisik; lingkungan miliaran umat manusia dan perkembangan ekonomi. seperti di Gaza Palestina Saat sekarang ini dibatasi oleh Israel tanpa makanan dan mendapatkan air bersih ini kelihatan secara langsung berdampak pada kesehatan dan kondisi fisik masyarakat Gaza yang perlahan menurun dan berada di ambang kematian.

Dengan adanya hal ini peneliti berusaha untuk memberikan solusi dengan memanfaatkan mikroorganisme untuk membantu pemecahan dari permasalahan lingkungan ini agar tidak menimbulkan permasalahan baru yakni memberikan solusi alami untuk lingkungan. Ketika memanfaatkan bahan sintesis biasanya akan menimbulkan efek samping untuk lingkungan tersebut. Pada saat sekarang ini, pengolahan limbah cair tidak hanya mengurangi angka pencemaran tetapi juga mengharuskan pada keberlanjutan lingkungan. Mikroba adalah satu agen yang berperan dalam memberantas berbagai polutan. Mikroba bertanggungjawab untuk memproses dan mengubah senyawa polutan menjadi senyawa organik yang bisa dimanfaatkan oleh lingkungan. Salah satu manfaat langsung adalah pengurangan polutan selain itu juga bermanfaat untuk penggunaan sumber daya dan pemulihan sumber daya dari limbah air untuk limbah dan energi dari biomassa.

Ada berbagai jenis bakteri yang terlibat dalam proses pengolahan limbah ini yakni bakteri aerob dan bakteri anaerob. Kedua jenis bakteri ini memainkan peran penting dalam tahapan yang berbeda-beda dalam setiap pengolahan limbah. Bakteri aerob biasanya bekerja menguraikan bahan organik dan bakteri anaerobik bertugas dalam proses fermentasi yang menghasilkan gas metana. Gas metana ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan.

### **Pemanfaatan Mikroorganisme untuk Keberlanjutan Lingkungan**

#### **1. Mikroorganisme yang dimanfaatkan dalam pengolahan limbah (purifikasi/pemurnian kembali) tumpahan/cemaran minyak bumi**

Perairan yang dipenuhi dengan limbah tumpahan minyak, pencemaran senyawa organik maupun logam berat. Pemurnian ini dengan teknik bioremediasi yaitu memanfaatkan proses biologi dalam mengendalikan pencemaran. Bioremediasi sendiri memiliki pengertian proses menyelesaikan

masalah. Bioremediasi ini dianggap memiliki keunggulan yakni mikroorganismenya mampu memanfaatkan senyawa organik yang berupa toksik tadi untuk metabolismenya sehingga dapat membersihkan tanah dan air yang terkontaminasi; proses ini juga lebih efektif dan ekonomis. Selain itu bioremediasi ini menjadi solusi yang ramah lingkungan (Syauqi, 2017).

Contoh bakteri yang dapat mereduksi merkuri logam berat dengan mekanisme detoksifikasi seperti *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Corynebacterium*, *Micococcus*, *Rhodococcus* dan *Vibrio Vibrio*

Penelitian dua dosen ITS Harmin dkk. meneliti tentang biodegradasi tumpahan cemaran minyak bumi yang terjadi di laut dengan memanfaatkan bakteri *Bacillus substilis* dan *Pseudomonas putida* (ITS, 2022). Utami (2020) ciri mikroorganismenya yang dapat dimanfaatkan sebagai pengelola limbah pencemaran minyak adalah petofilik. Mikroba petofilik ini mampu memanfaatkan ikatan hidrokarbon yang terkandung dalam petroleum sebagai sumber Carbon dalam pertumbuhan mikroorganismenya. Keuntungan yang jelas terlihat bagi lingkungan adalah lingkungan menjadi bersih dari kontaminasi minyak karena mikroba sudah mendegradasi hidrokarbon yang terkandung dalam cemaran minyak tadi. Seperti yang sudah dilaksanakan bioremediasi di daerah Balikpapan pada tahun 2019 dan 2020. Mikroba ini mampu menghasilkan biosurfaktan sehingga mengurangi tegangan permukaan pada tumpahan minyak. Tegangan permukaan menurun maka kelarutan tumpahan minyak tadi juga bertambah sehingga menyebabkan mikroba petofilik lebih mudah mencerna hidrokarbon dalam minyak (Utami, 2020).



Gambar 4.1. Ilustrasi pencemaran minyak bumi di laut (Dokumentasi: ITS,2020)

2. **Biosparging menyemproktan bakteri pengurai limbah di dalam air**

Biosparging adalah menuangkan cairan bakteri pengurai limbah dan menginjeksikan udara di bawah tekanan ke dalam air sehingga dapat meningkatkan konsentrasi oksigen dan kecepatan degradasi. Ini sudah diujicobakan di daerah Bojongsoang Kabupaten Bandung yang air sungainya mengandung polutan Oxbow pada 23 Agustus 2019. Jerigen berisikan cairan bakteri pengurai limbah berkapasitas 30 L dituangkan ke aliran sungai Citarum. Bakteri MR 8 ini direncanakan akan mampu menjernihkan air, menetralsir racun didalam air dalam selang waktu 7 hari. Jadi bakteri disini berfungsi untuk menguraikan kandungan (racun) dalam air sehingga kadar COD, BOD dan oksigen dapat terpenuhi. Dan kadar tersebut sampai dengan ambang batas kebersihan maka makhluk hidup seperti ikan mampu bertahan hidup dan air bisa dimanfaatkan untuk irigasi (Dewi,dkk. 2021).



Gambar 4.2. Cairan bakteri pengurai limbah yang dituangkan ke aliran Sungai Citarum (Dewi, 2021)

### 3. **Pemanfaatan bakteri sebagai pengganti pestisida sintetis (fitoremediasi)**

Pemanfaatan bakteri untuk mengganti insektisida sintetis dapat meminimalisir pencemaran lingkungan dan juga menurunkan keracunan bagi serangga yang bermanfaat (serangga penolong). Isolat *Acinetobacter* yang diambil dari lingkungan tampak bisa mendegradasi dengan range yang luas senyawa aromatik (Irianto, 2016). Pemerintah Kabupaten Ngawi (2022) mengarahkan kepada petani untuk pengendalian hama dengan fungisida alami. Petani di Ngawi mempraktekkan pemanfaatan Jamur *Trichoderma* sp. Sebagai Pengganti pestisida sintetis. Dengan memanfaatkan jamur ini diharapkan keseimbangan ekosistem tetap terjaga; tidak menghasilkan resistensi tanaman; tanaman untuk konsumsi menjadi lebih aman karena tidak menyisakan residu kimia. Jamur *Trichoderma* juga dilaporkan fungisida (agen antagonis) yang cukup efektif untuk menghambat pertumbuhan dan perkembangan patogen *Fusarium oxysporum* yang menyebabkan penyakit layu pada tanaman krisan (Hartal,dkk. 2010).

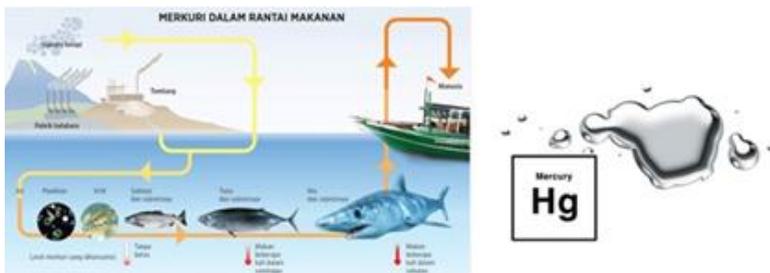


Gambar 4.3. Pemanfaatan jamur *Trichoderma* oleh Petani Ngawi  
(Dokumentasi Pemerintah Kabupaten Ngawi, 2022)

#### 4. **Pemanfaatan mikroba untuk mengurangi limbah merkuri**

Merkuri biasanya dimanfaatkan pada kegiatan Pertambangan Emas Skala Kecil (PESK). PESK memiliki dampak yang sangat signifikan untuk pertumbuhan ekonomi tetapi memiliki dampak buruk karena penggunaan merkuri bagi kesejahteraan lingkungan. Dalam penambangan emas ini mereka menggunakan merkuri dan bahan kimia berbahaya lainnya untuk mendapatkan emas. Setelah didapatkan biasanya tailing dibuang ke lingkungan. Tailing ini mengandung bahan berbahaya. Jadi pembuangan tailing ini tanpa proses tailing treatment sebelum dibuang. Isu penghapusan merkuri pada penambangan emas tidak mudah karena begitu menggiurkannya angka yang didapatkan dari usaha tambang emas ini. Beberapa potensi kegiatan PESK di wilayah Jawa Barat yakni Kecamatan Cisolok, Kecamatan Gekbrong, Kecamatan Cariu dan banyak kecamatan lainnya di Jawa Barat ini.

Pencemaran yang terjadi di Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum berasal dari limbah industri, kosmetik, batu baterai dan lampu neon. Industri dan kegiatan pertanian yang menggunakan pestisida bermerkuri juga menjadi potensi merkuri dalam air dan sedimen sungai. Beberapa langkah yang dapat digunakan untuk mengurangi dan meminimalkan limbah merkuri melewati rantai makanan adalah: (a) pelarangan perdagangan dan penggunaan untuk industri emas; (b) pelarangan kegiatan ekstraksi emas di lingkungan perumahan, perkampungan dan di dekat persawahan; (c) pelarangan penjualan tailing atau lumpur hasil olahan gelundung dan pemanfaatannya untuk menjadi produk atau peruntukan lain, terutama untuk bahan bangunan atau tanah di lahan pertanian dan persawahan; (d) perubahan pola bercocok tanam padai dengan cara mengurangi tinggi air di atas tanah; (e) pembersihan lahan-lahan yang tercemar dengan bioremediasi atau fitoremediasi bukan dengan tanaman pangan (Ariesyadi, 2024).



Gambar 4.4. Limbah merkuri dalam rantai makanan kita (Direktorat B3-KLHK)

5. **Pemanfaatan bakteri pendegradasi plastik (propilena, PET, Polietilen)**

Ada komunitas bakteri laut yang mampu untuk memakan sampah plastik dari golongan polietilen (bahan kantong plastik) dan polistiren (bahan kemasan makanan). Bakteri ini dapat merapuhkan sampah plastik karena terkena sinar matahari dalam waktu yang lama. Selama kurang lebih 5 bulan 7-

11% berat sampah berkurang. Jenis bakteri yang bisa menghancurkan plastik adalah *Rhodococcus*, *Oceanospiriales*, *Burkholderiales*.

Limbah medis khususnya masker medis semenjak terjadinya pandemi COVID-19 penggunaannya secara dunia terus bertambah. Ini menimbulkan efek samping sampah masker medis yang banyak dan menumpuk di TPA. Limbah masker medis ini terdiri dari melt brown propilena dan spounded propilena dan memerlukan waktu sampai dengan ratusan tahun untuk terurai. Propilena adalah plastik sintetis yang sangat sulit untuk terurai langsung dengan proses kimia. Sampah masker medis ini banyak berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Tempat Pembuangan Akhir yang diteliti yakni TPA Supit Urang Kota Malang menjadi tempat ditemukannya bakteri indigenus pendegradasi propilena dari masker medis (Wijayanti, 2022). Dari hasil Bibliometrik bakteri indigenus pendegradasi limbah masker medis propilena yaitu menunjukkan *Bacillus flexus*, *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis* dan *Bacillus sp.*

Pada penggunaan plastik jenis Polyethylene Terephthalate (PET), plastik ini banyak dimanfaatkan tetapi paling sulit didegradasi oleh lingkungan. Pada Penelitian Rahmawati (2023) melakukan isolasi bakteri dari Tempat Pembuangan Pasuruhan Kabupaten Magelang memperlihatkan isolat BPP-05 bakteri yang berpotensi mendegradasi terbaik. Hasil identifikasi uji biokimia dan morfologi mikroba ini merupakan bakteri dari genus *Actinomyces*.

Beberapa jenis bakteri dapat mendegradasi sampah plastik seperti *Comamonas sp.*, *Pseudomonas putida*. Bakteri ini memiliki kemampuan untuk menguraikan plastik terutama jenis polietilen (LDPE). Bakteri ini mampu menghasilkan enzim yang dapat memecah ikatan kimia dalam struktur plastik.

## **Kesimpulan**

Jadi mikroba dan lingkungan itu sungguh sangat bergantung dan saling melakukan hubungan yang timbal balik. Dengan lingkungan yang baik akan membuat ekosistem, air tanah dan makhluk hidupnya menjadi sehat dan tercukupi kebutuhannya. Air merupakan salah satu sumber daya yang wajib kita jaga kebersihan dan sanitasinya. Banyak sekali mikroba yang mampu membantu dalam pengolahan limbah/ polutan yang dapat memperbaiki kondisi lingkungan kita yang tercemar. Seperti golongan bakteri ada Bacillus, Pseudomonas dan golongan jamur ada Trichoderma.

## Daftar Pustaka

- Irianto, Ketut. 2016. Pemanfaatan Bakteri Untuk Keselamatan Lingkungan. Artikel Mikrobiologi Lingkungan.
- Dewi, Endah Rita., Dyah Ayu Widyastuti dan Atip Nurwahyunani. 2021. *Buku Ajar Bioteknologi*. Semarang: Universitas PGRI Semarang Press.
- Syauqi, Ahmad. 2017. Mikrobiologi Lingkungan : Peranan Mikrobiologi dalam Kehidupan. Yogyakarta: Andi.
- Its. 2022. Atasi Pencemaran Minyak Bumi di Laut dengan Bakteri. (berita) <https://www.its.ac.id/news/2022/03/01/atasi-pencemaran-minyak-bumi-di-laut-dengan-bakteri/> diakses tanggal 6 Mei 2025.
- Utami, Restu Lestari. 2020. Bioteknologi Untuk Solusi Pencemaran Lingkungan Akibat Tumpahan Minyak. <https://itb.ac.id/news/read/57565/home/bioteknologi-untuk-solusi-pencemaran-lingkungan-akibat-tumpahan-minyak#:~:text=Mikroorganisme%20petrofilik%20memanfaatkan%20hidrokarbon%20dalam,pencemaran%20lingkungan%20akibat%20tumpahan%20minyak.> Diakses tanggal 6 Mei 2025.
- Pemerintah Kabupaten Ngawi. 2022. Jamur Trichoderma SP. Sebagai Pengganti Pestisida atau Fungisida Sintetik. <https://pertanian.ngawikab.go.id/2022/08/09/jamur-trichoderma-sp-sebagai-pengganti-pestisida-atau-fungisida-sintetik%EF%BF%BC/> diakses tanggal 6 Mei 2025.
- Hartal. Misnawaty dan Indah Budi. 2010. EFEKTIVITAS Trichoderma sp. DAN Gliocladiumsp. DALAM PENGENDALIAN LAYU FUSARIUM PADA TANAMAN KRISAN. Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia. Vol 12 (1) p. 7-12.

- Ariesyady, Herto Dwi. 2024. Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung: Peran Komunitas Mikroorganisme dalam Pengelolaan Lingkungan Secara Terintegrasi. Bandung: ITB Press.
- Wijayanti, Chandra. 2022. *Biodiversitas bakteri pendegradasi polipropilena dari tempat penampungan akhir (tpa) supit urang kota malang dan potensinya untuk biodegradasi limbah masker medis / Chandra Wijayanti*. Masters thesis, Universitas Negeri Malang. Abstrak Tesis. Malang: Library UM.
- Rahmawati, Ririn Nur. 2023. *SKRINING BAKTERI PENDEGRADASI PLASTIK JENIS POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) DARI TPA PASURUHAN KABUPATEN MAGELANG*. Skripsi thesis, UIN SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA. Abstrak Skripsi. Yogyakarta : UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Setiawan, Asep. 2025. Tantangan Penerapan Kebijakan Penghapusan Merkuri di PESK. <https://sib3pop.menlhk.go.id/index.php/articles/view?slug=tantangan-penerapan-kebijakan-penghapusan-merkuri-di-pesk> diakses tanggal 6 Mei 2025
- Vidilaseris, Keni. 2019. Apakah Bakteri Dapat Memakan Sampah Plastik. <https://sainspop.com/blog/2019/06/22/bakteri-laut-pemakan-plastik/> diakses tanggal 6 Mei 2025.

## **Profil Penulis**



### **Husnin Nahry Yarza, M.Si.**

Penulis lahir di Kota Padang Sumatera Barat pada tahun 1990. Penulis melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi pada tahun 2007 di Jurusan Biologi Program Studi Biologi Kependidikan Universitas Negeri Padang. Penulis lulus S1 di tahun 2011. Selanjutnya pada tahun 2012 Penulis melanjutkan studi pada Program Studi Biologi Program Pascasarjana Universitas Andalas Padang. Penulis menyelesaikan studi Master pada tahun 2014. Penulis mulai mengajar di Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA (UHAMKA) pada tahun 2015 pada program studi Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Penulis memiliki kepekaan dibidang Biologi. Agar merealisasikan sebagai dosen yang professional penulis aktif meneliti dalam bidang biologi molekuler, mikrobiologi, biokimia dan kimia. Kimia dasar, biokimia dan manajemen laboratorium adalah mata kuliah yang penulis ampu untuk saat ini. Selain sebagai peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara tercinta ini. Penulis juga aktif dalam mengabdikan diri kepada masyarakat untuk memberikan pelatihan untuk bumi yang berkelanjutan dan juga mengikuti pelatihan dan workshop yang berfungsi untuk dapat meningkatkan skill dan kapasitas diri penulis. Atas dedikasi dan kerja keras dalam menulis buku, penulis mengucapkan ribuan terimakasih untuk semua pihak yang sudah membantu dan artikel-artikel yang penulis kutip.

Email Penulis: [husninnahryyarza90@gmail.com](mailto:husninnahryyarza90@gmail.com) atau [husnin.rahry@uhamka.ac.id](mailto:husnin.rahry@uhamka.ac.id)



## MIKROBA PATOGEN

**Dr. Elsa Fitri Ana, S.Keb., Bd., M.Ked.Trop.**  
Universitas Negeri Jakarta

### **Pendahuluan**

Mikroorganisme patogen merupakan kelompok makhluk hidup berukuran mikroskopis yang memiliki potensi untuk memicu berbagai jenis penyakit pada manusia, hewan, dan tumbuhan. Kelompok ini mencakup bakteri, virus, fungi, protozoa, serta prion (protein abnormal dengan aktivitas patologis). Meskipun sebagian besar mikroorganisme di lingkungan alami bersifat non-patogenik atau bahkan memberikan kontribusi positif bagi ekosistem dan kehidupan, mikroorganisme patogen menempati posisi krusial sebagai *agent* dari penyakit infeksi yang telah menjadi tantangan global selama ratusan tahun. Mulai dari pandemi historis seperti wabah pes (*Yersinia pestis*) hingga pandemi kontemporer seperti SARS-CoV-2 (penyebab COVID-19), patogen memperlihatkan dampak signifikan terhadap aspek kesehatan masyarakat, stabilitas ekonomi, dan dinamika sosial di tingkat global.

### **Klasifikasi Patogen**

#### **1. Bakteri patogen**

Bakteri patogen dibedakan dari bakteri non-patogenik melalui beberapa karakteristik spesifik. Salah satu ciri utamanya adalah keberadaan struktur sel yang memfasilitasi adhesi pada permukaan sel host, seperti fimbriae atau pili.

Struktur ini memungkinkan bakteri menempel pada sel epitelium host (Essentials of Clinical Infectious Diseases, n.d.). Selain itu, banyak bakteri patogen membentuk kapsul polisakarida yang berfungsi sebagai pelindung terhadap fagositosis oleh sel-sel imun tubuh. Sebagai contoh *Streptococcus pneumoniae* menggunakan kapsulnya untuk menghindari deteksi oleh makrofag (Mitchell & Mitchell, 2010).

Selain itu, bakteri patogen sering menghasilkan toksin yang dapat merusak jaringan host atau mengganggu fungsi seluler. Toksin tersebut dikategorikan menjadi dua jenis utama yaitu eksotoksin dan endotoksin. Eksotoksin merupakan protein yang dilepaskan oleh bakteri ke lingkungan sekitarnya, sedangkan endotoksin adalah komponen dinding sel bakteri Gram-negatif, seperti lipopolisakarida (LPS), yang dilepaskan saat bakteri mati (Brooks et al., 2019), contohnya adalah *Clostridium botulinum* yang menghasilkan eksotoksin yang menyebabkan keracunan makanan dengan mekanisme *neurotransmitter blocking* pada saraf motorik.

Proses infeksi oleh bakteri patogen melibatkan serangkaian tahapan kompleks. Pertama, bakteri harus berhasil masuk ke dalam tubuh melalui *port of entry*, seperti lesi pada kulit, saluran pernapasan, saluran pencernaan, atau membran mukosa lainnya. Setelah penetrasi awal, bakteri menggunakan strategi seperti kolonisasi, invasi, dan *escape mechanism* untuk bertahan hidup serta berkembang biak (Casadevall & Pirofski, 2000).

Salah satu contoh bakteri patogen yang sangat efektif dalam *escape mechanism* adalah *Mycobacterium tuberculosis*. Bakteri ini mampu bertahan hidup di dalam makrofag dengan cara menghambat fusi fagosom-lisosom sehingga menghindari degradasi oleh enzim lisosomal (Pieters, 2008).

## 2. Virus patogen

Virus patogen merupakan mikroorganisme berukuran sekitar 20–300 nm. Meskipun secara biologis tidak dikategorikan sebagai organisme hidup karena ketidakmampuannya melakukan metabolisme atau bereproduksi secara independen, virus memanfaatkan mesin biologis sel host untuk replikasi, sehingga menjadikannya ancaman signifikan terhadap kesehatan global.

Struktur virus tersusun atas materi genetik berupa asam nukleat (DNA atau RNA) yang dilindungi oleh kapsid protein. Sebagian virus juga memiliki lapisan lipid tambahan yang dikenal sebagai *envelope* yang berasal dari membran sel host (Cann, 2011). Proses infeksi dimulai ketika virus melekat pada reseptor spesifik di permukaan sel host. Setelah itu, virus menginsersi materi genetiknya ke dalam sitoplasma sel host, mengambil alih fungsi seluler untuk mensintesis komponen virus baru. Pada tahap akhir, sel host mengalami lisis saat virus baru rilis ke lingkungan (Heise, 2014). Beberapa contoh virus patogen yang berdampak besar terhadap kesehatan global meliputi virus influenza, HIV, hepatitis B, SARS-CoV-2 (penyebab COVID-19), dan Ebola.

Virus patogen telah menjadi penyebab utama pandemi dan wabah di dunia. Tahun 1918 terjadi Pandemi influenza yang menyebabkan lebih dari 50 juta kasus kematian di seluruh dunia (Taubenberger & Morens, 2006). Pandemi COVID-19 (2019-2022) juga memberikan gambaran tentang dampak luas virus terhadap sistem kesehatan global, ekonomi, dan stabilitas sosial. UNAIDS melaporkan bahwa sekitar 39 juta orang hidup dengan HIV, dengan mayoritas kasus terjadi di wilayah Afrika Sub-Sahara (UNAIDS, 2022). Penyakit ini tidak hanya berdampak pada individu tetapi juga menimbulkan beban ekonomi dan sosial yang signifikan.

Resistensi terhadap antivirus serta tingginya tingkat mutasi virus menjadi tantangan tambahan dalam pengendalian penyakit. Mutasi ini dapat mengurangi efektivitas vaksin dan obat-obatan yang ada (Wright, 2014). Oleh karena itu, penelitian berkelanjutan diperlukan untuk mengembangkan strategi baru dalam mengidentifikasi, mencegah, dan mengobati infeksi virus patogen.

### 3. **Fungi**

Fungi memiliki potensi signifikan untuk menimbulkan dampak serius terhadap kesehatan individu serta stabilitas ekosistem. Fungi patogen termasuk dalam kingdom Fungi dan memiliki struktur sel eukariotik dengan membran inti sel dan organel kompleks. Fungi dapat hidup sebagai saprofit (menguraikan bahan organik) atau parasit (mengambil nutrisi dari host hidup). Contoh fungi patogen yang umum meliputi *Candida albicans*, *Aspergillus fumigatus*, dan *Cryptococcus neoformans*. Infeksi yang disebabkan oleh fungi ini dikenal sebagai mikosis (Brown et al., 2012).

Infeksi superfisial biasanya memengaruhi lapisan epidermis, sedangkan infeksi sistemik dapat membahayakan jiwa terutama pada individu dengan kondisi *immunocompromised* (Perfect, 2017).

Fungi menggunakan berbagai strategi adaptif untuk menghindari respons imun host. Salah satu mekanisme utamanya adalah kemampuan untuk beradaptasi dengan lingkungan host. *Candida albicans* dapat beralih morfologi dari bentuk ragi menjadi hifa dan memungkinkannya menembus jaringan host secara efektif (Noble et al., 2017). Selain itu, beberapa fungi menghasilkan enzim degradatif seperti protease dan fosfolipase, yang merusak integritas sel host dan memfasilitasi penyebaran infeksi.

Respons imun host terhadap fungi melibatkan *innate immunity* dan *adaptive immunity*. Namun, fungi seperti *Aspergillus fumigatus* mampu menghindari

deteksi imun melalui modulasi permukaan selnya (Latgé & Chamilos, 2020). Mekanisme ini membuat infeksi sulit dikendalikan oleh tubuh terutama pada individu dengan *immunocompromised* seperti pasien HIV/AIDS atau penerima transplantasi organ.

Pengobatan infeksi fungi memiliki tantangan tersendiri karena kesamaan biokimia antara fungi dan sel manusia. Banyak obat antifungi bekerja dengan menargetkan komponen unik pada fungi, seperti ergosterol dalam membran sel atau sintesis  $\beta$ -glukan pada dinding sel. Namun, kesamaan struktural ini meningkatkan risiko efek samping toksik pada pasien (Robbins et al., 2016). Penyalahgunaan obat antifungi dalam pengobatan manusia dan aplikasi agrikultur telah mendorong perkembangan strain fungi yang resisten terhadap obat-obatan seperti fluconazole dan amphotericin B (Fisher et al., 2018).

## **Mekanisme Penyakit Oleh Patogen**

Mekanisme infeksi melibatkan serangkaian langkah kompleks yang dimulai dari penetrasi hingga penyebaran patogen di dalam tubuh. Pemahaman terhadap mekanisme ini penting untuk mengembangkan strategi pengobatan dan pencegahan penyakit.

### **1. Penetrasi Patogen**

Langkah awal dalam mekanisme infeksi adalah penetrasi pathogen melalui berbagai jalur transmisi, seperti saluran pernapasan, saluran pencernaan, lesi, atau membran mukosa. Sebagai contoh, virus influenza menginfeksi tubuh melalui saluran pernapasan setelah partikel virus terhirup oleh host melalui udara (Kumar V., Abbas A., 2012). Sementara itu, bakteri seperti *Staphylococcus aureus* menginfeksi melalui lesi.

Beberapa patogen memiliki kemampuan untuk memproduksi enzim yang berfungsi merusak jaringan host seperti protease atau kolagenase. Enzim ini memfasilitasi penetrasi patogen dengan

cara mendegradasi struktur fisik penghalang seperti protein kolagen atau komponen matriks ekstraseluler lainnya sehingga mempermudah invasi lebih lanjut ke dalam tubuh host (Casadevall & Pirofski, 2000).

## 2. **Kolonisasi dan *Immune evasion***

Setelah berhasil masuk ke dalam tubuh host, patogen memulai proses kolonisasi dengan berkembang biak di lokasi infeksi awal. Selama fase ini, patogen berupaya untuk bertahan hidup dan menghindari respons imun host. Salah satu mekanisme yang sering digunakan adalah produksi kapsul polisakarida, seperti yang dilakukan oleh *Streptococcus pneumoniae*. Kapsul ini berfungsi sebagai pelindung fisik yang menghambat proses fagositosis oleh sel-sel imun host, sehingga meningkatkan kemampuan patogen untuk bertahan di dalam tubuh (Siegel & Weiser, 2015).

Selain itu, beberapa patogen menggunakan strategi "penyamaran" dengan meniru molekul host untuk menghindari deteksi oleh sistem imun. Contohnya adalah *Trypanosoma brucei* yang secara berkala mengubah antigen permukaannya melalui proses yang dikenal sebagai variabilitas antigenik. Strategi ini memungkinkan patogen untuk tetap tidak terdeteksi meskipun tubuh telah menghasilkan antibodi spesifik terhadap antigen sebelumnya (Capewell et al., 2016). Dengan demikian, patogen dapat mempertahankan infeksi dalam jangka waktu yang lebih lama.

## 3. **Invasi patogen**

Setelah berhasil menghindari respons imun host, patogen melanjutkan penyebarannya ke jaringan lain dalam tubuh. Proses ini sering kali difasilitasi oleh produksi faktor virulensi, yaitu senyawa atau protein yang meningkatkan kemampuan patogen untuk menyerang dan merusak jaringan host. *Escherichia coli* enteroinvasif menghasilkan adhesin yang memungkinkannya menempel secara kuat pada sel epitel usus, sementara eksotoksin yang

dihasilkannya merusak integritas membran sel, mempermudah invasi lebih lanjut (Croxen & Finlay, 2010).

Penyebaran patogen juga dapat terjadi melalui aliran darah (hematogen) atau sistem limfatik. Bakteri *Salmonella typhi* mampu menyebar dari saluran pencernaan ke organ lain melalui sirkulasi darah dan menyebabkan infeksi sistemik yang dikenal sebagai demam tifoid (Dougan & Baker, 2014). Virus HIV menargetkan sel T CD4+. Infeksi HIV mengakibatkan depleksi sel T CD4+, yang pada gilirannya menyebabkan penurunan fungsi imun secara keseluruhan, membuat host rentan terhadap berbagai infeksi oportunistik.

Mekanisme penyebaran ini menunjukkan adaptasi patogen dalam mengatasi pertahanan host serta strateginya untuk mencapai target spesifik dalam tubuh, yang pada akhirnya memperburuk kondisi klinis host.

#### 4. **Nekrosis**

Patogen menyebabkan kerusakan jaringan melalui toksin, invasif jaringan host, atau alterasi aktivasi respons imun. *Clostridioides difficile* menghasilkan toksin A dan B yang merusak integritas sel epitel usus, menyebabkan diare berat dan kolitis pseudomembranosa (Czepiel et al., 2019). Selain itu, alterasi respons imun host juga dapat menjadi penyebab signifikan dari nekrosis. Infeksi oleh virus seperti SARS-CoV-2 dapat memicu fenomena yang dikenal sebagai badai sitokin, yaitu pelepasan masif sitokin pro-inflamasi yang mengakibatkan inflamasi berlebihan. Kondisi ini dapat menyebabkan kerusakan jaringan paru-paru serta organ lainnya (Tay et al., 2020). Dengan demikian, baik aktivitas patogen maupun respons imun yang tidak termodulasi dengan baik dapat berkontribusi terhadap patogenesis dan morbiditas infeksi.

## 5. **Persistensi dan Resistensi**

Beberapa patogen memiliki kemampuan untuk bertahan dalam tubuh host dalam jangka waktu yang lama, bahkan setelah gejala klinis infeksi menghilang. Sebagai contoh, virus herpes simpleks (HSV) dapat mempertahankan keadaan laten di ganglia saraf host dan reaktivasi ketika sistem kekebalan tubuh melemah (Thellman & Triezenberg, 2017). Di sisi lain, resistensi antimikroba telah berkembang menjadi tantangan global yang signifikan. Penyalahgunaan antibiotik dan antifungi dalam pengobatan manusia serta aplikasi agrikultur telah mendorong seleksi evolusioner patogen yang resisten terhadap obat-obatan. Salah satu contoh utamanya adalah *Methicillin-resistant Staphylococcus aureus* (MRSA), strain bakteri yang resisten terhadap berbagai antibiotik beta-laktam, termasuk metisilin (Ventola, 1963). Resistensi antimikroba mempersulit pengobatan infeksi, meningkatkan biaya perawatan medis, morbiditas, dan mortalitas akibat penyakit infeksi.

## **Transmisi Patogen**

### 1. ***Airborne***

Penyebaran melalui udara adalah salah satu metode utama penularan infeksi, terutama untuk patogen pernapasan seperti virus influenza, SARS-CoV-2, dan *Mycobacterium tuberculosis*. Patogen dilepaskan ke udara melalui droplet atau partikel aerosol yang dihasilkan saat seseorang bersin, batuk, atau berbicara. Droplet yang lebih besar ( $>5 \mu\text{m}$ ) biasanya menetap di permukaan dekat sumber infeksi, sedangkan aerosol ( $<5 \mu\text{m}$ ) dapat tetap melayang di udara untuk waktu yang lama dan menyebar ke jarak yang lebih jauh (Wright, 2014). Contohnya, penyebaran *Mycobacterium tuberculosis* terjadi ketika individu yang terinfeksi mengeluarkan partikel aerosol yang mengandung bakteri. Orang lain yang menghirup udara yang terkontaminasi dapat

terinfeksi jika mereka tidak memiliki imunitas terhadap patogen tersebut (Wright, 2014).

## 2. **Kontak Langsung**

Dalam konteks penularan melalui kontak langsung, mikroba dapat menyebar melalui:

- a. Sentuhan kulit-ke-kulit : seperti pada kasus infeksi *Staphylococcus aureus* resisten metisilin (MRSA), herpes simplex virus (HSV), atau scabies.
- b. Transfer cairan tubuh: seperti saliva, darah, urin, atau sekret genital saat melakukan hubungan seksual (misalnya pada infeksi HIV, *Neisseria gonorrhoeae*, *Treponema pallidum*).
- c. Kontak dengan eksudat luka: misalnya pada infeksi kulit akibat *Streptococcus pyogenes* atau luka terbuka yang terkontaminasi bakteri patogen.

Proses transmisi ini sangat dipengaruhi oleh adanya kerentanan inang (host susceptibility), virulensi patogen, serta efektivitas mekanisme pertahanan tubuh inang (WHO, 2014).

## 3. **Vektor**

Vektor adalah pembawa mikroba yang memindahkan patogen dari host yang terinfeksi dan menyebarkannya (Morens et al., 2008). Beberapa patogen memanfaatkan vektor sebagai perantara untuk penyebarannya, seperti nyamuk, kutu, atau lalat. Contohnya, virus dengue ditularkan melalui gigitan nyamuk *Aedes aegypti* betina, sementara parasit malaria disebarkan oleh nyamuk genus *Anopheles*. Peran vektor ini menjadi krusial dalam siklus penularan penyakit, karena tanpa keberadaan vektor tersebut, beberapa patogen tidak dapat menyebar secara efektif di antara populasi host.

#### 4. **Penyebaran Melalui Air dan Makanan**

Patogen memiliki kemampuan untuk menyebar melalui air dan makanan yang terkontaminasi dan menjadi penyebab utama wabah penyakit di berbagai wilayah. Bakteri seperti *Escherichia coli* dan *Salmonella enterica* sering kali dikaitkan dengan kasus keracunan makanan, yang disebabkan oleh konsumsi produk hewani atau sayuran yang tidak diproses secara higienis atau tidak dimasak dengan benar. Virus seperti hepatitis A dan rotavirus dapat ditularkan melalui air minum tercemar, terutama di daerah dengan sanitasi buruk (Ramírez-Castillo et al., 2015) . Penyebaran melalui rute ini menunjukkan pentingnya keamanan pangan dan kualitas air sebagai faktor kritis dalam pencegahan infeksi patogen.

#### **Identifikasi Patogen**

##### 1. Metode Tradisional

Metode identifikasi patogen secara tradisional mengandalkan teknik kultur (pembiasaan) mikroorganisme di laboratorium. Dalam pendekatan ini, bakteri seperti *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* ditumbuhkan pada media agar untuk menganalisis morfologi koloni, karakteristik biokimia, serta profil sensitivitas terhadap antibiotik. Meskipun metode ini memberikan informasi yang komprehensif, prosesnya memerlukan waktu yang relatif lama, berkisar antara beberapa hari hingga minggu, tergantung pada jenis mikroorganisme. Selain itu, metode kultur tidak efektif untuk mikroba yang sulit dikultur, seperti *Mycobacterium tuberculosis*, yang memiliki pertumbuhan lambat dan memerlukan kondisi khusus (Wright, 2014). Keterbatasan ini mendorong pengembangan metode alternatif yang lebih cepat dan akurat untuk identifikasi patogen.

## 2. Uji Serologi

Uji serologi merupakan metode yang digunakan untuk mendeteksi antibodi spesifik terhadap patogen dalam sampel darah pasien. Salah satu contoh metode serologi yang umum digunakan adalah uji ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*). Keunggulan metode ini adalah kecepatan dan biaya yang relatif rendah. Sedangkan keterbatasan metode ini antara lain tidak terdeteksinya antibodi pada tahap awal infeksi, dimana sistem imun host belum memproduksi antibodi yang cukup terukur (Wright, 2014).

## 3. Metode Molekuler

Teknologi molekuler membawa transformasi dalam identifikasi patogen. Salah satu metode yang paling banyak digunakan adalah *Polymerase Chain Reaction* (PCR). PCR mampu mengidentifikasi DNA atau RNA mikroba dengan tingkat sensitivitas dan spesifisitas tinggi. Real-Time PCR (qPCR), sebagai pengembangan dari teknik PCR konvensional, memungkinkan deteksi mikroba secara kuantitatif dalam waktu yang lebih singkat. Metode ini memberikan hasil yang cepat dan akurat untuk diagnosis awal serta pemantauan penyebaran infeksi (Corman et al., 2020).

## 4. *Sequencing*

*Whole Genome Sequencing* (WGS) merupakan metode analisis menyeluruh terhadap genom patogen. Teknologi ini tidak hanya mampu mengidentifikasi spesies mikroba, tetapi juga mengenai faktor virulensi, profil resistensi antimikroba, serta hubungan filogenetik antar strain patogen. Informasi ini bertujuan untuk memahami mekanisme penyakit, mengevaluasi potensi transmisi, dan merancang strategi pengendalian yang lebih efektif. WGS telah digunakan secara luas dalam pelacakan wabah penyakit, seperti pandemi Ebola dan kasus tuberkulosis, untuk mengidentifikasi sumber infeksi, memantau evolusi patogen, dan mendukung upaya

pengendalian epidemi (Gardy & Loman, 2018). Keunggulan WGS terletak pada kemampuannya menyediakan data genomik komprehensif dengan resolusi tinggi, sedangkan kelemahan metode ini adalah terbatasnya alat dan biaya yang relatif mahal.

#### 5. Biosensor dan *Rapid test*

Biosensor merupakan perangkat yang mengintegrasikan prinsip biologi dengan teknologi untuk mendeteksi patogen secara cepat dan efisien. Biosensor optik telah dikembangkan untuk mendeteksi bakteri *Listeria monocytogenes* dalam produk makanan untuk identifikasi kontaminasi secara real-time (Dong et al., 2024). Selain itu, *rapid test* seperti tes antigen untuk influenza dan malaria memberikan hasil yang cepat. Namun, sensitivitas tes antigen umumnya lebih rendah dibandingkan metode berbasis PCR, sehingga hasilnya mungkin kurang akurat terutama pada tingkat infeksi yang rendah. Meskipun demikian, kemudahan penggunaan dan waktu respons yang singkat menjadikan tes ini sebagai alat penting dalam pengelolaan penyakit.

### **Kesimpulan**

Patogen tetap menjadi tantangan besar dalam kesehatan global. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan strategi pencegahan dan pengobatan yang lebih efektif.

## Daftar Pustaka

- Bender, M. •, Buckley, •, Sattley, •, & Stahl, •. (n.d.). *Brock Biology of Microorganisms FIFTEENTH EDITION*.
- Brown, G. D., Denning, D. W., Gow, N. A. R., Levitz, S. M., Netea, M. G., & White, T. C. (2012). Hidden killers: Human fungal infections. In *Science Translational Medicine* (Vol. 4, Issue 165). <https://doi.org/10.1126/scitranslmed.3004404>
- Cann, A. J. (2011). Principles of Molecular Virology. In *Principles of Molecular Virology*. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-64945-5>
- Capewell, P., Cren-Travaillé, C., Marchesi, F., Johnston, P., Clucas, C., Benson, R. A., Gorman, T. A., Calvo-Alvarez, E., Crouzols, A., Jouvion, G., Jamonneau, V., Weir, W., Lynn Stevenson, M., O'Neill, K., Cooper, A., Swar, N. R. K., Bucheton, B., Ngoyi, D. M., Garside, P., ... MacLeod, A. (2016). The skin is a significant but overlooked anatomical reservoir for vector-borne African trypanosomes. *ELife*, 5(September2016). <https://doi.org/10.7554/eLife.17716>
- Casadevall, A., & Pirofski, L. A. (2000). Host-pathogen interactions: Basic concepts of microbial commensalism, colonization, infection, and disease. In *Infection and Immunity* (Vol. 68, Issue 12). <https://doi.org/10.1128/IAI.68.12.6511-6518.2000>
- Corman, V. M., Landt, O., Kaiser, M., Molenkamp, R., Meijer, A., Chu, D. K. W., Bleicker, T., Brünink, S., Schneider, J., Schmidt, M. L., Mulders, D. G. J. C., Haagmans, B. L., Van Der Veer, B., Van Den Brink, S., Wijsman, L., Goderski, G., Romette, J. L., Ellis, J., Zambon, M., ... Drosten, C. (2020). Detection of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) by real-time RT-PCR. *Eurosurveillance*, 25(3). <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.3.2000045>
- Croxen, M. A., & Finlay, B. B. (2010). Molecular mechanisms of Escherichia coli pathogenicity. In

- Nature Reviews Microbiology* (Vol. 8, Issue 1).  
<https://doi.org/10.1038/nrmicro2265>
- Czepiel, J., Drózdź, M., Pituch, H., Kuijper, E. J., Perucki, W., Mielimonka, A., Goldman, S., Wultańska, D., Garlicki, A., & Biesiada, G. (2019). Clostridium difficile infection: review. In *European Journal of Clinical Microbiology and Infectious Diseases* (Vol. 38, Issue 7, pp. 1211–1221). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.  
<https://doi.org/10.1007/s10096-019-03539-6>
- Dong, X., Huang, A., He, L., Cai, C., & You, T. (2024). Recent advances in foodborne pathogen detection using photoelectrochemical biosensors: from photoactive material to sensing strategy. In *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 8). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1432555>
- Dougan, G., & Baker, S. (2014). Salmonella enterica serovar typhi and the pathogenesis of typhoid fever. In *Annual Review of Microbiology* (Vol. 68). <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-091313-103739>
- Essentials of Clinical Infectious Diseases*. (n.d.).
- Fisher, M. C., Hawkins, N. J., Sanglard, D., & Gurr, S. J. (2018). Worldwide emergence of resistance to antifungal drugs challenges human health and food security. In *Science* (Vol. 360, Issue 6390). <https://doi.org/10.1126/science.aap7999>
- Gardy, J. L., & Loman, N. J. (2018). Towards a genomics-informed, real-time, global pathogen surveillance system. In *Nature Reviews Genetics* (Vol. 19, Issue 1). <https://doi.org/10.1038/nrg.2017.88>
- Heise, M. T. (2014). Viral Pathogenesis. In *Reference Module in Biomedical Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-801238-3.00079-9>
- Infection prevention and control of epidemic- and pandemic-prone acute respiratory infections in health*

- care: *WHO guidelines*. (2014). Pandemic and Epidemic Diseases, World Health Organization.
- Kumar V., Abbas A., A. J. (2012). Robbins & Cotran Pathologic basis of disease. In *Elsevier*.
- LABORATORY DIAGNOSIS OF INFECTIOUS DISEASES: Essentials of Diagnostic Microbiology*. (n.d.).
- Latgé, J. P., & Chamilos, G. (2020). *Aspergillus fumigatus* and aspergillosis in 2019. *Clinical Microbiology Reviews*, 33(1).  
<https://doi.org/10.1128/CMR.00140-18>
- Mitchell, A. M., & Mitchell, T. J. (2010). *Streptococcus pneumoniae*: Virulence factors and variation. In *Clinical Microbiology and Infection* (Vol. 16, Issue 5).  
<https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2010.03183.x>
- Morens, D. M., Folkers, G. K., & Fauci, A. S. (2008). Emerging infections: a perpetual challenge. In *The Lancet Infectious Diseases* (Vol. 8, Issue 11).  
[https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(08\)70256-1](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(08)70256-1)
- Noble, S. M., Gianetti, B. A., & Witchley, J. N. (2017). *Candida albicans* cell-type switching and functional plasticity in the mammalian host. In *Nature Reviews Microbiology* (Vol. 15, Issue 2).  
<https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.157>
- Perfect, J. R. (2017). The antifungal pipeline: A reality check. In *Nature Reviews Drug Discovery* (Vol. 16, Issue 9). <https://doi.org/10.1038/nrd.2017.46>
- Pieters, J. (2008). *Mycobacterium tuberculosis* and the Macrophage: Maintaining a Balance. In *Cell Host and Microbe* (Vol. 3, Issue 6).  
<https://doi.org/10.1016/j.chom.2008.05.006>
- Ramírez-Castillo, F. Y., Loera-Muro, A., Jacques, M., Garneau, P., Avelar-González, F. J., Harel, J., & Guerrero-Barrera, A. L. (2015). Waterborne pathogens: Detection methods and challenges. In *Pathogens* (Vol. 4, Issue 2, pp. 307–334). MDPI AG.  
<https://doi.org/10.3390/pathogens4020307>

- Robbins, N., Wright, G. D., & Cowen, L. E. (2016). Antifungal Drugs: The Current Armamentarium and Development of New Agents. *Microbiology Spectrum*, 4(5). <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.funk-0002-2016>
- Siegel, S. J., & Weiser, J. N. (2015). Mechanisms of Bacterial Colonization of the Respiratory Tract. In *Annual Review of Microbiology* (Vol. 69, Issue 1). <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-091014-104209>
- Taubenberger, J. K., & Morens, D. M. (2006). 1918 Influenza: the Mother of All Pandemics. *Emerging Infectious Diseases*, 12(1). <https://doi.org/10.3201/eid1201.050979>
- Tay, M. Z., Poh, C. M., Rénia, L., MacAry, P. A., & Ng, L. F. P. (2020). The trinity of COVID-19: immunity, inflammation and intervention. In *Nature Reviews Immunology* (Vol. 20, Issue 6). <https://doi.org/10.1038/s41577-020-0311-8>
- Thellman, N. M., & Triezenberg, S. J. (2017). Herpes simplex virus establishment, maintenance, and reactivation: In vitro modeling of latency. In *Pathogens* (Vol. 6, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/pathogens6030028>
- UNAIDS. (2022). IN DANGER: UNAIDS Global AIDS Update 2022. *IN DANGER: UNAIDS Global AIDS Update 2022*, 2022.
- Ventola, C. L. (1963). The antibiotic resistance crisis: part 1: causes and threats. *Pharmacy and Therapeutics*. *Pharmacy and Therapeutics*, 11(4).

### **Profil Penulis**



#### **Dr. Elsa Fitri Ana, S.Keb., Bd., M.Ked.Trop.**

Dr. Elsa Fitri Ana., S.Keb,Bd.M.Ked.Trop saat ini bertugas di Program Studi Pendidikan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Jakarta. Lahir pada 16 Februari 1990 di Lampung. Saat ini berdomisili di Jakarta. Bidang ilmu yang diminati adalah penyakit infeksi pada ibu dan anak, virologi, dan biologi molekuler.

Email Penulis: [Elsafitriana45@gmail.com](mailto:Elsafitriana45@gmail.com)



# IMUNOLOGI DAN RESPON IMUN DASAR

**Ma'rufah, S.Si., M.Biomed.**  
Akademi Analis Kesehatan Malang

## **Pengertian Imunologi dan Respon Imun**

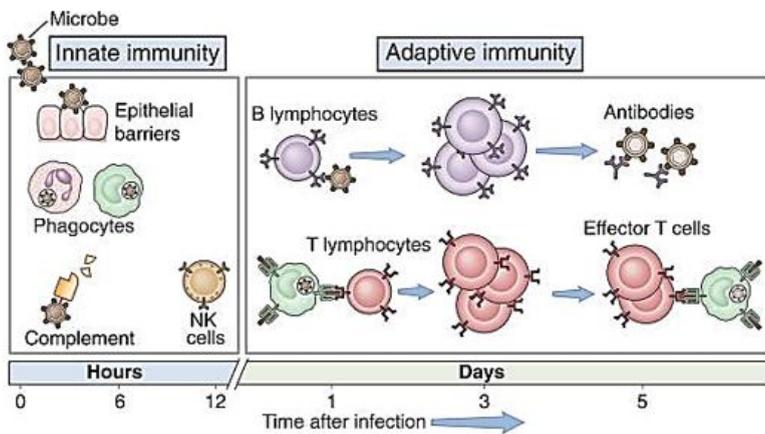
Imunologi berasal dari bahasa latin yaitu: kata *imunis* artinya bebas dan *logos* artinya ilmu. Jadi imunologi dapat diartikan ilmu yang mempelajari segala hal yang berkaitan dengan sistem pertahanan tubuh dari hal yang mengganggu dalam tubuh. Imunologi adalah satu cabang ilmu biologi yang mempelajari sistem kekebalan tubuh organisme. Di tahun 1900 telah ditemukan bukti bahwa tubuh memiliki pertahanan yang komprehensif terhadap infeksi dengan cara memproduksi antibodi.

Sistem imun merupakan semua mekanisme yang digunakan oleh tubuh untuk perlindungan terhadap bahaya yang timbul dari berbagai bahan dari lingkungan. Infeksi yang timbul biasanya tidak berlangsung lama, karena tubuh manusia memiliki pertahanan sistem imun untuk melindungi dari patogen. Mikroorganisme yang masuk ke dalam tubuh akan dikenali oleh sistem imun yang merupakan mekanisme pertahanan tubuh untuk melawan infeksi yang bertanggungjawab melindungi tubuh, sehingga fungsi fisiologis tubuh tidak terganggu.

Respon imun merupakan suatu respon secara bersama-sama dari semua komponen sistem imun untuk mengeliminasi antigen yang masuk ke tubuh. Respon imun melibatkan sel dan molekul imun dalam

mengenalinya antigen seluler dan non seluler, serta patogen yang masuk ke dalam tubuh. Respon imun organisme terhadap patogen sangat ditentukan oleh kemampuan sistem imun untuk mengenali antigen yang bersifat patogen dan tergantung pada kemampuan untuk melakukan reaksi yang tepat untuk memusnahkan antigen. Manusia sebagai organisme multiseluler memiliki kemampuan untuk mengenali substansi yang dianggap sebagai “diri sendiri” (*self*) dan mampu membedakan dari substansi “asing” (*non self*). Dengan kemampuan tersebut maka tubuh manusia dapat berusaha untuk mengeluarkan dan memusnahkan antigen yang masuk ke dalam tubuh. Jika sistem imun tidak memiliki kemampuan dalam mengenali “diri sendiri” maka akan timbul penyakit autoimun, misalnya *systemic lupus erythematosus*, *sclerosis*, diabetes, dan *rheumatoid arthritis*.

Respon imun dimulai dari komponen reseptor mengenali molekul antigen dan dilanjutkan dengan stimulasi otak untuk membangkitkan reaksi dan mengeliminasi antigen. Dalam mengenali molekul antigen, respon imun tergantung dari komponen sistem imun dalam membangkitkan dan bereaksi tepat untuk mengeliminasi antigen.



Gambar 6.1. Respon Imunitas Alami dan Imunitas Adaptif (Athiyah, 2019)

## **Komponen Sistem Imun**

Sistem imun merupakan suatu bentuk kerjasama berbagai komponen yang bertujuan untuk mempertahankan tubuh dari masuknya antigen. Jaringan utama dari sistem imun adalah sumsum tulang dan timus, karena semua sel yang berperan dalam imunitas tubuh dibentuk dan dimatangkan dalam jaringan tersebut.

Secara umum, organ dan jaringan tubuh yang berperan dalam sistem imun antara lain:

### 1. Organ

#### a. Sumsum tulang

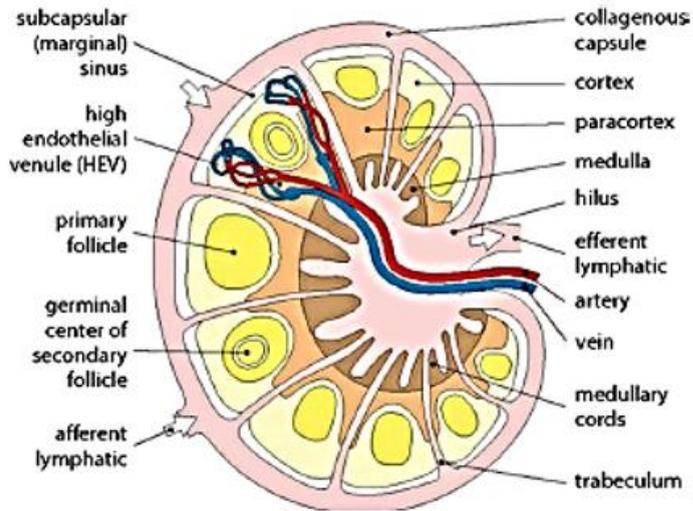
Merupakan organ tempat diproduksi sel darah baru. Dapat digolongkan dalam jaringan limfatik atau organ limfoid primer. Sumsum tulang menghasilkan sel induk mieloid yang kemudian berkembang menjadi sel fagosit monomorfonuklear dan polimorfonuklear. Sumsum tulang merupakan tempat utama pembentukan limfosit, dimana stem sel limfoid berdiferensiasi menjadi limfosit T dan limfosit B. Pada organ limfoid primer, limfosit akan membentuk reseptor antigen spesifik untuk melindungi tubuh dari masuknya antigen.

#### b. Kelenjar Timus

Timus merupakan kelenjar yang ada pada mediastinum superior dibagian depan pembuluh darah besar. Kelenjar Timus bertanggungjawab memproduksi hormon timosin yang berfungsi membantu proliferasi dan diferensiasi sel T. Selain sumsum tulang, timus juga merupakan organ limfoid primer yang berfungsi memproduksi limfosit T. Sebagian besar limfosit T dalam timus mati ditempat dalam proses seleksi melalui proses apoptosis dan hanya 1 – 2% yang menjadi dewasa dan bermigrasi ke medula dan akhirnya masuk ke dalam sirkulasi.

c. Limfonodus

Disebut juga dengan kelenjar getah bening yang tersebar di seluruh tubuh. Limfonodus berperan pada induksi awal respon imun. Fungsi limfonodus adalah untuk menyaring antigen dan sisa fagosit serta untuk sirkulasi limfosit yang dibentuk dalam organ limfoid primer. Limfonodus terbagi dalam beberapa bagian. Dalam pusat germinal berisi sel B, daerah parakortikal berisi sel T yang bergerak cepat, bagian sinus penuh dengan makrofag dan sel dendritik yang dapat menampung dan mempertahankan antigen



Gambar 6.2. Struktur Limfonodus

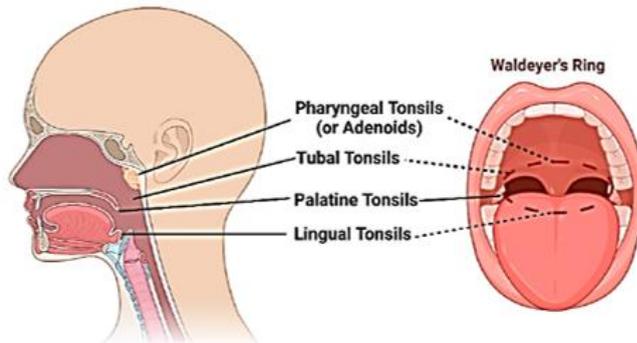
d. Limpa

Posisi limpa ada hanya satu di bagian atas kiri rongga abdomen di posterior lambung. Secara umum fungsi limpa dan responnya terhadap antigen sama dengan limfonodus, perbedaan terpenting adalah bahwa limpa merupakan tempat terjadinya respon imun terhadap antigen. Dalam pembentukan sel imun, limpa berfungsi sebagai tempat aktivasi dan pematangan sel

limfosit. Fungsi limpa dalam perannya sebagai imunitas tubuh yaitu menyaring darah. Sel darah merah yang rusak akan difagosit oleh makrofag. Limpa juga berfungsi untuk menyimpan trombosit dan leukosit. Selain itu limpa juga mampu mengidentifikasi mikroorganisme penyebab infeksi.

e. Tonsil (Amandel)

Tonsil merupakan garis pertahanan pada pintu masuk saluran cerna dan saluran napas. Organ sistem imun ini sering terpapar oleh benda asing dan patogen secara langsung. Pada anak-anak usia 4 – 10 tahun, tonsil memiliki ukuran paling besar. Karena balita sering memasukkan berbagai macam ke dalam mulutnya, untuk menjaga ketahanan tubuhnya, tonsil balita memproduksi banyak sel imun. Jika terjadi peradangan pada tonsil akibat adanya antigen, akan menimbulkan demam dan kesulitan menelan.



Gambar 6.3. Representasi skematis tonsil (Samara, Athanasopoulos, & Athanasopoulos, 2023)

2. Sel pada sistem imun

- a. Leukosit merupakan sel yang terlibat dalam pertahanan tubuh terhadap antigen yang berupa mikroorganisme atau benda asing. Jenis leukosit yang termasuk dalam polimorfonuklear (PNM) antara lain:

1) Neutrofil

Neutrofil merupakan jenis sel fagosit PMN yang bekerja pertama kali dalam peristiwa infeksi. Neutrofil bertugas untuk mengidentifikasi dan menyerang patogen dalam proses fagositosis. Neutrofil yang utama dimobilisasi dalam waktu 30 sampai 60 menit pertama setelah invasi antigen. Migrasi neutrofil dapat bertahan selama 24 sampai 48 jam sesuai dengan kadar faktor kemotaktik di bagian yang cidera.

2) Basofil

Termasuk dalam golongan *eosinophil chemotactic factor of anaphylaxis* (ECF-A) yang mampu menggerakkan eosinofil ke sel sasaran dengan adanya rangsangan mediator. Jumlah basofil dalam sirkulasi sebesar 0,2% dari jumlah leukosit.

3) Eosinofil

Merupakan salah satu unsur leukosit yang berfungsi melindungi tubuh dari parasit dan bertanggung jawab untuk memunculkan reaksi alergi. Eosinofil ditemukan di semua jaringan tubuh dan dapat hidup selama beberapa minggu. Eosinofil dapat mensekresikan protein yang toksik terhadap patogen dan berperan bersama dengan sel mast dan basofil dalam peradangan.

b. Limfosit

Merupakan jenis leukosit yang bertanggungjawab untuk meningkatkan respon imun terhadap antigen dan berperan dalam pengaturan respon kekebalan tubuh. Limfosit diaktivasi oleh pengenalan patogen. Limfosit ada 2 macam, yaitu:

- 1) Sel T, bertanggung jawab untuk respon imun seluler dan untuk membangkitkan sel asosiasi imun lainnya. Selain itu sel T mampu berkontak langsung dengan antigen yang berupa sel asing, virus atau sel kanker. Sel T mengenali dan menghancurkan sel tubuh yang terinfeksi.
- 2) Sel B, bertanggung jawab pada respon imun humoral yang distimulasi oleh antigen. Dan bahkan mampu mensekresi antibodi terlarut dan mengikat antigen spesifik yang disebut imunitas humoral. Antibodi yang dihasilkan digunakan untuk mengikat dan mengeliminasi patogen.

Sel T dan sel B akan mengenali antigen dengan menggunakan reseptor antigen. Reseptor pada sel B disebut *B cell receptor* (BCR) sedangkan pada reseptor pada sel T disebut *T cell receptor* (TCR). Ketika sel B mengikat antigen maka akan menjadi matang berdiferensiasi menjadi sel plasma dan akan menghasilkan antibodi.

3) *Sel Natural Killer* (Sel NK)

Sel NK merupakan sel pembunuh alami yang bertanggungjawab untuk memusnahkan secara langsung semua patogen yang masuk ke dalam tubuh sebagai respon imun alami. Jumlah sel NK sebanyak 10 – 15% dari seluruh limfosit dalam darah dan dapat membunuh antigen tanpa perlu aktivasi. Sel NK mampu membunuh sel yang terinfeksi virus, sel kanker dan sel abnormal serta mencegah sel melakukan pembelahan masif dan proses pelepasan dari koloni untuk metastasis, sehingga sel ini efektif untuk mencegah kanker. Sel NK juga dapat mensekresikan zat yang memberikan sinyal untuk sel imun lain untuk dapat menyerang antigen tersebut. Semakin kuat antigen,

maka semakin banyak zat yang dihasilkan dan semakin besar koloni sistem imun yang dihadirkan.

c. Fagosit

Merupakan kelompok sel yang memiliki kemampuan utama untuk membunuh dan menghancurkan patogen melalui proses fagositosis. Kelompok fagosit antara lain:

1) Makrofag

Makrofag termasuk dalam sel asesoris yang ada di berbagai jaringan berfungsi untuk memfagosit dan mempresentasikan antigen ke permukaan sebagai peptide antigen kepada limfosit agar respon imun berhasil dengan baik. Jenis makrofag dan tempat distribusinya tertera dalam tabel berikut:

Tabel 6.1. Jenis makrofag dan distribusinya

No	Nama	Jenis Jaringan
1.	Makrofag alveolar	Paru-paru
2.	Sel kuppfer	Hati
3.	Sel Histiosit	Jaringan ikat
4.	Sel mikroglial	Otak
5.	osteoklast	Tulang
6.	Sel mesangial	Ginjal

2) Sel Dendritik

Sel dendritik adalah sel selain yang berfungsi untuk mempresentasikan antigen. Respon imun terhadap antigen tergantung dari antigen dan partikel yang berinteraksi. Antigen intrasel akan merangsang respon imun seluler, sedangkan antigen ekstrasel merangsang respon imun humoral.

Tabel 6.2. Jenis sel dendritik dan distribusinya

No.	Tipe	Distribusi
1.	Sel dendritik dalam aliran	Darah dan limpa

	darah	
2.	Sel langerhans	Kulit dan membran mukosa
3.	Sel dendritik interdigitating	Jaringan limfoid sekunder ; timus
4.	Sel dendritik interstisial	Traktus gastrointestinal, paru, dan ginjal

### 3. Molekul pada sistem imun

#### a. Antibodi (imunoglobulin)

Antibodi adalah protein imunoglobulin yang disekresikan oleh limfosit B yang teraktivasi antigen. Aktivasi limfosit dapat menumbuhkan banyak klon dari sel yang sama untuk merespon antigen dan mengakibatkan proliferasi dan diferensiasi limfosit dengan spesifikasi yang berbeda yang dikenal dengan antibodi poliklonal (*polyclonal antibody*). Rekayasa hibridoma (*hybridoma*) merupakan turunan klon tunggal dari sel B yang teraktivasi untuk memproduksi antibodi homogen / *single molecular species of antibody* yang disebut antibodi monoklonal (*monoclonal antibody*).

#### b. Sitokin

Sitokin merupakan salah satu jenis protein dengan fungsi spesifik memperantarai aktivasi fungsi sel imun. Sitokin dibagi dalam beberapa kelompok antara lain:

##### 1) Sitokin tipe I/hematopoietin

Yang termasuk sitokin tipe I antara lain interleukin 2 (IL-2), IL-3, IL-4, IL-5, IL-6, IL-7, IL-9, IL-11, IL-12, IL-13, IL-15, IL-21, dan IL-23 yang berperan sebagai faktor pertumbuhan hematopoietik.

##### 2) Sitokin tipe-II, meliputi interferons dan IL-10.

##### 3) Molekul yang berhubungan dengan *Tumor Necrosis Factor* (TNF), meliputi TNF, *lymphotoxin*, dan Fas ligand.

- 4) Superfamili imunoglobulin (Ig), meliputi IL-1 dan IL-18
- 5) Kemokines.

c. Komplemen

Merupakan protein yang berperan dalam pertahanan tubuh pada sistem imun non-spesifik maupun spesifik. Komplemen berfungsi untuk melisis bakteri dan opsonisasi yang dapat meningkatkan fagositosis antigen. Komplemen mampu mengikat reseptor spesifik yang merangsang fungsi sel imun spesifik untuk memproduksi antibodi.

### **Penggolongan Sistem Imun**

Komponen sistem imun terdiri dari organ, sel, dan molekul dan bersama-sama bekerja untuk melindungi tubuh dari antigen. Dari komponen tersebut sistem imun dapat digolongkan menjadi kelompok antara lain:

1. Sistem imun non spesifik (*Innate Immunity*)

Sistem imun non spesifik merupakan pertahanan pertama dan utama dalam tubuh terhadap antigen walaupun tubuh belum pernah terpapar antigen tersebut sebelumnya. Respon imun ini dibawa sejak lahir dan merespon antigen sejak dini serta menginduksi respon imun lanjutan yaitu respon imun spesifik/adaptif. Komponen imun non spesifik berperan sebagai pertahanan secara fisik maupun kimia, tetapi tidak bersifat spesifik.

Sistem imun non spesifik berupa barier eksternal berupa kulit beserta produk yang dihasilkan dan sistem sel imun. Minyak di kulit berfungsi untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Selain itu terdapat flora normal di kulit yang berfungsi sebagai kompetitor organisme patogen yang menempel di kulit. Sekret minyak dan flora normal bersama-sama dapat menghambat kolonisasi mikroorganisme di kulit. Terdapat mekanisme pada mukosa kulit yang mendukung imunitas non spesifik

antara lain: pergerakan silia, fagosit, enzim dan antibodi permukaan, pencucian mekanis dengan urin atau air mata, obligat aerob yang menghasilkan *bactericin* dan asam lemak bebas yang menjadikan lingkungan tidak kondusif dan menghambat pertumbuhan bakteri.

Sistem imun non spesifik diperankan oleh makrofag, neutrofil, sel dendritik, sel *natural killer (NK cell)*, dan sel mast.

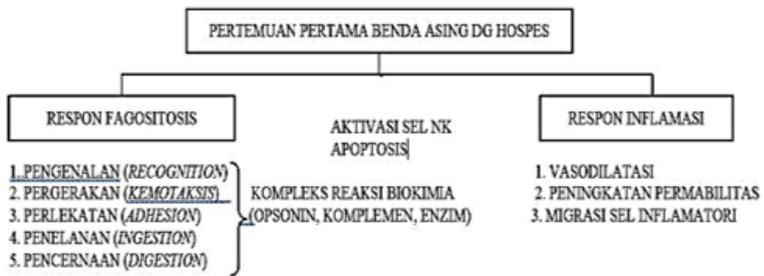
- a. Makrofag yang berasal dari monosit berperan dalam proses fagositosis patogen dan sel mati. Selain itu makrofag dapat melepaskan sitokin pro-inflamasi seperti interleukin-1 (IL-1) dan tumor necrosis factor-alpha (TNF- $\alpha$ ) untuk merangsang sel imun ke lokasi infeksi.
- b. Neutrofil merupakan leukosit yang paling banyak dan merespon infeksi dengan cepat melalui fagositosis, granula melepaskan zat antimikroba.
- c. Sel dendritik merupakan sel yang menjadi perantara antara sistem imun non spesifik dan sistem imun spesifik dengan cara mengikat antigen dan mempresentasikan ke sel T.
- d. *NK cell* berperan dalam mengidentifikasi dan menghilangkan sel yang terinfeksi virus atau sel ganas dengan cara melepaskan perforin dan granzin untuk menginduksi apoptosis.
- e. Sel mast terlibat dalam respon alergi dan pertahanan terhadap parasit dengan cara melepaskan histamin dan mediator inflamasi setelah diaktivasi.

Respon imun non spesifik terdiri dari:

- a. Pertahanan fisik/mekanik yang berupa organ (kulit, mukosa, silia saluran pernapasan, dan peristiwa batuk dan bersin yang menghalangi antigen masuk ke dalam tubuh).

- b. Pertahanan biokimia berupa sekresi mukosa saluran napas, kelenjar keringat dan kelenjar pada kulit, telinga, asam HCl dalam lambung, lisozim dalam keringat, ludah, air mata, dan air susu ibu untuk pertahanan tubuh secara biokimia, serta melindungi tubuh dari infeksi bakteri gram positif.
- c. Pertahanan humoral, melibatkan komplemen yang mengktivasi sel fagosit dan menghancurkan bakteri atau parasit untuk memudahkan makrofag mengenali dan memfagosit antigen.
- d. Pertahanan seluler yang diperankan oleh fagosit/makrofag dan sel NK. Fagosit dan polimorfonuklear berperan penting dalam pertahanan non spesifik. Fagosit akan berinteraksi dengan komplemen dan sistem imun spesifik.

Pada sistem imun non spesifik, pertahanan seluler diperankan oleh makrofag-monosit, sedangkan pada sistem humoral melibatkan sistem komplemen.



Gambar 6.4. Skema respon imun non-spesifik (Darwin, E, & Fithra, 2021)

## 2. Sistem imun spesifik (*Adaptive Immunity*)

Sistem imun spesifik merupakan respon imun didapat atau adaptif (*acquired*) yang timbul terhadap partikel (polisakarida kapsula atau toksin) antigen. Partikel tersebut merupakan bagian dari mikroorganisme, bukan keseluruhan mikroorganisme. Ciri khas dari sistem imun spesifik

antara lain: 1. Spesifik, yang mampu memberikan respon yang berbeda terhadap antigen yang berbeda; 2. Heterogen, mampu berinteraksi dan memberikan respon terhadap produk populasi sel yang berbeda, misalnya antibodi; 3. Memori, memiliki kemampuan untuk mempercepat dan memperbesar respon spesifik dengan cara proliferasi dan diferensiasi sel yang telah disensitisasi.

Respon imun adaptif dicirikan oleh spesifitas dan memori yang memberikan kekebalan jangka panjang. Respon imun spesifik terdiri dari imunitas humoral dan imunitas seluler. Imunitas humoral diperankan oleh sel limfosit B yang berdiferensiasi dalam sumsum tulang. Antibodi yang dihasilkan mampu bereaksi dengan antigen yang merangsang pembentukan imunogen atau antigen. Imunitas seluler (*cell-mediated immunity*) diperankan oleh sel limfosit T yang berdiferensiasi pada kelenjar timus.

### **Respon Imun Primer dan Sekunder**

Infeksi terjadi akibat adanya replikasi mikroorganisme dalam tubuh, hal ini merupakan proses interaksi antara patogen, penjamu, dan lingkungan. Respon imun diawali respon imun non-spesifik melalui meningkatnya sel fagosit menuju sumber infeksi. Respon imun non-spesifik bersifat tidak spesifik tetapi aktivitas sistem imunnya lebih cepat karena tidak melibatkan sel memori. Ketika fungsi makrofag tidak efektif dalam respon alami maka akan merangsang dan mengaktifasi respon imun spesifik. Respon imun spesifik dapat mengenali patogen yang pernah terpapar sebelumnya sehingga dapat memberikan respon imun yang lebih baik karena melibatkan sel memori.

Respon imun primer dan sekunder keduanya memiliki dua komponen yaitu imunitas humoral dan imunitas seluler. Pada sistem imun non spesifik seluler melibatkan makrofag monosit, sedangkan sistem humoral melibatkan aktivasi sistem komplemen. Pada sistem imun spesifik seluler melibatkan sel limfosit T dan sistem imun spesifik humoral melibatkan limfosit B.

Kedua respon imun primer dan sekunder (non-spesifik dan spesifik) bekerjasama dalam mempertahankan homeostasis.

### **Gangguan pada Sistem Imun**

#### 1. Penyakit Autoimun

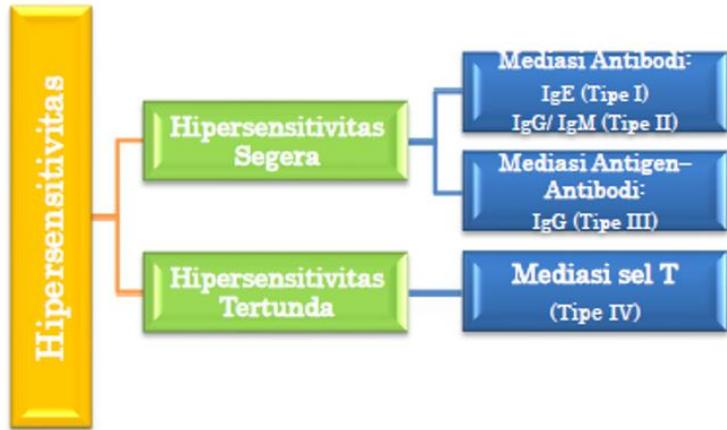
Penyebab penyakit autoimun belum sepenuhnya dipahami, tetapi ada beberapa faktor yang diduga berperan penting dalam memicu terjadinya autoimun, antara lain: 1. Faktor genetik (kelainan gen yang mengatur fungsi kekebalan tubuh); 2. Faktor lingkungan (infeksi virus, bakteri, jamur, zat kimia, radiasi, dan obat-obatan tertentu); 3. Faktor hormon (misalnya pada penyakit lupus erimatosus sistemik (SLE)); 4. Faktor kekebalan tubuh (misalnya sel T dan sel B menyebabkan sistem kekebalan tubuh menyerang diri sendiri).

#### 2. Immunodefisiensi

Suatu kondisi dimana sistem imun kurang aktif / defisiensi imun meningkatkan risiko infeksi. Immunodefisiensi yang didapatkan saat lahir (immunodefisiensi primer) sedangkan immunodefisiensi yang didapatkan akibat perawatan atau penyakit lain disebut immunodefisiensi sekunder.

#### 3. Alergi dan Hipersensitivitas

Merupakan respon imun yang tidak tepat terhadap antigen, baik melalui respon humoral maupun seluler. Reaksi hipersensitivitas diklasifikasikan menjadi empat yaitu hipersensitivitas tipe I, II, III (hipersensitivitas segera) dan tipe IV (hipersensitivitas tertunda) yang masing-masing dimediasi dengan antibodi yang tertunda.



Gambar 6.5. Klasifikasi tipe hipersensitivitas

## Daftar Pustaka

- Akrom. (2013). *Pengantar Imunologi Untuk Farmasi*. Yogyakarta: Pustaka Imany.
- Alobity, A. (2024). Immunology of Stress: A Review Article. *Journal of Clinical Medicine*.
- Antari, A. L. (2017). *Imunologi Dasar*. Yogyakarta: Deepublish.
- Athiyyah, A. F. (2019, Desember 2). Sinbiotik dapat Memodulasi Respon Imun Bawaan di Mukosa Usus. *Cakrawala*, hal. 422.
- Darwin, E., E. D., & Fithra, E. E. (2021). *Imunologi dan Infeksi*. Padang: Andalas University Press.
- Erniati, & Ezraneti, R. (2020). Aktivitas Imunomodulator Ekstrak Rumput Laut . *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 79-86.
- Faizal, I. A., Husein, F., Taufiqurrahman, M., Ambarwati, R., Purwoto, A., Indriputri, C., et al. (2023). *Buku Ajar Imunologi*. Pangkalpinang: Science Techno Direct.
- Fauziah, P. N., CM, M., KR, M., YC, F., U, F., NP, K., et al. (2023). *Imunologi*. Bandung: Penerbit Widina Bhakti Persada.
- Harti, A. S. (2013). *Imunologi Dasar & Imunologi Klinis*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Ilyas Y., M., Apriyanto, Rasak, A., & Setiawan, L. O. (2024). Review Article: The Role of Cluster of Differentiation-8 (CD8) In The Immune System. *Sinergi Jurnal Riset Ilmiah*, 70-79.
- Nugrahaningsih, W., Susanti, E., & Nisa, M. D. (2023). Aktivitas Imunostimulan Daun *Elaeocarpus grandiflorus* terhadap Jumlah Leukosit dan Histologi Limpa Tikus yang Diinduksi SDMD. *Life Science*.
- Samara, P., Athanasopoulos, M., & Athanasopoulos, L. (2023). Unveiling the Enigmatic Adenoids and Tonsils: Exploring Immunology, Physiology, Microbiome Dynamics, and the Transformative Power of Surgery. *microorganisms*.

## Profil Penulis



### **Ma'rufah, S.Si., M.Biomed.**

Dilahirkan di Paciran-Lamongan Jawa Timur. Anak keempat dari lima bersaudara, pasangan Bapak Nawawi Alm. Dan Ibu Sumiyati Almh. Pendidikan dasar dan menengah ditempuh di MI Pondok Modern Muhammadiyah Paciran, SMPN 1 Paciran, dan SMAN 1 Paciran. Jenjang pendidikan tinggi dilanjutkan di Universitas Negeri Malang Program Studi Biologi dan mendapatkan gelar Sarjana Sains pada tahun 2007. Pada tahun 2014 penulis menyelesaikan Program Pasca Sarjana Program Studi Ilmu Biomedik di Universitas Brawijaya.

Dalam berkarir sebagai dosen Analis Kesehatan, penulis aktif melakukan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Penelitian yang dilakukan beberapa diantaranya di danai perguruan tinggi dan juga Kemenristek DIKTI. Selain melakukan penelitian, penulis juga aktif menulis dalam blog pribadi dan publikasi dalam jurnal baik nasional maupun internasional.

Email penulis: [marufahaakmalang@gmail.com](mailto:marufahaakmalang@gmail.com)



## IMUNOLOGI DAN RESPON IMUN

**Ririn Hamidatus Syarofatin, S.Si., S.Pd., M.Pd.**  
SMA Negeri 1 Jakenan

### **Sejarah Perkembangan Imunologi**

Imunologi sudah dikenal sejak ratusan tahun sebelum masehi, yaitu pada masa kepemimpinan raja Yunani yang bernama Mithridates Eupatoris VI. Akibat kekhawatiran bahwa suatu saat musuh akan membunuhnya dengan menggunakan racun, sang raja mengebalkan dirinya dengan mencari segala jenis racun yang ada pada saat itu dan meminumnya sedikit demi sedikit hingga kebal terhadap racun tersebut.

Pada tahun 1774, Dr. Edward Jenner mengamati bahwa seseorang dapat terhindar dari infeksi variola secara alamiah apabila sebelumnya ia terpapar dengan cacar sapi (*cowpox*). Sejak saat itu, vaksin cacar mulai dipakai meskipun belum diketahui secara pasti mekanisme yang terjadi.

Penelitian ilmiah mengenai imunologi dimulai oleh Louis Pasteur pada tahun 1859 yang menemukan penyebab penyakit infeksi, membiakkan mikroba, dan menetapkan teori kuman penyakit yang dikenal dengan *Germ Theory*. Selanjutnya, pada tahun 1885, Louis Pasteur menemukan vaksin rabies, dimana penemuan tersebut memberikan dampak positif bidang imunologi dan menjadi dasar perkembangan vaksin berikutnya.

Perkembangan di bidang imunologi terus berlanjut seiring dengan ditemukannya toksin difteri oleh Alexander Yersin dan Roux tahun 1888. Selanjutnya

pada tahun 1890, Von Behring dan Kitasato menemukan antioksidan difteri dari binatang. Sejak saat itu pula dimulai pengobatan dengan menggunakan serum kebal yang diperoleh dari kuda. Hasil temuan ini kemudian berkembang menjadi pengobatan menggunakan imunoglobulin spesifik yang diperoleh dari manusia. Bertolak dari penemuan-penemuan ini dapat dikatakan bahwa imunologi dapat diterapkan dalam pengobatan dan terapi penyakit infeksi.

### **Definisi dan Konsep Dasar Imunologi**

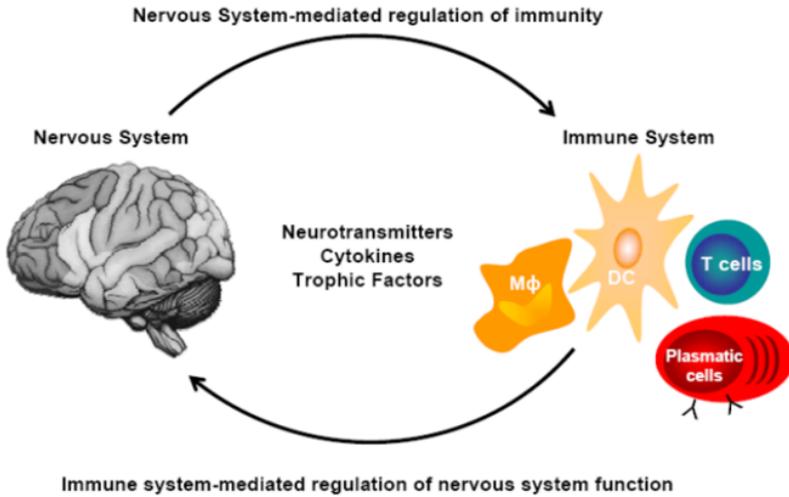
Imunologi merupakan cabang ilmu biologi yang mempelajari sistem kekebalan tubuh atau respon tubuh melindungi dirinya dari infeksi seperti bakteri, virus, dan parasit. Imunologi berasal dari bahasa latin *immunis* (kebal) dan *logos* (ilmu).

Imunologi berakar dari imunitas atau kekebalan dari suatu penyakit akibat adanya rangsangan molekul asing yang berasal dari dalam maupun luar tubuh individu, baik yang bersifat infeksius atau non-infeksius. Dengan demikian dapat diartikan bahwa imunologi adalah ilmu yang mempelajari kemampuan tubuh dalam melawan atau mempertahankan diri dari serangan patogen atau organisme penyebab penyakit.

Tubuh memerlukan kekebalan atau imunitas agar terhindar atau tidak mudah terserang penyakit yang dapat menghambat fungsi organ tubuh. Selanjutnya konsep imunitas dipakai untuk suatu pengertian yang mengarah pada perlindungan dan kekebalan terhadap suatu penyakit khususnya penyakit infeksi.

### **Respon Imun**

Respon imun adalah suatu reaksi dari semua komponen sistem imun secara bersama dan terkoordinasi untuk mengeliminasi antigen yang masuk ke dalam tubuh (Antari, 2017). Respon imun diawali dengan adanya pengenalan molekul antigen oleh komponen sistem imun melalui reseptor yang menstimulasi sistem saraf di dalam otak guna membangkitkan dan melakukan reaksi yang tepat untuk mengeliminasi antigen tersebut (Gambar 7.1).



Gambar 7.1. Stimulasi sistem saraf dalam respon imun  
(Pacheco, *et al.*, 2012)

Menurut Nurdin (2015) yang dijelaskan oleh Yanuhar (2022), terdapat tiga fungsi respon imun. Fungsi pertama adalah pertahanan, berperan penting terhadap antigen yang berasal dari luar tubuh seperti invasi mikroba hingga parasit di dalam tubuh. Fungsi kedua adalah homeostasis. Tubuh akan melakukan metabolisme untuk mengeluarkan elemen seluler yang rusak atau mati sehingga tubuh mencapai keseimbangan atau homeostasis. Fungsi yang terakhir adalah supervisor (*surveillance*), dimana sistem imun bekerja sebagai monitor untuk mengenali beberapa yang telah mengalami perubahan akibat proses mutasi oleh mutasi bahan kimia tertentu, radiasi, atau infeksi virus. Hal ini menyebabkan sistem imun selalu waspada dalam mengenali setiap perubahan abnormal dengan cara membuang konfigurasi baru.

Respon imun tubuh tergantung dari komponen sistem imun dalam mengenali antigen serta membangkitkan dan melakukan reaksi yang tepat dalam mengeliminasi antigen tersebut. Kasus yang terkait dengan sistem imun, seperti infeksi, cenderung meningkat karena kehidupan manusia sangat tergantung pada aktivasi dan

penekanan respon imun sebagai cara untuk melawan berbagai patogen dan faktor penyakit (Aoki, *et al.*, 2020). Secara umum, respon imun dapat dibedakan menjadi respon imun non-spesifik (*innate immunity*) dan respon imun spesifik (*adaptive immunity*). Respon imun non-spesifik berfungsi sebagai pertahanan pertama dengan mekanisme yang tidak tergantung pada antigen untuk melawan dan mengatasi patogen yang masuk ke dalam tubuh (Ilyas, *et al.*, 2024). Sedangkan pada respon imun spesifik akan mengenali patogen atau benda asing yang pernah terpapar sebelumnya sehingga memberikan respon imun yang lebih baik karena melibatkan sel memori (Erniati & Ezraneti, 2020).

### **Respon Imun Non-Spesifik (*Innate Immunity*)**

Respon imun non-spesifik (*innate immunity*) merupakan sistem pertahanan tubuh terhadap berbagai antigen tanpa memerlukan pengenalan terlebih dahulu. Respon imun ini akan bekerja dan merespon antigen walaupun sebelumnya tubuh tidak atau belum pernah terpapar antigen tersebut. Respon imun non-spesifik telah ada dan berfungsi sejak dilahirkan, memberikan respon dini terhadap antigen, dan menginduksi terjadinya respon imun spesifik (*adaptive immunity*).

Mekanisme pertahanan respon imun non-spesifik dalam menghadapi paparan antigen atau mikroba terdiri atas empat cara, yaitu:

#### 1. Pertahanan Fisik

Pertahanan fisik dalam respon imun non-spesifik berupa kulit, membran mukosa, dan silia (Antari, 2017; Tate, 2012). Kulit dan membran mukosa berfungsi sebagai barier fisik dan kimiawi sebagai pertahanan lini pertama yang mencegah patogen dan substansi asing masuk ke dalam tubuh. Lapisan keratin kulit yang tersusun rapat dan pergantian sel epidermal memberikan fungsi barier fisik tempat masuknya mikroba. Membran mukosa akan mensekresikan mukus yang sedikit kental dapat menjebak mikroba dan substansi asing (Rahadiani & Herlinawati, 2022).

Silia yang berupa penonjolan seperti rambut pada permukaan sel epitel yang dimiliki membran mukosa saluran pernapasan atas berperan mendorong keluar debu dan mikroba yang terperangkap oleh mukus ke arah trakea (Riera, *et al.*, 2016).

## 2. Pertahanan Biokimia

Pertahanan biokimia dalam respon imun non-spesifik berupa zat-zat kimia yang akan mengeliminasi mikroba yang lolos dari pertahanan fisik. Berbagai bentuk pertahanan ini antara lain lisozim, perubahan pH dalam saluran pencernaan, kelenjar keringat, dan saliva (Antari, 2017; Kobayasi, *et al.*, 2019; Tate, 2012). Sekresi tubuh, seperti lisozim, dapat menciptakan lingkungan yang tidak bersahabat bagi banyak mikroba. Lisozim dalam saliva, air mata, dan usus halus menghancurkan bakteri yang memasuki saluran pernapasan atas, saluran pencernaan, atau di sekeliling mata (Campbell, 2010). Mikroba yang terdapat pada makanan dan tertelan akan menghadapi lingkungan asam di lambung dimana asam tersebut membunuh sebagian besar mikroba sebelum memasuki usus.

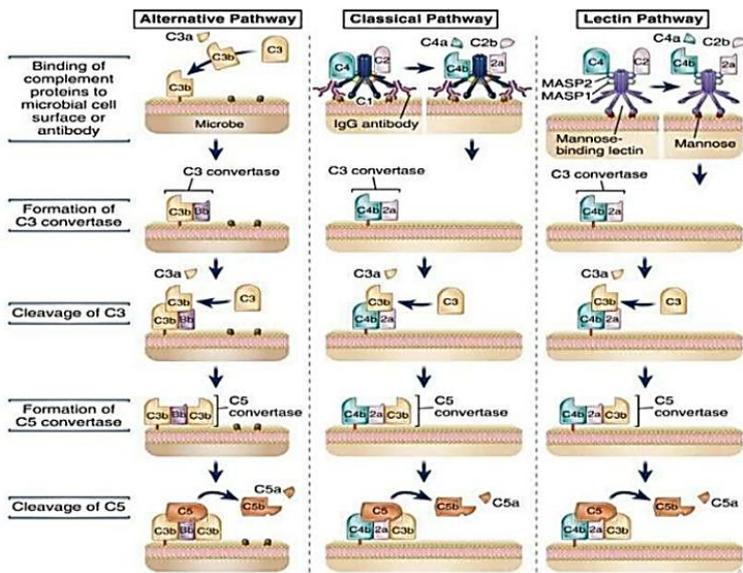
## 3. Pertahanan Humoral

Pertahanan humoral melibatkan molekul-molekul yang larut untuk mengeliminasi dan melawan mikroba yang berhasil masuk ke dalam tubuh. Pertahanan humoral akan banyak muncul pada bagian tubuh yang mengalami infeksi. Contoh dari pertahanan humoral adalah interferon dan sistem komplemen.

Interferon adalah protein yang diproduksi oleh limfosit, makrofag, dan fibroblas yang terinfeksi virus dan berperan memberikan pertahanan bawaan melawan infeksi virus. Sel-sel yang terinfeksi oleh virus mensekresikan interferon, menginduksi sel-sel yang tidak terinfeksi di dekatnya untuk menghasilkan zat-zat yang menghambat reproduksi virus (Campbell, 2010). Dengan cara ini, interferon membatasi penyebaran virus dan membantu mengontrol infeksi virus.

Sistem komplemen terdiri dari sekitar 30 protein dalam plasma darah yang berfungsi bersama melawan infeksi. Protein-protein ini bersirkulasi

dalam kondisi inaktif dan teraktivasi oleh zat-zat yang terdapat pada permukaan mikroba. Aktivasi sistem komplemen menghasilkan serangkaian reaksi biokimia yang menyebabkan lisisnya membran sel antigen (Campbell, 2010). Terdapat tiga jalur aktivasi komplemen, yaitu jalur klasik, jalur alternatif dan jalur lektin. Ketiga jenis jalur aktivasi komplemen ini memiliki persamaan yaitu pada terbentuknya C3 convertase, yang membelah molekul C3 menjadi C3b (fragmen yang besar) dan C3a (fragmen yang lebih kecil). Fungsi komplemen sebagai anaphylatoxins diperankan oleh fragmen C3a, C4a, dan C5a. Fragmen ini berperan untuk menginduksi inflamasi melalui aktivasi sel mast dan neutrofil. Ketiga fragmen ini berikatan dengan sel mast dan menginduksi terjadinya degranulasi dengan pelepasan mediator-mediator vasoaktif histamin.



Gambar 7.2. Mekanisme tahapan aktivasi sistem komplemen (Luthfianto, *et al.* 2023)

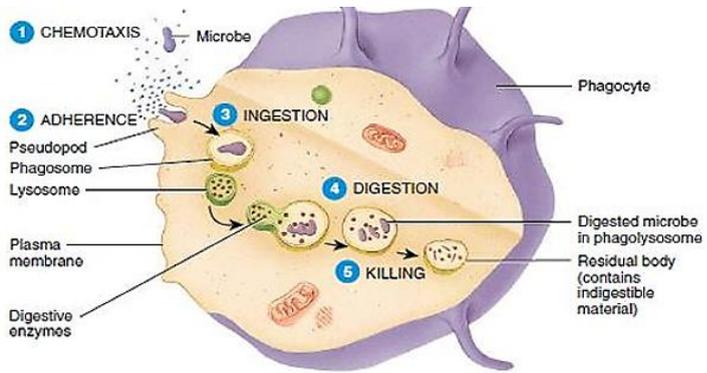
#### 4. Pertahanan Seluler

Pertahanan seluler banyak melibatkan sel-sel sistem imun untuk melawan mikroba, antara lain sel fagosit, eosinofil, sel *Natural Killer* (NK), dan sel mast.

##### a. Sel fagosit

Fagositosis merupakan proses memakan atau menelan partikel padat, seperti bakteri, sisa-sisa sel, atau benda asing, yang kemudian dihancurkan dalam sel tersebut. Sel khusus yang berperan dalam proses fagositosis disebut fagosit, yang terdiri atas dua sel utama yaitu neutrofil dan makrofag. Kedua sel ini akan migrasi ke area infeksi. Makrofag berasal dari monosit yang membesar dan berkembang menjadi aktif dalam hal fagositosis.

Proses fagositosis dapat dibagi menjadi 5 tahap yaitu kemo-taksis, *adherence*, *ingestion*, *digestion*, dan *killing*. Pergerakan fagosit ke tempat infeksi yang distimulasi secara kimiawi disebut kemo-taksis. Tahapan ini disebabkan oleh mediator kimiawi yang dilepaskan mikroba, leukosit, sel jaringan yang rusak, atau protein komplemen yang aktif. Tahapan *adherence* yaitu pelekatan fagosit ke mikroba atau benda asing. Tahapan ini diperkuat oleh ikatan komplemen dengan patogen. Tahap ketiga yaitu pembentukan penonjolan membran plasma fagosit (*pseudopodia*) yang akan menelan mikroba membentuk fagosom. Fagosom akan bergabung dengan lisosom dalam sitoplasma membentuk struktur fagolisosom yang lebih besar yang akan mencerna dinding sel mikroba oleh lisozim dan enzim lainnya yang mencerna karbohidrat, protein, lipid dan asam nukleat. Fagosit juga membentuk oksidan letal seperti anion superoksida, anion hiperklorit, hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ). Setelah kelima tahap ini berlangsung, akhirnya akan membunuh mikroba (Tate, 2012).



Gambar 7.3. Fase fagositosis (Tortora & Derrickson, 2014)

b. Eosinofil

Eosinofil merupakan salah satu bagian dari sel darah putih yang berfungsi untuk melindungi diri dari parasit dan penyakit, dan juga bertanggung jawab untuk memunculkan reaksi alergi. Peran spesifik dari eosinofil yaitu melawan parasit yang lebih besar (misalnya cacing tambang) dan membantu memunculkan sekaligus mengontrol respon imun terhadap alergi.

Sel-sel eosinofil merupakan sel granulosit yang juga berperan dalam respon imun. Sel ini memiliki 2 lobus pada sitoplasmanya. Eosinofil dapat melepaskan protein yang toksik terhadap patogen. Selain itu sel eosinofil juga berperan dalam peradangan bersama-sama dengan sel mast dan basofil. Eosinofil sendiri memiliki fungsi untuk menyerang bakteri, membuang sisa sel yang rusak, dan mengatur pelepasan zat kimia pada saat menyerang bakteri.

c. Sel mast

Sel mast banyak mengandung granula yang mengandung histamin dan heparin yang berperan penting dalam patofisiologi penyakit alergi, terutama reaksi hipersensivitas yang

dimediasi oleh IgE di saluran napas atas, kulit, dan saluran pencernaan seperti asma, rinitis alergi, dermatitis, atopik, dan alergi makanan. Respons sel mast disebabkan oleh ikatan IgE-alergen yang spesifik dengan reseptor IgE afinitas tinggi (FcεRI) pada permukaan sel mast. Ikatan ini mengaktifasi sel mast sehingga sel mast mendegranulasi berbagai mediator inflamasi.

Sel mast juga dapat berperan dalam menghadapi patogen seperti parasit, bakteri dan jamur. Sama seperti alergi, pada saat terjadi infeksi parasit seperti malaria atau infeksi nematoda maka IgE-antigen spesifik dapat berikatan dengan reseptor Fc IgE (FcεRI) pada permukaan sel mast sehingga sel mast teraktivasi dan mengeluarkan berbagai mediator inflamasi. Sel mast juga mengekspresikan reseptor Fc yang berikatan dengan IgG dan berbagai reseptor komplemen sehingga dapat melakukan opsonisasi pada patogen.

d. *Sel Natural Killer (NK)*

Sel *Natural Killer (NK)* merupakan 15% dari jumlah total limfosit dalam darah, yang mengenali sel tumor dan sel yang terinfeksi virus secara umum, sehingga tidak memberikan respon memori. Mekanisme sel NK membunuh sel target dengan melepaskan granula mengandung substansi toksik seperti perforin dan granzime (Abel dkk, 2018). Perforin diinsersikan ke dalam membran, sehingga cairan ekstraselular mengalir ke dalam sel target dan sel membengkak (sitolisis). Granzime merupakan enzim yang mencerna protein dan menginduksi sel target mengalami apoptosis (Tortora & Derrickson, 2014).

### **Respon Imun Spesifik (*Adaptive Immunity*)**

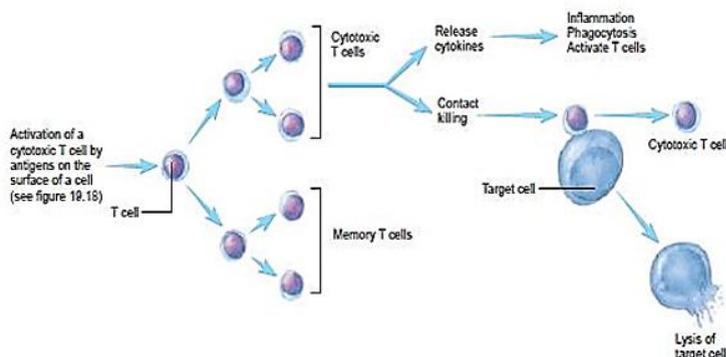
Respon imun non-spesifik (imunitas bawaan) yang tidak efektif mengeliminasi agen infeksi akan dilanjutkan

dengan respon imun spesifik (*adaptive immunity*). Fungsi utama respon imun spesifik adalah pengenalan spesifik antigen *non-self* dan antigen *self*, menghasilkan jalur efektor imunologik spesifik, dan pembentukan memori imunologik. Sel yang terlibat pada respon imun spesifik yaitu sel T yang diaktifkan melalui aksi *antigen presenting cells* (APCs) dan sel B dengan produknya berupa antibodi (Warrington, *et al.*, 2011).

Ada dua tipe respon imun non-spesifik yaitu imunitas seluler dan imunitas humoral. Sel T bertanggung jawab dalam pembentukan imunitas seluler (*Cell-mediated Immunity*) dan sel B bertanggung jawab pada imunitas humoral (*Antibody-mediated Immunity*).

### 1. Imunitas Seluler atau *Cell-mediated Immunity* (CMI)

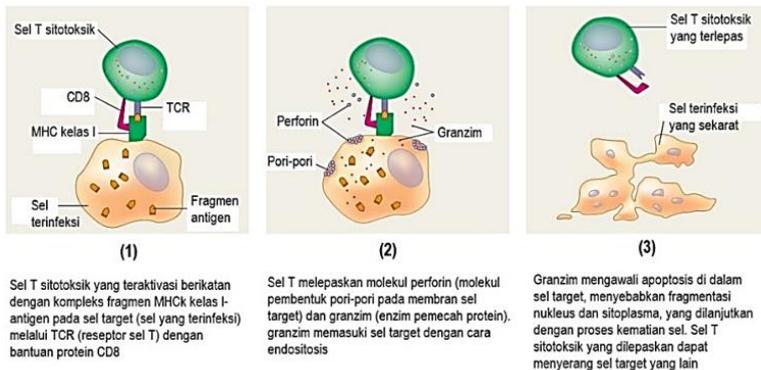
Imunitas seluler merupakan fungsi dari sel T sitotoksik dan paling efektif terhadap mikroba yang hidup dalam sel. Sel T sitotoksik memiliki 2 efek utama yaitu melisiskan sel dan memproduksi sitokin. Sel yang terinfeksi virus yang memiliki antigen virus, sel tumor yang memiliki antigen tumor, dan jaringan transplantasi yang memiliki antigen asing pada permukaannya akan menstimulasi aktivitas sel T sitotoksik. Pengaktifan sel T sitotoksik akan diikuti pelepasan molekul kimiawi yaitu seperti perforin dan granzime yang akhirnya menginduksi sel mengalami lisis.



Gambar 7.4. Pengaktifan sel T sitotoksik (Tate, 2012)

Apabila antigen menginfeksi sel, maka akan terjadi respon imunitas seluler dengan mekanisme sebagai berikut.

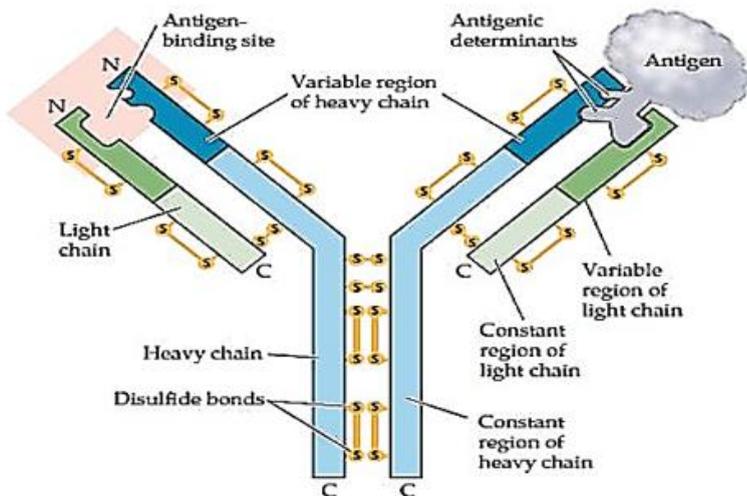
- a. Antigen (misalnya virus) menginfeksi sel tubuh. Apabila virus bereplikasi, sel tersebut mengandung fragmen protein (peptida) virus.
- b. Sel tubuh membentuk molekul MHC kelas I selanjutnya molekul tersebut bergerak ke permukaan sel.
- c. MHC kelas I menangkap peptida virus kemudian membawanya ke permukaan sel dan memperlihatkannya ke sel T sitotoksik.
- d. Sel T sitotoksik akan teraktivasi oleh kompleks MHC kelas I-peptida virus-sel T penolong, kemudian sel T sitotoksik berdiferensiasi menjadi sel pembunuh aktif yang akan menghancurkan sel terinfeksi.
- e. Sel T sitotoksik yang tidak terdiferensiasi akan menjadi sel T memori yang berfungsi dalam respon imunitas sekunder apabila terjadi paparan antigen berulang.



Gambar 7.5. Peran sel T dalam respon imunitas seluler (Reece, *et al.*, 2014)

## 2. Imunitas Humoral atau Antibody-mediated Immunity

Imunitas humoral dimediasi oleh protein-protein yang disebut antibodi. Pengaktifan sel B oleh antigen akan merangsang sel B menghasilkan antibodi. Setiap antibodi terdiri atas empat polipeptida, yaitu dua rantai berat (*heavy chain*) dan dua rantai ringan (*light chain*). Berdasarkan variasi dan fungsinya, antibodi terdiri dari dua bagian, yaitu *variable region* (Fab) dan *constant region* (Fc). Fab merupakan daerah yang bersifat variatif (berbeda-beda pada setiap antibodi) dan berfungsi untuk mengenali antigen, tepatnya pada bagian epitop secara spesifik. Sedangkan Fc merupakan daerah yang bersifat konstan (sama pada setiap antibodi) dan dapat dikenali oleh sel fagosit.



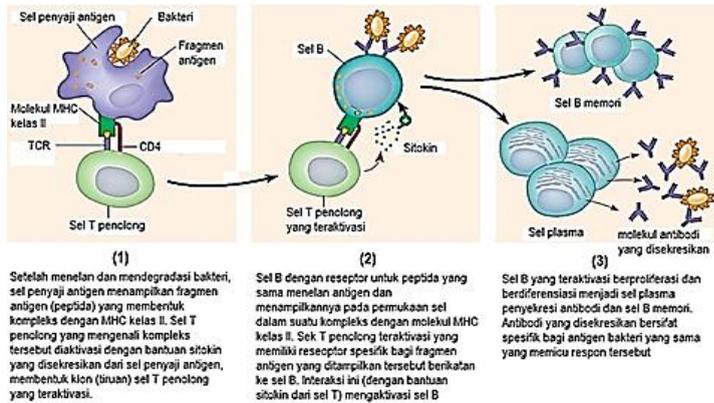
Gambar 7.6. Struktur Antibodi (Murphy, 2012)

Antibodi berikatan dengan antigen dan melalui beberapa mekanisme dapat merusak antigen. Mekanisme pengikatan antibodi ke antigen terjadi dengan cara: 1) fiksasi komplemen, yaitu aktivasi sistem komplemen oleh kompleks antigen-antibodi; 2) netralisasi; terjadi jika antibodi menutup situs epitop sehingga antigen menjadi tidak berbahaya dan sel fagosit dapat mencerna antigen tersebut; 3)

aglutinasi, terjadi jika antigen berupa materi partikel seperti bakteri atau sel darah merah; dan 4) presipitasi, yaitu pengikatan silang molekul-molekul antigen yang terlarut dalam cairan tubuh, yang selanjutnya dikeluarkan dan dibuang melalui proses fagositosis.

Mekanisme respon imunitas humoral dengan melibatkan aktivasi sel B terjadi melalui tahapan berikut.

- a. Antigen menginvasi tubuh, selanjutnya antigen dibawa ke sel B di dalam nodus limfa.
- b. Sel T penolong mengaktifkan sel B. Sel B berproliferasi secara mitosis sehingga menghasilkan sel B dalam jumlah yang banyak.
- c. Sebagian besar sel B hasil mitosis terdiferensiasi menjadi sel plasma yang menyekresikan antibodi untuk dibawa ke lokasi infeksi.
- d. Di lokasi infeksi, kompleks antigen-antibodi secara langsung menginaktifkan antigen (patogen).
- e. Sel B yang tidak terdiferensiasi berkembang menjadi sel B memori yang menetap pada jaringan limfoid. Sel B memori ini hanya menyekresikan sedikit antibodi jauh setelah infeksi teratasi dan berfungsi dalam respon imunitas sekunder jika terjadi pajanan antigen berulang.



Gambar 7.7. Aktivasi sel B pada respon imunitas humoral (Reece, *et al.*, 2014)

## Daftar Pustaka

- Abel, A. M., Yang, C., Thakar, M. S., & Malarkannan, S. (2018). Natural Killer Cells: Development, Maturation, and Clinical Utilization. *Frontiers in immunology*, 9, 1869.
- Antari, A.L. (2017). *Imunologi Dasar*. Sleman: Penerbit Deepublish.
- Aoki, H., Chuma, S., Iba, Y., Tashiro, H., Watanabe, N., & Oyama, H. (2020). Comparison of bioactive components in tempeh produced by three different rhizopus starters and immunomodulatory effect of tempeh on atopic dermatitis mice. *Food Science and Technology Research*, 26(5), 665–672.
- Baratawidjaja, K.G. & Rengganis, I. (2014). *Imunologi Dasar*. Jakarta: Badan Penerbit FKUI.
- Campbell, N.A. (2010). *Biologi Edisi 8 (Jilid 3)*. Jakarta: Erlangga.
- Erniati, E., & Ezraneti, R. (2020). Aktivitas imunomodulator ekstrak rumput laut. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 7(2), 79.
- Ilyas, M. Y., Rasak, A., & Ode Roni Setiawan, L. (2024). Review article: The role of cluster of differentiation-8 (cd8) in the immune system. *Jurnal Riset Ilmiah*, 1(2), 70–79.
- Kobayashi, T., Naik, S., & Nagao, K. (2019). Choreographing Immunity in the Skin Epithelial Barrier. *Immunity*, 50(3), 552–565.
- Levani, Y. (2023). Tinjauan Pustaka: Fungsi dan Peran Sel Mast dan Basofil. *Anatomica Medical Journal*, 6(2), 105-120.
- Luthfianto, D., Indraputri, S., Purwoto, A., Padoli, Ambarwati, R., Faizal, I.A., Taufiqurrahman, M., Husen, F., Witriyani, Supriatin, T., & Rahmi, A. (2023). *Buku Ajar Imunologi*. Pangkalpinang: CV. Science Techno Direct.

- Murphy, K.P. (2012). *Janeway's Immunobiology. Eds 8.* New York: Garland Science, Taylor & Francis Group.
- Pacheco, R., Contreras, F., & Prado, C. (2012). *Cells, Molecules and Mechanisms Involved in the Neuro-Immune Interaction.* InTech.
- Rahadinti, D. & Herlinawati. (2022). Sistem Imunitas Alamiah Dan Sistem Imunitas Adaptif. *Nusantara Hasana Journal, 2(3), 98-106.*
- Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P.V., & Jackson, R.B. (2014). *Biology. 10th Edition.* USA: Pearson Education, Inc.
- Riera Romo, M., Pérez-Martínez, D., & Castillo Ferrer, C. (2016). Innate immunity in vertebrates: an overview. *Immunology, 148(2), 125–139.*
- Tate, P. (2012). *Seeley's Principles of Anatomy & Physiology 2nd ed.* New York: McGraw-Hill.
- Tortora, G.J., and Derrickson, B. (2014). *Principles of Anatomy & Physiology. 14th ed.* Wiley, Hooboken.
- Warrington, R., Watson, W., Kim, H.L. Antonetti, F.R. (2011). An introduction to immunology and immunopathology. *Allergy Asthma Clinical Immunology, 7 (Suppl 1), S1.*
- Yanuhar, U. (2022). *Imunologi Molekuler untuk Ikan.* Malang: UB Press.

## Profil Penulis



### **Ririn Hamidatus Syarofatin, S.Si., S.Pd., M.Pd.**

Ketertarikan penulis terhadap bidang ilmu biologi dimulai pada tahun 2002 silam, yang membawanya untuk masuk jurusan Biologi Universitas Negeri Malang. Pada tahun 2005, penulis menempuh pendidikan *Double Degree* di kampus yang sama dengan mengambil jurusan Pendidikan Biologi. Pada tahun 2010 penulis berkarir sebagai ASN guru di SMA Negeri 1 Jakenan dan melanjutkan pendidikan S2 Pendidikan Biologi di Universitas Negeri Semarang di tahun 2017.

Penulis memiliki kepakaran di bidang Biologi dan Pendidikan Biologi. Untuk mewujudkan karir sebagai guru profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti di bidang kepakarannya tersebut. Salah satu artikel hasil penelitiannya yang berjudul *Android Based Module Development with Project-Based Learning Model on Immune System Materials to Improve Critical Thinking and Digital Literature Skills* dapat dicek di google scholar dengan link [https://scholar.google.com/scholar?hl=id&as\\_sdt=0%2C5&q=ririn+hamidatus+syarofatin&btnG=](https://scholar.google.com/scholar?hl=id&as_sdt=0%2C5&q=ririn+hamidatus+syarofatin&btnG=). Selain sebagai peneliti, penulis aktif menulis artikel ilmiah populer di media massa dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara. Penulis juga memiliki beberapa karya antologi puisi dan kisah inspiratif.

Email Penulis: [ririn.hamida@gmail.com](mailto:ririn.hamida@gmail.com)



# ANTIBIOTIK DAN RESISTEN ANTIBIOTIK

**Dr. Riri Novita Sunarti, M.Si**  
Universitas Islam Negeri Raden Fatah

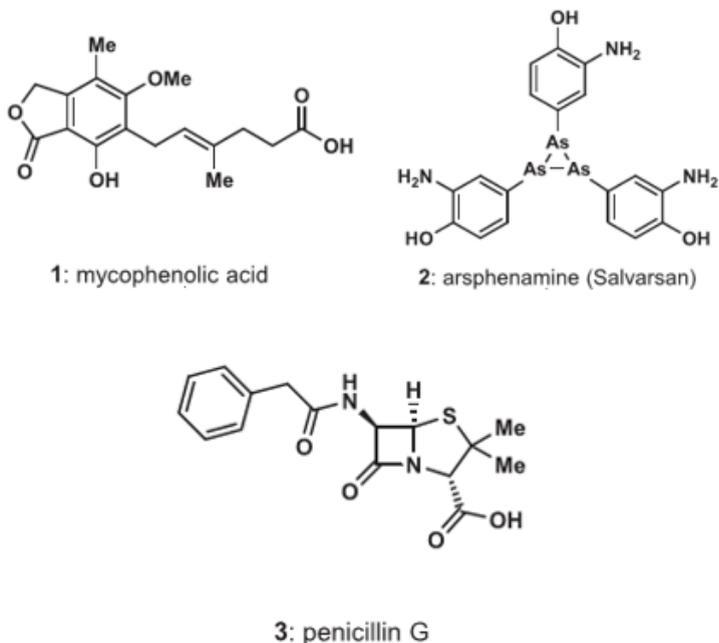
## **Definisi dan Sejarah Antibiotik**

Istilah 'antibiotik' berasal dari kata antibiose yang merupakan antonim untuk simbiosis oleh Paul Vuillemin dalam publikasinya tahun 1890 untuk menggambarkan tindakan antagonis antara mikroorganisme yang berbeda (misalnya, jamur vs bakteri; bakteri vs protozoa). Kemudian, kata antibiotik digunakan untuk menggambarkan metabolit sekunder yang terjadi secara alami yang diproduksi oleh bakteri dan jamur yang memiliki aktivitas penghambatan pertumbuhan (bakteriostatik) atau mematikan (bakterisida) terhadap bakteri atau jamur. Saat ini istilah tersebut memiliki arti yang lebih luas, dalam satu pengertian untuk mencakup molekul yang dirancang dan definisi yang lebih sempit, dengan istilah antibakteri atau antijamur, untuk menunjukkan tindakan spesifik mereka terhadap bakteri dan jamur (Nicolaou & Rigol, 2018).

Antibiotik pertama yang ditemukan dari alam adalah asam mikofenolat (1, Gambar 1). Dilaporkan oleh dokter dan mikrobiolog Italia Bartolomeo Gosio pada tahun 1893, antibiotik ini diisolasi dari *Penicillium glaucum* (*P. brevicompactum*) sebagai padatan kristal saat ia mempelajari pellagra. Pada saat itu ditunjukkan bahwa asam mikofenolat menghambat pertumbuhan *Bacillus anthracis*, dan kemudian juga memiliki sifat antivirus,

antijamur, antitumor dan anti-psoriasis. Asam mikofenolat ditemukan kembali pada tahun 1913 di Amerika Serikat. Namun, strukturnya tetap tidak diketahui sampai tahun 1952, sementara sintesis totalnya dicapai pada tahun 1969. Baru pada tahun 1995 2-(morpholin-4-yl)ethyl ester dari asam mikofenolat (obat awal) disetujui oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan AS. Pemberiannya, meskipun bukan sebagai obat antibakteri melainkan sebagai immunosupresan untuk mencegah penolakan transplantasi (melalui mekanisme yang melibatkan penghambatan biosintesis DNA) (Nicolaou & Rigol, 2018).

Dekade pertama abad ke-20 munculnya agen antibakteri buatan manusia pertama, arsphenamine (Salvarsan, 2, Gambar 1). Disintesis oleh ahli kimia Alfred Bertheim di laboratorium dan disetujui pada tahun 1910 sebagai obat. Salah satu penemuan paling berdampak dalam sejarah kedokteran: penisilin (3, Gambar 1). Alexander Fleming, seorang ahli bakteriologi di Rumah Sakit St Mary menemukan koloni *Staphylococcus aureus* terkontaminasi dengan jamur (*Penicillium notatum*, sekarang *P. chrysogenum*) dalam pola yang menarik. Dia menyadari bahwa di dekat jamur, Staphylococci mengalami lisis sementara koloni yang lebih jauh tampak normal dan tidak terpengaruh. Fleming kemudian menumbuhkan jamur tersebut sebagai kultur murni dan menggunakannya pada beberapa strain bakteri patogen dengan ekstraknya untuk melihat efek serupa seperti yang sebelumnya diamati pada Staphylococci, terutama untuk yang Gram-positif. Ia menyimpulkan bahwa jamur tersebut pasti telah mengeluarkan zat yang membunuh bakteri tersebut, dan menamainya penisilin pada bulan Maret 1929. Setelah serangkaian uji coba para dokter menyadari bahwa penisilin adalah obat yang kuat dengan khasiat yang baik. Beberapa pasien berhasil diobati dan pulih sepenuhnya. Karena kebutuhan, dan dimotivasi oleh pecahnya Perang Dunia Kedua, proyek penisilin kolaboratif Anglo-Amerika diluncurkan. Selanjutnya penelitian mengenai antibiotik semakin berkembang hingga saat ini, sejalan dengan semakin banyaknya penemuan mengenai antibiotik.



Gambar 8.1 Penemuan dan perkembangan antibiotik sebagai obat bersejarah. (Nicolaou & Rigol, 2018)

### Jenis-Jenis Antibiotik

Antibiotik secara umum diklasifikasikan ke dalam kelompok seperti: penisilin, sefalosporin, tetrasiklin, makrolida, aminoglikosida, dan fluorokuinolon, yang masing-masing menargetkan bakteri atau proses bakteri yang berbeda. Berikut adalah rincian dari jenis antibiotik umum (Barker, 1999 ; Courville, 2016):

1. Penisilin: Mekanisme: Menargetkan sintesis dinding sel bakteri. Contoh: Amoksisilin, Penisilin V, Flukloksasilin. Kegunaan: Mengobati berbagai macam infeksi, termasuk infeksi kulit, dada, dan saluran kemih.
2. Sefalosporin: Mekanisme: Juga menargetkan sintesis dinding sel bakteri, mirip dengan penisilin. Contoh: Sefalekssin, Cefaclor. Kegunaan: Mengobati berbagai infeksi, termasuk beberapa infeksi serius seperti meningitis dan sepsis.

3. Tetrasiklin: Mekanisme: Menghambat sintesis protein bakteri. Contoh: Doksisisiklin, Minosiklin. Kegunaan: Umumnya digunakan untuk jerawat dan rosacea, tetapi juga mengobati infeksi lainnya.
4. Makrolida: Mekanisme: Menghambat sintesis protein bakteri. Contoh: Azitromisin, Eritromisin, Klaritromisin. Kegunaan: Digunakan untuk mengobati infeksi paru-paru dan dada, dan sebagai alternatif penisilin.
5. Aminoglikosida: Mekanisme: Menghambat sintesis protein bakteri. Contoh: Gentamisin, Tobramisin. Kegunaan: Sering digunakan di rumah sakit untuk mengobati penyakit serius, seperti sepsis.
6. Fluorokuinolon: Mekanisme: Menghambat sintesis DNA bakteri. Contoh: Siprofloksasin, Levofloksasin. Kegunaan: Digunakan untuk mengobati berbagai macam infeksi.
7. Kelas Antibiotik Lainnya: Sulfonamida: Menghambat sintesis asam folat bakteri. Glikopeptida: Menargetkan sintesis dinding sel bakteri. Karbapenem: Antibiotik spektrum luas yang digunakan untuk infeksi serius. Monobactam: Menargetkan sintesis dinding sel dengan cara yang unik

### **Mekanisme Kerja Antibiotik**

Antibiotik bekerja dengan cara membunuh bakteri (bakterisidal) atau menghambat pertumbuhannya (bakteriostatik). Mekanisme kerja antibiotik dapat dikategorikan berdasarkan target utama yang diserang dalam sel bakteri. Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang mekanisme kerja antibiotic (Halawa et al., 2023):

#### **1. Menghambat sintesis dinding sel bakteri**

Bakteri memiliki dinding sel yang tersusun dari peptidoglikan, yang berfungsi sebagai pelindung utama dan menjaga bentuk sel. Antibiotik yang bekerja dengan mekanisme ini menghambat pembentukan peptidoglikan, sehingga dinding sel menjadi lemah dan bakteri tidak mampu bertahan hidup. Contoh antibiotik dan cara kerjanya:

- a.  $\beta$ -Laktam (Penisilin, Sefalosporin, Karbapenem, Monobaktam)

Menghambat enzim transpeptidase (penicillin-binding proteins/PBPs) yang bertanggung jawab dalam pembentukan ikatan silang peptidoglikan. Akibatnya, dinding sel bakteri menjadi rapuh dan mudah pecah, terutama selama proses pembelahan sel.

- b. Vancomycin

Mengikat langsung ke bagian terminal D-Ala-D-Ala dari peptidoglikan yang sedang disintesis, sehingga mencegah pembentukan dinding sel.

Efektivitas: Sangat efektif terhadap bakteri Gram-positif (misalnya *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pneumoniae*), karena memiliki lapisan peptidoglikan yang tebal. Kurang efektif terhadap bakteri Gram-negatif, karena mereka memiliki membran luar yang melindungi peptidoglikan dari aksi antibiotik.

## 2. Mengganggu sintesis protein bakteri

Sintesis protein merupakan proses vital yang dilakukan oleh ribosom untuk menghasilkan enzim dan protein struktural dalam sel bakteri. Antibiotik dalam kelompok ini bekerja dengan cara mengikat subunit ribosom 30S atau 50S, sehingga mengganggu proses translasi protein. Contoh antibiotik dan cara Kerjanya:

- a. Tetrasiklin (Doksisiklin, Minosiklin)

Mengikat subunit 30S ribosom dan mencegah tRNA masuk ke situs A ribosom, sehingga menghentikan perpanjangan rantai protein.

- b. Aminoglikosida (Gentamisin, Streptomisin, Tobramisin)

Mengikat subunit 30S ribosom, menyebabkan kesalahan dalam pembacaan mRNA sehingga protein yang dihasilkan menjadi salah dan tidak berfungsi.

- c. Makrolida (Eritromisin, Azitromisin, Klaritromisin)  
Mengikat subunit 50S ribosom, menghambat perpindahan ribosom di sepanjang mRNA, sehingga proses translasi terhenti.
- d. Kloramfenikol  
Menghambat aktivitas peptidil transferase pada subunit 50S ribosom, sehingga asam amino tidak dapat terhubung untuk membentuk rantai protein.

Efektivitas: Efektif terhadap berbagai jenis bakteri, baik Gram-positif maupun Gram-negatif. Beberapa antibiotik ini, seperti aminoglikosida, lebih efektif terhadap bakteri aerobik karena membutuhkan transport aktif yang bergantung pada oksigen.

### 3. Menghambat sintesis asam nukleat (DNA & RNA)

Asam nukleat seperti DNA dan RNA sangat penting untuk replikasi dan ekspresi gen bakteri. Antibiotik dalam kategori ini mengganggu proses replikasi DNA atau transkripsi RNA, sehingga bakteri tidak dapat berkembang biak. Contoh antibiotik dan cara kerjanya:

- a. Fluoroquinolon (Ciprofloxacin, Levofloxacin, Moxifloxacin)

Menghambat enzim DNA gyrase dan topoisomerase IV, yang diperlukan untuk membuka dan menggulung kembali DNA saat proses replikasi berlangsung.

- b. Rifampisin

Menghambat enzim RNA polimerase, sehingga mencegah sintesis mRNA yang diperlukan untuk produksi protein.

Efektivitas: Fluoroquinolon efektif terhadap bakteri aerobik Gram-negatif dan beberapa Gram-positif. Rifampisin digunakan terutama untuk *Mycobacterium tuberculosis* (penyebab TBC), karena efektif menghambat RNA polimerase spesifik bakteri.

#### 4. Menghambat metabolisme bakteri

Bakteri membutuhkan berbagai jalur metabolisme untuk bertahan hidup, seperti sintesis asam folat yang esensial untuk produksi DNA dan RNA. Antibiotik dalam kelompok ini menghambat enzim yang berperan dalam jalur metabolisme tersebut. Contoh antibiotik dan cara kerjanya:

##### a. Sulfonamida (Sulfametoksazol)

Menghambat enzim dihidropteroat sintetase, yang berperan dalam sintesis asam folat.

##### b. Trimetoprim

Menghambat enzim dihidrofolat reduktase, yang mengubah dihidrofolat menjadi bentuk aktifnya, tetrahidrofolat.

Efektivitas: Kombinasi sulfametoksazol + trimetoprim (Cotrimoxazole) digunakan untuk infeksi bakteri Gram-positif dan Gram-negatif, seperti *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*.

#### 5. Merusak membran sel bakteri

Membran sel merupakan lapisan penting yang mengatur masuk dan keluarnya zat dalam bakteri. Antibiotik dalam kategori ini menyebabkan kerusakan langsung pada membran sel, sehingga mengakibatkan kebocoran isi sel dan kematian bakteri. Contoh antibiotik dan cara kerjanya:

Polimiksin B & Kolistin (Polimiksin E), berinteraksi dengan lipopolisakarida (LPS) pada membran luar bakteri Gram-negatif, menyebabkan peningkatan permeabilitas dan kebocoran ion yang berujung pada kematian sel.

Efektivitas: Efektif terhadap bakteri Gram-negatif, terutama yang resisten terhadap antibiotik lain, seperti *Pseudomonas aeruginosa* dan *Acinetobacter baumannii*. Polimiksin bersifat toksik bagi ginjal dan sistem saraf, sehingga penggunaannya dibatasi untuk infeksi serius yang sulit diobati.

Pemilihan antibiotik harus berdasarkan jenis bakteri penyebab infeksi, spektrum aktivitas antibiotik, serta kemungkinan efek samping dan resistensi bakteri. Oleh karena itu, penggunaan antibiotik harus sesuai dengan rekomendasi dokter agar efektif dan mengurangi risiko resistensi.

### **Resistensi Antibiotik**

Resistensi antibiotik terjadi ketika bakteri berevolusi untuk menghindari efek antibiotik melalui berbagai mekanisme yang berbeda. Penyebaran gen resistensi antibiotik merupakan masalah ekologi dan kesehatan masyarakat. Bakteri tertentu mampu menetralkan antibiotik dengan mengubah komponennya sehingga tidak efektif. Bakteri lain mungkin dapat mengeluarkan antibiotik dari bakteri, dan beberapa dapat memodifikasi struktur luar dan reseptornya sehingga antibiotik tidak dapat menempel padanya. Mekanisme ini dapat menyebabkan beberapa bakteri bertahan hidup saat menggunakan antibiotik tertentu dan mengembangkan resistensi yang dapat ditularkan ke bakteri lain saat mereka berkembang biak. Bakteri juga dapat menjadi resistan melalui mutasi materi genetiknya.

Mekanisme resistensi antibiotik umumnya dikategorikan ke dalam empat kelompok berikut (Barker, 1999):

1. Resistensi Intrinsik: Bakteri dapat bertahan hidup terhadap antibiotik karena resistensi intrinsik melalui evolusi dengan mengubah struktur atau komponennya. Misalnya, antibiotik yang memengaruhi mekanisme pembentukan dinding bakteri, seperti penisilin, tidak dapat memengaruhi bakteri yang tidak memiliki dinding sel.
2. Resistensi yang Diperoleh: Bakteri dapat memperoleh kemampuan untuk melawan aktivitas agen antimikroba tertentu yang sebelumnya rentan terhadapnya. Bakteri dapat memperoleh resistensi melalui mutasi genetik baru yang membantu bakteri bertahan hidup atau dengan mendapatkan DNA dari bakteri yang sudah resistan. Contohnya adalah resistensi *Mycobacterium tuberculosis* terhadap rifamisin.

3. Perubahan Genetik: DNA bakteri dapat berubah dan mengubah produksi protein, yang menyebabkan berbagai komponen dan reseptor bakteri yang membuat bakteri tidak dikenali oleh antibiotik. Bakteri yang berbagi lingkungan mungkin memiliki determinan genetik resistensi intrinsik yang akan mengubah genomik bakteri. Contohnya adalah resistensi *Escherichia coli* (*E. coli*) dan *Haemophilus influenza* terhadap trimethoprim.
4. Transfer DNA: Bakteri dapat berbagi komponen genetik dengan bakteri lain dan mentransfer DNA yang resistan melalui transfer gen horizontal. Biasanya, bakteri memperoleh materi genetik eksternal melalui tiga tahap utama:
  - a. Transformasi (melalui penggabungan DNA telanjang)
  - b. Transduksi (melalui proses fagositosis)
  - c. Konjugasi (melalui kontak langsung).

Beberapa organisme resistan terhadap beberapa antibiotik. Misalnya, *E. coli* dan *Enterococcus* yang diisolasi yang dihambat oleh cefoxitin, ciprofloxacin, atau eritromisin biasanya resistan terhadap setidaknya satu antibiotik dan terkadang beberapa jenis antibiotik termasuk makrolida, tetrasiklin, beta-laktam, kuinolon, sulfonamida, tetrasiklin, dan rifamisin.

### **Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Resistensi Antibiotik**

Resistensi antibiotik terjadi ketika bakteri mengalami perubahan yang membuat mereka mampu bertahan terhadap efek antibiotik yang sebelumnya efektif membunuh atau menghambat pertumbuhannya. Akibatnya, infeksi yang disebabkan oleh bakteri tersebut menjadi lebih sulit diobati, memerlukan perawatan yang lebih lama, dan meningkatkan risiko komplikasi serta biaya medis. Berikut adalah faktor-faktor utama yang mempengaruhi terjadinya resistensi antibiotik (Harris et al., 2023; Ahmed et al., 2024):

1. Penggunaan antibiotik yang berlebihan dan tidak tepat

Penggunaan antibiotik yang tidak sesuai indikasi medis, seperti mengobati infeksi virus (misalnya flu) dengan antibiotik, atau tidak menyelesaikan regimen pengobatan yang diresepkan, dapat mendorong bakteri untuk mengembangkan resistensi. Setiap kali antibiotik digunakan secara tidak tepat, bakteri yang tidak terbunuh memiliki peluang untuk bermutasi dan menjadi kebal terhadap obat tersebut.

2. Penggunaan antibiotik dalam peternakan dan pertanian

Di sektor peternakan dan pertanian, antibiotik sering digunakan untuk mencegah penyakit dan meningkatkan pertumbuhan hewan. Praktik ini dapat menyebabkan bakteri di lingkungan tersebut menjadi resisten, yang kemudian dapat berpindah ke manusia melalui rantai makanan atau kontak langsung.

3. Mutasi genetik pada bakteri

Bakteri memiliki kemampuan untuk bermutasi secara alami, yang memungkinkan mereka untuk mengembangkan mekanisme pertahanan terhadap antibiotik. Mutasi ini dapat terjadi secara spontan atau sebagai respons terhadap tekanan selektif dari penggunaan antibiotik, sehingga menghasilkan strain bakteri yang lebih tahan terhadap pengobatan.

4. Transfer gen resistensi antar bakteri

Bakteri dapat saling bertukar materi genetik melalui proses seperti konjugasi, transduksi, atau transformasi. Melalui mekanisme ini, gen yang memberikan resistensi terhadap antibiotik dapat ditransfer dari satu bakteri ke bakteri lainnya, bahkan antar spesies yang berbeda, mempercepat penyebaran resistensi di populasi bakteri.

5. Kurangnya pengembangan antibiotik baru

Pengembangan antibiotik baru tidak sejalan dengan laju munculnya bakteri resisten. Hal ini menyebabkan keterbatasan pilihan pengobatan untuk infeksi yang disebabkan oleh bakteri yang telah mengembangkan resistensi terhadap antibiotik yang ada.

6. Praktik pengendalian infeksi yang tidak memadai

Di fasilitas kesehatan, kurangnya kontrol infeksi yang efektif dapat menyebabkan penyebaran bakteri resisten antar pasien. Praktik seperti kebersihan tangan yang buruk, sterilisasi alat medis yang tidak memadai, dan isolasi pasien yang tidak tepat dapat meningkatkan risiko transmisi bakteri resisten.

7. Kurangnya kesadaran dan pendidikan masyarakat

Kurangnya pemahaman masyarakat tentang penggunaan antibiotik yang tepat dan bahaya resistensi antibiotik dapat menyebabkan perilaku yang memperburuk masalah ini, seperti meminta antibiotik tanpa resep atau tidak mematuhi petunjuk penggunaan yang diberikan oleh tenaga medis.

### **Dampak Resistensi Antibiotik pada Kesehatan Masyarakat**

Resistensi antibiotik adalah masalah kesehatan global yang berdampak luas pada individu, masyarakat, dan sistem perawatan kesehatan. Berikut adalah dampak utama yang ditimbulkan oleh resistensi antibiotik (Mukherjee, 2023) :

1. Infeksi yang lebih sulit diobati

Resistensi antibiotik menyebabkan infeksi yang sebelumnya mudah diatasi menjadi lebih sulit ditangani. Bakteri yang resisten memerlukan pengobatan dengan antibiotik yang lebih kuat, yang mungkin memiliki efek samping lebih besar dan biaya lebih tinggi. Misalnya, pneumonia yang disebabkan oleh bakteri resisten memerlukan terapi yang lebih kompleks dan intensif.

## 2. Peningkatan angka morbiditas dan mortalitas

Infeksi oleh bakteri resisten dapat meningkatkan angka kesakitan (morbiditas) dan kematian (mortalitas). Pasien dengan infeksi seperti tuberkulosis resisten memerlukan pengobatan lebih lama dan memiliki risiko komplikasi yang lebih tinggi.

## 3. Peningkatan biaya perawatan kesehatan

Resistensi antibiotik menyebabkan pasien memerlukan perawatan lebih lama dan penggunaan obat yang lebih mahal, sehingga meningkatkan biaya medis. Hal ini juga membebani sistem kesehatan dengan kebutuhan sumber daya yang lebih besar.

## 4. Ancaman terhadap prosedur medis modern

Banyak prosedur medis, seperti operasi besar dan kemoterapi, bergantung pada efektivitas antibiotik untuk mencegah infeksi. Resistensi antibiotik meningkatkan risiko infeksi pasca-prosedur, yang dapat menghambat keberhasilan pengobatan dan pemulihan pasien.

## 5. Penyebaran bakteri resisten di komunitas

Bakteri yang resisten dapat menyebar dengan cepat di masyarakat, terutama di lingkungan dengan kontrol infeksi yang lemah. Ini meningkatkan risiko wabah infeksi yang sulit dikendalikan dan memerlukan intervensi kesehatan masyarakat yang lebih intensif.

## 6. Dampak ekonomi global

Selain meningkatkan biaya perawatan individu, resistensi antibiotik diperkirakan dapat menyebabkan kerugian ekonomi global yang signifikan. Tanpa tindakan pencegahan yang efektif, resistensi antibiotik dapat menurunkan produktivitas dan membebani sistem kesehatan di seluruh dunia.

## 7. Penurunan kualitas hidup

Pasien dengan infeksi yang sulit diobati akibat resistensi antibiotik sering mengalami penurunan kualitas hidup. Proses penyembuhan yang lebih lama dan kemungkinan komplikasi meningkatkan beban fisik dan psikologis bagi pasien dan keluarganya.

Untuk mengurangi dampak resistensi antibiotik, diperlukan langkah-langkah berikut sebagai upaya pencegahan dan pengendalian:

1. Penggunaan Antibiotik yang Bijak: Menggunakan antibiotik hanya dengan resep dokter dan sesuai indikasi medis.
2. Peningkatan Kesadaran Masyarakat: Edukasi tentang bahaya resistensi antibiotik dan pentingnya pencegahan infeksi melalui perilaku hidup bersih dan sehat.
3. Pengendalian Infeksi yang Ketat: Menerapkan standar kebersihan dan sterilisasi di fasilitas kesehatan untuk mencegah penyebaran bakteri resisten.
4. Penelitian dan Pengembangan Antibiotik Baru: Mendorong inovasi dalam pengembangan antibiotik dan alternatif pengobatan untuk mengatasi bakteri resisten.

Dengan langkah-langkah tersebut, diharapkan dampak resistensi antibiotik dapat diminimalkan, sehingga melindungi kesehatan masyarakat dan memastikan efektivitas pengobatan infeksi di masa depan.

## Daftar Pustaka

- Ahmed, S. K., Hussein, S., Qurbani, K., Ibrahim, R. H., Fareeq, A., Mahmood, K. A., & Mohamed, M. G. (2024). Antimicrobial resistance: Impacts, challenges, and future prospects. *Journal of Medicine, Surgery, and Public Health*, 2(January), 100081. <https://doi.org/10.1016/j.glmedi.2024.100081>
- Barker, K. F. (1999). Antibiotic resistance: A current perspective. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 48(2), 109–124. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2125.1999.00997.x>
- Courville, I. G. and Y. B. and A. (2016). Discovery of a structural class of antibiotics with explainable deep learning. In *Nature* (Vol. 29, Issue 7553). <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06887-8>.Discovery
- Halawa, E. M., Fadel, M., Al-Rabia, M. W., Behairy, A., Nouh, N. A., Abdo, M., Olga, R., Fericean, L., Atwa, A. M., El-Nablaway, M., & Abdeen, A. (2023). Antibiotic action and resistance: updated review of mechanisms, spread, influencing factors, and alternative approaches for combating resistance. *Frontiers in Pharmacology*, 14(January), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1305294>
- Harris, M., Fasolino, T., Ivankovic, D., Davis, N. J., & Brownlee, N. (2023). Genetic Factors That Contribute to Antibiotic Resistance through Intrinsic and Acquired Bacterial Genes in Urinary Tract Infections. *Microorganisms*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061407>
- Mukherjee K. (2023). Antimicrobial Resistance and its Impact on Public Health. *Int J Med Res Rev*. 2024;12(3):72-83. <https://doi.org/10.17511/ijmrr.2024.i03.02>
- Nicolaou, K. C., & Rigol, S. (2018). A brief history of antibiotics and select advances in their synthesis. *Journal of Antibiotics*, 71(2), 153–184. <https://doi.org/10.1038/ja.2017.62>

## Profil Penulis



### **Dr. Riri Novita Sunarti, M.Si**

Penulis merupakan Dosen tetap di Program studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Raden Fatah Palembang. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Biologi di Universitas Sriwijaya pada tahun 2003, dan melanjutkan pendidikan S2 Mikrobiologi di Institut Pertanian Bogor pada tahun 2009, dan memperoleh gelar Doktor Ilmu MIPA di Universitas Sriwijaya pada tahun 2024.

Penulis memiliki kepakaran dibidang Mikrobiologi dan Virologi. Dan untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis aktif sebagai peneliti dibidang kepakarannya tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga Kemenristek DIKTI. Penulis juga aktif menulis artikel di jurnal nasional dan internasional bereputasi, diantaranya: Diversity of Antibiotic-Resistant *Escherichia coli* from Rivers in Palembang City, South Sumatra, Indonesia. The effectiveness of bacteriophages in lysing antibiotic-resistant *Escherichia coli* from river in Palembang city. Exploration of bacteriophages from waters in Palembang, Indonesia as biocontrol of antibiotic-resistant *Escherichia coli*. Penulis juga aktif sebagai penulis buku dan *chapter book* mikrobiologi, diantaranya: Studi Pengembangan Bakteriofag Sebagai Agen Pembersih Tangan Yang Aman dan Ramah Lingkungan, Mikrobiologi dalam Riset, dan Mikroba Symbion.

Email Penulis: [ririnovitasunarti\\_uin@radenfatah.ac.id](mailto:ririnovitasunarti_uin@radenfatah.ac.id)



# MIKROBA DAN PENYAKIT

**Elzza Armellarica, S.Si., S.Pd.**  
MTsN 3 Kediri

## **Pendahuluan**

Mikroba atau mikroorganisme adalah makhluk hidup yang berukuran sangat kecil, sehingga membutuhkan mikroskop untuk dapat melihatnya. Mikroba tersebar di lingkungan sekitar kita (udara, tanah, air). Mikroba yang berada di sekitar kita bisa dibagi menjadi 2 (dua) jenis berdasarkan manfaatnya, yaitu mikroba yang bermanfaat dan mikroba yang merugikan.

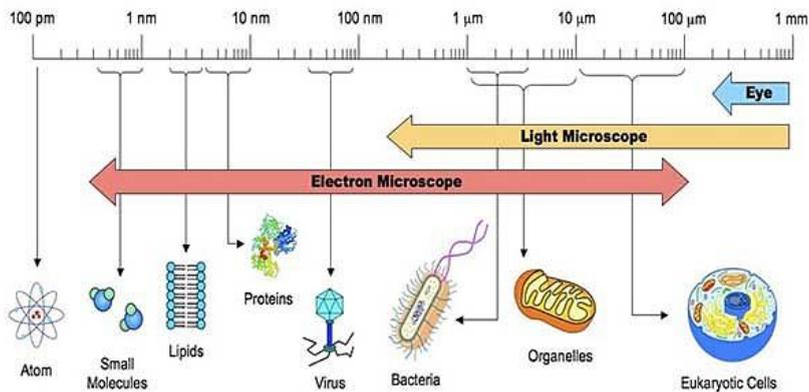
Mikroba yang merugikan dalam hal ini adalah mikroba yang bisa menyebabkan penyakit. Maka penyakit yang disebabkan oleh mikroba ini sangat bisa menyerang manusia, hewan maupun tumbuhan. Dalam bab ini akan dibahas mikroba dan penyakit yang menyerang manusia, hewan maupun tumbuhan.

Ilmu yang mempelajari tentang mikroba adalah mikrobiologi. Mikrobiologi merupakan suatu ilmu terkait mikroorganisme, kelompok besar dan beragam organisme mikroskopis yang hidup dalam bentuk kelompok sel ataupun sebagai sel tunggal, termasuk di dalamnya virus yang mikroskopis (Jawetz et al., 2012)

## **Ukuran Mikroba**

Mikroba merupakan organisme hidup yang berukuran sangat kecil (diameter kurang dari 0,1 mm) dan hanya dapat diamati dengan menggunakan mikroskop (Murwani, 2015). Mikroba ada yang tersusun atas satu sel (uniseluler) dan ada yang tersusun beberapa sel (multiseluler).

Besaran untuk mengukur mikroba yang paling umum digunakan adalah mikron ( $\mu$ ), bahkan pada beberapa jenis mungkin dengan mikro-mikron ataupun sampai angstrom (A). Andre4088 (2012) menyebutkan bahwa pengukuran terhadap mikroorganisme sekarang ini dilakukan lebih teliti lagi, karena sudah menggunakan mikroskop elektron yang ketepatannya lebih tinggi, sehingga ukuran dari bagian-bagian sel seperti flagela, pili, inti atau bagian-bagian lain yang lebih kecil akan dapat ditentukan dengan baik.



Gambar 9. 1. Ukuran Mikroorganisme  
<https://andre4088.blogspot.com/2012/02/ukuran-mikroorganisme.html>

### Klasifikasi Mikroba

Organisme yang termasuk ke dalam golongan mikroba adalah bakteri, *archaea*, *fungi*, *protozoa*, *alga* mikroskopis (mikroalga), dan virus. Virus, bakteri dan *archaea* termasuk ke dalam golongan prokariot, sedangkan *fungi*, *protozoa*, dan *alga* mikroskopis termasuk golongan eukariota (Padoli, 2016).

Klasifikasi mikroorganisme melibatkan pengelompokan mereka berdasarkan karakteristik morfologi, struktur sel, metabolisme, dan genetika. Sistem klasifikasi ini membantu memahami keragaman mikroba, termasuk bakteri, virus, dan fungi, untuk memudahkan identifikasi dan studi lebih lanjut mengenai mereka

(“Klasifikasi Mikroorganisme,” Umeds.id, <https://umeds.id/library-learning/concept-pages/klasifikasi-mikroorganisme>).

Mikroba diklasifikasikan berdasarkan sejumlah kriteria umum, diantaranya:

Kriteria Klasifikasi	Contoh Kelompok Mikroba
Struktur Seluler	Bakteri, Archaea, Protista, Fungi
Metabolisme	Autotrof, Heterotrof
Materi Genetik	Bakteri dan Archaea (DNA sirkular), Mikroorganisme Eukariotik (DNA linier)
Reproduksi	Reproduksi Aseksual (binary fission, tunas), Reproduksi Seksual (konjugasi)
Patogen vs. Non-Patogen	Mikroba Patogen, Mikroba Non-Patogen

Sumber Tabel: <https://umeds.id/library-learning/concept-pages/klasifikasi-mikroorganisme>

### **Mikroba Penyebab Penyakit pada Manusia**

Mikroba penyebab penyakit pada manusia adalah patogen, yaitu mikroorganisme yang dapat menyebabkan infeksi dan penyakit (Muna dan Khariri, 2020). Patogen dapat berupa bakteri, virus, jamur, atau parasit. Bakteri patogen yang umum meliputi *Streptococcus* (radang tenggorokan), *Staphylococcus* (infeksi staph), *Escherichia coli* (infeksi saluran kemih), dan *Clostridium difficile* (diare).

Mikroorganisme patogen adalah mikroorganisme (meliputi bakteri, virus, dan jamur) yang mampu menyebabkan penyakit infeksi. Mikroorganisme patogen dapat menyerang makhluk hidup lainnya karena memiliki spesifisitas atau tropisme (kemampuan untuk hidup dalam tubuh organisme lain). Keparahan infeksi

yang ditimbulkan dapat bervariasi, mulai dari penyakit ringan hingga kematian bergantung pada efek patogenik mikroorganisme, tingkat virulensi, faktor lingkungan dan sistem imun inang (Pinky Sarmah et al., 2018). Beberapa contoh mikroba patogen dan penyakit yang ditimbulkannya:

#### Bakteri:

1. *Streptococcus* (menyebabkan radang tenggorokan) (Sumarya dkk., 2019)
2. *Staphylococcus* (menyebabkan infeksi staph) (Erlin, dkk., 2020)
3. *Escherichia coli* (menyebabkan infeksi saluran kemih) (Widianingsih dan de Jesus, 2018)
4. *Clostridium difficile* (menyebabkan diare) (Kumala, 2004)
5. *Mycobacterium tuberculosis* (menyebabkan tuberkulosis) (Sari dkk., 2023)
6. *Salmonella typhi* (menyebabkan demam tifoid) (Sari dkk., 2023)
7. *Shigella* (menyebabkan disentri) (Chrismayanti dkk., 2021)
8. *Bacillus anthracis* (menyebabkan antraks) (Hidayatullah dkk., 2023)
9. *Neisseria gonorrhoeae* (menyebabkan gonore) (Islami dkk., 2025)
10. *Clostridium tetani* (menyebabkan tetanus) (Rachmatullah dkk., 2024)

#### Virus:

1. Influenza virus (menyebabkan flu) (Mohd dan Alias, 2024)
2. COVID-19 virus (menyebabkan COVID-19) (Handayani dkk., 2020)
3. Hepatitis B dan C virus (menyebabkan hepatitis B dan C) (Yulia, 2020)

4. HIV (menyebabkan HIV/AIDS) (Agustina dkk., 2024)
5. Rabies virus (menyebabkan rabies) (Tanzil, 2014)

Jamur:

1. *Candida* (menyebabkan infeksi jamur pada kulit, mulut, atau vagina) (Anggraini, 2017)
2. *Aspergillus* (menyebabkan infeksi paru-paru pada orang dengan sistem kekebalan tubuh lemah) (Azahra dkk., 2024)

Protozoa:

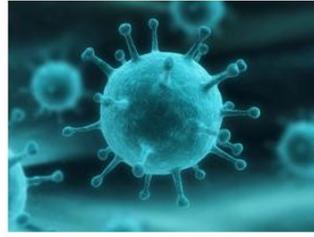
1. *Plasmodium* (menyebabkan malaria) (Wulandari, 2021)
2. *Giardia lamblia* (menyebabkan giardiasis) (Harun dkk, 2019)
3. *Toxoplasma gondii* (menyebabkan toxoplasmosis) (Arniamantha, 2022)

Penyebaran patogen dapat melalui kontak langsung dengan penderita, melalui makanan atau minuman yang terkontaminasi, atau melalui udara (contohnya batuk atau bersin) (Massa dkk., 2023). Pencegahan infeksi dapat dilakukan melalui:

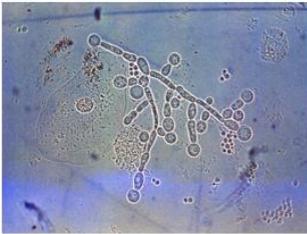
1. Memperbaiki kebersihan pribadi dan lingkungan
2. Mencuci tangan dengan sabun dan air atau menggunakan hand sanitizer
3. Mengonsumsi makanan yang bersih dan matang
4. Menjaga jarak fisik dengan orang yang sakit
5. Melakukan vaksinasi sesuai dengan rekomendasi



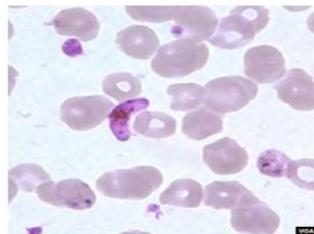
*Escherichia coli*



Influenza virus



*Candida*



*Plasmodium*

## **Mikroba Penyebab Penyakit pada Hewan**

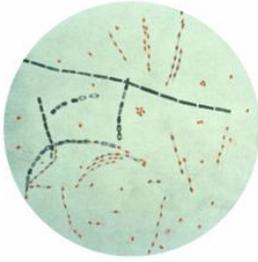
Penyakit pada hewan dapat disebabkan oleh berbagai jenis mikroba, termasuk bakteri, virus, jamur, protozoa, dan prion. Bakteri patogen yang utama pada hewan meliputi *Arcobacter*, *Bartonella*, *Brucella*, *Campylobacter*, dan *Salmonella* (Muna dan Khariri, 2020). Virus seperti rabies juga merupakan penyebab penyakit hewan yang berbahaya. Jamur seperti *Microsporum*, *Epidermophyton*, dan *Trichophyton* dapat menyebabkan kurap (Migliozzi, 2022). Berikut adalah penjelasan lebih detail tentang beberapa mikroba penyebab penyakit pada hewan:

### 1. Bakteri:

- a. *Bacillus anthracis*: Penyebab antraks, penyakit menular yang serius pada hewan herbivora seperti sapi, kambing, dan domba. (Muwarni dkk., 2017)
- b. *Pasteurella multocida*: Penyebab pneumonia dan penyakit ngorok pada domba, kambing, sapi, dan kerbau. (Lenda dkk., 2018)

- c. *Salmonella*: Penyebab penyakit diare pada berbagai jenis hewan. (Poeloengan dkk., 2014)
  - d. *Brucella*: Penyebab penyakit brucellosis pada hewan ternak, terutama sapi dan babi. (Winarsih, 2018)
2. Virus:
- Rabies*: Virus yang menyebabkan penyakit rabies, penyakit menular yang mematikan dan menyerang sistem saraf. (Tanzil, 2014)
3. Jamur:
- Microsporum*, *Epidermophyton*, *Trichophyton*: Penyebab kurap (ringworm) pada anjing, kucing, dan sapi. (Nadira dkk., 2023)
4. Protozoa:
- Babesia*: Penyebab babesiosis (penyakit babesial) pada ternak ruminansia. (Wardana dkk., 2022)
5. Prion:
- Protein yang menyebabkan penyakit otak dan kerusakan jaringan pada hewan. (Sani, 2007)

Selain mikroba-mikroba di atas, ada juga berbagai jenis parasit seperti cacing, protozoa, dan ektoparasit yang dapat menyebabkan penyakit pada hewan. Penyakit zoonosis, yaitu penyakit yang dapat ditularkan dari hewan ke manusia, juga disebabkan oleh berbagai jenis mikroorganisme



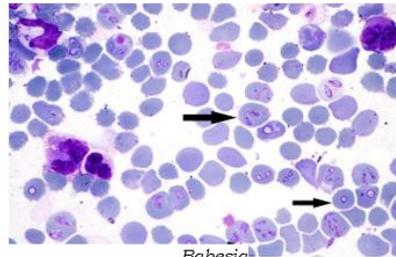
*Bacillus anthracis*



Rabies



*Microsporium*



*Babesia*

## **Mikroba Penyebab Penyakit pada Tumbuhan**

Mikroba penyebab penyakit pada tumbuhan mencakup jamur, bakteri, virus, dan nematoda. Jamur seperti *Fusarium oxysporum* dapat menyebabkan layu pada tanaman, sementara bakteri seperti *Pseudomonas solanacearum* juga dapat menyebabkan layu. Virus seperti *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* (TYLCV) menyebabkan keriting dan kekuningan pada daun tomat. Nematoda seperti *Meloidogyne sp.* dapat menyerang akar tanaman dan menyebabkan kerusakan parah. Berikut penjelasan lebih rinci:

1. Jamur: Jamur adalah kelompok mikroorganisme yang dapat menyebabkan berbagai penyakit pada tumbuhan. Contohnya, jamur *Fusarium oxysporum* dapat menyebabkan penyakit layu. (Aprilia dan Aini, 2022)
2. Bakteri: Bakteri juga dapat menyebabkan penyakit pada tanaman. Contohnya, bakteri *Pseudomonas solanacearum* dapat menyebabkan layu pada

tanaman, sedangkan bakteri *Xanthomonas campestris* dapat menyebabkan noda daun. (Melliawati dan Purnomo, 2018)

3. Virus: Virus adalah agen infeksius yang dapat menyebabkan penyakit pada tumbuhan. Contohnya, *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* (TYLCV) menyebabkan keriting dan kekuningan pada daun tomat. (Somowiryarjo, 2021)
4. Nematoda: Nematoda adalah kelompok cacing kecil yang dapat menyerang akar tanaman dan menyebabkan kerusakan. Contohnya, *Meloidogyne sp.* dapat menyebabkan kerusakan pada akar tanaman dan menyebabkan tanaman puso. (Durahman dkk., 2014)

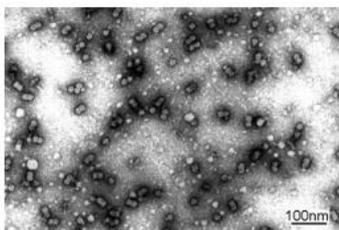
Penyakit tanaman yang disebabkan oleh mikroba dapat menyebabkan berbagai gejala, seperti layu, noda daun, keriting, kekuningan, busuk, dan lain-lain. Penanganan penyakit tanaman yang disebabkan oleh mikroba meliputi penggunaan pupuk organik, penggunaan fungisida, pestisida, dan pengendalian biologis.



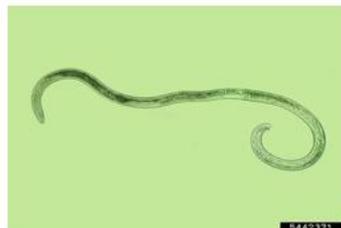
*Fusarium oxysporum*



*Pseudomonas solanacearum*



*Tomato Yellow Leaf Curl Virus*



*Meloidogyne sp.*

## Daftar Pustaka

- Agustina, W., Oktafirnanda, Y. And Situmorang, R.K., 2024. Edukasi Dalam Upaya Meningkatkan Pengetahuan Mengenai Pencegahan Human Immunodeficiency Virus (Hiv)/Acquired Immunodeficiency Syndrome (Aids): Edukasi Dalam Upaya Meningkatkan Pengetahuan Mengenai Pencegahan Human Immunodeficiency Virus (Hiv)/Acquired Immunodeficiency Syndrome (Aids). *Servis: Jurnal Pengabdian Dan Layanan Kepada Masyarakat*, 2(2), Pp.88-92.
- Andre4088. (2012, Februari). Ukuran Mikroorganisme. Indonesian Biological Heritage, <https://andre4088.blogspot.com/2012/02/ukuran-mikroorganisme.html>
- Anggraini, A. M. (2017). *Uji Efektivitas Ekstrak Daun Rambutan (Nephelium Lappaceum L) Terhadap Pertumbuhan Candida albicans* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Semarang).
- Aprilia, A. D., & Aini, L. Q. (2022). Pengujian konsorsium bakteri antagonis untuk mengendalikan penyakit layu fusarium pada tanaman bawang merah (*Allium ascalonicum* L.) di Kecamatan Dampit, Kabupaten Malang. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan*, 10(1), 29-38.
- Arniamantha, D. (2022). Skizofrenia dan Toksoplasmosis. *Jurnal Medika Utama*, 3(03 April), 2585-2591.
- Azahra, S., Prihandono, D. S., & Sari, K. A. (2024). Profil Aspergillus Sp pada Sputum Lansia di Panti Lansia Kota Samarinda Tahun 2023. *Jurnal Analis Laboratorium Medik*, 9(1), 61-68.
- Chrismasyanti, N. K. S. D., Suastini, K. D., Cawis, N. L. S. A., & Dewi, N. W. S. (2021). Pengaruh Ekstrak Jahe Merah (*Zingiber Officinale*.) Terhadap Pertumbuhan Bakteri Shigella Dysentriae. *Hang Tuah Medical Journal*, 18(2), 136-145.

- Durahman, D., Tarno, H., & Rahardjo, B. T. (2014). Eksplorasi nematoda parasit tumbuhan pada tanaman nilam (*Pogostemon cablin* Benth) di kecamatan kesamben kabupaten Blitar. *Jurnal HPT*, 2(4), 1-10.
- Erlin, E., Rahmat, A., Redjeki, S., & Purwianingsih, W. (2020). Deteksi Methicilin Resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) Sebagai Penyebab Infeksi Nosokomial Pada Alat-Alat di Ruang Perawatan Bedah.
- Handayani, D., Hadi, D. R., Isbaniah, F., Burhan, E., & Agustin, H. (2020). Corona virus disease 2019. *Jurnal Respirologi Indonesia*, 40(2), 119-129.
- Harun, H., Sennang, N., & Rusli, B. (2019). Giardiasis. *Healthy Tadulako Journal (Jurnal Kesehatan Tadulako)*, 5(3), 4-12.
- Hidayatullah, A. S., Purnomo, S., Abdurrahman, M. A., Lestari, S. W., & Pratiwi, A. N. (2023). Dampak Bakteri Antraks Terhadap Manusia dan Hewan Studi Masyarakat Gunung Kidul. *Buletin Pengabdian Multidisiplin*, 1(2), 82-92.
- Imara, F. (2020, August). *Salmonella typhi* bakteri penyebab demam tifoid. In *Prosiding Seminar Nasional Biologi* (Vol. 6, No. 1, pp. 1-5).
- Islami, A. R. D., Ophelya, S., Syajidah, K. A., Maulana, M., & Himayani, R. (2025). Alternasi Antibiotik: Metode Kuratifalternatif Antibiotik Penyakit Ophthalmia Neonatorum Akibat Infeksi Bakteri *Neisseria Gonorrhoeae*. *Integrative Perspectives Of Social And Science Journal*, 2(02 April), 1917-1923.
- Jawetz, Melnick, & Adelberg. (2012). *Mikrobiologi Kedokteran* (25th ed.). EGC.
- Kumala, W. (2004). *Clostridium difficile*: penyebab diare dan kolitis pseudomembranosa, akibat konsumsi antibiotika yang irasional. *Jurnal Kedokteran Trisakti*, 23(1), 34-38.
- Lenda, V., Amalo, F. A., & Selan, Y. N. (2018). Karakteristik *Pasteurella multocida* Penyebab

- Pasteurellosis pada Babi di Kota Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Kajian Veteriner*, 6(2), 45-57.
- Massa, K., Sasmito, P., Nurhayati, C., Rahmawati, E.Q., Nugraheni, W.T., Juwariyah, S., Arini, D., Mulvi, K., Kastella, F., Suluh, D.G. and Waangsir, F.W., 2023. *Buku ajar pencegahan dan pengendalian infeksi*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Melliawati, R., & Purnomo, J. (2018). Aplikasi Senyawa Aktif Bakteri Endofit Potensial dan Pupuk Terhadap Penyakit Layu Daun, Busuk Buah Pada Tanaman Tomat. *Jurnal Pertanian Terpadu*, 6(2), 1-14.
- Migliozzi, J. G. (2022). 3 Inflamasi, respons imun, dan penyembuhan. *Dasar-Dasar Patofisiologi Terapan Edisi Kedua: Pandung Penting untuk Mahasiswa Keperawatan dan Kesehatan*.
- Mohd Yusoff, S. N. H., & Alias, N. (2024). Penyakit influenza. *Epitome of Nature (EON)*.
- Muna, F., & Khariri, K. (2020, August). Bakteri patogen penyebab foodborne disease. In *Prosiding Seminar Nasional Biologi* (Vol. 6, No. 1, pp. 74-79).
- Murwani, S. (2015). *Dasar-dasar Mikrobiologi veteriner*. Universitas Brawijaya Press.
- Murwani, S., Qosimah, D., & Amri, I. A. (2017). *Penyakit bakterial pada ternak hewan besar dan unggas*. Universitas Brawijaya Press.
- Nadira, L. A., Widyastuti, S. K., & Soma, I. G. (2023). DERMATOPHYTOSIS CAUSED BY TRICHOPHYTON SPP. IN A LOCAL KITTEN. *Veterinary Science and Medicine Journal*, 271-280.
- NN, "Klasifikasi Mikroorganisme," Umeds.id, <https://umeds.id/library-learning/concept-pages/klasifikasi-mikroorganisme>
- Padoli. 2016. Mikrobiologi dan Parasitologi Keperawatan. Modul Bahan Ajar Cetak Keperawatan. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan Badan

Pengembangan dan Pemberdayaan Sumber Daya Manusia Kesehatan.

- Pinky Sarmah, Meria M Dan, Dattatreya Adapa, & Sarangi TK. (2018). A Review on Common Pathogenic Microorganisms and Their Impact on Human Health. *Electronic Journal of Biology*, 14(1), 50-58.
- Poeloengan, M. A. S. N. I. A. R. I., Komala, I. Y. E. P., & Noor, S. M. (2014). Bahaya Salmonella terhadap kesehatan. *Prosiding Lokakarya Nasional Penyakit Zoonosis*, p216-224.
- Rachmatullah, F., Mulyono, E., & Danarko, I. (2024). Tetanus Generalisata. *Jurnal Ners*, 8(1), 475-483.
- Sani, Y. (2007). Neuropathology of organophosphate poisoning in dairy cattle. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*, 12(1), 74-85.
- Sari, S. A. P., Astuti, D., & Widyastuti, R. (2023). Identifikasi Faktor Risiko Terhadap Terjadinya Penyakit Tuberculosis. *CoMPHI Journal: Community Medicine and Public Health of Indonesia Journal*, 4(2).
- Somowiyarjo, S. (2021). *Gatra gulma dalam perlindungan tanaman tropika*. UGM PRESS.
- Sumarya, I. M., Suarda, I. W., & Sudaryati, N. L. G. (2019). Aktivitas Antibakteri Loloh (Obat Tradisional Bali) Air Perasan dan Air Rebusan Daun Sirih terhadap Bakteri *Streptococcus pyogenes* Penyebab Radang Tenggorokan. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 22(5), 173-178.
- Tanzil, K. (2014). Penyakit rabies dan penatalaksanaannya. *E-journal WIDYA Kesehatan dan Lingkungan*, 1(1), 36792.
- Wardana, R. R. A. A., Widyastuti, S. K., & Antara, M. S. (2022). Babesiosis and Ehrlichiosis in 11 years old domestic dog with *Rhipicephalus sanguineus* tick infection.
- Widianingsih, M., & de Jesus, A. M. (2018). Isolasi *Escherichia coli* dari urine pasien infeksi saluran

- kemih di Rumah Sakit Bhayangkara Kediri. *Al-Kaunyah; Journal of Biology*, 11(2), 99-108.
- Winarsih, W. H. (2018). Penyakit ternak yang perlu diwaspadai terkait keamanan pangan. *Cakrawala*, 12(2), 208-221.
- Wulandari, D. A. (2021). Peran Nanopartikel Dalam Menghambat Pertumbuhan Parasit Plasmodium Penyebab Malaria. *Jurnal Bioteknologi Dan Biosains Indonesia*, 8(1), 124-136.
- Yulia, D. (2020). Virus Hepatitis B Ditinjau dari Aspek Laboratorium. *Jurnal Kesehatan Andalas*, 8(4).

## Profil Penulis



**Elzza Armellariea, S.Si., S.Pd.**

Ketertarikan penulis terhadap ilmu Biologi dimulai pada tahun 2002 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk ke Universitas Negeri Malang (UM) Jurusan Biologi Murni (Non Pendidikan). Penulis kemudian melanjutkan pendidikannya masih tetap di Universitas Negeri Malang program double degree jurusan Pendidikan Biologi dan berhasil menyelesaikan studi S1 di Jurusan Biologi murni dan Pendidikan Biologi Universitas Negeri Malang pada tahun 2008. Di tahun yang sama penulis langsung mengabdikan ilmunya di SMP PGRI Papar sampai tahun 2014.

Pada tahun 2010 – sekarang penulis bekerja sebagai guru di MTsN 3 Kediri mengajar bidang studi IPA. Pada tahun 2024 penulis tergabung sebagai tim inti nasional pendampingan tindak lanjut hasil Asesmen Kompetensi Madrasah Indonesia (AKMI) 2024. Beberapa daerah di Jawa Timur sudah dikunjungi untuk memonitoring dan mengevaluasi hasil AKMI tahun 2024.

Artikel mikroba dan penyakit ini adalah tulisan pertama penulis, semoga dengan diawalinya menulis artikel ini akan ada tulisan-tulisan lain yang lebih bermanfaat lagi untuk pembaca.

Email Penulis: [elzza.armellariea@gmail.com](mailto:elzza.armellariea@gmail.com)



## MIKROBIOLOGI KLINIK DAN PERANNYA DALAM PENANGANAN PENYAKIT INFEKSI

**Dr. Ra. Hoetary Tirta Amallia, M.Kes.**

### **Pendahuluan**

Mikrobiologi Klinik merupakan bagian dari cabang Ilmu Kedokteran Medik pada kompetensi di bidang Kedokteran Umum dan Mikrobiologi. Mikrobiologi Klinik merupakan kajian bidang ilmu mikrobiologi yang fokus pada mikrobiologi yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia dan mengkaji cara penularan, pencegahan dan pengobatannya. Sehingga ketika dunia kedokteran ataupun laboratorium medis dapat melakukan identifikasi dan karakteristik mikroorganisme dengan penyebab infeksi dapat menjadi dasar bagi dokter untuk mendiagnosa penyakit dan terapi pengobatan yang tepat bagi pasien yang menderita penyakit infeksi.

### **Sejarah dan Perkembangan Mikrobiologi Klinik**

Perkembangan Ilmu Mikrobiologi Klinik telah dimulai sejak abad ke 19 dimana pada wal abad tersebut pemahaman tentang penyakit infeksi masih sangat minim bahkan masih banyak yang mengkaitkan dengan kekuatan supranatural. Namun dengan ditemukannya teori kuman penyakit oleh Louis Pasteur (1822-1895) ilmuwan asal Prancis merupakan awal dari perkembangan Ilmu Mikrobiologi Klinik (Currier 2022). Louis Pasteur mengungkapkan melalui eksperimen dengan kaldu yang disimpan di erlenymayer dan model

leher angsa mengungkapkan bahwa mikroorganisme bertmemiliki peran yang sangat besar dalam proses fermentasi, pembusukan, dan penyakit(Kyazim, Stoeva, and Georgieva 2022)(Brogren 2024). Pasteur juga yang menemukan vaksin antraks dan rabies dan hal ini membenarkan adanya potensi praktis mikrobiologi yang sangat besar dalam pencegahan penyakit (Jambholkar, Choudhari, and Sharma 2024)(Cavaillon 2022)(Maslehat and Mostafavi 2018).

Selanjutnya pada tahun 1843-1910 seorang dokter mikrobiologi yang berasal dari Jerman bernama Robert Koch mengemukakan adanya hubungan kausal antara mikroorganisme tertentu dan penyakit tertentu. Robert Koch dengan teori menemukan dan mengidentifikasi beberapa mikrobiologi sebagai penyebab penyakit infeksi termasuk di dalamnya antraks, tuberkulosis, dan kolera (Salunkhe and Mane 2024). Koch juga merupakan orang pertama yang menemukan teknik pewarnaan bakteri dan metode kultur murni yang saat ini menjadi dasar untuk mengidentifikasi di laboratorium (C. Chen et al. 2019)(Scott et al. 2020). Dan akhirnya pada tahun 1928 Alexander Fleming menemukan sifat antibakteri penisilin dari jamur *Penicillium notatum* yang menjadi antibiotik pertama dan merupakan sejarah terbesar pada bidang Mikrobiologi Klinik (Chhabra, Taksande, and Munjewar 2024)(Lalchandama 2021).

### **Mikroorganisme Patogen dan Dampaknya terhadap Kesehatan Manusia**

Mikroorganisme adalah makhluk hidup mikroskopis yang ada di sekitar manusia. Mikroorganisme tersebut dapat berupa bakteri, virus, jamur, protozoa, dan lainnya. Ada juga beberapa mikroorganisme yang menguntungkan bagi manusia sedangkan mikroorganisme yang bersifat patogen dapat menginfeksi manusia dan menimbulkan penyakit(Blauwkamp et al. 2019).

Patogen dapat diartikan sebagai penyerang yang menyerang organisme inang. Patogen juga menunjukkan berbagai jenis spesifisitas atau tropisme. Tubuh manusia

adalah inang yang sangat baik untuk berbagai macam mikroorganisme patogen karena tubuh manusia cukup nutrisi, hangat, dan lembap. Suhu tubuh manusia juga suhu yang sangat baik bagi pertumbuhan mikroorganisme patogen bertahan hidup dan memperbanyak diri (Sarmah et al. 2018)(Libertucci 2018)(Proença, Grass, and Morais 2017).

Jenis-jenis Mikroorganisme patogen yang dapat menyerang atau menginfeksi tubuh manusia dapat berupa bakteri, virus, parasit atau jamur dan dapat menular karena ada beberapa yang memiliki gejala awal dan tidak memiliki gejala awal. Penyakit menular seperti human immunodeficiency virus (HIV) merupakan salah satu penyakit yang tidak memiliki gejala spesifik namun setelah beberapa tahun dapat menimbulkan efek yang sangat berbahaya bahkan mematikan. Penyebaran dan penularan penyakit akibat mikroorganisme sangat beragam. Contohnya HIV hanya ditularkan melalui kontak fisik yang dekat misalnya melalui hubungan seksual dan kontak darah. Sedangkan infeksi virus influenza ditularkan melalui droplet yang dikeluarkan melalui bersin, batuk, atau berbicara, dalam jarak beberapa meter(Agrebi and Larbi 2020).

Bakteri patogen seperti *Staphylococcus aureus* yang menyebabkan penyakit infeksi kulit pada kulit dan pneumonia, *Streptococcus pyogenes* penyebab radang pada tenggorokan, *Escherichia coli* penyebab diare, *Mycobacterium tuberculosis* penyebab tuberkulosis, dan *Salmonella* penyebab demam tifoid adalah kasus infeksi yang sangat sering ditemui di rumah sakit karena penyakit ini dapat menular(Besser 2018)(Disease 2019)(Sia and Rengarajan 2017). Pria dan wanita memiliki ketahanan tubuh yang berbeda sehingga tingkat keparahan penyakit pada pria dan wanita yang terinfeksi oleh bakteri yang sama juga akan berbeda. Dan secara umum biasanya pria akan lebih rentan terhadap penyakit yang diakibatkan oleh infeksi bakteri (Tabibzadehtehrani et al. 2025)(Vázquez-Martínez et al. 2018).

Penularan penyakit akibat bakteri merupakan masalah kesehatan masyarakat yang signifikan. Bakteri dapat menular dengan kontak langsung dengan orang yang terinfeksi atau melalui droplet. Selanjutnya ada istilah yang dikenal dengan *airborn* dimana udara sebagai media tempat penularan bakteri atau virus. Namun yang paling banyak terjadi adalah melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi (Browne et al. 2017). Siklus penularan penyakit akibat bakteri ini sangat penting untuk dapat mencari solusi pencegahan dan langkah-langkah pengendalian infeksi yang tepat sehingga mengurangi risiko kejadian penyakit dan memutus rantai penyaluran infeksi tersebut.

Kelompok mikroorganisme lain yang dapat menginfeksi manusia adalah jamur dan protozoa. Jamur/fungi merupakan organisme eukariotik. Jamur jenis oportunistik merupakan habitat pilihan yang mampu hidup diluar inangnya. Jenis jamur ini dapat menyebabkan infeksi ketika spora menembus penghalang kulit yang utuh atau pada saat inang memiliki kondisi imun yang rendah. Sebaliknya jamur yang patogen hidupnya sangat tergantung pada inang karena inang sangat diperlukan untuk melengkapi siklus hidupnya dan sumber nutrisi, pertumbuhan, pembentukan relung, dan reproduksi. Istilah zoonosis merupakan istilah yang digunakan dalam ilmu mikrobiologi klinik yang merupakan kondisi dimana terjadi infeksi yang ditularkan secara alami antara hewan vertebrata dan manusia. Sedangkan penyakit akibat jamur disebut mikosis. Dan infeksi zoonosis telah dikenal selama berabad-abad dan merupakan penyakit tertinggi yang terjadi di dunia (Seyedmousavi et al. 2018).

Patogenesis kelompok jamur atau fungi merupakan proses kompleks yang dipengaruhi oleh interaksi antara berbagai faktor virulensi jamur dan respons imun inang (Lockhart and Guarner 2019). Sifat jamur untuk melekat pada sel inang selanjutnya berubah bentuk ragi dan hifa, biofilm, dan mengeluarkan enzim hidrolitik yang dapat menyebabkan berbagai infeksi, mulai dari infeksi mukokutan ringan hingga penyakit sistemik yang

mengancam jiwa (Friedman and Schwartz 2019). Meskipun banyak jamur tidak berbahaya dan memiliki peran penting yang dalam ekosistem, ada beberapa spesies bersifat patogen dan dapat menyebabkan infeksi pada manusia seperti *Candida albicans*, kelompok Dermatofit, *Cryptococcus*, *Histoplasma* (Köhler et al. 2017).

*Candida albicans* adalah jamur dimorfik dan dapat tumbuh dalam bentuk sel ragi uniseluler atau hifa multiseluler. Sebenarnya *Candida albicans* adalah flora normal pada kulit dan mukosa manusia namun ketika imun tubuh menurun atau terganggu, *Candida albicans* dapat menyebabkan infeksi oportunistik. Faktor lain yang menyebabkan *Candida albicans* dapat infeksi tubuh manusia yaitu penggunaan antibiotik atau kortikosteroid dalam jangka waktu lama, penyakit diabetes, proses kehamilan, penggunaan alat kontrasepsi oral, pemasangan kateter atau alat medis lainnya (H. Chen et al. 2020).

Infeksi *Candida albicans* dapat menyebabkan infeksi pada mulut dan tenggorokan, infeksi pada vagina yang menimbulkan rasa gatal dan kemerahan, infeksi pada kulit, sering terjadi di area lembab seperti ketiak dan selangkangan. dan infeksi serius yang dapat mempengaruhi darah, jantung, atau organ lain. Pemeriksaan mikroskopis, kultur, dan tes serolog dapat dilakukan untuk mendiagnosa penyakit ini dan dapat diberikan obat secara topikal, oral, atau intravena, tergantung pada tingkat keparahan infeksi (Talapko, Juzbaši, and Matijevi 2021) (Pereira and Id 2021).

Sedangkan untuk kelompok Dermatofit adalah jamur yang menyebabkan infeksi pada kulit, rambut, dan kuku. Infeksi ini umumnya dikenal sebagai kurap atau tinea. Contoh kelompok dermatofit yang sering ditemui adalah *Trichophyton*, *Microsporum*, *Epidermophyton*. Kelompok ini dapat menyebabkan penyakit infeksi pada kuku dan kulit di bagian tubuh. Untuk mendiagnosa infeksi dermatofit bisa dilakukan melalui pemeriksaan fisik dan mikroskopi sampel kulit, rambut, atau kuku (Vandewoude 2022) (Nowakiewicz 2019).

Selanjutnya kelas mikroorganisme yang dapat bersifat patogen adalah protozoa. Protozoa masuk kedalam golongan hewan eukariota uniseluler yang memiliki keragaman morfologi, kompleksitas biologis, dan kerumitan molekuler yang luas. Protozoa yang menjadi perharian di dunia medis dan dibahas dalam mikrobiologi klinik adalah jenis flagelata, amuba, ciliata, dan apicomplexa/sporozoa. Kelompok protozoa patogen menggunakan molekul khusus untuk melakukan adhesi dan mengikat sel reseptor pada inang yang akhirnya menghasilkan enzim protease untuk menghancurkan komponen sel inang dan melakukan invasi pada sel inang. Setelah protozoa berada dalam sel inang, sel inang akan mengeluarkan reksi sebagai respons imun untuk menghancurkan protozoa yang menyerang. Namun, protozoa yang bersifat patogen juga mempunyai kemampuan untuk bertahan (Baig 2024).

Kelas protozoa utama yang paling banyak ditemukan dan menginfeksi manusia adalah amuba, trypanosoma, mikrosporidia, Sarcocystis, dan Leishmania. Infeksi amuba terutama terjadi pada manusia menyerang sistem saraf pusat dan menyebabkan abses pada serebral. Entamoeba histolytica adalah jenis amuba yang paling dikenal dapat menyebabkan abses serebral (Infections 2020).

Satu lagi bagian dari mikrobiologi klinik adalah parasit. Kasus infeksi atau penyakit yang diakibatkan oleh parasit patogen saat ini sebenarnya masih cukup tinggi namun tidak begitu menjadi perhatian dunia dibandingkan dengan virus dan bakteri. Ada banyak faktor mengapa parasit diabaikan salah satunya adalah karena infeksi yang disebabkan oleh parasit tidak bermanifestasi sebagai penyakit akut namun sebenarnya memiliki dampak kronis yang lebih berbahaya pada inangnya. Selain itu penyakit yang diakibatkan oleh parasit sering dikaitkan dengan kemiskinan dan memiliki hygiene sanitasi yang buruk sehingga mereka tidak mampu membayar atau membeli obat bagi diri mereka dan membuat kasus ini tidak muncul kepermukaan (Robertson 2018). Berikut adalah jenis-jenis parasit patogen dan penyakit yang ditimbulkannya:

1. Protozoa:

- a. *Plasmodium falciparum* penyebab malaria.
- b. *Entamoeba histolytica* dapat menyebabkan diare

- c. *Giardia lamblia* menyebabkan giardiasis
  - d. *Trypanosoma brucei* penyebab Tripanosomiasis Afrika yang sering disebut dengan penyakit tidur.
  - e. *Leishmania spp* penyebab Leishmaniasis.
  - f. *Toxoplasma gondii* penyebab Toksoplasmosis
2. Helminthes (Cacing):
- a. *Ascaris lumbricoides* penyebab Askariasis dan dapat mengakibatkan infeksi pada usus manusia.
  - b. *Ancylostoma duodenale* dan *Necator americanus* penyebab penyakit Ankilostomiasis (infeksi cacing tambang)
  - c. *Strongyloides stercoralis* penyebab penyakit Strongyloidiasis
  - d. *Taenia solium* dan *Taenia saginata* penyebab penyakit Taeniasis (infeksi cacing pita) dan Sistiserkosis (oleh larva *T. solium*)
  - e. *Schistosoma spp* penyebab penyakit Schistosomiasis (bilharzia)
  - f. *Fasciola hepatica* penyebab penyakit Fascioliasis (infeksi cacing hati)
  - g. *Wuchereria bancrofti*, *Brugia malayi*, *Brugia timori* penyebab penyakit Filariasis limfatik (kaki gajah)
  - h. *Onchocerca volvulus*: penyebab penyakit Onkoserkiasis (kebutaan sungai).
3. Ektoparasit (Arthropoda):
- a. *Pediculus humanus* (kutu kepala dan badan) menyebabkan Pedikulosis
  - b. *Sarcoptes scabiei* (kudis) menyebabkan Skabies

Jenis protozoa patogen yang paling banyak ditemukan kasus pada manusia adalah *Blastocystis spp*, *Giardia duodenalis* sebanyak, *Entamoeba histolytica/E.*, dan *Cryptosporidium spp*.

Pada anak-anak juga infeksi tertinggi dari kelas parasit protozoa yang menyebabkan diare. Walaupun demikian penyakit-penyakit ini tetap menjadi masalah yang tidak diprioritaskan terutama pada wilayah-wilayah yang luas dan maju (Partida-rodr et al. 2017).

### **Mikroorganisme Dan Turunannya Sebagai Pembawa Obat**

Penyakit menular saat ini menduduki peringkat ke 2 penyebab kematian di dunia setelah penyakit jantung. Untuk mengatasi penyakit akibat infeksi mikroba saat ini merupakan suatu tantangan yang luar biasa termasuk adanya kasus bakteri yang resisten terhadap antibiotik, terjadinya mutasi gen dan adaptasi patogen terhadap inangnya. Oleh sebab itu, Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) telah lama menjadikan penelitian penanganan penyakit menular sebagai prioritas (Zhu Y, Huang WE 2022). Saat ini penelitian di bidang mikrobiologi klinik sudah banyak melakukan penelitian yang bertujuan untuk menemukan alternatif antibiotik. Beberapa hasil telah menunjukkan secara pasti bahwa minyak esensial, nanopartikel antimikroba, dan bakteriofag memiliki kemampuan yang sama dengan antibiotik (Alaoui Mdarhri H, Benmessaoud R, Yacoubi H, Seffar L, Guennouni Assimi H, Hamam M 2022). Pada 100 tahun lalu *Escherichia coli* Nissle 1917 (EcN) telah digunakan sebagai probiotik. Selain itu EcN dalam bentuk alaminya telah digunakan untuk mengobati berbagai kondisi gastrointestinal, termasuk penyakit radang usus dan iritasi usus besar. EcN juga diyakini menghambat pertumbuhan bakteri patogen lain seperti *Salmonella* spp dan koliform. EcN memiliki kemampuan berinteraksi dengan sel epitel pada usus sehingga mempercepat pembentukan antiinflamasi dan memulihkan serta mempertahankan fungsi usus. (Charbonneau et al. 2020).

Dunia kedokteran dan mikrobiologi klinik saat ini sedang fokus pada pengobatan dengan menggunakan metode *Drug Delivery Systems (DDSs)*. *Drug Delivery Systems*

(DDSs) adalah sistem yang dirancang untuk mengantarkan obat langsung ke target yang spesifik dalam tubuh dengan cara yang terkontrol dan efektif tujuannya agar obat lebih efektif, dapat mengurangi efek samping, dan memperbaiki kualitas hidup pasien. Pendekatan ini menggunakan tehnik nanoteknologi, liposom, mikropartikel, dan pembawa obat biologis untuk mengatasi infeksi mikroba (Zhao X, Xie N, Zhang H, Zhou W 2023). Satu abad yang lalu seorang ilmuwan bernama Paul Ehrlich memperkenalkan metode "*Magic Bullet*" yang merupakan metode pengobatan yang dirancang untuk secara tepat untuk menghilangkan organisme penyebab penyakit. Oleh sebab itu saat ini banyak ilmuwan telah berfokus pada penggunaan bakteri sebagai DDS untuk memerangi penyakit menular. Untuk melakukan metode ini perlu pemahaman dan analisa karakteristik unit bakteri yang sangat mendalam meliputi analisis komponen protein, peptida, enzim, nanofiber, antibodi, dan molekul aktif biologis lainnya yang dipilih berdasarkan potensi terapeutik dan kompatibilitasnya dengan vektor bakteri (Tabibzadehtehrani et al. 2025).

Biocarrier berbasis bakteri juga dapat digunakan sebagai terapi kanker. Penggunaan bakteri dalam pengobatan kanker. Pada abad ke abad ke-19 lalu seorang ilmuwan bernama Coley berhasil menghambat dan membunuh pertumbuhan sel tumor dengan menyuntikkan *Streptococcus* ke pasien kanker. Dan riset tersebut semakin dikembangkan hingga saat ini sebagian besar bakteri anaerob obligat dan fakultatif seperti *Salmonella typhimurium* (*S. typhimurium*), *Listeria*, *Escherichia coli* (*E. coli*), *Bifidobacterium*, *Clostridium* dapat digunakan untuk terapi kanker. Ketika obat dan bakteri digabungkan maka sel kanker mengalami autofagi dan apoptosis dan sistem kekebalan tubuh akan meningkat sehingga dapat menghambat pertumbuhan tumor. Bakteri yang memiliki flagel memiliki kemampuan bergerak secara otonom sehingga mampu menebus jaringan tumor dalam sistem pengiriman obat yang ada. Dengan perkembangan teknologi semakin canggih, bakteri yang digunakan dalam terapi kanker telah melalui proses penyuntingan

gen sehingga dapat menghilangkan gen toksik pada bakteri yang membuat kemampuan toksisitas bakteri jauh berkurang (Zhao et al. 2023).

Selulosa bakteri dapat diproduksi oleh beberapa bakteri, seperti *Salmonella*, *Escherichia*, *Agrobacterium*, *Achromobacter*, *Rhizobium*, *Aerobacter*, *Azotobacter*, *Sarcina*, dan *Gluconacetobacter* juga memiliki peran penting dalam mikrobiologi klinik. Selulosa bakteri berbentuk seperti lembaran, agregat berserat, foil, bola, tabung, dan film. Dan struktur nanokristalin selulosa bakteri berbentuk jarum yang dapat diperoleh melalui proses degradasi oksidatif atau enzimatis pada daerah amorf. Selulosa bakteri mengandung modulus yang tinggi sebesar 2Gpa yang stabil hingga mencapai suhu 300 °C, kandungan kristal 70–90%, dan memiliki kadar air yang tinggi sehingga selulosa bakteri ini memiliki potensi yang besar untuk menekan pertumbuhan mikroba dan mempercepat proses penyembuhan luka (Pandey, Singh, and Singh 2024).

Selain bakteri, fungi juga memiliki peran penting dalam ilmu mikrobiologi klinik. Dari beberapa fungi yang sifatnya patogen seperti yang dijelaskan pada pembahasan sebelumnya, ternyata saat ini fungi juga dapat menjadi obat-obatan utama termasuk untuk penyakit-penyakit yang mematikan seperti kanker, jantung, malaria, dan dimensia. Hal ini dikarenakan jamur atau fungi mengandung banyak unsur kimia yang mampu mensintesis senyawa kompleks yang baru dan menghasilkan senyawa yang sama dengan jenis obat (Harvey, Edrada-ebel, and Quinn 2015)(Jia et al. 2019).

Ditemukannya penisilin yang berasal dari *Penicillium rubens* Biourge membuktikan bahwa jamur juga memiliki senyawa bioaktif penting bagi manusia dan juga banyak mengandung senyawa yang bersifat immunosupresan siklosporin yang digunakan pada proses transplantasi organ sebagai antihiperkolesterolemia statin (Hyde et al. 2019). Fungi juga dapat digunakan sebagai obat-obatan untuk penyakit parkinson, dan sklerosis multipel (Newman and Cragg 2020a). Saat ini mikrobiologi klinik sedang pada jamur dan jamur sensu

strictomarine walaupun sebenarnya masih banyak lagi yang belum dieksplorasi dan dikaji lebih dalam. Hampir semua obat turunan jamur secara klinis terbukti efektif sebagai antimikroba (Newman and Cragg 2020b) (Overy et al. 2019). Misalnya antibiotik yang berasal dari senyawa penisilin dan sefalosporin pada jamur. Selanjutnya ada senyawa siklosporin dan lovastatin yang dapat menjadi anti jamur yang baik (Yang et al., 2018).

### **Diagnostik Molekuler dalam Ilmu Mikrobiologi Klinik**

Uji diagnostik molekuler merupakan metode dan/atau instrumen pemeriksaan yang mendeteksi biomarker melalui DNA, RNA, atau produk gen suatu organisme. Secara historis, uji diagnostik molekuler untuk infeksi invasif memerlukan ketelitian tinggi dan pakar ilmu yang baik (Wickes and Wiederhold 2018). Bakteri, virus, jamur, dan parasit dapat diidentifikasi dengan cepat menggunakan uji molekuler untuk mendiagnosis agen penyakit infeksi aliran darah, saluran pernapasan, saluran kemih, saluran pencernaan, dan sistem saraf pusat. Begitu juga dengan platform deteksi resistensi berbasis gen dengan penggunaan antimikroba. Teknik baru yang digunakan dalam teknologi diagnostik cepat ini mencakup diagnostik berbasis asam nukleat menggunakan PCR, panel mikroarray, teknologi hibridisasi fluoresensi in situ asam nukleat peptida (FISH), menggunakan resonansi magnetik, spektrometri, dan sekuensing generasi berikutnya (Messacar et al. 2017).

Laboratorium mikrobiologi klinis saat ini sedang mengalami revolusi diagnostik. Metode diagnostik dengan menggunakan teknologi molekuler memiliki potensi yang sangat besar untuk mengubah dan mempercepat laboratorium mikrobiologi modern dalam mengidentifikasi mikrobiologis yang menginfeksi pasien dan mempercepat perawatan pasien infeksi. Dalam menegaskan diagnosis seorang dokter akan melakukan uji spesimen di laboratorium mikrobiologi klinik pada pasien yang diduga terinfeksi. Jenis pemeriksaan yang dilakukan dalam laboratorium mikrobiologi klinik

diantaranya adalah jenis organisme, dan penentuan kerentanan antimikroba. Hasil ini dapat menentukan antibiotik atau antivirus yang tepat untuk digunakan sebagai pengobatan kepada pasien agar lebih efektif dan tepat sasaran (Messacar et al. 2017).

Secara sederhana masih banyak laboratorium mikrobiologi klinis menggunakan metode kultur menggunakan media agar untuk mengidentifikasi sebagian besar bakteri patogen dari spesimen manusia. Koloni yang tumbuh akan diidentifikasi lanjut untuk mengetahui jenis patogennya dan atau dengan menggunakan media agar selektif. Contoh, untuk mengisolasi bakteri *Salmonella* dari sampel tinja dapat menggunakan media selektif dengan penambahan antimikroba cefsulodin dan novobiocin. Selanjutnya dilakukan identifikasi tingkat genus dan spesies melalui uji biokimia. Inokulasi dan pembacaan hasil biokimia dapat dilakukan secara manual dengan menggunakan kit komersial seperti kit Analytical Profile Index atau dapat dilakukan otomatis dengan menggunakan instrumen BD Phoenix atau Vitek (Groundwater et al. 2017) .

Berbeda dengan laboratorium lainnya, laboratorium mikrobiologi klinis adalah laboratorium dengan pemeriksaan interpretatif dan kompleks tidak sesederhana seperti pemeriksaan biasa. Bahkan dengan adanya alat uji otomatisasi di laboratorium yang terintegrasi pada sistem genomik dan proteomik dalam mikrobiologi hasil uji masih hasil uji juga masih sangat tergantung pada kualitas spesimen yang diterima untuk analisis. Kita tahu bahwa mikroba mudah untuk beradaptasi ketika lingkungan inangnya dapat mensupport kehidupan mereka dan dapat terjadi mutasi gen pada saat penyesuaian itu. Hal inilah yang membuat instrumen laboratorium sedikit sulit untuk mendeteksi hal tersebut sehingga perlu ketelitian ulang untuk menginterpretasikan hasil uji klinis (Miller et al. 2018).

Spesimen yang biasa digunakan dalam pemeriksaan mikrobiologi klinik tergantung pada jenis penyakit infeksi yang ditimbulkan dan lokasinya. Adapun jenis spesimen tersebut adalah sebagai berikut:

1. Darah.

Darah biasanya digunakan untuk mengidentifikasi mikroorganisme yang menyebabkan infeksi pada darah atau organ tubuh. Darah yang diambil biasanya darah. Spesimen darah juga dapat digunakan untuk mendeteksi penyakit infeksi parasit seperti malaria dan filariasis.

2. Urine

Urine biasanya diambil untuk pemeriksaan infeksi saluran kemih (ISK). Metode yang paling umum digunakan dalam pengambilan spesimen urine adalah dengan cara pasien membersihkan area genital terlebih dahulu kemudian sedikit urin awal dan selanjutnya menampung urin bagian tengah ke dalam wadah steril.

3. Cairan Serebrospinal (CSS)

CSS ini biasanya digunakan untuk mengidentifikasi mikroorganisme yang menginfeksi pada sistem saraf pusat misalnya pada kasus meningitis dan ensefalitis. Pengambilan spesimen CSS ini harus dilakukan oleh dokter yang ahli dibidangnya karena diambil dari fungsi lumbal tulang belakang

4. Sputum (Dahak) dan Spesimen Saluran Pernapasan Bawah Lainnya

Spesimen ini digunakan untuk pemeriksaan infeksi pada saluran pernapasan misalnya pada kasus pneumonia, bronkitis dan Tb paru

5. Feses (Tinja)

Spesimen Tinja digunakan untuk mendiagnosis infeksi saluran pencernaan misalnya pada kasus diare dan kecacingan

## 6. Swab (Usapan)

Metode swab adalah salah satu metode sampling untuk mendapatkan mikroorganisme dari permukaan mukosa atau lesi kulit. Lokasi pengambilan sampel swab tergantung pada lokasi yang diduga mengalami infeksi seperti tenggorok, hidung, telinga, mata, genital, luka dengan menggunakan kapas swab steril. Swab selanjutnya dimasukkan ke dalam media transport untuk menjaga viabilitas mikroorganisme.

## 7. Jaringan dan Cairan Tubuh

Untuk mendiagnosis infeksi pada organ atau ruang tubuh tertentu.

## **Kesimpulan**

Ilmu mikrobiologi klinik adalah salah satu cabang ilmu kedokteran yang memiliki peran sentral dan krusial dalam diagnosis, penatalaksanaan, pencegahan, dan pemahaman penyakit infeksi pada manusia terutama yang disebabkan oleh mikroorganisme. Sebagai sebuah disiplin ilmu yang dinamis dan terus berkembang di dunia medis, mikrobiologi klinik menjembatani antara dunia mikroorganisme dan manifestasi klinis penyakit, memberikan landasan ilmiah yang esensial bagi praktik kedokteran modern serta menjadi landasan penting dalam mengambil keputusan diagnosis dan pengobatan penyakit menular serta cara pencegahannya.

## Daftar Pustaka

- Agrebi, Said, and Anis Larbi. 2020. Artificial Intelligence in Precision Health Use of Artificial Intelligence in Infectious Diseases. Elsevier Inc. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-817133-2.00018-5>.
- Alaoui Mdarhri H, Benmessaoud R, Yacoubi H, Seffar L, Guennouni Assimi H, Hamam M, et al. 2022. “Alternatives Therapeutic Approaches to Conventional Antibiotics: Advantages, Limitations and Potential Application in Medicine.” *Antibiotics* 11.
- Baig, Abdul Mannan. 2024. “Pathogenesis of Protozoan InfectionsNo Title.” *Molecular Medical Microbiology* 148: 2921–40.
- Besser, John M. 2018. “Salmonella Epidemiology: A Whirlwind of Change.” *Food Microbiology* 71: 55–59. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.08.018>.
- Blauwkamp, Timothy A et al. 2019. “Analytical and Clinical Validation of a Microbial Disease.” *Nature Microbiology* 4.
- Brogren, Carl-henrik. 2024. “Louis Pasteur — The Life of a Controversial Scientist with a Prepared Mind , Driven by Curiosity , Motivation , and Competition.” *Journal of Pathology, Microbiology and Immunology - the APMIS journal* 132: 7–30.
- Browne, Hilary P, B Anne Neville, Samuel C Forster, and Trevor D Lawley. 2017. “Transmission of the Gut Microbiota: Spreading of Health.” *Nature Publishing Group* 15. <http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro.2017.50>.
- Cavaiillon, Jean-marc. 2022. “Louis Pasteur: Between Myth and Reality.” *Biomolecules* 12(1854).
- Charbonneau, Mark R, Vincent M Isabella, Ning Li, and Caroline B Kurtz. 2020. “Developing a New Class of Engineered Live Bacterial Therapeutics to Treat Human Diseases.” *Nature Communications* 11: 1–11. <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-020-15508-1>.

- Chen, Chieh-chang, Yen-nien Chen, Jyh-ming Liou, and Ming-shiang Wu. 2019. "From Germ Theory to Germ Therapy." *Journal of Environmental Quality Editor* 82(August 2018): 73–82.
- Chen, Hui, Xuedong Zhou, Biao Ren, and Lei Cheng. 2020. "The Regulation of Hyphae Growth in *Candida Albicans*." *Virulence* 11(1): 337–48. <https://doi.org/10.1080/21505594.2020.1748930>.
- Chhabra, Sumeet, Avinash B Taksande, and Pratiksha Munjewar. 2024. "The Penicillin Pioneer: Alexander Fleming 's Journey to a Medical Breakthrough." *Cereus* 16(7).
- Currier, Russell. 2022. "Comment Pasteurisation: Pasteur ' s Greatest Contribution to Health." *The Lancet Microbe* 4(3): e129–30. [http://dx.doi.org/10.1016/S2666-5247\(22\)00324-X](http://dx.doi.org/10.1016/S2666-5247(22)00324-X).
- Disease, Bowel. 2019. "Crossm Escherichia Coli Pathobionts Associated with Inflammatory Bowel Disease." *American Society For Microbiology* 32(2).
- Friedman, Daniel Z P, and Ilan S Schwartz. 2019. "Emerging Fungal Infections: New Patients , New Patterns , and New Pathogens." *Journal Of Fungi* 5(3).
- Groundwater, Paul W et al. 2017. "Methods for the Detection and Identification of Pathogenic Bacteria: Past, Present, and Future." *Chemical Society Reviews* 46(16): 4818–32. <http://dx.doi.org/10.1039/C6CS00693K>.
- Harvey, Alan L, Ruangelie Edrada-ebel, and Ronald J Quinn. 2015. "The Re-emergence of Natural Products for Drug Discovery in the Genomics Era." *Nature Reviews Drug Discovery* 12: 111–129.
- Hyde, Kevin D et al. 2019. "The Amazing Potential of Fungi: 50 Ways We Can Exploit Fungi Industrially." *Fungal Diversity* 97(1): 1–136. <https://doi.org/10.1007/s13225-019-00430-9>.

- Infections, Other Protozoal. 2020. "Other Protozoal Infections." *Journal of Environmental Quality* 47: 463–74.
- Jambholkar, Pankaj C, Sonali G Choudhari, and Mayank Sharma. 2024. "Louis Pasteur : A Legacy Unmasked." *Cereus* 16(8): 1–5.
- Jia, Chen-yang, Jing-yi Li, Ge-fei Hao, and Guang-fu Yang. 2019. "A Drug-Likeness Toolbox Facilitates ADMET Study in Drug Discovery." *Drug Discovery Today* 25(1).  
<https://doi.org/10.1016/j.drudis.2019.10.014>.
- Köhler, Julia R et al. 2017. "Fungi That Infect Humans." *American Society For Microbiology* 5(4).
- Kyazim, Nihal, Stanila Stoeva, and Marieta Georgieva. 2022. "LOUIS PASTEUR: 200 YEARS SINCE THE BIRTH OF THE FATHER OF MICROBIOLOGY ( 1822 – 1895 )." *Scientific Online Resource System* 11: 218–21.
- Lalchhandama, Kholhring. 2021. "History of Penicillin." *WikiJournal of Medicine* 8(1).
- Libertucci, Josie. 2018. "The Role of the Microbiota in Infectious Diseases." *Nature Microbiology* 4: 35–45.
- Lockhart, Shawn R, and Jeannette Guarner. 2019. "Seminars in Diagnostic Pathology Emerging and Reemerging Fungal Infections." *Seminars in Diagnostic Pathology* 36(3): 177–81.  
<https://doi.org/10.1053/j.semmdp.2019.04.010>.
- Maslehat, Sholeh, and Ehsan Mostafavi. 2018. "The History of Milk Pasteurization in Iran and the Role of Pasteur Institute in Its Improvement." *ournal of Medical Microbiology and Infectious Diseases* 6(69): 87–90.
- Messacar, Kevin, Sarah K Parker, James K Todd, and Samuel R Dominguez. 2017. "Implementation of Rapid Molecular Infectious Disease Diagnostics : The Role of Diagnostic and Antimicrobial Stewardship." *Journal of Clinical Microbiology* 55(3).

- Miller, J Michael et al. 2018. "IDSA GUIDELINE A Guide to Utilization of the Microbiology Laboratory for Diagnosis of Infectious Diseases." *Clinical infectious Diseases* 30338(6): 1–94.
- Newman, David J, and Gordon M Cragg. 2020a. "Natural Products as Sources of New Drugs over the Nearly Four Decades from 01/1981 to 09/2019." *Journal of Natural Products* 83(3).
- . 2020b. "Plant Endophytes and Epiphytes: Burgeoning Sources of Known and ' Unknown ' Cytotoxic and Antibiotic Agents? Authors Definitions of Endophyte and / or Epiphyte Differences between ' Phytochemical Isolation ' and Bioactivity-Driven Isolation." *Planta Medica* 86: 891–905.
- Nowakiewicz, A. 2019. "Major Challenges and Perspectives in the Diagnostics and Treatment of Dermatophyte Infections." *Journal of Applied Microbiology* 129(2): 1–21.
- Overy, David P et al. 2019. "The Neglected Marine Fungi , Sensu Stricto , and Their Isolation for Natural Products ' Discovery." *Marine Drugs* 17(1).
- Pandey, Ashutosh, Mukesh Kumar Singh, and Annika Singh. 2024. "Bacterial Cellulose: A Smart Biomaterial for Biomedical Applications." *Journal of Materials Research* 39(1): 2–18. <https://doi.org/10.1557/s43578-023-01116-4>.
- Partida-rodr, Oswaldo et al. 2017. "Human Intestinal Microbiota: Interaction Between Parasites and the Host Immune Response." *Archives of Medical Research* 48(8): 690–700.
- Pereira, Rafael, and Orcid Id. 2021. "Biofilm of Candida Albicans: Formation, Regulation and Resistance." *Journal of Applied Microbiology* 131(1): 0–2.
- Proença, Diogo N, Gregor Grass, and Paula V Morais. 2017. "Understanding Pine Wilt Disease : Roles of the Pine Endophytic Bacteria and of the Bacteria Carried

- by the Disease- Causing Pinewood Nematode.” *Wiley Microbiology* (September 2016): 1–20.
- Robertson, Lucy J. 2018. 86 Biological Emerging Risks in Foods *Parasites in Food: From a Neglected Position to an Emerging Issue*. 1st ed. Elsevier Inc. <http://dx.doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.04.003>.
- Salunkhe, Shradha, and Shailaja V Mane. 2024. “Robert Koch: From Anthrax to Tuberculosis – A Journey in Medical Science.” *Cereus* 16(11): 1–11.
- Sarmah, Pinky, Meria M Dan, Dattatreya Adapa, and Sarangi TK. 2018. “Pathogenic Microorganisms and Their Impact on Human Health.” *Electronic Journal of Biology* 14: 50–58.
- Scott, Elizabeth A et al. 2020. “American Journal of Infection Control State of the Science Review A 21st Century View of Infection Control in Everyday Settings: Moving from the Germ Theory of Disease to the Microbial Theory of Health.” *American Journal of Infection Control* 48: 1387–92.
- Seyedmousavi, Seyedmojtaba et al. 2018. “Fungal Infections in Animals: A Patchwork of Different Situations.” *International Society For Human and animal ecology* 56: 165–87.
- Sia, Jonathan Kevin, and Jyothi Rengarajan. 2017. “Immunology of Mycobacterium Tuberculosis Infections.” *American Society For Microbiology* 7(4).
- Tabibzadehtehrani, Parastoo et al. 2025. “Medicine in Drug Discovery Bacterial-Based Drug Delivery Systems: A New Way to Combat Infectious Disease.” *Medicine in Drug Discovery* 26(November 2024): 100205. <https://doi.org/10.1016/j.medidd.2025.100205>.
- Talapko, Jasminka, Martina Juzbaši, and Tatjana Matijevi. 2021. “Candida Albicans — The Virulence Factors and Clinical Manifestations of Infection.” *Journal Of Fungi* 7(2).

- Vandewoude, Sue. 2022. "Current Topics in Dermatophyte Classification and Clinical Diagnosis." *Phatogens* 11(9).
- Vázquez-martínez, Edgar Ricardo, Elizabeth García-gómez, Ignacio Camacho-arroyo, and Bertha González-pedrajo. 2018. "Sexual Dimorphism in Bacterial Infections." *Biology of Sex Differences* 9(27): 1–20.
- Wickes, Brian L, and Nathan P Wiederhold. 2018. "Molecular Diagnostics in Medical Mycology." *Nature Communications* 9.
- Zhao X, Xie N, Zhang H, Zhou W, Ding J. 2023. "Bacterial Drug Delivery Systems for Cancer Therapy: 'Why' and 'How'." *Pharmaceutics* 15.
- Zhao, Xiangcheng, Nuli Xie, Hailong Zhang, and Wenhui Zhou. 2023. "Bacterial Drug Delivery Systems for Cancer Therapy: ' Why ' and ' How .'" *Pharmaceutics* 15: 2214.
- Zhu Y, Huang WE, Yang Q. 2022. "Clinical Perspective of Antimicrobial Resistance in Bacteria. Infection and Drug Resistance." *Infection and Drug Resistance* 15: 735–46.

## **Profil Penulis**



### **Dr. Ra. Hoetary Tirta Amallia, M.Kes.**

Ketertarikan penulis terhadap bidang ilmu laboratorium Mikrobiologi Klinik dimulai pada tahun 2005, yang membawanya untuk masuk ke jurusan D.III Analis Kesehatan di Poltekkes KemenKes RI. Setelah lulus D.III, penulis melanjutkan S1 di STIK Bina Husada Palembang Pada Program Studi Kesehatan Masyarakat dengan konsentrasi Epidemiologi Penyakit Menular. Setelah menyelesaikan S2 di Universitas Sriwijaya pada ilmu biomedik dan konsentrasi biologi kedokteran. Terakhir penulis menyelesaikan program doktoral (S3) Pada Prodi Ilmu Lingkungan Konsentrasi Kesehatan Lingkungan di Universitas Sriwijaya.

Penulis memiliki kepakaran di bidang Toksikologi Lingkungan khususnya bidang pencemaran logam berat dan mikrobiologi yang dapat memberikan efek buruk pada kesehatan. Untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis aktif sebagai peneliti di bidang kepakarannya tersebut. Beberapa penelitian yang dilakukannya didanai oleh internal perguruan tinggi maupun Kementerian Agama. Selain sebagai peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang tercinta ini..

Email Penulis: [hoetary\\_uin@radenfatah.ac.id](mailto:hoetary_uin@radenfatah.ac.id)



# PENGOBATAN PENYAKIT YANG DISEBABKAN OLEH MIKROBA: MELAWAN MIKROBA PATOGEN

**Ucik Agusti Wulanningsih, M.Pd., Gr.**  
SMA Negeri 6 Malang

## **Pendahuluan**

Penyakit infeksi yang disebabkan oleh mikroba telah menjadi tantangan kesehatan global sejak zaman dahulu hingga era modern saat ini. Mikroba yang mencakup bakteri, virus, jamur, dan parasite merupakan organisme mikroskopis yang dapat menyebabkan berbagai macam penyakit, mulai dari yang ringan seperti flu hingga yang mematikan seperti tuberkulosis, malaria, dan HIV/AIDS. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang kedokteran telah memungkinkan manusia untuk mengenali, mendiagnosis, dan mengobati penyakit-penyakit ini secara lebih efektif. Namun, di balik kemajuan tersebut, muncul pula tantangan baru, seperti resistensi antimikroba yang semakin meluas dan munculnya patogen baru akibat perubahan lingkungan dan globalisasi.

Pengobatan penyakit mikrobial tidak hanya mengandalkan pemberian obat-obatan seperti antibiotik, antivirus, antifungal, dan antiparasit, tetapi juga membutuhkan pendekatan yang holistik, termasuk pencegahan, pengendalian penyebaran infeksi, dan edukasi masyarakat. Penemuan antibiotik oleh Alexander Fleming pada tahun 1928 menjadi tonggak penting

dalam sejarah pengobatan infeksi bakteri. Namun, penggunaan yang tidak bijak terhadap antibiotik telah menyebabkan munculnya strain mikroba yang resisten, sehingga memperumit proses pengobatan dan menimbulkan kekhawatiran serius di kalangan tenaga medis dan peneliti.

Bab ini disusun untuk memberikan pemahaman mendalam mengenai pengobatan penyakit yang disebabkan oleh mikroba. Pembahasan akan mencakup jenis-jenis mikroba patogen, mekanisme infeksi, prinsip dasar pengobatan, serta perkembangan terbaru dalam terapi antimikroba. Selain itu, akan dibahas pula tantangan global terkait resistensi obat, dan peran penting tenaga medis serta masyarakat dalam mengatasi ancaman infeksi. Harapannya, buku ini dapat menjadi referensi yang bermanfaat bagi mahasiswa, tenaga kesehatan, peneliti, serta masyarakat umum yang ingin memahami lebih jauh mengenai dunia mikroba dan cara kita menghadapinya.

## **Jenis-Jenis Mikroba Patogen**

Mikroba patogen adalah mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit pada manusia. Mereka diklasifikasikan menjadi lima kelompok utama:

### 1. Bakteri Patogen

Bakteri adalah organisme uniseluler yang dapat berkembang biak dengan cepat dan menghasilkan toksin yang merusak jaringan tubuh (Soni et. al, 2024) Beberapa contoh bakteri patogen meliputi:

- a. *Escherichia coli* (E. coli): Dapat menyebabkan infeksi saluran pencernaan.
- b. *Salmonella*: Penyebab umum keracunan makanan.
- c. *Streptococcus pneumoniae*: Dapat menyebabkan pneumonia

## 2. Virus Patogen

Virus adalah agen infeksi yang lebih kecil dari bakteri dan memerlukan sel inang untuk bereplikasi. Contoh virus patogen antara lain:

- a. Virus Influenza: Penyebab flu musiman.
- b. HIV: Penyebab AIDS.
- c. Virus Dengue: Penyebab demam berdarah

## 3. Jamur Patogen

Jamur dapat menyebabkan infeksi terutama pada individu dengan sistem kekebalan tubuh yang lemah. Contoh jamur patogen meliputi:

- a. *Candida albicans*: Penyebab kandidiasis.
- b. *Aspergillus*: Dapat menyebabkan aspergilosis

## 4. Parasit Patogen

Parasit adalah organisme yang hidup pada atau di dalam inang dan dapat menyebabkan penyakit. Contoh parasit patogen termasuk:

- a. *Plasmodium falciparum*: Penyebab malaria
- b. *Giardia lamblia*: Penyebab giardiasis

## 5. Prion

Prion adalah protein infeksius yang dapat menyebabkan penyakit neurodegeneratif. Contoh penyakit yang disebabkan oleh prion adalah:

Penyakit Creutzfeldt-Jakob.

## **Mekanisme Infeksi Mikroba**

Infeksi mikroba terjadi ketika mikroorganisme patogen seperti bakteri, virus, jamur, atau parasite masuk ke dalam tubuh manusia dan berhasil mengatasi sistem pertahanan inang, sehingga menimbulkan penyakit. Proses infeksi melibatkan serangkaian tahapan kompleks yang memungkinkan mikroba untuk menempel, berkembang biak, menyebar, dan menghindari respons imun inang. Proses ini melibatkan serangkaian tahapan

yang memungkinkan mikroba menembus pertahanan tubuh, berkembang biak, dan menyebabkan kerusakan jaringan (Zachary., 2017; Petrov., 2024; Chen et.al., 2018) , lebih jelasnya sebagai berikut:

Mekanisme infeksi mikroba umumnya mencakup beberapa tahapan utama:

1. Paparan dan Penempelan: Mikroba memasuki tubuh melalui berbagai jalur, seperti saluran pernapasan, pencernaan, atau luka pada kulit. Setelah masuk, mereka menempel pada sel inang menggunakan struktur khusus seperti pili atau adhesin.
2. Kolonisasi dan Invasi: Setelah menempel, mikroba mulai berkembang biak dan, dalam beberapa kasus, menembus jaringan untuk mencapai lokasi yang lebih dalam. Proses ini sering dibantu oleh enzim yang merusak jaringan inang.
3. Evasion Sistem Imun: Untuk bertahan hidup, mikroba mengembangkan strategi untuk menghindari deteksi dan penghancuran oleh sistem kekebalan tubuh. Misalnya, beberapa bakteri menghasilkan kapsul yang menghalangi fagositosis oleh sel imun.
4. Kerusakan Jaringan dan Penyebaran: Mikroba dapat merusak jaringan melalui produksi toksin atau dengan memicu respon imun yang berlebihan. Selain itu, mereka dapat menyebar ke bagian tubuh lain melalui aliran darah atau sistem limfatik.

Mikroba patogen dapat masuk ke tubuh manusia melalui berbagai jalur, seperti:

1. Saluran pernapasan: misalnya, virus influenza masuk melalui inhalasi droplet.
2. Saluran pencernaan: bakteri *Salmonella* masuk melalui konsumsi makanan terkontaminasi.
3. Kulit yang terluka: *Staphylococcus aureus* dapat masuk melalui luka terbuka.
4. Vektor: *Plasmodium falciparum* ditularkan melalui gigitan nyamuk *Anopheles*.

Setelah masuk, mikroba harus mengatasi hambatan fisik dan kimiawi, seperti mukus, pH asam, dan enzim proteolitik, untuk mencapai lokasi target (Soni., 2024; Singh et.al., 2023; Li et.al., 2024).

### **Prinsip Dasar Pengobatan**

Penyakit yang disebabkan oleh mikroba termasuk bakteri, virus, jamur, dan parasite merupakan penyebab utama morbiditas dan mortalitas global. Pengobatannya melibatkan pendekatan ilmiah dan klinis yang terstruktur untuk menekan perkembangan infeksi, mempercepat pemulihan pasien, serta mencegah komplikasi dan penyebaran. Prinsip dasar pengobatan infeksi ini mencakup: diagnosis akurat, pemilihan agen antimikroba yang tepat, pemahaman farmakokinetik/dinamik obat, durasi terapi yang sesuai, dan strategi pencegahan resistensi antimikroba.

Dalam mengobati infeksi tersebut, diperlukan pendekatan yang sistematis dan berbasis bukti, yang mempertimbangkan jenis patogen, mekanisme patogenisitas, kondisi inang, serta potensi resistensi antimikroba. Prinsip dasar pengobatan infeksi mikroba tidak hanya menitikberatkan pada eliminasi patogen, tetapi juga pada pencegahan komplikasi, pengelolaan resistensi, dan pemulihan fungsi tubuh pasien.

#### **1. Diagnosis yang Cepat dan Akurat**

Diagnosa yang tepat merupakan dasar utama pengobatan infeksi. Identifikasi patogen yang menyebabkan penyakit dapat dilakukan melalui:

- a. Kultur mikrobiologi (bakteri, jamur)
- b. PCR (untuk virus seperti SARS-CoV-2 atau HIV)

- c. Tes serologis atau antigen : Pemilihan terapi akan berbeda tergantung pada jenis mikroba yang ditemukan. Misalnya, infeksi virus tidak memerlukan antibiotik, yang sering kali disalahgunakan. ( Peterson, et.al., 2018; Cunha., 2009)

## 2. Terapi Antimikroba: Empiris dan Definitif

- a. Empiris: Dilakukan sebelum hasil laboratorium tersedia. Pemilihan berdasarkan spektrum luas dan data epidemiologi lokal.
- b. Definitif: Disesuaikan setelah hasil identifikasi dan sensitivitas patogen keluar.

Tujuan utamanya adalah memulai pengobatan secepat mungkin tanpa membahayakan efektivitas jangka panjang antimikroba. Contoh: Untuk kasus pneumonia, terapi empiris bisa berupa antibiotik spektrum luas, tetapi setelah ditemukan *Streptococcus pneumoniae* sensitif terhadap penisilin, terapi disesuaikan. (Mandell, L. A., et al., 2007; Dellit, T. H. et al., 2007)

Pemahaman tentang bagaimana obat diserap, didistribusikan, dimetabolisme, dan dieliminasi (farmakokinetik), serta bagaimana obat mempengaruhi mikroba (farmakodinamik), sangat penting.

- a.  $T > MIC$ : Antibiotik  $\beta$ -laktam (penisilin, cephalosporin) efektif bila waktu di atas konsentrasi hambat minimum (MIC) diperpanjang.
- b.  $C_{max}/MIC$ : Aminoglikosida bergantung pada konsentrasi puncak.
- c.  $AUC/MIC$ : Fluorokuinolon dan vancomycin membutuhkan paparan kumulatif relatif terhadap MIC.

Penggunaan optimal antimikroba memerlukan pemahaman tentang:

- a. Farmakokinetik (PK): Seperti bioavailabilitas, distribusi, metabolisme, dan ekskresi obat.
- b. Farmakodinamik (PD): Hubungan antara konsentrasi obat dan aktivitas antimikroba (misalnya, waktu di atas MIC,  $C_{max}/MIC$ ,  $AUC/MIC$ ).

Contoh:

- a.  $\beta$ -laktam: waktu di atas MIC adalah faktor utama.
- b. Aminoglikosida: efektivitas bergantung pada rasio  $C_{max}/MIC$ . (Craig, 2018)

### 3. Dosis dan Durasi Pengobatan

Dosis harus disesuaikan berdasarkan berat badan, fungsi ginjal/hati, dan lokasi infeksi. Durasi harus cukup untuk membasmi patogen, tetapi tidak berlebihan agar tidak menimbulkan resistensi.

Durasi pengobatan harus cukup untuk membersihkan infeksi, namun tidak boleh berlebihan karena berisiko meningkatkan resistensi dan efek samping.

- a. Faringitis streptokokus: 10 hari penisilin
- b. Infeksi saluran kemih sederhana: 3–5 hari
- c. Pneumonia komunitas ringan: 5–7 hari. Spellberg, B. (2016).

### 4. Pemantauan Respons dan Penyesuaian Terapi

Respons terhadap pengobatan dinilai dari:

- a. Perbaikan klinis (demam turun, gejala berkurang),
- b. Parameter laboratorium (leukosit, CRP, prokalsitonin),
- c. Evaluasi radiologis untuk infeksi organ dalam.

Bila perlu, terapi diubah berdasarkan kultur lanjutan atau bila terjadi efek samping berat. (Tamma, P. D. & Cosgrove, S. E., 2011)

#### 5. Pencegahan Resistensi Antimikroba

Resistensi antimikroba menjadi ancaman serius terhadap kesehatan masyarakat global. Prinsip pengendaliannya meliputi:

- a. Penggunaan antibiotik berdasarkan hasil uji laboratorium
- b. Edukasi pasien untuk menyelesaikan pengobatan
- c. Penggunaan antibiotik spektrum sempit bila memungkinkan
- d. Pengawasan ketat di fasilitas pelayanan Kesehatan. (World Health Organization WHO., 2022).

#### 6. Pemantauan Respons dan Penyesuaian Terapi

Respons terhadap pengobatan dinilai dari:

- a. Perbaikan klinis (demam turun, gejala berkurang),
- b. Parameter laboratorium (leukosit, CRP, prokalsitonin),
- c. Evaluasi radiologis untuk infeksi organ dalam.

Bila perlu, terapi diubah berdasarkan kultur lanjutan atau bila terjadi efek samping berat.

### **Perkembangan Terbaru dalam Terapi Antimikroba**

#### 1. Antibiotik Baru yang Disetujui

Seiring meningkatnya resistensi antimikroba (AMR), pengembangan dan persetujuan antibiotik baru menjadi prioritas global. Beberapa antibiotik terbaru yang telah disetujui meliputi:

- a. Gepotidacin (Blujepa): Disetujui oleh FDA pada Maret 2025 untuk mengobati infeksi saluran kemih (ISK) tanpa komplikasi pada perempuan dan remaja perempuan berusia 12 tahun ke atas. Gepotidacin bekerja dengan mekanisme unik yang membedakannya dari antibiotik lain, menjadikannya efektif melawan bakteri resisten seperti *E. coli*.
  - b. Zevtera (Ceftobiprole Medocaril Sodium): Disetujui oleh FDA pada April 2024 untuk mengobati infeksi aliran darah akibat *Staphylococcus aureus*, infeksi kulit dan struktur kulit bakteri akut, serta pneumonia bakteri komunitas pada pasien dewasa dan anak-anak berusia tiga bulan ke atas. (PharmTech, 2024)
  - c. Emblaveo (Aztreonam-Avibactam): Direkomendasikan oleh EMA untuk pengobatan infeksi intra-abdomen dan ISK yang rumit, serta pneumonia yang didapat di rumah sakit, terutama yang disebabkan oleh bakteri Gram-negatif aerobik yang resisten.
2. Terapi Non-Tradisional dan Inovatif

Selain antibiotik konvensional, pendekatan baru dalam terapi antimikroba sedang dikembangkan:

- a. Terapi Berbasis Peptida Antimikroba (AMPs): AMPs menunjukkan potensi sebagai antibiotik baru, terutama terhadap bakteri ESKAPE. Namun, tantangan seperti waktu paruh pendek, toksisitas, dan biaya produksi tinggi masih menjadi hambatan. (ScienceDirect, 2024)
- b. Terapi Bakteriofag yang Ditingkatkan dengan CRISPR: Locus Biosciences mengembangkan terapi menggunakan bakteriofag yang ditingkatkan dengan CRISPR untuk mengatasi infeksi saluran kemih yang disebabkan oleh *E. coli* resisten antibiotik. Uji coba awal menunjukkan hasil yang menjanjikan. (Wired, 2024)

- c. Nanopartikel Antimikroba: Penggunaan nanopartikel, seperti nanopartikel selenium yang dikombinasikan dengan bakteriosin, menawarkan pendekatan baru dalam mengatasi infeksi resisten dengan cara mengganggu membran bakteri dan menghasilkan spesies oksigen reaktif .
3. Pendekatan Terapi Kombinasi dan Penghambatan Quorum Sensing
  - a. Terapi Kombinasi: Menggabungkan beberapa antibiotik atau agen antimikroba untuk meningkatkan efektivitas dan mengurangi kemungkinan resistensi. Studi terbaru menyoroti pentingnya memahami dinamika interaksi obat dalam terapi kombinasi. (ScienceDirect, 2024).
  - b. Penghambatan Quorum Sensing (QS): Pendekatan inovatif yang menargetkan komunikasi antar bakteri untuk mengurangi virulensi dan resistensi. Misalnya, penggunaan RNAIII inhibiting peptide (RIP) dapat mengganggu sistem regulasi gen aksesori (AGR) pada bakteri, meningkatkan respons imun inang. (Arxiv, 2024).
4. Pembaruan Daftar Patogen Prioritas WHO

Pada Mei 2024, WHO merilis pembaruan Daftar Patogen Prioritas Bakteri (BPPL) yang menyoroti 15 keluarga bakteri resisten antibiotik yang paling mengancam kesehatan manusia. Daftar ini membantu memprioritaskan penelitian dan pengembangan antibiotik baru. (WHO, 2024)
5. Tantangan Akses terhadap Antibiotik

Studi yang dipublikasikan di *The Lancet Infectious Diseases* mengungkapkan bahwa kurang dari 7% pasien dengan infeksi resisten obat di negara berpenghasilan rendah dan menengah menerima antibiotik yang dibutuhkan. Kekurangan akses ini tidak hanya menyebabkan penderitaan dan kematian yang signifikan tetapi juga dapat memperburuk ancaman resistensi antimikroba. (The Guardian, 2025).

Perkembangan terbaru dalam terapi antimikroba menunjukkan kemajuan signifikan dalam menghadapi tantangan resistensi antibiotik. Namun, tantangan seperti akses yang tidak merata, biaya tinggi, dan kebutuhan akan pendekatan terapi yang lebih inovatif tetap menjadi perhatian utama. Kolaborasi global dalam penelitian, pengembangan, dan distribusi terapi antimikroba sangat penting untuk mengatasi krisis kesehatan global ini.

### **Tantangan Global Terkait Resistensi Obat**

#### 1. Definisi dan Dampak Global AMR

Resistensi antimikroba (AMR) terjadi ketika mikroorganisme seperti bakteri, virus, jamur, dan parasit mengalami perubahan yang membuat obat-obatan yang sebelumnya efektif menjadi tidak lagi mampu mengatasi infeksi yang ditimbulkan. AMR kini diakui sebagai salah satu ancaman kesehatan global terbesar.

Sebuah studi komprehensif yang diterbitkan di *The Lancet* memperkirakan bahwa pada tahun 2019, sekitar 1,27 juta kematian secara langsung disebabkan oleh infeksi bakteri resisten, dan total 4,95 juta kematian terkait dengan AMR secara global. Angka ini melampaui jumlah kematian akibat HIV/AIDS dan malaria pada tahun yang sama (The Lancet, 2022)

#### 2. Faktor Penyebab dan Penyebaran AMR

##### a. Penggunaan Antibiotik yang Tidak Tepat

Penggunaan antibiotik yang berlebihan atau tidak sesuai indikasi, baik di sektor kesehatan manusia maupun hewan, mempercepat munculnya resistensi. Di beberapa negara, antibiotik dapat diperoleh tanpa resep, meningkatkan risiko penyalahgunaan.

b. Akses Terbatas terhadap Antibiotik yang Efektif

Penelitian menunjukkan bahwa kurang dari 7% pasien dengan infeksi resisten di negara berpenghasilan rendah dan menengah menerima antibiotik yang sesuai. Kekurangan akses ini tidak hanya meningkatkan angka kematian tetapi juga memperburuk penyebaran AMR. (Guardian, 2025)

c. Sanitasi dan Higiene yang Buruk

Kurangnya akses terhadap air bersih, sanitasi yang memadai, dan praktik higiene yang baik meningkatkan risiko infeksi dan penggunaan antibiotik yang tidak perlu. Peningkatan akses terhadap fasilitas sanitasi dan vaksinasi anak-anak dapat mencegah ratusan ribu kematian terkait AMR setiap tahunnya.

d. Perjalanan Internasional dan Globalisasi

Mobilitas manusia dan hewan secara global memfasilitasi penyebaran mikroorganisme resisten. Contohnya, enzim NDM-1 yang pertama kali ditemukan di India telah menyebar ke berbagai negara melalui pelancong internasional. (Chindelevitch L, et al, 2022)

3. Strategi Penanggulangan AMR

a. Pendekatan One Health

Mengintegrasikan kesehatan manusia, hewan, dan lingkungan untuk mengatasi AMR secara holistik.

b. Pengawasan dan Pengendalian Infeksi

Meningkatkan kapasitas laboratorium, sistem surveilans, dan praktik pengendalian infeksi di fasilitas kesehatan.

c. Penggunaan Antibiotik yang Bijak

Menerapkan program stewardship antibiotik untuk memastikan penggunaan yang tepat dan mengurangi resistensi.

d. Riset dan Pengembangan

Investasi dalam penelitian untuk mengembangkan antibiotik baru dan alternatif pengobatan lainnya.

e. Pendidikan dan Kesadaran Publik

Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang bahaya AMR dan pentingnya penggunaan antibiotik yang rasional. (Chindelevitch L, et al, 2022)

Resistensi antimikroba merupakan tantangan global yang kompleks dan memerlukan pendekatan multidisipliner serta kerja sama internasional. Tanpa tindakan yang tepat, AMR dapat mengancam pencapaian kesehatan masyarakat yang telah diraih selama beberapa dekade terakhir.

### **Peran Penting Tenaga Medis Serta Masyarakat dalam Mengatasi Ancaman Infeksi.**

Infeksi merupakan salah satu tantangan utama dalam sistem kesehatan global. Peningkatan kasus infeksi, baik yang bersifat endemik maupun pandemi, menuntut keterlibatan aktif dari berbagai pihak, terutama tenaga medis dan masyarakat. Kolaborasi antara keduanya menjadi kunci dalam upaya pencegahan dan pengendalian penyebaran penyakit infeksi.

1. Peran Tenaga Medis

Tenaga medis, termasuk dokter, perawat, dan tenaga kesehatan lainnya, berada di garis depan dalam menghadapi ancaman infeksi. Mereka memiliki tanggung jawab dalam diagnosis, pengobatan, serta edukasi kepada pasien dan masyarakat.

Studi oleh Ahmad et al. (2023) menunjukkan bahwa pelaksanaan Pencegahan dan Pengendalian Infeksi (PPI) di Puskesmas Temanggung selama pandemi COVID-19 telah berjalan dengan baik, meskipun masih terdapat beberapa kesenjangan antara pelaksanaan dan kebijakan yang berlaku. Hal ini menekankan pentingnya peran tenaga medis dalam menerapkan protokol PPI secara konsisten.

Selain itu, penggunaan alat pelindung diri (APD), kebersihan tangan, dan pengetahuan yang memadai menjadi faktor penting dalam mencegah infeksi nosokomial di fasilitas kesehatan. Penelitian oleh Sari (2022) menekankan bahwa perawat memiliki peran krusial dalam pengendalian infeksi di ruang rawat inap.

## 2. Peran Masyarakat

Masyarakat juga memegang peranan penting dalam upaya pencegahan infeksi. Edukasi kesehatan yang efektif dapat meningkatkan pemahaman masyarakat tentang penyakit infeksi dan langkah-langkah pencegahannya. Kegiatan penyuluhan dan pemberdayaan masyarakat, seperti yang dilakukan di Puskesmas Kota Timur, telah terbukti meningkatkan kesadaran dan pengetahuan masyarakat mengenai penyakit infeksi. (Paneo, et. Al, 2024)

Selain itu, keterlibatan masyarakat dalam program-program kesehatan, seperti posyandu dan kegiatan kebersihan lingkungan, dapat membantu menurunkan angka kejadian infeksi. Pemberdayaan masyarakat dalam upaya pencegahan penyakit, seperti demam berdarah dengue, juga menunjukkan hasil yang positif dalam menekan penyebaran penyakit.

## 3. Kolaborasi Tenaga Medis dan Masyarakat

Kolaborasi antara tenaga medis dan masyarakat sangat penting dalam mengatasi ancaman infeksi. Tenaga medis dapat memberikan edukasi dan bimbingan kepada masyarakat, sementara masyarakat dapat menerapkan pengetahuan tersebut dalam kehidupan sehari-hari. Sinergi ini akan menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan tangguh terhadap ancaman infeksi.

Mengatasi ancaman infeksi memerlukan pendekatan holistik yang melibatkan semua pihak. Tenaga medis dan masyarakat harus bekerja sama dalam menerapkan langkah-langkah pencegahan dan

pengendalian infeksi. Dengan kolaborasi yang erat, kita dapat menciptakan sistem kesehatan yang lebih kuat dan masyarakat yang lebih sehat.

### **Kesimpulan**

Infeksi oleh mikroba patogen, seperti bakteri, virus, jamur, dan parasit, masih merupakan masalah besar bagi kesehatan global. Setiap jenis mikroba memiliki cara yang berbeda untuk menginfeksi, seperti menyerang sel, mengeluarkan toksin, dan mengontrol sistem kekebalan tubuh. Untuk mengatasi infeksi ini, dasar pengobatan berpusat pada penghapusan mikroba melalui pengobatan yang tepat dan pemulihan sistem imun pasien. Antibiotik spektrum sempit, terapi fag, dan agen imunomodulator adalah beberapa jenis terapi antimikroba generasi baru yang telah dikembangkan sebagai hasil dari kemajuan ilmu pengetahuan.

## Daftar Pustaka

- Ahmad, N. F., Budiyanti, R. T., & Fatmasari, E. Y. (2023). Pelaksanaan Pencegahan dan Pengendalian Infeksi (PPI) di Puskesmas Temanggung selama Masa Pandemi COVID-19. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 11(5), 471–480. <https://doi.org/10.14710/jkm.v11i5.37073E-Journal UNDIP+1E-Journal UNDIP+1>
- Antimicrobial Resistance Collaborators. Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. *The Lancet*. 2022;399(10325):629–655.
- Chindelevitch L, et al. Applying data technologies to combat AMR: current status, challenges, and opportunities on the way forward. *arXiv*. 2022.
- Craig, W. A. (1998). *Pharmacokinetic/Pharmacodynamic Parameters: Rationale for Antibacterial Dosing of Mice and Men*. *Clinical Infectious Diseases*, 26(1), 1–10. <https://doi.org/10.1086/516284>
- Cunha, B. A. (2009). *Diagnostic Principles in Infectious Diseases*. *Infectious Disease Clinics of North America*, 23(4), 895–920. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2009.06.004>
- Dellit, T. H. et al. (2007). *Infectious Diseases Society of America and Society for Healthcare Epidemiology of America Guidelines for Developing an Institutional Program to Enhance Antimicrobial Stewardship*. *Clinical Infectious Diseases*, 44(2), 159–177. <https://doi.org/10.1086/510393>
- Li, C., Wei, Y., Qin, C., Chen, S., & Shao, X. (2024). *Immunogenic cell death triggered by pathogen ligands via host germ line-encoded receptors*. *arXiv preprint*.
- Mandell, L. A., et al. (2007). Infectious Diseases Society of America/American Thoracic Society consensus guidelines on the management of community-acquired pneumonia. *Clinical Infectious Diseases*, 44(S2), S27–S72. <https://doi.org/10.1086/511159>

- O'Neill, J. (2016). *Tackling Drug-Resistant Infections Globally: Final Report and Recommendations. Review on Antimicrobial Resistance*. <https://amr-review.org/>
- Paneo, et. Al (2024). Peningkatan Pemahaman Masyarakat Mengenai Penyakit Akibat Infeksi di Puskesmas Kota Timur Gorontalo. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Farmasi*. DOI: <https://doi.org/10.37905/phar.soc.v3i1.24944>
- Peterson, L. R., & Thomson, R. B. (2018). Laboratory diagnosis of infectious diseases. *Clinics in Laboratory Medicine*, 38(1), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.cll.2017.10.003>
- Petrov, D. (2024). *Microbial pathogenesis: An insight into the mechanisms of infection and disease*. *Microbiology: Current Research*, 8(3), 209. Artikel ini memberikan wawasan tentang mekanisme patogenesis mikroba dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.
- Rahmawati, R., & Wulandari, S. (2021). Peningkatan Pemahaman Masyarakat Mengenai Penyakit Akibat Infeksi di Puskesmas Kota Timur. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 5(1), 45–50. *EJurnal Universitas Negeri Gorontalo*
- Sari, D. P. (2022). Tindakan Pengendalian Infeksi pada Perawat di Ruang Rawat Inap di Rumah Sakit Kota Semarang. *Jurnal Ilmu Keperawatan*, 10(2), 123–130. *E-Journal Poltekkes Semarang*
- Singh, V., et al. (2023). *Mechanisms during bacterial infection: cellular recognition, signalling and regulation*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*.
- Soni, J., Sinha, S., & Pandey, R. (2024). Understanding bacterial pathogenicity: a closer look at the journey of harmful microbes. *Frontiers in Microbiology*.
- Spellberg, B. et al. (2016). *Short-Course Antimicrobial Therapy for Infections in Adults*. *JAMA Internal*

- Medicine*, 176(9), 1254–1263.  
<https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2016.3646>
- Tamma, P. D. & Cosgrove, S. E. (2011). *Antimicrobial Stewardship. Infectious Disease Clinics of North America*, 25(1), 245–260.  
<https://doi.org/10.1016/j.idc.2010.11.007>
- Tan, X., Sun, L., Chen, J., & Chen, Z. J. (2018). *Detection of Microbial Infections Through Innate Immune Sensing of Nucleic Acids*. *Annual Review of Microbiology*, 72, 447–478. Artikel ini membahas bagaimana sistem imun bawaan mendeteksi infeksi mikroba melalui pengenalan asam nukleat.
- The Guardian. Huge number of deaths linked to superbugs can be avoided, say experts. 2024. The Guardian
- The Guardian. Lack of access to antibiotics is driving spread of superbugs, finds research. 2025. The Guardian
- World Health Organization (WHO). (2022). Global Action Plan on Antimicrobial Resistance. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241509763>
- Yulianti, D., & Pratiwi, R. (2021). Pemberdayaan Masyarakat dalam Upaya Pencegahan Demam Berdarah Dengue di Puskesmas Karangdoro. *Jurnal Abdimas*, 3(2), 60–65.
- Zachary, J. F. (2017). *Mechanisms of Microbial Infections*. *Pathologic Basis of Veterinary Disease*. Artikel ini membahas secara mendalam tahapan infeksi mikroba dan interaksinya dengan sistem imun inang

## Profil Penulis



### **Ucik Agusti Wulanningsih, M.Pd., Gr.**

Awal masuknya penulis ke dunia ilmu biologi dimulai pada tahun 2002, dimana penulis tercatat sebagai mahasiswa jurusan Pendidikan Biologi Universitas Negeri Malang. Setelah lulus S1 pada tahun 2006, penulis bekerja di beberapa sekolah sampai pada tahun 2010 diangkat menjadi PNS sebagai guru IPA di SMK Negeri 6 Malang dan akhirnya mulai 2016 sampai sekarang mengabdikan sebagai guru Biologi di SMA Negeri 6 Malang. Pada tahun 2023 penulis mendapatkan kesempatan untuk mengembangkan diri dengan melanjutkan studi S2 di Universitas Negeri Malang dan lulus pada Januari 2025. Penulis memiliki beberapa karya jurnal penelitian yang dilakukannya secara mandiri maupun kolaborasi. Rekam jejak penulisan karya ilmiahnya dapat dicek di Google Scholar dengan ID <https://scholar.google.com/citations?user=ZLek9SIAAAAJ&hl=id>, Sinta ID: <https://ejournal.umm.ac.id/index.php/jpbi/index>. Sebagai guru, penulis juga aktif menulis buku ber ISBN pada tahun 2022 dan 2023. Harapan penulis karya-karyanya dapat bermanfaat untuk dunia Pendidikan pada umumnya dan sekolah tempat mengabdikan pada khususnya.

Email Penulis: [ucikwulanningsih78@guru.sma.belajar.id](mailto:ucikwulanningsih78@guru.sma.belajar.id)



## MIKROBA DAN MAKANAN

**Meta Yuliana, M.Si.**

Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang

Mikroba memiliki pengaruh yang besar terhadap kualitas suatu bahan pangan atau makanan, termasuk juga minuman. Keberadaan mikroba dapat meningkatkan kualitas makanan dengan meningkatkan nilai gizi, rasa dan keawetan makanan tersebut, namun mikroba juga dapat menurunkan kualitas suatu makanan, terutama sangat berperan dalam pembusukan bahan pangan. Sulastri et al., (2022) menjelaskan bahwa keberadaan mikroba pada makanan dipengaruhi oleh lingkungan tempat makanan tersebut misalnya pH, suhu, aktivitas air, sistem pengemasan, struktur makanan, kelembapan relatif dan komposisi atmosfer. Sehingga, pengetahuan mengenai peranan mikroba dalam makanan dan proses pengolahan makanan akan membuat kualitas makanan dapat terjaga dengan baik. Bab ini akan membahas mengenai sejauh mana peranan mikroba terhadap makanan terutama keuntungan dan kerugian yang ditimbulkannya.

### **Fermentasi**

Fermentasi merupakan suatu proses pengolahan makanan dan minuman dengan melibatkan mikroba melalui perubahan komposisi makanan oleh enzim yang dihasilkan mikroba tersebut. Secara sejarah, fermentasi awalnya digunakan untuk proses preservasi makanan agar tetap awet, seiring berkembangnya teknologi, fermentasi dimanfaatkan untuk menghasilkan senyawa antimikroba yang dapat mengurangi

kontaminasi oleh patogen, selain itu fermentasi pada makanan dan minuman ditujukan untuk meningkatkan sifat organoleptis (tekstur dan rasa), dan pada beberapa bahan pangan ditujukan untuk mengurangi kandungan fenolik yang menyebabkan rasa pahit (seperti pada teh, kopi dan sorgum) (Dimidi et al., 2019).

Menurut Dimidi et al., (2019), fermentasi terjadi melalui dua proses yaitu fermentasi spontan dan fermentasi berbasis inokulum mikroba. Fermentasi spontan umumnya proses fermentasi yang menggunakan mikroba alami yang terdapat pada substrat atau bahan fermentasi, misalnya pada fermentasi sauerkraut, kimchi, dan beberapa produk fermentasi berbahan kedelai. Proses fermentasi dilakukan dengan menjaga suhu, pH dan ketersediaan substrat yang mengandung nutrisi bagi perkembangan mikroba alami yang ada pada substrat. Sedangkan, fermentasi berbasis inokulum mikroba yaitu fermentasi yang dilakukan dengan penambahan kultur kedalam substrat fermentasi, misalnya fermentasi yogurt dan kombucha. Proses fermentasi berbasis inokulum juga melibatkan penambahan produk hasil fermentasi sebelumnya (selain mikroba kultur) bertujuan mempercepat proses fermentasi. Penambahan mikroba kultur atau inokulum dalam proses fermentasi menjadikan proses fermentasi lebih cepat dibanding proses fermentasi spontan, juga kualitas produk juga lebih terukur dan meningkatkan sifat organoleptis produk lebih baik.

Fermentasi dibagi menjadi beberapa tipe berdasarkan produk akhir metabolismenya (Muller, 2001). Pertama, fermentasi etanol, yaitu fermentasi yang menghasilkan produk berupa etanol, biasanya produk akhir ini dihasilkan dari fermentasi oleh fungi termasuk juga spesies *Zymomonas*, meskipun beberapa bakteri asam laktat, enterobakter dan clostridia juga menghasilkan etanol sebagai produk akhir fermentasi.. Fungi mengubah glukosa melalui proses glikolisis dan menghasilkan produk akhir etanol. Fermentasi etanol oleh fungi digunakan untuk menghasilkan minuman

beralkohol seperti bir dan wine. Etanol juga digunakan sebagai bahan mentah pada industri kimia.

Kedua, fermentasi asam laktat, merupakan produk akhir fermentasi berupa laktat yang dihasilkan oleh bakteri asam laktat. Meskipun pada proses fermentasi ini juga menghasilkan etanol dan karbondioksida namun dominannya adalah asam laktat. Bakteri asam laktat sering ditemukan pada produk fermentasi berbahan baku susu, tanaman, dan saluran pencernaan pada manusia dan hewan. Bakteri ini sering digunakan oleh industri makanan misalnya pada proses pengolahan yogurt, keju, mentega yang menggunakan susu sebagai bahan baku utama. Bakteri asam laktat juga dapat dimanfaatkan dalam produksi acar, *sour dough*, sauerkraut dan sosis. Fermentasi asam laktat juga dimanfaatkan sebagai proses preservasi makanan, karena asam yang dihasilkan diketahui dapat menekan pertumbuhan bakteri patogen dan meningkatkan sifat organoleptis produk makanan yang dihasilkan.

Ketiga, fermentasi propionat, yaitu fermentasi yang produk metabolisme akhir utamanya adalah propionat. Bakteri mengubah glukosa menjadi produk akhir berupa campuran propionat, asetat dan karbondioksida. Selain itu, fermentasi ini juga dapat menghasilkan propionat dari perubahan asam laktat (lanjutan dari fermentasi asam laktat). *Clostridium propionicum* adalah salah satu bakteri yang mampu menghasilkan propionat. Fermentasi ini digunakan dalam pembuatan keju Swiss.

Keempat, fermentasi asam campuran dan butanediol, merupakan fermentasi yang dilakukan oleh mikroba dari kelompok Enterobakter-fakultatif anaerob. Kelompok dari genus *Salmonella*, *Escherichia*, *Citrobacter*, *Shigella* dan *Proteus* mengubah glukosa menjadi asam campuran berupa asetat, laktat dan format, karbondioksida dan etanol. Sedangkan, kelompok *Klabsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Erwinia* dan *Hafnia* memproduksi butanediol. Butanediol berpotensi sebagai tambahan bahan bakar dan bahan baku kimia.

Kelima, fermentasi butirrat dan aseton-butanol, yaitu fermentasi yang produk akhir metabolismenya menghasilkan butirrat dan butanol, umumnya dilakukan oleh bakteri dari spesies Clostridial, contohnya *Clostridium butyricum* yang merupakan bakteri fermentor butirrat, dan *Clostridium acetobutylicum* untuk fermentasi aseton-butanol. Kedua senyawa ini digunakan sebagai pelarut bahan kimia dalam proses industri. Keenam, fermentasi homoasetat, yaitu fermentasi yang menghasilkan asetat. Asetat sering menjadi produk akhir dari berbagai proses fermentasi lain (misalnya dalam fermentasi asam laktat).

### **Jenis-jenis Makanan Fermentasi**

Fermentasi asam laktat merupakan fermentasi yang umumnya digunakan untuk pengolahan makanan dan minuman. Menurut Tamang et al., (2016) makanan fermentasi secara global dapat dikategorikan menjadi sembilan kelompok yaitu, 1) fermentasi sereal, 2) fermentasi sayuran dan rebung, 3) fermentasi legume, 4) fermentasi akar atau umbi, 5) fermentasi susu, 6) fermentasi dan preservasi produk daging, 7) fermentasi olahan ikan, 8) Produk fermentasi lainnya (misal oncom, tapai), 9) fermentasi minuman beralkohol.

#### **1. Fermentasi Sereal**

Fermentasi sereal biasanya melibatkan spesies bakteri asam laktat seperti *Enterococcus*, *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Weisella*, dan kelompok yeast yaitu *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida*, *Debaryomyces*, *Hansenula*, *Kazachstania*, *Pichia*, *Trichosporon*, dan *Yarrowia*. Beberapa contoh makanan hasil fermentasi sereal misalnya Angkak (dari beras merah), Kisra (dari sorghum), Tape ketan (dari ketan), dan Kenkey (dari jagung).

#### **2. Fermentasi sayuran dan rebung**

Fermentasi sayuran dan rebung melibatkan bakteri yang dominan dari spesies *Lactobacillus* dan *Pediococcus*, dan juga beberapa *Leuconostoc*,

*Weissella*, *Tetragenococcus* dan *Lactococcus*. Beberapa contoh produk sayuran fermentasi seperti kimchi (dari kubis / sawi), Mesu (dari rebung), Oiji (dari timun), sayur asin (dari kubis) dan Suan-cai (dari sayuran).

### 3. Fermentasi legume

Fermentasi legume, terutama kedelai terbagi menjadi dua yaitu fermentasi kedelai oleh kelompok *Bacillus* spp. (terutama *B. subtilis*) yang membuat karakter makanan produk menjadi kental atau lengket, kedua yaitu fermentasi kedelai dengan kapang berfilamen, khususnya *Aspergillus*, *Mucor*, *Rhizopus*. Beberapa contoh produk fermentasi kedelai diantaranya Bekang, Gochujang, Kecap, Natto, Oncom, Tauco, Tempe.

### 4. Fermentasi akar dan umbi

Tahapan awal fermentasi umbi didominasi oleh *Corynebacterium manihot* dan beberapa bakteri asam laktat (*Lb. Acidophilus*, *Lb. Casei*, *Lb. Fermentum*, *Lb. Pentosus*, *Lb. Plantarum*). Beberapa contoh produk hasil fermentasi umbi seperti Tape, Lafun, Fufu, dan Cingwada).

### 5. Fermentasi susu

Fermentasi susu terbagi menjadi dua kelompok yaitu fermentasi laktat yang didominasi oleh kelompok bakteri asam laktat, mencakup tipe termofili (contohnya yogurt, bulgarian buttermilk), tipe probiotik, dan tipe mesofilik. Kedua merupakan fermentasi fungi-laktat, dimana bakteri asam laktat berkerjasama dengan fungi untuk menghasilkan produk akhir yang mengandung alkohol seperti kefir dan koumiss, dan susu berjamur seperti susu viili dari Finlandia. Beberapa produk turunan juga dapat dihasilkan dari fermentasi susu, misalnya keju, dan dadih.

## 6. Fermentasi daging

Produk hasil fermentasi daging dikategorikan menjadi dua jenis yaitu produk yang terbuat dari potongan utuh daging atau lembaran seperti daging kering dan produk yang dibuat dari daging giling seperti sosis. Fermentasi daging melibatkan peran bakteri asam laktat, bakteri *coagulase-negative Staphylococci*, *micrococci* dan *Enterobacteriaceae*, terkadang fungi ikut terlibat pada proses beberapa produk daging. Beberapa contoh produk fermentasi misalnya Alheira, produk dari Portugal yang terbuat dari fermentasi daging babi, Kargyong dari India dibuat dari fermentasi daging sapi dan yak, Sucuk dari Turki yang dibuat dari fermentasi daging sapi atau babi.

## 7. Fermentasi Ikan

Proses fermentasi pada ikan ditujukan untuk preservasi atau proses mengawetkan ikan, selain pengawetan dengan proses menjemur, pengasapan dan memberi garam pada ikan. Proses ini biasa dilakukan oleh masyarakat yang tinggal didaerah pesisir laut, sungai dan danau. Proses fermentasi ikan melibatkan beberapa species bakteri dan fungi. Bekasam dan Petis, merupakan contoh produk fermentasi ikan (bisa juga udang) khas Indonesia yang proses fermentais melibatkan peran bakteri diantaranya, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Moraxella*, *Micrococcus*, *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Staphylococcus*, dan *Pediococcus* (proses Bekasam), *Ped. Halophilusm*, *Micrococcus*, *Halobacterium*, *Halococcus*, dan *Bacillus* (proses Petis). Selain itu, contoh lain seperti Jeotkal dari Korea, Kusaya dari Jepang, dan Sidra dari India.

## 8. Fermentasi Produk Lain

Produk cuka merupakan salah satu contoh produk yang diproses melalui fermentasi. Proses pembuatan cuka terjadi melalui proses pengubahan gula atau etanol melalui proses fermentasi dan dikonversi menjadi asam asetat oleh bakteri *Acetobacter aceti*

subsp. *Aceti*, *Acetobacter pasteurianus*, *Acetobacter polyxygenes*, *Acetobacter xylinum*, *Acetobacter malorum*, *Acetobacter pomorum*. Beberapa fungi dari kelompok *Candida*, *Saccharomyces*, *Zygosaccharomyces* dan *Pseudorouxii* juga terlibat. Selain itu, Teh fermentasi yang umumnya disukai oleh etnis Asia merupakan teh normal yang mengalami proses fermentasi untuk meningkatkan rasa dan kualitas teh. Miang dari Thailand, puer tea, fuzhuan dan kombucha dari China merupakan contoh minuman teh fermentasi. Coklat juga merupakan produk hasil fermentasi yang terbuat dari biji buah kakao. Fermentasi coklat melibatkan peran bakteri *Lb. fermentum* dan *Acetobacter pasteurianus* yang dominan dalam proses fermentasi, meskipun bakteri asam laktat ditemukan lebih banyak pada fermentasi coklat.

#### 9. Fermentasi minuman beralkohol

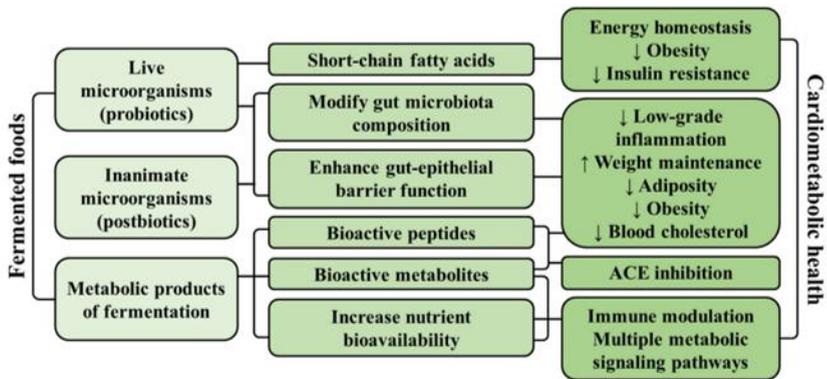
Produk minuman alkohol dibagi menjadi 10 tipe (Tamang, et al., 2016), yaitu:

- a. Minuman beralkohol yang tidak disuling dan tidak disaring, dan diproduksi oleh starter bakteri amilolitik. Alkohol diperoleh langsung dari proses fermentasi dan tidak disaring sehingga masih terdapat ampas ragi atau partikel padat dari substrat. Contohnya, bhaati jaanr dari India dan makgeolli dari Korea yang terbuat dari fermentasi beras.
- b. Minuman beralkohol yang tidak disuling dan mengalami proses penyaringan, diproduksi oleh starter bakteri amilolitik. Contohnya, Sake dari Jepang.
- c. Minuman beralkohol yang disuling dan disaring, dan diproduksi oleh starter bakteri amilolitik. Contohnya Shochu dari Jepang, dan Soju dari Korea.

- d. Minuman beralkohol yang diproduksi dengan melibatkan enzim amilase dari saliva manusia. Contohnya Chicha dari Peru.
- e. Minuman beralkohol yang diproduksi dengan menggunakan single-strain bakteri atau mono-fermentasi. Contohnya, Bir.
- f. Minuman beralkohol yang berbahan baku madu. Contohnya, Tej dari Ethiopia
- g. Minuman beralkohol yang berbahan baku dari tanaman. Contohnya, Toddy dari India, Pulque dari Mexico, Kanji dari India.
- h. Minuman beralkohol yang dibuat dari proses perendaman dan perkecambahan biji-bijian. Contohnya, Bir sorgum dari Afrika selatan, Pito dari Nigeria dan Ghana, Tchoukoutou dari Benin.
- i. Minuman beralkohol dari fermentasi buah-buahan dan tidak disuling. Contohnya, wine dan cider.
- j. Minuman beralkohol dari fermentasi buah dan sereal dan mengalami penyulingan. Contohnya, wiski dan brandy.

### **Fermentasi dan Kesehatan Manusia**

Makanan dan minuman fermentasi dibuat dengan melibatkan peran mikroba melalui berbagai tipe fermentasi, sehingga menghasilkan berbagai produk. Menurut Li et al., (2022), proses fermentasi meningkatkan kualitas nutrisi makanan, sebagai sumber senyawa turunan metabolisme (yang dihasilkan selama proses fermentasi), dan sebagai sumber mikroba hidup, sehingga konsumsi makanan fermentasi memberikan efek bagi kesehatan manusia.



Gambar 12.1. Diagram Pengaruh Makanan Fermentasi terhadap Kesehatan Manusia (Li et al., 2022)

Mikroba hidup hasil proses fermentasi yang terkandung dalam makanan dan/ minuman dikenal dengan istilah **Probiotik**. Istilah probiotik berasal dari bahasa Yunani yang artinya “*For life* atau Sesuatu yang Hidup”, merujuk pada bakteri hidup yang terdapat pada makanan tersebut. Kebanyakan bakteri probiotik terdiri atas strain bakteri dari genus *Lactobacillus* dan *Bifidobacterium*, selain itu terkadang dijumpai juga bakteri strain *Bacillus*, *Pediococcus* dan fungi, yang memiliki peranan penting dalam menjaga komposisi mikroba saluran pencernaan dan menjaga kesehatan manusia (Soccol et al., 2010).

Menurut Upadhyaya dan Kumar (2024), fermentasi merupakan proses pengolahan makanan, dan makanan fermentasi sebagai probiotik adalah produknya. Hal ini merujuk pada hubungan antara fermentasi dan probiotik, dimana makanan probiotik dibentuk oleh proses fermentasi, walaupun tidak semua produk fermentasi mengandung probiotik misalnya cuka. Makanan fermentasi sebagai probiotik umumnya adalah produk susu fermentasi seperti yogurt, juga beberapa produk dari bahan lain seperti kimchi, saerkraut, acar, dan minuman teh kombucha. Produk tradisional Indonesia yaitu tempeh (mentah) juga merupakan salah satu sumber probiotik yang mengandung bakteri asam laktat, *Enterococcus faecium* dan *Rhizopus*.

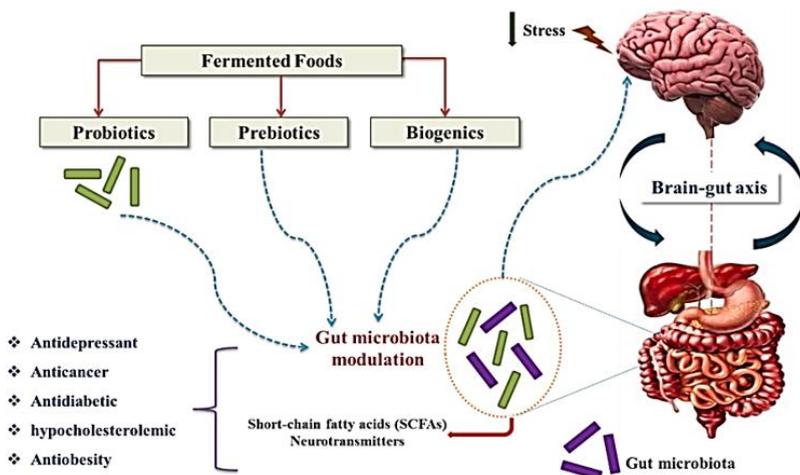
**Prebiotik** merupakan komponen makanan yang tidak dapat dicerna oleh tubuh manusia, namun tetapi berpotensi dalam mendukung pertumbuhan dan aktivitas bakteri pada saluran pencernaan, dan memberikan efek dalam meningkatkan kesehatan inangnya (Nasri et al., 2022). Prebiotik sangat berkaitan erat dengan probiotik dan fermentasi. Purwijantiningsih (2007) mengungkapkan bahwa penggunaan bahan baku prebiotik dalam fermentasi dapat meningkatkan kualitas produk hasil akhir khususnya viabilitas probiotik yang terkandung didalam produk tersebut.

Bakteri asam laktat, bakteri asam asetat, kapang dan fungi berfilamen merupakan kelompok probiotik yang mampu memberikan efek terhadap kesehatan manusia. Konsumsi probiotik dapat mengurangi resiko terhadap penyakit kronis. Proses fermentasi mampu menghilangkan komponen anti-nutrisi dalam bahan baku dan meningkatkan vitamin, mineral, enzim dan terutama komponen *Biologically active peptides* atau peptida fungsional yang berpotensi sebagai antibakteri, antioksidan, anti-hipertensi, anti-diabetik, dan anti-kanker (Nithya et al., 2023)

Nithya et al., (2023) menyebutkan bahwa Probiotik memiliki kemampuan dalam mengurangi efek samping kemoterapi pada pasien kanker, mencegah kondisi abnormal pada mikroba usus pasien kanker, selain itu mampu mencegah progresi atau perkembangan kanker dengan mengatur susunan mikroba usus dan mengubah senyawa metabolisme yang dihasilkan oleh mikroba. Namun hal ini bergantung pada pada tipe bahan baku makanan, kandungan fitokimia, populasi mikroba, tipe fermentasi dan jenis makanan fermentasi.

Probiotik juga memberikan pengaruh pada metabolisme lemak pada penderita diabetes dengan mengubah metabolisme mikroba usus. Selain itu, pengaruh probiotik dapat mencegah terjadinya disbiosis pada usus atau ketidakseimbangan pada komposisi mikroba yang dapat menyebabkan stress, bahkan masalah penyakit jantung. Hal ini dapat disimpulkan bahwa mekanisme kerja probiotik yaitu mengatur keseimbangan mikroba

usus sehingga akan berdampak pada kesehatan manusia dan mencegah bahkan mengobati penyakit kronis yang diderita.



Gambar 12.2. Gambaran Makanan Fermentasi Mempengaruhi Kesehatan Manusia dan Mencegah Penyakit Kronis (Nithya et al., 2023)

### Patogen pada Makanan

Penggunaan mikroba dalam proses fermentasi dan potensi probiotik bagi kesehatan manusia merupakan keuntungan dari mikroba bagi manusia terutama dalam hal pangan (makanan). Namun, mikroba juga memiliki dampak merugikan bagi manusia. Patogen makanan atau *Foodborne disease*, merupakan penularan penyakit melalui makanan yang sudah terkontaminasi. Penularan penyakit ini digolongkan menjadi dua yaitu keracunan makanan (*Food poisoning*) yaitu penyakit yang ditularkan oleh makanan yang mengandung bahan racun alami maupun racun komersil, dan bisa juga oleh mikroba yang menghasilkan racun seperti *Staphylococcus* dan *Clostridium*, sedangkan kedua yaitu infeksi makanan (*Food infection*) merupakan mikroorganisme yang masuk kedalam makanan lalu menyebabkan penyakit (Muna dan Khariri, 2020).

Genus *Salmonella* merupakan kelompok bakteri yang paling sering ditemukan sebagai kontaminan pada daging (Omer et al., 2018). Sipayung et al., (2023) melaporkan penemuan *Salmonella* pada daging ayam yang dijual di pasar tradisional, selain itu ditemukan juga bakteri kontaminan lain yaitu *E. coli*, *Campylobacter*, dan *L. monocytigenes*. Kontaminasi oleh *Salmonella*, *E. coli*, dan *Staphylococcus* juga ditemukan pada daging ikan, sapi dan babi (Sartike et al., 2019; Rudin et al., 2019; Elsyaningrat et al., 2022).

Mikroba juga dapat menjadi kontaminasi pada sayuran segar. *Staphylococcus* merupakan jenis bakteri yang dapat ditemukan sebagai kontaminasi pada sayuran segar seperti timun, kubis, dan oregano (Harsojo dan Chairul, 2011). Selain bahan pangan seperti daging dan sayur, patogen seperti *E.coli*, *Salmonella*, *Klabsiella*, *Staphylococcus*, juga dapat mencemari makanan siap saji seperti kue tradisional dan pempek serta jajanan anak sekolah, dan dapat menyebabkan keracunan makanan bagi konsumen makanan tersebut (Soeliongan et al., 2013; Dayanara et al., 2019; Pratama dan Haditjaroko, 2021). Pencegahan bakteri kontaminan pada makanan dapat dilakukan dengan proses tertentu, misalnya memasak bahan pangan seperti daging sampai matang, mencuci sayuran segar dengan sabun khusus dan memilih makanan yang higienis.

## Daftar Pustaka

- Dayanara, I., Kawuri, R., & Yulihastuti, D. A. (n.d.). Keberadaan bakteri patogen pada sampel pangan jajanan anak sekolah dasar di Pulau Sapeken, Sumenep, Jawa Timur The presences of pathogenic bacteria in snack for school children on Sapeken Island, Sumenep, East Java.
- Dimidi, E., Cox, S. R., Rossi, M., & Whelan, K. (2019). Fermented foods: Definitions and characteristics, impact on the gut microbiota and effects on gastrointestinal health and disease. In *Nutrients* (Vol. 11, Issue 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu11081806>
- Elsyaningrat, I. G. A. I. G., Pinatih, K. J. P., Fatmawati, N. N. D., & Darwinata, A. E. (2022). Prevalensi cemaran patogen Salmonella pada daging babi yang dijual di Pasar Tradisional di Kota Denpasar. *Intisari Sains Medis*, 13(2), 328–334.
- Harsojo & Chairul, S.M., (2011). Kandungan mikroba patogen, residu insektisida organofosfat dan logam berat dalam sayuran. *Ecolab*, 5(2).
- Li, K. J., Burton-Pimentel, K. J., Vergères, G., Feskens, E. J. M., & Brouwer-Brolsma, E. M. (2022). Fermented foods and cardiometabolic health: Definitions, current evidence, and future perspectives. *Frontiers in Nutrition*, 9, 976020. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.976020>
- Müller, V. (2001). Bacterial fermentation. In M. T. Madigan (Ed.), *Encyclopedia of Life Sciences*. Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/npg.els.0001415>
- Muna, F., & Khariri. (2020). Bakteri patogen penyebab Foodborne disease. *Prosiding seminar nasional biologi di era pandemi Covid-19, september 2020*.
- Nasri, N., Silalahi, J., Kaban, V. E., & Satria, D. (2023). A Review on The Benefits of Probiotics as Fermented Food against Several Diseases. *Journal of Functional*

Food and Nutraceutical.  
<https://doi.org/10.33555/jffn.v5i1.110>

- Nithya, A., Misra, S., Panigrahi, C., Dalbhat, C. G., & Mishra, H. N. (2023). Probiotic potential of fermented foods and their role in non-communicable diseases management: An understanding through recent clinical evidences. In *Food Chemistry Advances* (Vol. 3). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100381>
- Omer, M. K., Álvarez-Ordoñez, A., Prieto, M., Skjerve, E., Asehun, T., & Alvseike, O. A. (2018). A Systematic Review of Bacterial Foodborne Outbreaks Related to Red Meat and Meat Products. In *Foodborne Pathogens and Disease* (Vol. 15, Issue 10, pp. 598–611).
- Pratama, M., & Haditjaroko, D. L. (2021.). Evaluation Of Pathogen Bacteria In Various Packaging Conditions Of Pempek. *Jurnal teknologi pangan*, 15 (2).
- Purwijantiningsih, E. (2007). Pengaruh Jenis Prebiotik terhadap Kualitas Yogurt Probiotik Influence of Prebiotics Variety on the Quality of Probiotic Yogurt. 12(3), 177–185.
- Rudin, N.A., Perdana, N.G.A., Amalia, N.N., Rohmah, Z. (2019). Identifikasi bakteri patogen pada olahan daging sapi penyebab Klb keracunan pangan di temanggung tahun 2018. *Isu-isu strategis sains, lingkungan, dan inovasi pembelajaran*.
- Sartika, D., Hidayati, S., Fitriani, D. H., (2019). Kajian Cemaran Bakteri Patogen Pada Produk Olahan Ikan Study of Phatogen Bacteria Contaminant on Fish Processed Product. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 19(2).
- Sipayung, S. M., Rahayu, W. P., & Nurjanah, S. (2023). Prevalensi Cemaran Bakteri Indikator Sanitasi dan Patogen pada Daging Ayam dan Produk Olahannya di Indonesia: Sistematika Review dan Meta-Analisis. *Jurnal Mutu Pangan : Indonesian Journal of*

- Food Quality, 10(2), 116–127.  
<https://doi.org/10.29244/jmpi.2023.10.2.116>
- Socol, C. R., Porto De Souza Vandenberghe, L., Spier, M. R., Bianchi, A., Medeiros, P., Yamaguishi, C. T., De, J., Lindner, D., Pandey, A., & Thomaz-Socol, V. (n.d.). The Potential of Probiotics: A Review.
- Soeliongan, D., Rares, F., & Waworuntu, O. (2013). IDENTIFIKASI BAKTERI AEROB PATOGEN YANG DI ISOLASI DARI KUE SIAP SAJI YANG DIJUAL DI PASAR TRADISIONAL DI KOTA MANADO. In *Jurnal e-Biomedik (eBM)*(Vol. 1, Issue 3).
- Sulastrri, E., Andriani, C., Zainudin, M., Wardhani, S., Astriani, M., & Ariyanto, E. (2022). *Review: Peran mikrobiologi pada industri makanan*. *Indobiosains*, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.31851/indobiosains.v4i1.6444>
- Tamang, J. P., Watanabe, K., & Holzapfel, W. H. (2016). Review: Diversity of microorganisms in global fermented foods and beverages. *Frontiers in Microbiology*, 7, 377. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00377>
- Upadhyaya, S., & Kumar, R. (2024). Fermentation as a method of food processing and fermented food as probiotics: A review. *Journal of Food Science & Nutrition*, 10(2), Article 203. [https://doi.org/10.24966/FSN-1076/100203:contentReference\[oaicite:7\]{index=7}](https://doi.org/10.24966/FSN-1076/100203:contentReference[oaicite:7]{index=7})

## Profil Penulis



### **Meta Yuliana, M.Si,**

Ketertarikan penulis terhadap bidang ilmu Biologi mengantar penulis menyelesaikan pendidikan program sarjana di Universitas Sriwijaya Palembang, jurusan Pendidikan Biologi pada tahun 2014 dan pendidikan program master di Institut Pertanian Bogor, jurusan Mikrobiologi, yang diselesaikan pada tahun 2017. Penulis saat ini tercatat sebagai salah satu Dosen Biologi di Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang dengan kepakaran bidang yaitu Mikrobiologi. Penulis juga pernah menjadi pengampuh mata kuliah Taksonomi Tumbuhan, Bioteknologi dan Fikologi. Beberapa judul buku yang pernah ditulis bersama penulis lainnya, diantaranya Antimikroba tanaman lokal, Indonesia maju: Menjalin kolaborasi dan sinergitas, Teknologi Buah dan Sayur dan Pengantar Fikologi. Penulis juga pernah melakukan kolaborasi penelitian bersama peneliti lain dan menghasilkan artikel ilmiah dalam bidang Mikrobiologi, Bioteknologi dan Ekologi. Artikel tersebut telah diterbitkan pada berbagai jurnal tingkat nasional.

Email penulis : [metayuliana\\_uin@radenfatah.ac.id](mailto:metayuliana_uin@radenfatah.ac.id)

# MIKROBA DAN LINGKUNGAN INDUSTRI

**Dr. Ike Apriani, M.Si.**

Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang

## **Peran Mikroba dalam Proses Industri**

Mikroba sudah dimanfaatkan sejak peradapan kuno dalam menghasilkan produk seperti penggunaan ragi dalam pembuatan roti. Kemajuan pesat dalam pemanfaatan mikroba saat ini menjadikan mikroba sebagai sumber daya alam menjanjikan untuk tujuan masa depan tangguh dan berkelanjutan. Mikroba dapat dimanfaatkan di multisektor untuk menghasilkan produk bernilai dalam menjamin ketersediaan pasokan pangan, energi dan bahan baku berkelanjutan seperti biofuel, biomaterial, bioplastik, dan pengelolaan limbah serta pemulihan sumber daya untuk mengubah limbah menjadi produk bernilai seperti biogas, pupuk dan bahan kimia.

Mikroba dapat menghasilkan produk melalui kemampuannya dalam biokatalisis, biotransformasi, pencernaan anaerobik, dan proses bioremediasi. Biokatalisis memiliki keunggulan dibandingkan proses kimia tradisional karena selektivitas dan spesifisitasnya yang lebih baik. Biotransformasi digunakan dalam industri menghasilkan berbagai senyawa kimia, farmasi, makanan, dan pakan ternak, untuk menghasilkan vitamin, senyawa penyedap, biofuel, dan biomaterial lainnya. Pemanfaatan proses berbasis bio ini dapat menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan proses

kimia tradisional, diantaranya berlanjutan dan biaya produksi yang lebih rendah. Misalnya, proses yang bergantung secara biologis ini dapat menggunakan sumber daya terbarukan, seperti bahan limbah dan biomassa, sebagai substrat baik dengan mengurangi atau menghilangkan penggunaan bahan kimia dan dampaknya terhadap lingkungan. Proses pencernaan anaerobik dan bioremediasi dapat mengubah bahan limbah dan polutan menjadi produk berharga, seperti biogas, pupuk, dan bahan biokimia, yang dapat digunakan untuk menghasilkan barang dan jasa lainnya. Beberapa peran mikroba dalam menghasilkan produk industri dipaparkan sebagai berikut:

### 1. **Produksi enzim oleh Mikroba dalam industri**

Mikroba dilaporkan berperan dalam produksi berbagai enzim yang digunakan dalam proses industri dalam menghasilkan produk pangan, tekstil, kertas, energi dan lainnya yang dipaparkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Enzim yang diproduksi oleh mikroba dan kegunaannya dalam industri

<b>Enzim</b>	<b>Kegunaan</b>	<b>Mikroba penghasil enzim</b>
Amilase	<p><i>Industri Makanan dan Minuman</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• memecah gula pada kompleks tepung, memperbaiki tekstur dan volume produk akhir dalam pembuatan roti, serta meningkatkan masa simpan roti.</li> <li>• Enzim ini juga digunakan untuk produksi sirup glukosa fruktosa sebagai pemanis buatan yang digunakan dalam industri minuman,</li> <li>• meningkatkan nilai gizi dan fungsional produk.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>A. niger</i>;</li> <li>• <i>A. oryzae</i>;</li> <li>• <i>A. fumigatus</i>;</li> <li>• <i>Aspergillus flavus</i>;</li> <li>• <i>A. awamori</i>;</li> <li>• <i>A. kawachii</i>;</li> <li>• <i>Penicillium brunneum</i>;</li> <li>• <i>Penicillium expansum</i>;</li> <li>• <i>P. roqueforti</i>;</li> <li>• <i>P. camemberti</i>;</li> <li>• <i>Helminthosporium oksisporum</i>;</li> <li>• <i>Penicillium frequestans</i>;</li> <li>• <i>P. chrysogenum</i>;</li> <li>• <i>Penicillium fallutanum</i>.</li> </ul>

	<p><i>Industri kertas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• hidrolisis pati, meningkatkan kualitas kehalusan, kekuatan dan daya haps kertas.</li> </ul> <p><i>Industri tekstil</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bahan aditif detergen,</li> <li>• Menghilangkan pati</li> </ul> <p><i>Energi</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• mengubah pati menjadi gula agar dapat difermentasi untuk produksi bioetanol</li> </ul>	
Protease	<p><i>Industri makanan dan minuman</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• meningkatkan daya cerna makanan,</li> <li>• mengurangi jumlah senyawa alergen proteik;</li> <li>• mengubah sifat viskoelastis adonan;</li> <li>• peningkatan kualitas, terutama konsistensi, makanan kaya protein; pengempuk daging sapi; untuk mengurangi atau mengubah kandungan gluten gandum; untuk peningkatan produksi kecap dan turunan kedelai dengan menurunkan rasa pahit dan kelarutannya.</li> <li>• Untuk pembuatan keju dan produksi makropeptida;</li> <li>• produksi produk diet</li> </ul> <p><i>Industri tekstil</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• untuk meningkatkan formulasi deterjen agar lebih baik dalam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>A.flavus</i>;</li> <li>• <i>Aspergillus ochraceus</i></li> <li>• <i>Conidiobolus coronatus</i>;</li> <li>• <i>Rhizomucor miehei</i>;</li> <li>• <i>Endotia parasitica</i>;</li> <li>• <i>Mucor circinelloides</i>;</li> <li>• <i>Mucor pusillus</i>;</li> <li>• <i>P.camemberti</i>;</li> <li>• <i>P.citrinum</i>;</li> <li>• <i>Penicillium griseoroseum</i>;</li> <li>• <i>Penicillium restrictum</i></li> <li>• <i>P.roqueforti</i>;</li> <li>• <i>A.flavus</i>;</li> <li>• <i>A.oryzae</i>;</li> <li>• <i>A.niger</i>;</li> <li>• <i>R.oryzae</i>;</li> <li>• <i>T.reesei</i>;</li> <li>• <i>Trichoderma harzianum</i>.</li> </ul>

	<p>menghilangkan noda bandel;</p> <p><i>Industri kulit</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sebagai alternatif treatment kimia yang dibutuhkan untuk merendam, menghilangkan bulu, dan mencuci bahan mentah;</li> </ul> <p><i>Industri farmasi dan kosmetik,</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• enzim ini dapat digunakan untuk menghilangkan keratin pada jerawat atau psoriasis;</li> <li>• penghilangan bulu;</li> <li>• protease dapat digunakan untuk meningkatkan proses penyembuhan bekas luka atau untuk memperoleh plasma hidrolisat dengan sifat antioksidan.</li> </ul>	
Pektinase	<p><i>Industri makanan dan Minuman</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• untuk pemurnian sari apel dan anggur,</li> <li>• produksi anggur (untuk meningkatkan hasil sari dengan mengurangi kekentalan),</li> <li>• pemrosesan biji kopi untuk menghilangkan lapisan lendir;</li> <li>• mengurangi kekentalan pakan dan untuk meningkatkan penyerapan nutrisi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>A. niger</i></li> <li>• <i>A. flavus</i></li> <li>• <i>A. sojae</i></li> <li>• <i>A. terreus</i></li> <li>• <i>Alternaria citri</i></li> <li>• <i>Claviceps purpurea</i></li> <li>• <i>Fusarium moniliforme</i></li> <li>• <i>Botrytis cinerea</i></li> <li>• <i>A.kawakii</i></li> <li>• <i>Thermoascus aurantiacus</i></li> <li>• <i>Aspergillus japonicus,</i></li> <li>• <i>Akrofilopora nainiana</i></li> </ul>
Galaktosidase	<p><i>Industri makanan dan minuman</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pengolahan kedelai,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Trikoloma matsutake</i></li> <li>• <i>A. niger</i></li> <li>• <i>A.oryzae,</i></li> </ul>

	<p>bit gula, dan gom guar;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• peningkatan nilai gizi susu kedelai melalui degradasi oligosakarida yang tidak dapat dicerna;</li> <li>• pengolahan pakan hewan untuk menghilangkan kandungan oligosakarida famili rafinosa yang tinggi, yang dikaitkan dengan dampak negatifnya terhadap kesehatan usus;</li> <li>• untuk memperoleh bahan makanan fungsional seperti galakto oligosakarida prebiotik;</li> <li>• sebagai alat bantu pencernaan pada manusia untuk mencegah gangguan pencernaan seperti perut kembung, kembung, atau nyeri perut.</li> <li>• untuk mencegah kristalisasi laktosa dalam produk susu yang dimaniskan, kental, dan beku atau untuk mengembangkan produk susu bebas laktosa bagi manusia yang tidak toleran laktosa;</li> <li>• untuk mengembangkan prebiotik berdasarkan galaktooligosakarida</li> <li>• untuk meningkatkan pertumbuhan dan pembentukan bifidobacteria dalam usus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>A. fumigatus</i>,</li> <li>• <i>A. flavus</i></li> <li>• <i>Aspergillus uvarum</i></li> <li>• <i>P. brevicompactum</i></li> <li>• <i>F. oxysporum</i>.</li> </ul>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

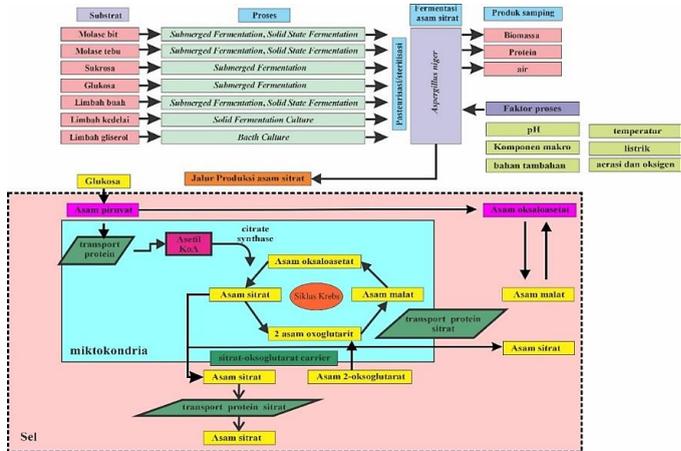
## 2. **Produksi Asam sitrat oleh Mikroba**

Asam sitrat memiliki aplikasi yang luas dalam berbagai sektor industri, seperti industri farmasi, makanan, kimia dan kosmetik. Bioproduksi asam

sitrat skala industri yang melibatkan mikroorganismenya telah dikenal sejak 1917 oleh Currie. Mikroorganismenya yang dapat dimanfaatkan menghasilkan asam sitrat yaitu *Aspergillus niger* dan beberapa genus *Aspergillus* lainnya seperti *A. wentii*, *A. nidulans*, *A. aculeatus*, *A. fumaricus*, *A. carbonarius*, *A. awamori*, *A.saitoi*, *A. flavus*, *A. foetidus*, *A. fonscaeus*, *A. luchensis*, *A. phoenicis*, *A. saitoi*, *A. usumii*, *Penicillium janthinellum*, *Penicillium limitum*, *Trichoderma viride*, *Mucor piriformis* dan lainnya.

Mikroorganismenya umum yang digunakan dalam produksi asam sitrat adalah *Aspergillus niger*, yang prosesnya secara umum dapat dilihat pada Gambar 1. Proses glikolisis akan menghasilkan molekul piruvat yang menjadi jembatan antara jalur glikolisis dan siklus asam sitrat (siklus krebs). Siklus krebs terjadi di mitokondria yang diawali dengan kondensasi oksaloasetat, asetil-KoA dan H<sub>2</sub>O untuk membentuk sitrat dan CoA. Enzim yang mengkatalisis reaksi ini adalah sitrat sintase.

Penggunaan *Aspergillus niger* dalam produksi asam sitrat memiliki berbagai keuntungan, diantaranya memiliki kemampuan adaptasi dan dapat tumbuh dengan cepat pada berbagai substrat (Gambar 1), serta mensekresikan asam sitrat melalui mitokondria dan sitosol. Mikroba ini dapat memproduksi asam sitrat yang tinggi dan homofermentatif. *A. niger* tidak menghasilkan *ochratoxin* dan tidak menyebabkan alergi pada manusia.

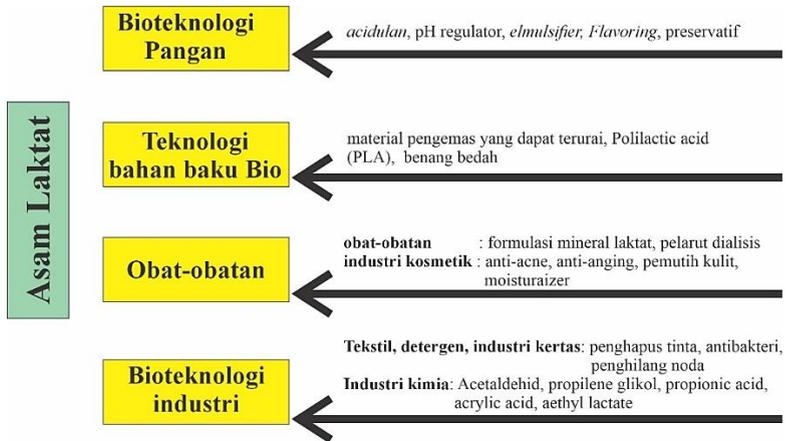


Gambar 1. Proses Produksi Asam sitrat secara umum menggunakan *Aspergillus niger* (Ksiazek, 2024)

### 3. Produksi Asam laktat oleh Mikroba

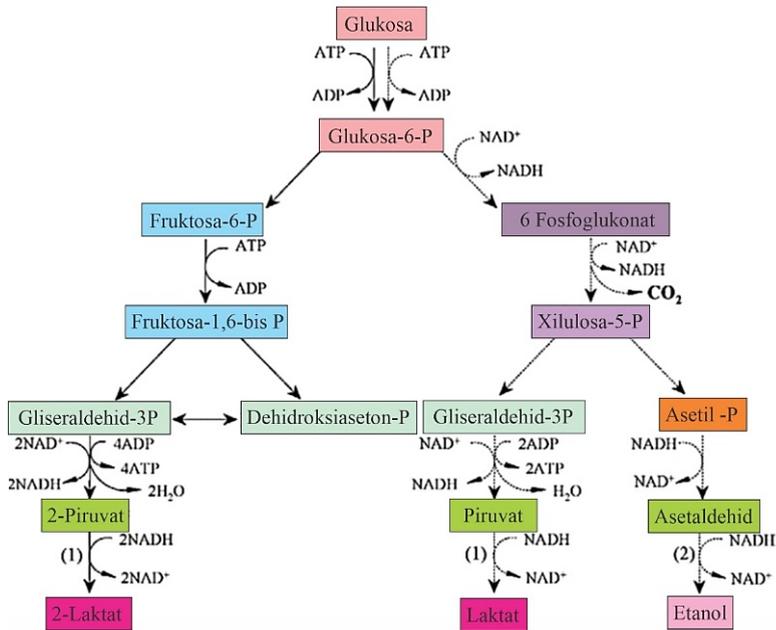
Asam laktat (asam 2-hidroksipropanoat) merupakan asam organik yang terdapat di alam yang dapat diproduksi melalui fermentasi mikroba dan sintesis kimia. Asam laktat (AL) memiliki aplikasi yang luas dalam industri makanan, kimia, farmasi, medis dan kosmetik. Aplikasi asam laktat dalam bioteknologi dapat dilihat pada Gambar 2.

Asam laktat dapat diproduksi oleh Bakteri asam laktat (BAL) yang sebagian besar merupakan filum Firmicutes, kelas Bacilli, dan ordo *Lactobacillales*. Ordo *Lactobacillales* mencakup enam famili, yaitu *Aerococcaceae*, *Carnobacteriaceae*, *Enterococcaceae*, *Lactobacillaceae*, *Leuconostocaceae*, dan *Streptococcaceae*, lebih dari 30 genus, dan lebih dari 300 spesies. Genus *Bifidobacterium* (famili Bifidobacteriaceae) juga termasuk dalam kelompok bakteri asam laktat, meskipun bakteri ini termasuk dalam filum Actinobacteria.



Gambar 2. Pemanfaatan secara luas aplikasi asam laktat (Ojo & de Smidt, 2023)

Bakteri asam laktat (BAL) dicirikan oleh produksi asam laktat sebagai produk akhir metabolisme utama dari fermentasi karbohidrat. BAL memperoleh energi melalui fosforilasi tingkat substrat dengan mengikuti dua jalur metabolisme untuk fermentasi heksosa, yaitu homofermentatif dan heterofermentatif. Jalur pertama berdasarkan jalur glikolisis dengan produksi utama, yaitu asam laktat. Jalur kedua dikenal sebagai jalur pentosa fosfat yang dicirikan dengan produksi CO<sub>2</sub> dan etanol, atau asetat selain LA (Gambar 3).



Gambar 3. Jalur metabolisme homofermentatif (garis) dan heterofermentatif (garis putus-putus) bakteri asam laktat: P: fosfat; ADP: Adenosin 5 difosfat; ATP: Adenosin 5-Trifosfat; NAD<sup>+</sup>: nikotinamid adenin dinukleotida; NADH: Nikotinamid adenin dinukleotida; (1) laktat dehydrogenase; (2) alkohol dehydrogenase) (Mora-Villalobos et al., 2020)

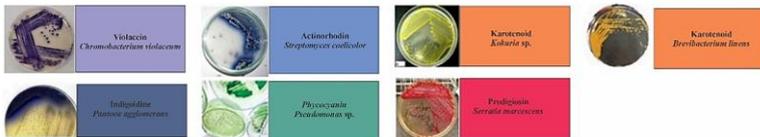
#### 4. **Produksi Vitamin oleh Mikroba**

Vitamin memainkan peran krusial dalam menjaga kesehatan dan menjaga aktivitas metabolisme optimal sehingga banyak diaplikasikan dalam industri makanan, pakan ternak, kosmetik, dan farmasi. Mikroba dapat menjadi solusi dalam biosintesis vitamin yang ramah lingkungan. *E. coli* merupakan contoh mikroba yang digunakan sebagai pabrik sel untuk produksi vitamin B1 (juga dikenal sebagai tiamin), yang memiliki aplikasi luas dalam mencegah peradangan kulit dan eksim. Mikroba *B. megaterium* dan *G. oxydans* digunakan secara komersil untuk memproduksi Asam L-askorbat (LAA), juga dikenal sebagai vitamin C. *P. shermanii*

dan *P. denitrificans* menghasilkan kobalamin (vitamin B12), sedangkan vitamin K dapat diperoleh dari *Sinorhizobium meliloti* dan *B. subtilis*. MK-7 yang merupakan sub tipe vitamin K diproduksi dari *B. subtilis natto* menjadi makanan yang aman dan bersertifikat FDA.

## 5. Produksi pigmen warna oleh Mikroba

Bakteri yang dapat menghasilkan pigmen warna secara ramah lingkungan dan tidak beracun secara bertahap dapat menggantikan pewarna sintetis dalam makanan, farmasi, tekstil, dan kosmetik. Mikroba dapat menghasilkan banyak pigmen warna yang sekaligus memiliki berbagai aktivitas anti-oksidan, anti-karsinogenik, anti-inflamasi dan anti-obesitas. Pigmen tersebut meliputi astaxanthin, canthaxanthin, karotenoid, melanin, granadaene, indigoidine, flavin, quinones dan lebih khusus lagi monascins, prodigiosin, pyocyanin, rubrolene, scytonemin, violacein, phyco cyanin. Pigmen bakteri dapat diproduksi baik melalui fermentasi terendam (SF) maupun fermentasi padat (SSF).



Gambar 4. Mikroba dan pigmen warna yang dihasilkannya (Venil et al. 2020)

Galur bakteri penghasil karotenoid yang menjanjikan yang termasuk dalam genus *Arthrobacter*, *Flavobacterium*, *Chryseobacterium*, dan *Zobellia* yang menghasilkan 10 karotenoid berbeda seperti zeaxanthin,  $\beta$ -cryptoxanthin, dan  $\beta$ -karoten. Pigmen merah dapat dihasilkan bakteri seperti *Serratia marcescens*, *Gordonia jacobaea*; Pigmen merah-kuning yaitu *Kocuria* sp., *Chryseoacterium artocarp*; Pigmen kuning yaitu *Micrococcus*, *Hymenobacter* sp. dan *Chryseobacterium* sp.; Pigmen hijau yaitu *Pseudomonas* sp.; pigmen biru, yaitu

*Corynebacterium insidiosum*, *Erwinia chrysanthemi*, *Vogesella Indigofera*; dan pigmen ungu, yaitu *Chromobacterium* sp. (Gambar 4).

## 6. Produksi polisakarida oleh Mikroba dalam industri kosmetik

Industri kosmetik yang kian meningkat perlu ditunjang dengan bahan baku yang banyak, murah dan konsisten. Bioteknologi mikroba melalui fermentasi dapat memproduksi berbagai bahan baku kosmetik dengan mutu yang konsisten dan terkendali. Penggunaan bahan kosmetik hasil fermentasi mikroba memiliki beberapa keuntungan, diantaranya menggunakan bahan baku yang terbaharukan, proses sederhana, mengurangi limbah kontaminan, peningkatan bioavailabilitas produk akhir, biokompatibilitas produk akhir tinggi dan dapat didaur ulang. Bahan baku berasal dari fermentasi mikroba yang digunakan dalam industri kosmetik dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Produk mikroba yang digunakan dalam industri kosmetik

Jenis Bahan	Produk	Mikroba produser	Substrat
<i>emollient</i>	<i>microbial oil</i>	<i>Candida curvata</i>	Limbah cair keju
Pelembab ( <i>Humectant</i> )	Asam laktat	<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Sampah rumah tangga
Surfaktan	Sophorolipid	<i>Starmerella bombicola</i>	Molase kapas dan biji minyak biji kapas
Zat pengental	Gellan gum	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>	Gabah padi
Bahan aktif pigmen	<i>Human-likecollagen</i> B-carotene	<i>Escherichia coli</i> rekombinan <i>Dunaliella salina</i>	Glukosa Air laut
aroma	Vanillin	<i>Escherichia coli</i> rekombinan	Isoeugenol
Polisakarida	Xanthan gum	<i>Xanthomona campestris</i>	-
Polisakarida	Alginat	<i>Pseudomonas</i> dan <i>Azotobacter</i>	-

## **Teknologi Fermentasi dalam Industri**

Fermentasi adalah jenis metabolisme yang dilakukan oleh organisme di lingkungan tanpa oksigen. Lebih dari seperempat prokariot dilaporkan bersifat fermentatif. Substrat glukosa yang digunakan mikroba melalui proses fermentasi mencakup lebih dari 120 reaksi biokimia dan banyak produk yang dihasilkan dari proses fermentasi (beberapa produk telah dijelaskan di atas). Keberhasilan fermentasi dalam menghasilkan produk yang tinggi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, berikut beberapa faktor yang mempengaruhi fermentasi:

### 1. Mikroba starter

Pemilihan kultur starter yang tepat sangat penting untuk mengurangi risiko kegagalan fermentasi sekaligus meningkatkan keamanan, stabilitas, sifat sensorik, atribut fisikokimia, dan fungsionalitas produk akhir.

### 2. Optimalisasi kondisi lingkungan

Kondisi lingkungan misalnya pH, suhu, kecepatan pengadukan, agen inhibitor, agen prekursor, waktu inkubasi, jenis dan konsentrasi antifoam, kadar air dan lainnya harus diidentifikasi dan dioptimalkan sebagaimana mestinya untuk mendapatkan konsentrasi produk maksimum. Respon setiap mikroba terhadap kondisi lingkungan akan berbeda-beda tergantung dengan spesies.

### 3. Optimalisasi media

Pemenuhan kebutuhan nutrisi mikroba didapatkan dari media kultur yang digunakan. Setiap mikroba membutuhkan nutrisi yang berbeda untuk mendapatkan metabolit yang optimal, contohnya sumber karbon dan nitrogen yang ada dalam medium dapat memengaruhi produksi metabolit, bahkan mengganggu produksi metabolit. Triptopan (asam amino) keberadaannya mengganggu *Streptomyces griseus* dalam produksi Candicidin, namun keberadaan triptopan tidak mengganggu *Streptomyces parvullus* dalam produksi Actinomycin.

#### 4. Metode Fermentasi

Fermentasi *Solid-State Fermentation* (SSF) atau Fermentasi Padat merupakan metode fermentasi di mana mikroorganisme ditumbuhkan pada bahan padat tanpa atau dengan sedikit air bebas. SSF biasanya digunakan untuk produksi enzim, asam organik, bioetanol, dan produk bioteknologi lainnya, terutama dari limbah pertanian atau biomassa. *Submerged Fermentation* (SF) atau Fermentasi terendam adalah metode fermentasi di mana mikroorganisme tumbuh dalam medium cair (biasanya larutan nutrisi) yang memungkinkan produksi metabolit sekunder atau enzim secara efisien. Metode ini banyak digunakan dalam industri bioteknologi untuk produksi antibiotik, enzim, alkohol, dan bahan kimia lainnya karena lebih mudah dikontrol dan dioptimalkan secara industri. Kekurangan dan kelebihan dari kedua metode ini dipaparkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kelebihan dan Kekurangan metode fermentasi (SSF dan SF)

Kelebihan	Kekurangan
<b><i>Solid-State Fermentation</i> (SSF) atau Fermentasi Padat</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ramah lingkungan karena limbah yang dihasilkan sedikit</li> <li>• Membutuhkan media padat alami sederhana, mudah didapat dan murah, dengan pra-perlakuan yang lebih sederhana dibandingkan media cair</li> <li>• Banyak limbah domestik, industri, dan pertanian dapat dimanfaatkan secara produktif dalam SSF yang meningkatkan nilai tambah limbah dan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hanya mikroorganisme tertentu yang mampu bertahan pada kelembapan rendah;</li> <li>• Pemantauan SSF secara presisi (misalnya kadar O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>, kadar kelembapan) tidak dapat dilakukan;</li> <li>• Mikroorganisme tumbuh secara lambat, sehingga produksi produk menjadi terbatas; dan Produksi panas menimbulkan</li> </ul>

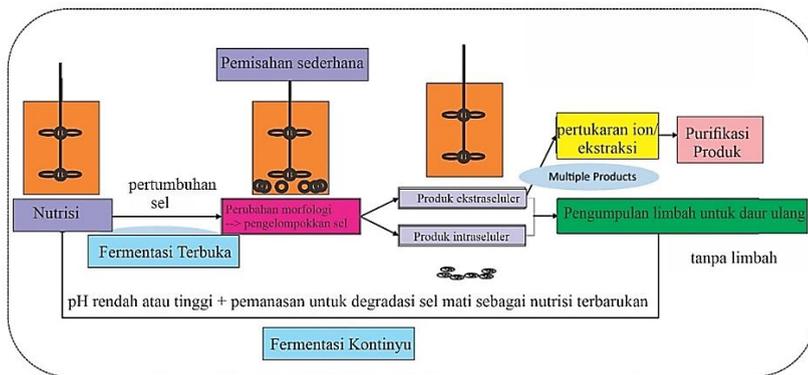
<p>alternatif pemanfaatan</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Teknologi sederhana dan kebutuhan energi yang rendah, sehingga investasi modal rendah</li> <li>• Tidak memerlukan sterilisasi, Tingkat kontaminasi mikroba lebih rendah, dan tahapan proses selanjutnya lebih mudah;</li> <li>• Hasil produk yang dihasilkan cukup tinggi;</li> <li>• Desain bioreaktor, proses aerasi, dan pengolahan limbah relatif sederhana;</li> </ul>	<p>masalah, dan sangat sulit untuk mengatur kondisi lingkungan pertumbuhan.</p>
<p><b><i>Submerged Fermentation (SF) atau Fermentasi terendam</i></b></p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penyebaran mikroorganisme dan nutrisi yang merata</li> <li>• Lebih mudah untuk mengendalikan dan memantau kondisi pertumbuhan</li> <li>• Ketersediaan kandungan air yang tinggi untuk pertumbuhan mikroba</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penggunaan peralatan yang mahal dan media yang berbiaya tinggi</li> <li>• Konsumsi daya listrik yang tinggi</li> <li>• Prosedur hilir (<i>downstream</i>) yang mahal dan rumit serta kesulitan dalam pembuangan limbah</li> </ul>

### **Konsep Fermentasi Industri Masa Depan**

Fermentasi mikroba kurang kompetitif dibandingkan dengan industri kimia, sehingga perlu dilakukan peningkatan daya saing. Kendala yang sering di alami dalam fermentasi mikroba adalah kekurangan air tawar, konsumsi energi yang besar, kontaminasi mikroba, kompleksitas operasi steril, pemanfaatan oksigen yang buruk dalam kultur, bahan-bahan terkait makanan sebagai substrat, efisiensi konversi substrat ke produk

yang rendah, pemisahan sel dan kaldu yang sulit, sejumlah besar air limbah, proses terputus-putus, keterlibatan tenaga kerja yang besar, dan bioreaktor yang mahal.

Fermentasi industri di masa depan harus lebih efektif dalam mengatasi masalah-masalah tersebut dalam industri. Informasi baru, diketahui bahwa bakteri ekstremofilik telah mengatasi masalah-masalah tersebut dengan baik. Selain itu, diperlukan beberapa hal lainnya untuk mendukung kemajuan fermentasi dimasa depan agar kompetitif dengan industri secara kimia.



Gambar 5. Gambaran konsep fermentasi masa depan

Gambaran fermentasi masa depan yang kompetitif diilustrasikan pada Gambar 5. Fermentasi di masa depan akan dilakukan dalam kondisi non-steril dengan tipe fermentor kontinyu yang dikendalikan oleh kecerdasan buatan, dengan konsumsi air dan energi yang lebih rendah. Ekonomi proses juga akan ditingkatkan melalui konversi substrat menjadi produk yang lebih efisien, produksi beberapa jenis produk sekaligus, serta rekayasa morfologi untuk mempermudah pemisahan lanjutan. Investasi juga dapat dikurangi dengan menggunakan bahan berbiaya rendah untuk konstruksi bioreaktor. Biaya produksi material dan bahan kimia akan sebanding dengan yang dihasilkan dari proses industri kimia. Fermentasi masa depan akan memberikan solusi berkelanjutan bagi industri kimia.

## Daftar Pustaka

- Akinsemolu, A., Onyeaka, H., Fagunwa, O., & Adenuga, A. H. (2023). Toward a Resilient Future: The Promise of Microbial Bioeconomy. *Sustainability (Switzerland)*, *15*(9), 1–13. <https://doi.org/10.3390/su15097251>.
- Chaudhary, R., Nawaz, A., Fouillaud, M., Dufossé, L., Haq, I. ul, & Mukhtar, H. (2024). Microbial Cell Factories: Biodiversity, Pathway Construction, Robustness, and Industrial Applicability. *Microbiology Research*, *15*(1), 247–272. <https://doi.org/10.3390/microbiolres15010018>.
- Chen, G. Q., & Liu, X. (2021). On the future fermentation. *Microbial Biotechnology*, *14*(1), 18–21. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13674>.
- Corbu, V. M., Gheorghe-Barbu, I., Dumbravă, A. Ștefania, Vrâncianu, C. O., & Șesan, T. E. (2023). Current Insights in Fungal Importance—A Comprehensive Review. *Microorganisms*, *11*(6), 1–52. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061384>.
- Hackmann, T. J. (2024). The vast landscape of carbohydrate fermentation in prokaryotes. *FEMS Microbiology Reviews*, *48*(4). <https://doi.org/10.1093/femsre/fuae016>.
- Ksiazek, E. (2024). Citric Acid: Properties, Microbial Production, and Applications in Industries. *Molecules*, *29*(22), 38. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules29010022>.
- Mora-Villalobos, J. A., Montero-Zamora, J., Barboza, N., Rojas-Garbanzo, C., Usaga, J., Redondo-Solano, M., Schroedter, L., Olszewska-Widdrat, A., & Lopez-Gomez, J. P. (2020). Multi-Product Lactic Acid Bacteria Fermentations : *Fermentation*, *6*(23), 1–21.
- Morales-de la Peña, M., Miranda-Mejía, G. A., & Martín-Belloso, O. (2023). Recent Trends in Fermented Beverages Processing: The Use of Emerging

- Technologies. *Beverages*, 9(2), 1–13.  
<https://doi.org/10.3390/beverages9020051>.
- Nanda, S., Pattnaik, F., Patra, B. R., Kang, K., & Dalai, A. K. (2023). A Review of Liquid and Gaseous Biofuels from Advanced Microbial Fermentation Processes. *Fermentation*, 9(9), 1–26.  
<https://doi.org/10.3390/fermentation9090813>.
- Ojo, A., & de Smidt, O. (2023). Lactic Acid Production to Purification: A Review. *Processes*, 11(688), 1–37.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/pr11030688>.
- Pérez-Rivero, C., & López-Gómez, J. P. (2023). Unlocking the Potential of Fermentation in Cosmetics: A Review. *Fermentation*, 9(5).  
<https://doi.org/10.3390/fermentation9050463>.
- Singh, V., Haque, S., Niwas, R., Srivastava, A., Pasupuleti, M., & Tripathi, C. K. M. (2017). Strategies for fermentation medium optimization: An in-depth review. *Frontiers in Microbiology*, 7(JAN).  
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02087>.
- Sun, W., Shahrajabian, M. H., & Lin, M. (2022). Research Progress of Fermented Functional Foods and Protein Factory-Microbial Fermentation Technology. *Fermentation*, 8(12).  
<https://doi.org/10.3390/fermentation8120688>.
- Venil, C. K., Dufossé, L., & Devi, R. . (2020). Bacterial Pigments: Sustainable Compounds With Market Potential for Pharma and Food Industry. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 0–17.  
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00100>.

## Profil Penulis



**Dr. Ike Apriani, M.Si.**

Penulis lahir dikota Palembang. Pendidikan Sekolah Dasar (SD), Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama (SLTP) dan Sekolah Lanjutan Tingkat Atas (SLTA) ditamatkan dari sekolah Negeri. Gelar Sarjana didapatkan dari Program Studi Biologi, Universitas Sriwijaya. Ketertarikan penulis terhadap Mikrobiologi diawali dari pengalaman kerja penulis sebagai Supervisor *Quality Control* di Laboratorium Mikrobiologi. Penulis melanjutkan S2 dan mendapatkan gelar Master di Mayor Mikrobiologi, Institut Pertanian Bogor. Gelar Doktor didapatkan dari Program Ilmu MIPA, Universitas Sriwijaya. Penulis tertarik untuk menggali potensi Fungi yang memiliki kemampuan degradasi limbah di lingkungan, khususnya limbah zat warna. Selain itu, penulis tertarik dengan pengembangan budidaya jamur *edible* dan potensi fungi dalam industri. Penulis merupakan staf pengajar di program studi Biologi S1, Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang. Mata kuliah yang diampuh adalah Mikrobiologi lingkungan dan Mikrobiologi Industri. Penulis aktif dalam penulisan buku di bidang Mikrobiologi dan Biologi. Penelitian mengenai mikroba telah banyak dipublikasi pada Jurnal Nasional terakreditasi dan Jurnal Internasional terindeks Scopus. Beberapa hasil karya penulis telah mendapatkan Hak Kekayaan Intelektual.

Email Penulis: [ikeapriani\\_uin@radenfatah.ac.id](mailto:ikeapriani_uin@radenfatah.ac.id)

## MIKROBA DAN BIOTEKNOLOGI

**Zunisnaini, S.Si., M.Sc.**

Institut Teknologi Bisnis dan Kesehatan Muhammadiyah  
Tulungagung

### **Definisi dan Sejarah Bioteknologi Mikroba**

Pada pertemuan *United Nations Convention on Biological Diversity* tahun 1992 yang diadakan di Rio de Janeiro, Brasil disepakati mengenai definisi bioteknologi yaitu “setiap aplikasi teknologi yang menggunakan sistem biologis, organisme hidup, atau turunannya untuk membuat atau memodifikasi produk atau proses untuk penggunaan tertentu.” Definisi bioteknologi mikroba menurut Konvensi PBB tentang Keanekaragaman Hayati adalah “aplikasi teknologi yang menggunakan sistem mikrobiologi, organisme mikroba atau turunannya untuk membuat atau memodifikasi produk atau proses untuk penggunaan tertentu (Hafsan, 2022).

Setelah pada bab sebelumnya dibahas mengenai mikroba dengan lingkungan industri pada bab ini akan dikupas tuntas mikroba dan bioteknologi secara detail dan jelas. Mikroba telah digunakan dalam berbagai aspek kehidupan manusia sejak ribuan tahun yang lalu. Harzevili, F. D., & Chen (2018) membagi perkembangan bioteknologi mikroba dalam tiga periode.

1. Periode pertama (kurang dari 150 tahun yang lalu) – Mikrobiologi industri tradisional atau kuno

Pada 7000 tahun SM, bangsa Sumeria dan Babilonia menggunakan ragi untuk mengubah gula menjadi alkohol. Pada 4000 tahun SM, orang Mesir menggunakan ragi untuk meningkatkan kualitas

roti. Pada 500 tahun SM, Orang Cina menggunakan cendawan sebagai antibiotik untuk mengobati luka bernanah. Tahun 1664, Robert Hooke pertama kali mendeskripsikan tentang mikroorganisme. Tahun 1684, Antoni van Leeuwenhoek mendeskripsikan tentang bakteri untuk pertama kali.

2. Periode kedua (150 - 40 tahun yang lalu) - Mikrobiologi industri klasik

Pada tahun 1865, Louis Pasteur dianggap sebagai penemu mikrobiologi industri karena telah menemukan mekanisme fermentasi. Tahun 1919, Karl Ereky pertama kali menggunakan istilah bioteknologi. Tahun 1928, Alexander Flemming menemukan kekhlasan antibiotik pada *Penicillium*. Tahun 1943, Selman Waksman menemukan antibiotik aminoglikosida. Pada akhir tahun 1950 dan 1960, mikroorganisme digunakan untuk menghasilkan asam organik, asam amino dan protein sel tunggal.

3. Periode ketiga (40 tahun yang lalu - sekarang) mikrobiologi industri modern atau bioteknologi mikroba

Pada tahun 1953, James Watson dan Francis Crick menemukan struktur DNA. Tahun 1973, Cohen dan Boyer menemukan teknik rekombinasi DNA. Tahun 1975, Kohler dan Milstein menemukan cara membuat antibodi monoklonal. Tahun 1978 ditemukan cara produksi insulin manusia dengan menggunakan teknologi DNA rekombinan. Sejak tahun 1990 hingga sekarang mengembangkan kreasi di bidang baru seperti rekayasa metabolik, sistem biologi industri, X-omics, nanobioteknologi dan sebagainya.

### **Peran Mikroba dalam Bioteknologi Pangan**

Mikroorganisme dari hasil rekayasa genetik menjadi kunci dalam inovasi bioteknologi pangan karena dapat menambah variasi kandungan nutrisi pada bahan pangan dan meningkatkan efisiensi fermentasi, kualitas

pangan fungsional dan produksi protein sebagai sumber pangan alternatif (Rustan M et al., 2025). Mikroorganisme yang secara genetik telah dimodifikasi dapat menghasilkan enzim dengan efisiensi lebih tinggi, seperti amilase, protease dan lipase yang berperan penting dalam industri makanan dan minuman. Produksi dari enzim dapat lebih dimurnikan dengan munculnya biologi buatan, teknik perbaikan gen dan perangkat lain seperti kecerdasan buatan, komputasi dan analisis bioinformatika yang dapat meningkatkan ketepatan fermentasi untuk menghasilkan enzim yang lebih efisien (Boukid et al., 2023).

Beberapa bakteri dan ragi hasil rekayasa genetika telah digunakan dalam produksi pangan fermentasi seperti yogurt, keju, dan minuman probiotik yang memberikan manfaat kesehatan lebih besar dibandingkan produk konvensional. Bakteri asam laktat telah mendapat perhatian yang signifikan dalam industri makanan dan minuman karena dapat meningkatkan keamanan, kualitas dan nilai nutrisi. Bakteri asam laktat dapat digunakan sebagai kultur starter, probiotik dan penghasil bakteriosin yang berperan dalam menghasilkan makanan dan minuman berkualitas tinggi. Industri pengolahan makanan terutama bahan segar dan sektor minuman telah bergeser ke arah penggunaan bioproduk alami yang tidak hanya mengutamakan pengawetan tetapi juga fungsional dari produk akhir. Penggunaan bakteri asam laktat pada produk ini selain dapat mengurangi penyakit yang disebabkan oleh kontaminasi bakteri yang ada pada makanan melalui bakteriosin yang dihasilkan, juga dapat meningkatkan kandungan asam amino esensial, asam laktat dan bioproduk lainnya (Anumudu et al., 2024). Penggunaan bakteri rekayasa genetika dalam produksi probiotik dapat meningkatkan stabilitas dan efektivitas probiotik dalam sistem pencernaan manusia (Singh et al., 2022).

## **Bioteknologi Mikroba dalam Perbaikan Tanaman**

### **1. Perbaikan Tanaman melalui Teknologi Transgenik**

Tanaman transgenik merupakan tanaman yang dihasilkan dari metode bioteknologi modern yaitu rekayasa genetika. Bioteknologi adalah alat yang sekarang banyak dikembangkan pada tanaman untuk menghidupkan warna bunga, meningkatkan toleransi terhadap cekaman, menambah kadar fitokimia dan metabolit bernilai tinggi (Sarode et al., 2024). Dalam pembuatan tanaman transgenik membutuhkan vektor sebagai pembawa gen yang akan disisipkan ke tanaman target supaya gen tersebut dapat terekspresi. Mikroorganisme penting yang digunakan dalam proses produksi tanaman transgenik yaitu spesies *Agrobacterium agrobacterium* yang dapat membawa gen untuk meningkatkan ketahanan terhadap penyakit, memproduksi sediaan bahan aktif pangan fungsional, kosmetik dan obat (Rezaldi et al., 2024). Tanaman transgenik tembakau dengan penyisipan protein rekombinan CBD-DrsB1 yang dimediasi oleh *Agrobacterium* menunjukkan adanya resistensi yang signifikan terhadap patogen berupa bakteri dan jamur pada tanaman dengan cara merusak komponen dinding sel oligomer khitin dari patogen (Nazari et al., 2023).

Respon tanaman transgenik *Arabidopsis thaliana* setelah disisipi gen *BrRING509* yang responsif terhadap garam menunjukkan adanya peningkatan toleransi yang signifikan terhadap salinitas sebagai salah satu penyebab stress abiotik pada tanaman (Alam et al., 2024). Tanaman tertentu dan mikroorganisme dapat menghasilkan asam lemak abnormal seperti hidroksi, terkonjugasi, siklik dan asam lemak tidak jenuh ganda rantai panjang yang berbeda secara fisikokimia dan berperan penting dalam industri makanan dan margarin. Produksi dan fermentasi asam lemak abnormal ini tidak mudah dilakukan secara alami dalam jumlah besar tetapi dapat dilakukan dengan menggunakan tanaman transgenik (Wang et al., 2024). Nanopartikel muncul

sebagai alat yang serba guna dalam kultur jaringan tanaman, transgenik dan perbaikan genom untuk meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Penggunaan nanopartikel pada transformasi genetik tanaman dan perbaikan genom lebih menguntungkan dibandingkan metode konvensional sehingga dapat mengatasi kendala yang ada dalam bioteknologi tanaman (Rohela et al., 2024).

## 2. Perbaikan Tanaman oleh Mikroba Endofit

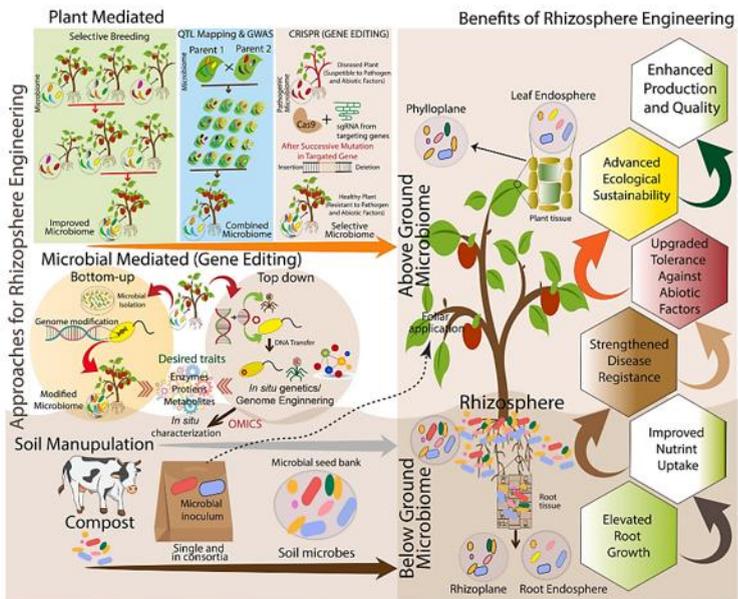
Pertanian modern telah mengembangkan sistem berbasis bioteknologi ramah lingkungan untuk meningkatkan hasil panen, berfokus pada penggunaan mikroba endofit yang berperan penting dalam pertumbuhan tanaman. Mikroba endofit menghasilkan fitohormon dan berbagai metabolit sekunder yang berperan dalam mempertahankan pertumbuhan tanaman dibawah cekaman biotik dan abiotik (Adeleke et al., 2021). Mikroba endofit membantu tanaman untuk mendapatkan nutrisi dari dalam tanah, fiksasi nitrogen, ketersediaan fosfat, fitohormon dan memproduksi antimikroba (Pandey et al., 2022).

Bakteri endofit melindungi tanaman melalui biokontrol patogen atau menginduksi sistem imun dari tanaman inang (Morales-Cedeño et al., 2021). Fungi endofit hidup di dalam jaringan tanaman tanpa menunjukkan gejala penyakit pada tanaman dan beberapa dari mereka bermanfaat untuk pertumbuhan dan kesehatan tanaman (Ujimatsu et al., 2025). Fungi endofit berperan penting dalam kemampuan tanaman untuk beradaptasi terhadap tekanan iklim dengan cara mentransfer respon adaptif yang cepat dari fungi endofit ke tanaman inang sehingga meningkatkan adaptasi tanaman terhadap perubahan iklim (Suryanarayanan & Shaanker, 2021).

## 3. Perbaikan Tanaman oleh Metabolit Rhizosfer

Mikrobiom rhizosfer memegang peran penting dalam pertumbuhan dan produktivitas tanaman, berperan secara langsung atau tidak langsung dengan memfasilitasi ketersediaan nutrisi, pengaturan fitohormon dan kelarutan fosfat dalam kondisi normal maupun dibawah cekaman. Selain itu, mikrobiom

rhizosfer juga melindungi tanaman dari serangan patogen dengan mensekresikan antimikroba dan senyawa organik volatil. Rekayasa rhizosfer diperoleh melalui tiga mekanisme penting: 1) modifikasi tanaman melalui rekayasa genetik, transgenik dan perbaikan gen dari tanaman; 2) modifikasi mikroba melalui perubahan gen mikroba dengan metodologi hulu atau hilir; 3) penambahan pada tanah. Mekanisme ini membentuk mikrobiom rhizosfer, membuat tanaman lebih produktif dan tahan terhadap kondisi cekaman yang berbeda (Solanki et al., 2024). Rhizosfer yang diperkaya dengan mikroba kemudian diinduksi dengan infeksi fitopatogen daun dapat dirakit menjadi komunitas fungsional untuk meningkatkan mekanisme pertahanan pada tanaman (Huang et al., 2023).



Gambar 14.1. Rekayasa rhizosfer dengan berbagai pendekatan untuk meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan tanaman dengan manipulasi mikrobiom (Solanki et al., 2024).

#### 4. **Mikroba dan Pembuatan Pupuk Hayati**

Kemajuan bioteknologi memudahkan penyusunan formulasi dan proses inokulasi pupuk hayati dengan cara mengidentifikasi jenis-jenis mikroorganisme yang memiliki efektivitas tinggi untuk diformulasikan sebagai pupuk hayati. Kelompok mikroorganisme terpilih dapat meningkatkan efektivitas pengikatan unsur hara tertentu dan memudahkan penyediaannya bagi tanaman. Pupuk mikrobiologis dapat menambah nutrisi pada tanaman melalui proses alami, yaitu fiksasi nitrogen atmosfer, menjadikan fosfor sebagai bahan terlarut dan sintesis zat-zat pengatur tumbuh yang dapat merangsang pertumbuhan tanaman. Siklus nutrisi alami dan pembentukan material organik tanah dapat dikembalikan oleh mikroorganisme dalam pupuk mikrobiologis (Sriwahyuni & Parmila, 2019).

#### **Bioteknologi Mikroba dalam Kesehatan**

Bioteknologi merupakan resolusi dari berbagai masalah di bidang kesehatan dengan cara baru seperti aplikasi dari *small RNAs*, *stem cells*, epigenetik dan sekuen DNA (Barciszewski et al., 2019). Dengan kemajuan bioteknologi, produksi antibiotik menjadi lebih efektif dan efisien. Teknik rekayasa genetika digunakan untuk menambah jalur biosintesis, mengarahkan produksi derivat antibiotik baru untuk meningkatkan efikasi terhadap patogen yang resisten terhadap antibiotik. Kemajuan dalam desain bioreaktor, formulasi media dan optimasi proses berperan terhadap hasil yang lebih tinggi, mengurangi biaya produksi dan meningkatkan aksesibilitas antibiotik (Haque et al., 2024).

Bioteknologi nanovesikel merupakan perkembangan baru dibidang kesehatan intestinal yang dihasilkan dengan cara menggabungkan polutan lingkungan yang dihasilkan dari proses pembuatan keju dengan fosfolipid, sodium hialuronat dan dekstrin yang dapat mengatasi tantangan lingkungan dan medis (Manconi et al., 2023). Kajian mengenai nanokristal hibrid organik-anorganik mengarahkan kepada solusi kreatif dibidang kimia yaitu

sistem enzim dan perkembangan yang cepat dari bionanomaterial dan industri bioteknologi baru (Shcharbin et al., 2019). Nanopartikel logam yang dikombinasikan dengan pendekatan hijau merupakan solusi untuk melawan bakteri resisten *multidrugs* dan menghambat pembentukan biofilm. Selain itu, ketika pendekatan hijau dikombinasikan dengan antibiotik komersial maka pendekatan hijau akan meningkatkan pengantaran obat, memperlancar sirkulasi, menarget bakteri secara efektif, mengurangi dosis, memperluas aktivitas antibakteri dan memelihara biokompatibilitas (Perumalveeramalai & Kalyani, 2025).

Kemajuan dalam industri kesehatan tidak lepas dari kontribusi bioteknologi dan teknologi informasi yang telah merevolusi pengobatan personal, biofarmasi berdasarkan komposisi genetik individu, autoimun, gangguan mutasi genetik langka dan perkembangan pengobatan vaksin yang tepat. Bioteknologi dan teknologi informasi memiliki transformasi terapi genetik, teknologi pencitraan, formulasi dosis pengobatan dan pengiriman digital dari layanan kesehatan (Shukla et al., 2025).

### **Bioteknologi Mikroba dalam Produksi Biofuel**

Efek dari aktivitas manusia terhadap pemanasan global terus berlanjut, negara-negara di seluruh dunia berkomitmen untuk mengurangi karbon dengan mengenalkan bahan bakar yang menghasilkan sedikit emisi karbon terhadap lingkungan. Biofuel berperan penting sebagai bahan bakar yang dapat diperbarui dalam pengurangan karbon global (Liman et al., 2024). Lipase muncul sebagai alat yang menjanjikan untuk mengubah minyak pada bahan pangan menjadi biofuel karena efisiensi katalitik dan kekhususannya. Aplikasi lipase dalam bentuk bebas dan terikat melalui katalisis enzim dapat menghasilkan biofuel yang lebih bersih dan lebih hijau (Luna et al., 2023).

Menurut Rame et al. (2023) sampah pertanian kaya akan senyawa organik dan tersebar luas sehingga dapat dijadikan sebagai bahan penting dalam produksi biofuel. Sampah pertanian juga dapat diubah menjadi produk

lain selain biofuel seperti asam organik dan bioplastik dengan penerapan bioteknologi. Gupte et al. (2022) menyatakan bahwa padi merupakan hasil panen terbesar dengan jumlah sampah 4,8 % dari total produksi. Pendekatan bioteknologi dapat mengubah sampah padi seperti sekam, jerami, padi yang patah, padi yang tidak berwarna, padi yang tidak tua menjadi biofuel cair (bioetanol, biobutanol, biodisel) dan gas (biogas, biohidrogen) melalui penggunaan kultur mikroba murni atau campuran. Remedios & Domingues (2023) menyebutkan bahwa sampah kulit kentang banyak mengandung pati, dihasilkan dalam jumlah yang besar dalam proses produksi kentang. Sampah ini dapat dijadikan sebagai alternatif untuk produksi bioetanol dengan biaya rendah dan dapat diperbarui.

Biofuel mikroalga hadir sebagai jalan yang menjanjikan terhadap tingginya permintaan terhadap energi yang bersih dan efisien. Pengembangan dalam teknik budidaya seperti desain fotobioreaktor, strategi pemilihan budidaya (mikroalga-mikroalga, mikroalga-bakteri, mikroalga-fungi) dan faktor lingkungan (salinitas, cahaya, suhu) perlu dieksplorasi untuk meningkatkan biomassa dan produktivitas lipid (Zhang et al., 2025). Pengaturan mesin dapat mengoptimalkan berbagai tahap seperti identifikasi, klasifikasi, budidaya, pemanenan, pengeringan dan konversi menjadi biofuel (Yang et al., 2024).

## Daftar Pustaka

- Adeleke, B. S., Babalola, O. O., & Glick, B. R. (2021). Plant growth-promoting root-colonizing bacterial endophytes. *Rhizosphere*, 20(July), 100433. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100433>
- Alam, I., Batool, K., Hussain, A., Zhang, J., & Manghwar, H. (2024). Overexpression of E3 ligase RING finger protein BrRING509 enhances salt stress tolerance in transgenic *Arabidopsis* plants. *Plant Stress*, 12(March), 100451. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100451>
- Anumudu, C. K., Miri, T., & Onyeaka, H. (2024). Multifunctional Applications of Lactic Acid Bacteria: Enhancing Safety, Quality, and Nutritional Value in Foods and Fermented Beverages. *Foods*, 13(23). <https://doi.org/10.3390/foods13233714>
- Barciszewski, J., Ciemerych, M. A., & Twardowski, T. (2019). Novel insights and innovations in biotechnology towards improved quality of life. *New Biotechnology*, 49, 58–65. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nbt.2018.09.001>
- Boukid, F., Ganeshan, S., Wang, Y., Tülbek, M. Ç., & Nickerson, M. T. (2023). Bioengineered Enzymes and Precision Fermentation in the Food Industry. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(12). <https://doi.org/10.3390/ijms241210156>
- Gupte, A. P., Basaglia, M., Casella, S., & Favaro, L. (2022). Rice waste streams as a promising source of biofuels: feedstocks, biotechnologies and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167, 112673. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112673>
- Hafsan. (2022). *Prospek dan Perkembangan Bioteknologi Mikroba* (1st ed.). Rajawali Press.

- Haque, A., Deb, N., Vaughn, T., Haruna, S., Ahn, J., Ovissipour, R., & Ku, S. (2024). Science of the Total Environment Harnessing biotechnology for penicillin production: Opportunities and environmental considerations. *Science of the Total Environment*, 946(June), 174236. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174236>
- Harzevili, F. D., & Chen, H. (Eds. . (2018). *Microbial biotechnology: progress and trends*. CRC Press.
- Huang, J., Zhu, L., Lu, X., Cui, F., Wang, J., & Zhou, C. (2023). A simplified synthetic rhizosphere bacterial community steers plant oxylipin pathways for preventing foliar phytopathogens. *Plant Physiology and Biochemistry*, 202, 107941. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107941>
- Liman, J., Anura, F., Adamude, F. A., Ardo, F. M., Aliyu, A. S., Bello, B. A., Magami, S. M., Adam, I. K., & Dada, J. (2024). *Chapter 11 - Biotechnology of biofuels: bioethanol and biodiesel* (N. R. Maddela, S. A. Aransiola, C. I. Ezugwu, L. K. Winkelstroter Eller, L. Scalvenzi, & F. B. T.-M. B. for B. Meng (eds.); pp. 219–236). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-443-14112-6.00011-0>
- Luna, C., Estevez, R., Luna, D., Calero, J., Bautista, F. M., Romero, A. A., Hidalgo-Carrillo, J., & Aguado-Deblas, L. (2023). Chapter 6 - Biotechnological production of biofuels. In R. Luque, C. S. K. Lin, K. Wilson, & C. B. T.-H. of B. P. (Third E. Du (Eds.), *Woodhead Publishing Series in Energy* (pp. 151–197). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91193-1.00001-9>
- Manconi, M., Rezvani, M., Manca, M. L., Escribano-Ferrer, E., Fais, S., Orrù, G., Lammers, T., Asunis, F., Muntoni, A., Spiga, D., & De Gioannis, G. (2023). Bridging biotechnology and nanomedicine to produce biogreen whey-nanovesicles for intestinal health

- promotion. *International Journal of Pharmaceutics*, 633, 122631. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.122631>
- Morales-Cedeño, L. R., Orozco-Mosqueda, M. del C., Loeza-Lara, P. D., Parra-Cota, F. I., de los Santos-Villalobos, S., & Santoyo, G. (2021). Plant growth-promoting bacterial endophytes as biocontrol agents of pre- and post-harvest diseases: Fundamentals, methods of application and future perspectives. *Microbiological Research*, 242(July 2020). <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126612>
- Nazari, Z., Nazarian-Firouzabadi, F., Ismaili, A., & Darvishnia, M. (2023). Transgenic tobacco plants expressing a chimeric antimicrobial protein show disease resistance to plant diseases. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 127, 102083. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2023.102083>
- Pandey, S. S., Jain, R., Bhardwaj, P., Thakur, A., Kumari, M., Bhushan, S., & Kumar, S. (2022). Plant probiotics – Endophytes pivotal to plant health. *Microbiological Research*, 263(April), 127148. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2022.127148>
- Perumalveeramalai, C., & Kalyani, R. L. (2025). Jo ur na l P re of. *ISCIENCE*, 112518. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.112518>
- Rame, R., Purwanto, P., & Sudarno, S. (2023). Biotechnological approaches in utilizing agro-waste for biofuel production: An extensive review on techniques and challenges. *Bioresource Technology Reports*, 24, 101662. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101662>
- Remedios, Y., & Domingues, L. (2023). *Potato peels waste as a sustainable source for biotechnological production of biofuels: Process optimization*. 155(November

- 2022), 320–328.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.11.007>
- Rezaldi, F., Arti Wahyu Utami, A. W. U., Ratna Fitry Yenny, R. F. Y., M. Fariz Fadillah, M. F. F., Ucu Wandu Somantri, U. W. S., Heny Sasmita, H. S., & Rina Nurmaulawati, R. N. (2024). Tinjauan Rekayasa Genetika Tanaman Menggunakan Bakteri *Agrobacterium tumefaciens* Sebagai Pengembangan Bioteknologi Modern Dari Periode Lama Hingga Terkini. *Journal of Sustainable Research In Management of Agroindustry (SURIMI)*, 4(2), 1–9.  
<https://doi.org/10.35970/surimi.v4i1.2454>
- Rohela, G. K., Saini, P., Aziz, D., Rafiq, S., Jogam, P., & Zhang, B. (2024). Nanoparticles as elicitors and stimulators for plant tissue culture, transgenics, and genome editing: A comprehensive review. *Industrial Crops and Products*, 222, 120097.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.120097>
- Rustan M, N., Wahyuni, S., Baihaqi, B., Nafilawati, W. O., Ningsih, M. L., & Febryansyah, F. (2025). Bioteknologi Pangan Berbasis Mikroorganisme Rekayasa Genetika: Tren dan Tantangan Global. *Jurnal Minfo Polgan*, 13(2), 2521–2533.  
<https://doi.org/10.33395/jmp.v13i2.14532>
- Sarode, D. K., Pagariya, M. C., Jadhav, P. R., Patil, S. A., Devarumath, R. M., Shingote, P. R., Prasad, K. V., Jain, S. M., Penna, S., & Kawar, P. G. (2024). Edible flowers: biotechnological interventions for improving bioactives of food and health significance. *Journal of Food Composition and Analysis*, 134, 106506.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106506>
- Shcharbin, D., Halets-Bui, I., Abashkin, V., Dzmitruk, V., Loznikova, S., Odabaşı, M., Acet, Ö., Önal, B., Özdemir, N., Shcharbina, N., & Bryszewska, M. (2019). Hybrid metal-organic nanoflowers and their application in biotechnology and medicine. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 182, 110354.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.110354>

- Shukla, S., Kadian, S., & Narayan, R. (2025). *Biotechnology, ICT and Health: Overview* (S. R. B. T.-I. E. of P. H. (Third E. Quah (ed.); pp. 468–474). Academic Press.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99967-0.00161-7>
- Singh, R. P., Shadan, A., & Ma, Y. (2022). Biotechnological Applications of Probiotics: A Multifarious Weapon to Disease and Metabolic Abnormality. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 14(6), 1184–1210. <https://doi.org/10.1007/s12602-022-09992-8>
- Solanki, M. K., Joshi, N. C., Singh, P. K., Singh, S. K., Santoyo, G., Basilio de Azevedo, L. C., & Kumar, A. (2024). From concept to reality: Transforming agriculture through innovative rhizosphere engineering for plant health and productivity. *Microbiological Research*, 279(November 2023), 127553.  
<https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127553>
- Sriwahyuni, P., & Parmila, P. (2019). Peran Bioteknologi. *Agricultural Journal*, 2(1), 46–57.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/322463418.pdf>
- Suryanarayanan, T. S., & Shaanker, R. U. (2021). Can fungal endophytes fast-track plant adaptations to climate change? *Fungal Ecology*, 50, 101039.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.funeco.2021.101039>
- Ujimatsu, R., Takino, J., Aoki, S., Nakamura, M., Haba, H., Minami, A., & Hiruma, K. (2025). Article A fungal transcription factor converts a beneficial root endophyte into an anthracnose leaf pathogen A fungal transcription factor converts a beneficial root endophyte into an anthracnose leaf pathogen. *Current Biology*, 1–17.  
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2025.03.026>

- Wang, J., Singer, S. D., & Chen, G. (2024). Biotechnological advances in the production of unusual fatty acids in transgenic plants and recombinant microorganisms. *Biotechnology Advances*, 76(April), 108435. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2024.108435>
- Yang, C.-T., Kristiani, E., Leong, Y. K., & Chang, J.-S. (2024). Machine learning in microalgae biotechnology for sustainable biofuel production: Advancements, applications, and prospects. *Bioresource Technology*, 413, 131549. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131549>
- Zhang, C., Prasad, R., Yadav, P., Kumar, I., Kaushik, A., Roychowdhury, R., Mubeen, M., Kumar, S., Kumar, A., & Wang, J. (2025). Recent advances in biotechnology and bioengineering for efficient microalgal biofuel production. *Fuel Processing Technology*, 270(February), 108199. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2025.108199>

## Profil Penulis



### **Zunisnaini, S.Si., M.Sc.**

Penulis memiliki minat untuk mempelajari makhluk hidup sejak SMA sehingga memutuskan untuk melanjutkan kuliah S1 di Program Studi Biologi, Universitas Negeri Malang dan lulus pada tahun 2006. Melanjutkan Pendidikan S2 di Program Studi Biologi, Universitas Gadjah Mada pada tahun 2010. Memulai karir sebagai dosen di Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Islam Balitar pada tahun 2014. Melanjutkan profesi di Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Nusantara PGRI Kediri pada tahun 2014-2016 dan STIKES Karya Putra Bangsa Tulungagung pada tahun 2016-2017. Mulai tahun 2022 sampai sekarang sebagai dosen tetap di Program Studi Bioteknologi, Institut Teknologi Bisnis dan Kesehatan Muhammadiyah Tulungagung.

Penulis mengajar berbagai matakuliah di Prodi Bioteknologi, salah satunya adalah mikrobiologi serta penerapannya di bidang bioteknologi lingkungan. Untuk meningkatkan profesionalisme sebagai dosen, penulis aktif melakukan penelitian dengan fokus pencemaran lingkungan dan teknologi bioremediasi dengan menggunakan mikroba. Pada tahun 2023, peneliti mendapatkan pendanaan dari CSR sebuah perusahaan untuk meneliti identifikasi mikroplastik di sungai Ngrowo Tulungagung. Selain penelitian, penulis juga mengasah kemampuan menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi untuk ilmu pengetahuan.

Email Penulis: [zunisnaini@gmail.com](mailto:zunisnaini@gmail.com)

# MIKROBIOLOGI DAN MASA DEPAN: INOVASI DAN TANTANGAN DALAM ERA BIOTEKNOLOGI

**Anita Restu Puji Raharjeng, M.Si., M.BioMed.Sc.**  
UIN Raden Fatah Palembang

## **Pendahuluan**

Mikrobiologi adalah cabang ilmu biologi yang mempelajari mikroorganisme, termasuk bakteri, virus, fungi, dan protozoa. Ilmu ini memiliki peran yang semakin penting dalam berbagai bidang, seperti kesehatan, industri, lingkungan, dan pertanian. Dengan kemajuan teknologi, terutama di bidang bioteknologi dan bioinformatika, mikrobiologi mengalami perkembangan pesat yang membuka peluang baru dalam berbagai sektor.

## **Mikrobiologi dalam Kesehatan dan Kedokteran**

Peran mikrobiologi dalam dunia kesehatan tidak bisa diabaikan. Dari penemuan antibiotik hingga terapi berbasis mikroba. Mikrobiologi terus mendorong inovasi dalam pengobatan penyakit. Beberapa perkembangan penting meliputi penggunaan mikrobiota dalam terapi, seperti probiotik dan terapi berbasis mikrobiota semakin banyak digunakan dalam menangani gangguan pencernaan dan penyakit autoimun. Selain itu juga ada vaksin berbasis bioteknologi, yaitu teknologi mRNA yang

dikembangkan untuk vaksin COVID-19 (Mousavi et al., 2021) menunjukkan potensi besar untuk pengembangan vaksin lainnya. Serta ada antibiotik generasi baru karena adanya resistensi antibiotik menjadi tantangan global, sehingga riset tentang antibiotik baru dan terapi alternatif seperti bakteriofag (Kutateladze and Adamia, 2010) semakin berkembang. Berikut adalah peran mikrobiota dalam terapi kesehatan:

1. Terapi Feses (*Fecal Microbiota Transplantation / FMT*), merupakan transplantasi mikrobiota usus dari orang sehat ke pasien yang mengalami gangguan mikrobiota. Caranya adalah dengan menginfeksi *Clostridioides difficile* (*C. diff*), terapi ini sangat efektif, terutama pada infeksi berulang (Jarno et al., 2020; Khanna and Gerding, 2019). Selain itu, penyakit IBS (*irritable bowel syndrome*) (Halkjær et al., 2018), penyakit Crohn (Vaughn et al., 2016), kolitis ulseratif (Von et al., 2008; Wehkamp et al., 2016) juga menggunakan transfer mikrobiota usus untuk terapinya.
2. Probiotik Terapeutik (*Therapeutic Probiotics*); Mikroorganisme hidup (seperti *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*) diberikan dalam bentuk suplemen atau makanan, yang bertujuan untuk menurunkan gejala diare akut dan kronis (misalnya karena antibiotik) (Souza and Jorge, 2012; Szajewska and Mrukowicz, 2005). Membantu pencernaan laktosa (Vitellio et al., 2019), dan mengurangi gejala IBS (Fan et al., 2006) serta dapat mendukung sistem imun dan kesehatan mental (*gut-brain axis*) (Tong et al., 2020).
3. *Live Biotherapeutic Products* (LBPs) adalah produk obat biologis yang mengandung mikroorganisme hidup, dikembangkan secara lebih presisi dan dikontrol dibanding probiotik konvensional. Misalnya SER-109: Terapi berbasis spora mikroba untuk infeksi *C. difficile* (Khanna et al., 2022; Khanna et al., 2016). RePOOPulate: Terapi mikrobiota sintesis yang meniru FMT dengan konsorsium mikroba tertentu (Khan et al., 2022; van Leeuwen et al., 2023).

4. Terapi Mikrobiota Vaginal, mirip dengan FMT, tapi untuk mengembalikan mikrobiota sehat di vagina (misalnya *Lactobacillus crispatus*). Biasanya untuk mengobati *bacterial vaginosis* yang tidak respon antibiotik dengan baik (Ma et al., 2019; Tuniyazi and Zhang, 2023). Penelitian ini menjanjikan untuk terapi infeksi saluran reproduksi.
5. Terapi Mikrobiota untuk Penyakit Autoimun (Xu et al., 2019) dan Neuropsikiatri (Gagliano et al., 2022), ada banyak studi tentang pengaruh mikrobiota terhadap *Multiple Sclerosis* (MS) (Biernacki et al., 2020), Autisme (ASD) (Mlynarska et al., 2025), *Parkinson's disease* (Cirstea, 2022), Depresi (Liu et al., 2023) dan kecemasan (*gut-brain axis*) (Mlynarska et al., 2025).

### **Mikrobiologi dalam Lingkungan dan Keberlanjutan**

Mikroorganisme memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan mengatasi permasalahan lingkungan, seperti Bioremediasi. Pemanfaatan mikroba untuk membersihkan limbah industri dan pencemaran lingkungan. Mikroba digunakan karena kemampuannya untuk mendegradasi, menetralkan, atau mengubah senyawa pencemar menjadi bentuk yang lebih aman bagi lingkungan (Sharma et al., 2013; Gupta et al., 2018). Contohnya adalah sebagai berikut:

1. Pembersihan Tumpahan Minyak, mikroba yang digunakan adalah *Pseudomonas putida*, *Alcanivorax borkumensis*, dan *Rhodococcus* spp (Brooijmans et al., 2009). Mikroba mikroba ini mampu memecah hidrokarbon kompleks dalam minyak bumi menjadi senyawa sederhana yang tidak beracun.
2. Pengolahan Limbah Industri Tekstil, mikroba yang digunakan adalah *Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger* dan *Pseudomonas aeruginosa* (Ajao et al., 2011), fungsi mikroba ini adalah untuk mendegradasi pewarna sintetis (seperti *azo dye*) dan bahan kimia beracun lain dari limbah cair tekstil.

3. Bioremediasi Logam Berat, mikroba yang digunakan adalah *Desulfovibrio* spp. (bakteri reduktor sulfat), *Pseudomonas* spp. dan *Ralstonia metallidurans* (Ghosh et al., 2021) fungsi dari bakteri bakteri ini adalah untuk mengendapkan atau mengubah logam berat seperti merkuri, kadmium, arsenik, dan timbal menjadi bentuk yang kurang larut atau kurang toksik.
4. Pembersihan Limbah Plastik dan Mikroplastik, mikroba yang digunakan adalah *Ideonella sakaiensis* (untuk menguraikan PET), *Pseudomonas* spp. dan Jamur seperti *Aspergillus tubingensis* (De Jesus and Alkendi, 2023). Bakteri dan Jamur tersebut berfungsi untuk menguraikan rantai polimer plastik menjadi molekul sederhana, membuka jalan menuju pengelolaan sampah plastik berbasis biologis.
5. Pengolahan Limbah Rumah Tangga dan Organik, mikroba yang digunakan adalah *Lactobacillus* spp., *Saccharomyces cerevisiae* dan *Bacillus* spp. (Al-Dhabi et al., 2020). Mikroba digunakan dalam komposting, pengolahan limbah cair rumah tangga, dan produksi pupuk organik cair (misalnya dalam EM4).
6. Pembersihan Pencemaran Pestisida di Tanah, mikroba yang digunakan adalah *Flavobacterium* spp., *Pseudomonas fluorescens* dan *Sphingomonas* spp (Shahid et al., 2023). Mikroba berfungsi untuk mendegradasi senyawa kimia pestisida (organofosfat, karbamat) dalam tanah yang terkontaminasi lahan pertanian.
7. Produksi bahan bakar hayati seperti bioetanol dan biogas melalui fermentasi mikroba (Beschkov, 2017; Rastogi and Shrivastava, 2017). Mikroba yang digunakan adalah sebagai berikut:
  - a. Untuk menghasilkan bioethanol adalah *Saccharomyces cerevisiae* (*ragi roti*), mikroba utama produksi bioetanol skala industri dari glukosa/tebu/jagung dan sangat efisien dalam konversi gula menjadi etanol dan CO<sub>2</sub> (Pinto, 2021). *Zymomonas mobilis*, merupakan Bakteri

Gram-negatif yang lebih efisien daripada ragi, dan memiliki toleran etanol yang tinggi, dan memproduksi lebih sedikit biomassa (Panesar et al., 2006). *Kluyveromyces marxianus* dapat melakukan fermentasi pada suhu tinggi, dan dapat menggunakan laktosa (misal dari whey susu) (Fonseca et al., 2008).

- b. Untuk menghasilkan biobutanol adalah *Clostridium acetobutylicum* (*Fermentasi ABE: Acetone-Butanol-Ethanol*), dapat mencerna pati dan selulosa, serta menghasilkan butanol, etanol, dan aseton dalam fermentasi anaerob (Riaz et al., 2022).
  - c. Biogas (Metana – CH<sub>4</sub>), mikroba yang berperan adalah *Hydrolytic bacteria* (*Bacillus, Clostridium*) dengan memecah polimer jadi monomer (Sivamani et al., 2021). Selain itu, *Acidogenic bacteria* (*Lactobacillus, Enterobacter*) yang mengubah monomer jadi asam organik dan alcohol (Bangar et al., 2022). *Acetogenic bacteria* (*Syntrophomonas, Syntrophobacter*) mampu mengubah asam organik menjadi asetat, CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub> (Nozhevnikova et al., 2020). *Methanogenic archaea* (*Methanobacterium, Methanosaeta, Methanosarcina*) dapat menghasilkan metana (CH<sub>4</sub>) dari asetat atau hidrogen + karbon dioksida (Mand and Metcalf, 2019).
  - d. Biohidrogen, mikroba yang berperan adalah *Clostridium butyricum* dan *Enterobacter aerogenes*, mampu menghasilkan hidrogen (H<sub>2</sub>) sebagai produk fermentasi campuran, dan sangat cocok untuk produksi biohidrogen dari limbah biomassa (hung et al., 2011). *Rhodobacter sphaeroides* merupakan bakteri fotosintetik non-sulfur, menghasilkan hidrogen dari cahaya dan asam organik (Koku et al., 2002).
8. Mikrobiologi tanah dan pertanian: Peningkatan produktivitas pertanian dengan memanfaatkan mikroba yang dapat meningkatkan kesuburan tanah dan melawan patogen tanaman (Bhardwaj et al., 2014; Kumar and Verma, 2019).

## Mikrobiologi dalam Industri dan Teknologi Pangan

Industri makanan dan minuman telah lama bergantung pada mikroorganisme, terutama dalam fermentasi, misalnya:

1. Produksi pangan fungsional, yaitu makanan yang diperkaya dengan probiotik untuk meningkatkan kesehatan (Mitsuoka, 2014), Contoh: yoghurt (*Lactobacillus* dan *Bifidobacterium*) (Adriani et al., 2008), kefir (bakteri asam laktat, *Lactobacillus kefir*, *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactococcus lactis*, bakteri asam asetat, dan ragi) (Demir, 2020), tempe (*Rhizopus oligosporus*) (Polanowska et al., 2020), kimchi (*Lactobacillus kimchii* dan mikroba asam laktat) (Chang et al., 2010), miso (*Aspergillus oryzae*) (Allwood et al., 2021), Sauerkraut (bakteri asam laktat (*Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus brevis*, *Pediococcus pentosaceus*) (Beganović et al., 2011), Natto (*Bacillus subtilis natto*) (Ruiz et al., 2021) dan Kombucha (bakteri asam laktat, *Acetobacter xylinum*, *Gluconobacter oxydans*, *Acetobacter aceti*, *Lactobacillus spp.* dan ragi) (Lee et al., 2023).
2. Teknologi fermentasi presisi dengan memanfaatkan mikroba yang direkayasa secara genetik untuk menghasilkan protein alternatif dan senyawa bioaktif (Liu and Pan, 2011). Beberapa mikroba telah direkayasa secara genetik untuk menghasilkan protein alternatif (termasuk pengganti daging, susu, telur) dan senyawa bioaktif (seperti vitamin, antibiotik, hormon, dan enzim). Berikut adalah mikroba yang digunakan dalam teknologi fermentasi untuk menghasilkan protein alternatif:
  - a. *Escherichia coli*, merupakan bakteri usus normal (beberapa strain), yang digunakan untuk memproduksi insulin rekombinan (hormon diabetes), menghasilkan enzim, asam amino esensial, dan vaksin. Serta dipakai dalam sintesis protein alternatif dan vitamin B12 (Incir and Kaplan, 2024).

- b. *Saccharomyces cerevisiae* (ragi roti/beer yeast), direkayasa untuk menghasilkan protein daging alternatif dan pengganti susu (casein dan whey), selain itu juga digunakan oleh perusahaan seperti Perfect Day (susu bebas sapi) dan Motif FoodWorks dan juga memproduksi senyawa aroma dan antioksidan alami (Bi, 2010).
  - c. *Pichia pastoris* (ragi metilotrofik); Menghasilkan protein terapeutik (misalnya interferon, vaksin, enzim pencernaan), digunakan dalam produksi kolagen vegan dan gelatin alternatif (Bredell, 2018).
  - d. *Corynebacterium glutamicum*, dipakai untuk produksi skala industri asam amino seperti glutamat, lisin, dan valin (Wendisch et al., 2016).
  - e. *Yarrowia lipolytica*, digunakan untuk produksi lemak nabati (alternatif lemak hewani) dan bisa memproduksi asam lemak omega-3, antioksidan (astaxanthin), dan tagatose (pemanis alami) (Jia et al., 2022).
  - f. Mikroalga Rekayasa Genetik (misalnya *Chlamydomonas reinhardtii*), diprogram untuk menghasilkan protein terapeutik, vaksin, dan enzim spesifik dan dapat menghasilkan karotenoid, omega-3, dan senyawa bioaktif lainnya (Goshtasbi et al., 2023).
  - g. *Bacillus subtilis*, digunakan untuk produksi enzim industri (protease, amilase), vitamin B, dan antimikroba (Danilova and Sharipova, 2020).
3. Keamanan pangan berbasis mikrobiologi untuk mendeteksi cepat dan kontrol kontaminasi mikroba dalam rantai pasok makanan (Ricke et al., 2019). Berikut adalah mikroba yang digunakan dalam keamanan pangan berbasis mikrobiologi:
    - a. Mikroba sebagai Biosensor: Deteksi Cepat Patogen dan Toksin, mikroba yang digunakan adalah *Escherichia coli* yang dapat dimodifikasi untuk berpendar (*fluorescence*) saat mendeteksi

kontaminan seperti *E. coli* O157:H7, logam berat, atau residu pestisida, dan digunakan dalam biosensor berbasis mikroba (Arora et al., 2011). Selain itu juga bakteri *Listeria innocua* (non-patogen) yang dipakai sebagai model sistem untuk mendeteksi keberadaan *Listeria monocytogenes* dalam makanan siap saji, terutama daging dan susu (Milillo et al., 2012). Bakteri *Bacillus subtilis* juga digunakan dalam biosensor cepat untuk mendeteksi toksin dan antibakteri alami pada bahan makanan (Banerjee et al., 2010).

- b. Mikroba Biokontrol untuk Mencegah Kontaminasi Patogen, mikroba kompetitif digunakan untuk menghambat pertumbuhan patogen berbahaya di makanan (biopreservatif alami). Contohnya adalah *Lactobacillus plantarum* dan *Lactobacillus rhamnosus*, untuk menghasilkan bakteriosin (seperti plantaricin) yang membunuh patogen seperti *Listeria monocytogenes* dan *Salmonella*, serta dipakai dalam pengawetan alami produk fermentasi dan daging olahan (Abdulhussain et al., 2020). *Pediococcus acidilactici* digunakan untuk menghasilkan pediocin, antimikroba yang kuat terhadap *Listeria*, dan digunakan dalam sosis, keju, dan makanan fermentasi (Khorshidian et al., 2021). *Carnobacterium maltaromaticum* aktif terhadap bakteri pembusuk dan patogen di makanan laut dan produk daging (Laursen et al., 2005).
- c. Mikroba dalam Deteksi Otomatis Berbasis Teknologi (*Microbial-Based Smart Sensors*). Saat ini telah ada sensor mikroba berbasis RNA atau DNA yang dihubungkan dengan teknologi qPCR, CRISPR, atau nanoteknologi biosensor untuk deteksi ultra-cepat patogen seperti *E. coli*, *Salmonella*, dan *Listeria* dalam waktu kurang dari 1 jam (Güven and Azizoglu, 2022). Kemudian dipadukan dengan mikroba indikator yang berperan sebagai "detektor hidup".
- d. Probiotik Pelindung dalam Produk Makanan, beberapa probiotik digunakan untuk menjaga stabilitas mikroba baik dalam makanan dan

saluran pencernaan. Bakteri yang digunakan adalah *Bifidobacterium longum* dan *Lactobacillus casei* bakteri ini tidak hanya menyehatkan pencernaan, tapi juga melawan kolonisasi patogen dari makanan, menjaga ketahanan saluran cerna (Kailasapathy and Chin, 2000).

### **Mikrobiologi dan Kecerdasan Buatan (AI)**

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan (AI) telah membuka peluang baru dalam mikrobiologi, terutama dalam penelitian, diagnosis, dan aplikasi industri. Beberapa bidang utama di mana AI berperan dalam mikrobiologi misalnya:

1. Analisis Data Mikrobiologi, yaitu AI membantu dalam analisis data sekuensing genom mikroba dalam skala besar untuk mengidentifikasi strain baru, mutasi, atau hubungan evolusioner (Huo and Wang, 2024).
2. Diagnosis dan Deteksi Penyakit, yaitu *Algoritma deep learning* digunakan untuk mendeteksi bakteri atau virus dalam sampel darah, dahak, atau jaringan tubuh secara otomatis (Panicker et al., 2018).
3. Penemuan Antibiotik dan Obat Baru menggunakan AI dengan menyaring database besar senyawa kimia untuk menemukan antibiotik baru dan memprediksi interaksi mikroba dengan senyawa farmasi (Melo et al., 2021).
4. Pemantauan Resistensi Antibiotik menggunakan AI untuk menganalisis pola resistensi antibiotik dan memprediksi tren resistensi di masa depan (Alawieh et al., 2015).
5. Mikrobiologi Lingkungan dan Bioteknologi menggunakan AI dalam pemantauan mikroba untuk bioremediasi dan optimasi produksi biofuel (Sahu et al., 2023).
6. Interaksi Mikrobiota dan Kesehatan Manusia dengan menggunakan AI untuk menganalisis data mikrobioma untuk memahami hubungan antara mikroba usus dan penyakit serta merancang probiotik personalisasi (D'Urso and Broccolo, 2024).

## **Tantangan dan Masa Depan Mikrobiologi**

Meskipun memiliki banyak potensi, mikrobiologi juga menghadapi berbagai tantangan, yaitu:

1. Resistensi antimikroba: Perlunya pengembangan strategi baru untuk mengatasi ancaman global ini (Roca et al., 2015).
2. Etika dalam rekayasa genetika mikroba: Regulasi yang ketat diperlukan untuk memastikan keamanan penggunaan mikroorganisme yang dimodifikasi secara genetik (Engwa, 2014).
3. Adaptasi terhadap perubahan iklim: Mikroba dapat berperan dalam mitigasi perubahan iklim, namun juga dapat beradaptasi dan menyebabkan perubahan ekosistem yang tidak terduga (Cavicchioli et al., 2019).

## **Kesimpulan**

Mikrobiologi akan terus menjadi bidang yang krusial dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Dengan perkembangan teknologi, seperti bioteknologi, sintesis biologi, dan kecerdasan buatan, mikrobiologi memiliki potensi besar untuk memberikan solusi inovatif dalam kesehatan, lingkungan, industri, dan pangan. Namun, tantangan seperti resistensi antibiotik dan regulasi keamanan tetap perlu mendapat perhatian serius agar pemanfaatan mikroorganisme dapat berjalan secara berkelanjutan dan bertanggung jawab.

## Daftar Pustaka

- Abdulhussain Kareem, R. and Razavi, S.H., 2020. Plantaricin bacteriocins: As safe alternative antimicrobial peptides in food preservation—A review. *Journal of Food Safety*, 40(1), p.e12735.
- Adriani, L., Indrayati, N., Tanuwiria, U.H. and Mayasari, N., 2008. Aktivitas *Lactobacillus acidophilus* dan *Bifidobacterium* terhadap kualitas yoghurt dan penghambatannya pada *Helicobacter pylori*. *Bionatura*, 10(2), p.218406.
- Ajao, A. T., Adebayo, G. B., & Yakubu, S. E. (2011). Bioremediation of textile industrial effluent using mixed culture of *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* immobilized on agar-agar in a bioreactor. *Journal of microbiology and biotechnology research*, 1(3), 50-56.
- Alawieh, A., Sabra, Z., Bizri, A. R., Davies, C., White, R., & Zaraket, F. A. (2015). A computational model to monitor and predict trends in bacterial resistance. *Journal of global antimicrobial resistance*, 3(3), 174-183.
- Al-Dhabi, N. A., Esmail, G. A., & Valan Arasu, M. (2020). Co-fermentation of food waste and municipal sludge from the Saudi Arabian environment to improve lactic acid production by *Lactobacillus rhamnosus* AW3 isolated from date processing waste. *Sustainability*, 12(17), 6899.
- Allwood, J.G., Wakeling, L.T. and Bean, D.C., 2021. Fermentation and the microbial community of Japanese koji and miso: A review. *Journal of Food Science*, 86(6), pp.2194-2207.
- Arora, P., Sindhu, A., Dilbaghi, N. and Chaudhury, A., 2011. Biosensors as innovative tools for the detection of food borne pathogens. *Biosensors and Bioelectronics*, 28(1), pp.1-12.

- Banerjee, P. and Bhunia, A.K., 2010. Cell-based biosensor for rapid screening of pathogens and toxins. *Biosensors and Bioelectronics*, 26(1), pp.99-106.
- Bangar, S.P., Suri, S., Trif, M. and Ozogul, F., 2022. Organic acids production from lactic acid bacteria: A preservation approach. *Food bioscience*, 46, p.101615.
- Beganović, J., Pavunc, A.L., Gjuračić, K., Špoljarec, M., Šušković, J. and Kos, B., 2011. Improved sauerkraut production with probiotic strain *Lactobacillus plantarum* L4 and *Leuconostoc mesenteroides* LMG 7954. *Journal of Food Science*, 76(2), pp.M124-M129.
- Beschkov, V. (2017). Biogas, Biodiesel and Bioethanol as Multifunctional. *Frontiers in bioenergy and biofuels*, 185.
- Bhardwaj, D., Ansari, M. W., Sahoo, R. K., & Tuteja, N. (2014). Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. *Microbial cell factories*, 13, 1-10.
- Bi, T., 2010. *Biological treatment of milk and soybean wastewater with bioproducts* (Master's thesis, Cleveland State University).
- Biernacki, T., Sandi, D., Bencsik, K., & Vécsei, L. (2020). Kynurenines in the pathogenesis of multiple sclerosis: Therapeutic perspectives. *Cells*, 9(6), 1564.
- Bredell, W.J., 2018. *Investigation of methylotrophic yeasts expression systems for the production of self-assembling proteins with biological applications* (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).
- Brooijmans, R.J., Pastink, M.I. and Siezen, R.J., 2009. Hydrocarbon-degrading bacteria: the oil-spill clean-up crew. *Microbial biotechnology*, 2(6), p.587.

- Cavicchioli, R., Ripple, W.J., Timmis, K.N., Azam, F., Bakken, L.R., Baylis, M., Behrenfeld, M.J., Boetius, A., Boyd, P.W., Classen, A.T. and Crowther, T.W., 2019. Scientists' warning to humanity: microorganisms and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 17(9), pp.569-586.
- Chang, J.H., Shim, Y.Y., Cha, S.K. and Chee, K.M., 2010. Probiotic characteristics of lactic acid bacteria isolated from kimchi. *Journal of Applied Microbiology*, 109(1), pp.220-230.
- Cirstea, M. S. (2022). *The gut microbiota in Parkinson's disease* (Doctoral dissertation, University of British Columbia).
- D'Urso, F., & Broccolo, F. (2024). Applications of Artificial Intelligence in Microbiome Analysis and Probiotic Interventions—An Overview and Perspective Based on the Current State of the Art. *Applied Sciences*, 14(19), 8627.
- Danilova, I. and Sharipova, M., 2020. The practical potential of bacilli and their enzymes for industrial production. *Frontiers in microbiology*, 11, p.1782
- De Jesus, R., & Alkendi, R. (2023). A minireview on the bioremediative potential of microbial enzymes as solution to emerging microplastic pollution. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1066133.
- Demir, H., 2020. Comparison of traditional and commercial kefir microorganism compositions and inhibitory effects on certain pathogens. *International Journal of Food Properties*, 23(1), pp.375-386.
- Engwa, G. A. (2014). Genetic engineering on microorganism: the ecological and bioethical implications. *European Journal of Biotechnology and Bioscience*, 1(3), 27-33.
- Fan, Y. J., Chen, S. J., Yu, Y. C., Si, J. M., & Liu, B. (2006). A probiotic treatment containing *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* and *Enterococcus*

- improves IBS symptoms in an open label trial. *Journal of Zhejiang University Science B*, 7, 987-991.
- Fonseca, G.G., Heinzle, E., Wittmann, C. and Gombert, A.K., 2008. The yeast *Kluyveromyces marxianus* and its biotechnological potential. *Applied microbiology and biotechnology*, 79, pp.339-354.
- Gagliano, A., Murgia, F., Capodiferro, A.M., Tanca, M.G., Hendren, A., Falqui, S.G., Aresti, M., Comini, M., Carucci, S., Cocco, E. and Loreface, L., 2022. 1H-NMR-based metabolomics in autism spectrum disorder and pediatric acute-onset neuropsychiatric syndrome. *Journal of Clinical Medicine*, 11(21), p.6493.
- Ghosh, S., Joshi, K., & Webster, T. J. (2021). Removal of heavy metals by microbial communities. In *Wastewater Treatment Reactors* (pp. 537-566). Elsevier.
- Goshtasbi, H., Okolodkov, Y.B., Movafeghi, A., Awale, S., Safary, A., Barar, J. and Omid, Y., 2023. Harnessing microalgae as sustainable cellular factories for biopharmaceutical production. *Algal research*, 74, p.103237.
- Gupta, C., Prakash, D. and Gupta, S., 2018. Microbes: "A Tribute" to clean environment. *Paradigms in pollution prevention*, pp.17-34.
- Güven, E. and Azizoglu, R.O., 2022. The recent original perspectives on nonculture-based bacteria detection methods: A comprehensive review. *Foodborne Pathogens and Disease*, 19(7), pp.425-440.
- Halkjær, S.I., Christensen, A.H., Lo, B.Z.S., Browne, P.D., Günther, S., Hansen, L.H. and Petersen, A.M., 2018. Faecal microbiota transplantation alters gut microbiota in patients with irritable bowel syndrome: results from a randomised, double-blind placebo-controlled study. *Gut*, 67(12), pp.2107-2115.

- Hung, C.H., Chang, Y.T. and Chang, Y.J., 2011. Roles of microorganisms other than *Clostridium* and *Enterobacter* in anaerobic fermentative biohydrogen production systems—a review. *Bioresource technology*, 102(18), pp.8437-8444.
- Huo, D., & Wang, X. (2024). A new era in healthcare: The integration of artificial intelligence and microbial. *Medicine in Novel Technology and Devices*, 100319.
- İncir, İ. and Kaplan, Ö., 2024. *Escherichia coli* in the production of biopharmaceuticals. *Biotechnology and Applied Biochemistry*.
- Jarmo, O., Veli-Jukka, A., & Eero, M. (2020). Treatment of *Clostridioides (Clostridium) difficile* infection. *Annals of medicine*, 52(1-2), 12-20.
- Jia, Y.L., Wang, L.R., Zhang, Z.X., Gu, Y. and Sun, X.M., 2022. Recent advances in biotechnological production of polyunsaturated fatty acids by *Yarrowia lipolytica*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(32), pp.8920-8934.
- Kailasapathy, K. and Chin, J., 2000. Survival and therapeutic potential of probiotic organisms with reference to *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium* spp. *Immunology and cell biology*, 78(1), pp.80-88.
- Khan, R., Roy, N., Ali, H. and Naeem, M., 2022. Fecal microbiota transplants for inflammatory bowel disease treatment: synthetic-and engineered communities-based microbiota transplants are the future. *Gastroenterology Research and Practice*, 2022(1), p.9999925.
- Khanna, S., & Gerding, D. N. (2019). Current and future trends in *Clostridioides (Clostridium) difficile* infection management. *Anaerobe*, 58, 95-102.
- Khanna, S., Pardi, D.S., Kelly, C.R., Kraft, C.S., Dhere, T., Henn, M.R., Lombardo, M.J., Vulic, M., Ohsumi, T., Winkler, J. and Pindar, C., 2016. A novel microbiome therapeutic increases gut microbial

- diversity and prevents recurrent *Clostridium difficile* infection. *The Journal of infectious diseases*, 214(2), pp.173-181.
- Khanna, S., Sims, M., Louie, T.J., Fischer, M., LaPlante, K., Allegretti, J., Hasson, B.R., Fonte, A.T., McChalicher, C., Ege, D.S. and Bryant, J.A., 2022. SER-109: an oral investigational microbiome therapeutic for patients with recurrent *Clostridioides difficile* infection (rCDI). *Antibiotics*, 11(9), p.1234.
- Khorshidian, N., Khanniri, E., Mohammadi, M., Mortazavian, A.M. and Yousefi, M., 2021. Antibacterial activity of pediocin and pediocin-producing bacteria against *Listeria monocytogenes* in meat products. *Frontiers in microbiology*, 12, p.709959.
- Koku, H., Eroğlu, İ., Gündüz, U., Yücel, M. and Türker, L., 2002. Aspects of the metabolism of hydrogen production by *Rhodobacter sphaeroides*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 27(11-12), pp.1315-1329.
- Kumar, A., & Verma, J. P. (2019). The role of microbes to improve crop productivity and soil health. *Ecological wisdom inspired restoration engineering*, 249-265.
- Kutateladze, M., & Adamia, R. (2010). Bacteriophages as potential new therapeutics to replace or supplement antibiotics. *Trends in biotechnology*, 28(12), 591-595.
- Laursen, B.G., Bay, L., Cleenwerck, I., Vancanneyt, M., Swings, J., Dalgaard, P. and Leisner, J.J., 2005. *Carnobacterium divergens* and *Carnobacterium maltaromaticum* as spoilers or protective cultures in meat and seafood: phenotypic and genotypic characterization. *Systematic and Applied Microbiology*, 28(2), pp.151-164.
- Lee, D.H., Kim, S.H., Lee, C.Y., Jo, H.W., Lee, W.H., Kim, E.H., Choi, B.K. and Huh, C.K., 2023. Screening of acetic acid bacteria isolated from various sources for use in Kombucha production. *Fermentation*, 10(1), p.18.

- Liu, C. F., & Pan, T. M. (2011). Beneficial effects of bioactive peptides derived from soybean on human health and their production by genetic engineering. *Soybean and health*, 311-328.
- Liu, L., Wang, H., Chen, X., Zhang, Y., Zhang, H. and Xie, P., 2023. Gut microbiota and its metabolites in depression: from pathogenesis to treatment. *EBioMedicine*, 90.
- Ma, D., Chen, Y. and Chen, T., 2019. Vaginal microbiota transplantation for the treatment of bacterial vaginosis: a conceptual analysis. *FEMS microbiology letters*, 366(4), p.fnz025.
- Mand, T.D. and Metcalf, W.W., 2019. Energy conservation and hydrogenase function in methanogenic archaea, in particular the genus *Methanosarcina*. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 83(4), pp.10-1128.
- Melo, M. C., Maasch, J. R., & de la Fuente-Nunez, C. (2021). Accelerating antibiotic discovery through artificial intelligence. *Communications biology*, 4(1), 1050.
- Milillo, S.R., Friedly, E.C., Saldivar, J.C., Muthaiyan, A., O'bryan, C., Crandall, P.G., Johnson, M.G. and Ricke, S.C., 2012. A review of the ecology, genomics, and stress response of *Listeria innocua* and *Listeria monocytogenes*. *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(8), pp.712-725.
- Mitsuoka, T. (2014). Development of functional foods. *Bioscience of microbiota, food and health*, 33(3), 117-128.
- Młynarska, E., Barszcz, E., Budny, E., Gajewska, A., Kopeć, K., Wasiak, J., Rysz, J. and Franczyk, B., 2025. The Gut–Brain–Microbiota Connection and Its Role in Autism Spectrum Disorders. *Nutrients*, 17(7), p.1135.
- Mousavi, S.M., Hashemi, S.A., Parvin, N., Gholami, A., Ramakrishna, S., Omidifar, N., Moghadami, M.,

- Chiang, W.H. and Mazraedoost, S., 2021. Recent biotechnological approaches for treatment of novel COVID-19: From bench to clinical trial. *Drug Metabolism Reviews*, 53(1), pp.141-170.
- Nozhevnikova, A.N., Russkova, Y.I., Litti, Y.V., Parshina, S.N., Zhuravleva, E.A. and Nikitina, A.A., 2020. Syntrophy and interspecies electron transfer in methanogenic microbial communities. *Microbiology*, 89, pp.129-147.
- Panesar, P.S., Marwaha, S.S. and Kennedy, J.F., 2006. *Zymomonas mobilis*: an alternative ethanol producer. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 81(4), pp.623-635.
- Panicker, R. O., Kalmady, K. S., Rajan, J., & Sabu, M. K. (2018). Automatic detection of tuberculosis bacilli from microscopic sputum smear images using deep learning methods. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 38(3), 691-699.
- Pinto, T., 2021. Ecological Control Strategies for Biobutanol Production.
- Polanowska, K., Grygier, A., Kuligowski, M., Rudzińska, M. and Nowak, J., 2020. Effect of tempe fermentation by three different strains of *Rhizopus oligosporus* on nutritional characteristics of faba beans. *Lwt*, 122, p.109024.
- Rastogi, M., & Shrivastava, S. (2017). Recent advances in second generation bioethanol production: An insight to pretreatment, saccharification and fermentation processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 330-340.
- Riaz, S., Mazhar, S., Abidi, S.H., Syed, Q., Abbas, N., Saleem, Y., Nadeem, A.A., Maryam, M., Essa, R. and Ashfaq, S., 2022. Biobutanol production from sustainable biomass process of anaerobic ABE fermentation for industrial applications. *Archives of Microbiology*, 204(11), p.672.

- Ricke, S. C., Feye, K. M., Chaney, W. E., Shi, Z., Pavlidis, H., & Yang, Y. (2019). Developments in rapid detection methods for the detection of foodborne campylobacter in the United States. *Frontiers in microbiology*, 9, 3280.
- Roca, I., Akova, M., Baquero, F., Carlet, J., Cavaleri, M., Coenen, S., Cohen, J., Findlay, D., Gyssens, I., Heure, O.E. and Kahlmeter, G., 2015. The global threat of antimicrobial resistance: science for intervention. *New microbes and new infections*, 6, pp.22-29.
- Ruiz Sella, S.R., Bueno, T., de Oliveira, A.A., Karp, S.G. and Soccol, C.R., 2021. Bacillus subtilis natto as a potential probiotic in animal nutrition. *Critical reviews in biotechnology*, 41(3), pp.355-369.
- Sahu, S., Kaur, A., Singh, G., & Arya, S. K. (2023). Harnessing the potential of microalgae-bacteria interaction for eco-friendly wastewater treatment: a review on new strategies involving machine learning and artificial intelligence. *Journal of environmental management*, 346, 119004.
- Shahid, M., Khan, M. S., & Singh, U. B. (2023). Pesticide-tolerant microbial consortia: Potential candidates for remediation/clean-up of pesticide-contaminated agricultural soil. *Environmental research*, 236, 116724.
- Sharma, A., Mishra, M., Sheet, S. and Thite, M., 2013. Role of microbes as cleaning degrading industrial wastes for environmental sustainability-A Review. *Recent Research in Science and Technology*, 5(5).
- Sivamani, S., Saikat, B., Naveen Prasad, B.S., Baalawy, A.A.S. and Al-Mashali, S.M.A., 2021. A comprehensive review on microbial technology for biogas production. *Bioenergy research: Revisiting latest development*, pp.53-78.
- Souza, D.N.P.D. and Jorge, M.T., 2012. The effect of Lactobacillus casei and Bifidobacterium breve on antibiotic-associated diarrhea treatment: randomized

- double-blind clinical trial. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 45, pp.112-116.
- Szajewska, H., & Mrukowicz, J. Z. (2005). Use of probiotics in children with acute diarrhea. *Pediatric drugs*, 7, 111-122.
- Tong, J., Satyanarayanan, S. K., & Su, H. (2020). Nutraceuticals and probiotics in the management of psychiatric and neurological disorders: A focus on microbiota-gut-brain-immune axis. *Brain, Behavior, and Immunity*, 90, 403-419.
- Tuniyazi, M., & Zhang, N. (2023). Possible therapeutic mechanisms and future perspectives of vaginal microbiota transplantation. *Microorganisms*, 11(6), 1427.
- van Leeuwen, P.T., Brul, S., Zhang, J. and Wortel, M.T., 2023. Synthetic microbial communities (SynComs) of the human gut: design, assembly, and applications. *FEMS Microbiology Reviews*, 47(2), p.fuad012.
- Vaughn, B.P., Vatanen, T., Allegretti, J.R., Bai, A., Xavier, R.J., Korzenik, J., Gevers, D., Ting, A., Robson, S.C. and Moss, A.C., 2016. Increased intestinal microbial diversity following fecal microbiota transplant for active Crohn's disease. *Inflammatory bowel diseases*, 22(9), pp.2182-2190.
- Vitellio, P., Celano, G., Bonfrate, L., Gobbetti, M., Portincasa, P., & De Angelis, M. (2019). Effects of *Bifidobacterium longum* and *Lactobacillus rhamnosus* on gut microbiota in patients with lactose intolerance and persisting functional gastrointestinal symptoms: A randomised, double-blind, crossover study. *Nutrients*, 11(4), 886.
- Von Stein, P., Lofberg, R., Kuznetsov, N.V., Gielen, A.W., Persson, J.O., Sundberg, R., Hellstrom, K., Eriksson, A., Befrits, R., Ost, A. and Von Stein, O.D., 2008. Multigene analysis can discriminate between ulcerative colitis, Crohn's disease, and irritable bowel syndrome. *Gastroenterology*, 134(7), pp.1869-1881.

- Wehkamp, J., Götz, M., Herrlinger, K., Steurer, W., & Stange, E. F. (2016). Inflammatory bowel disease: Crohn's disease and ulcerative colitis. *Deutsches Ärzteblatt International*, 113(5), 72.
- Wendisch, V.F., Jorge, J.M., Pérez-García, F. and Sgobba, E., 2016. Updates on industrial production of amino acids using *Corynebacterium glutamicum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32, pp.1-10.
- Xu, H., Liu, M., Cao, J., Li, X., Fan, D., Xia, Y., Lu, X., Li, J., Ju, D. and Zhao, H., 2019. The dynamic interplay between the gut microbiota and autoimmune diseases. *Journal of immunology research*, 2019(1), p.7546047.

## Profil Penulis



**Anita Restu Puji Raharjeng, M.Si.,  
M.BioMed.Sc.**

Ketertarikan penulis terhadap bidang ilmu biologi dimulai pada tahun 2002, yang membawanya untuk masuk ke jurusan Biologi Universitas Negeri Malang. Setelah lulus S1, penulis melanjutkan S2 di Universitas Brawijaya dengan konsentrasi Bioteknologi Molekuler. Setelah menyelesaikan S2 pertamanya, penulis melanjutkan pendidikan S2 kembali di Australia, tepatnya di James Cook University, pada Fakultas Kedokteran dengan jurusan Biomedical Science dengan konsentrasi Ilmu Nuklir. Penulis kemudian melanjutkan studi S3 di Universitas Gadjah Mada jurusan Biologi.

Penulis memiliki kepakaran di bidang Biomedical Science. Untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis aktif sebagai peneliti di bidang kepakarannya tersebut. Beberapa penelitian yang dilakukannya didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga Kemenristek DIKTI. Penulis telah banyak melakukan penelitian dengan kolaborasi baik di dalam maupun di luar negeri. Rekam jejak penulisan karya ilmiahnya dapat dicek di Google Scholar dengan ID <https://scholar.google.co.id/citations?user=iRp3uCAAAAAJ&hl=en>, Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57219323981>, Sinta ID: <https://sinta.kemdikbud.go.id/authors/profile/6023919> dan ORCID id: <https://orcid.org/0000-0002-8308-4574> Selain sebagai peneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara yang tercinta ini. Pada tahun 2024, penulis meraih juara 1 Lomba Karya Tulis Ilmiah Internasional (LKTI) yang diadakan oleh Persatuan Pelajar Indonesia di Malaysia (PPIM), selain itu penulis juga aktif menulis opini di koran lokal maupun nasional.

Email Penulis: [anitaraharjeng\\_uin@radenfatah.ac.id](mailto:anitaraharjeng_uin@radenfatah.ac.id)

- 1 PENGENALAN MIKROBIOLOGI  
Siti Soleha
- 2 STRUKTUR DAN FUNGSI MIKROBA  
Wahyu Surakusumah
- 3 KLASIFIKASI DAN IDENTIFIKASI MIKROBA  
Andi Ifriany Harun
- 4 MIKROBA DAN LINGKUNGAN  
Husn'in Nahry Yarza
- 5 MIKROBA PATOGEN  
Elsa Fitri Ana
- 6 IMUNOLOGI DAN RESPON IMUN DASAR  
Ma'rufah
- 7 IMUNOLOGI DAN RESPON IMUN  
Ririn Hamidatus Syarofatin
- 8 ANTIBIOTIK DAN RESISTEN ANTIBIOTIK  
Riri Novita Sunarti
- 9 MIKROBA DAN PENYAKIT  
Elza Armellariea
- 10 MIKROBIOLOGI KLINIK DAN PERANNYA DALAM PENANGANAN PENYAKIT  
INFEKSI  
Ra. Hoetary Tirta Amallia
- 11 PENGobatan PENYAKIT YANG DISEBABKAN OLEH MIKROBA: MELAWAN  
MIKROBA PATOGEN  
Ucic Agusti Wulanningsih
- 12 MIKROBA DAN MAKANAN  
Ucic Agusti Wulanningsih
- 13 MIKROBA DAN LINGKUNGAN INDUSTRI  
Ike Apriani
- 14 MIKROBA DAN BIOTEKNOLOGI  
Zunisnaini
- 15 MIKROBIOLOGI DAN MASA DEPAN: INOVASI DAN TANTANGAN DALAM ERA  
BIOTEKNOLOGI  
Anita Restu Puji Raharjeng

*Editor:*

Suci Haryanti

Untuk akses **Buku Digital**,  
Scan **QR CODE**



**Media Sains Indonesia**

Melong Asih Regency B.40, Cijerah  
Kota Bandung - Jawa Barat  
Email : [penerbit@medsan.co.id](mailto:penerbit@medsan.co.id)  
Website : [www.medsan.co.id](http://www.medsan.co.id)

