

Buku Ajar

MIKROBIOLOGI



Selviana Anggraini, S.P., M.P.
Dr. Haliatur Rahma, S.Si., M.P.
Rahil Ade Rifqah, S.P., M.P.

BUKU AJAR

MIKROBIOLOGI

Penulis : Selviana Anggraini, S.P., M.P.
Dr. Haliatur Rahma, S.Si., M.P.
Rahil Ade Rifqah, S.P., M.P.

Editor : Amriana

Desain Cover : Muzammil Akbar

Ilustrasi : Gemini

Ukuran: 15.5 x 23 cm; Hal: xiv + 166 (180)
Cetakan I, Juni 2026
ISBN 978-634-7577-73-3



Penerbit
Insight Mediatama
Anggota IKAPI No. 338/JTI/2022
Watesnegoro No. 4 (61385) Mojokerto
Whatsapp 087762245559
www.insightmediatama.co.id

© All Rights Reserved Ketentuan Pidana Pasal 112-119
Undang- undang Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak
Cipta. Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa
izin tertulis dari penerbit dan penulis.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan anugerah-Nya sehingga buku ajar “Mikrobiologi” ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku Ajar ini disusun sebagai salah satu sumber belajar untuk mendukung proses pembelajaran mata kuliah Mikrobiologi pada Program Studi Agroteknologi dengan pendekatan Outcome-Based Education (OBE) yang berorientasi pada pencapaian kompetensi mahasiswa sesuai dengan Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK).

Mikrobiologi merupakan cabang ilmu yang mempelajari mikroorganisme beserta struktur, fungsi, metabolisme, interaksi, dan peranannya dalam berbagai aspek kehidupan. Dalam bidang pertanian, mikroorganisme memiliki fungsi yang sangat strategis sebagai penggerak siklus hara, penyedia unsur hara, pengurai bahan organik, agen pengendalian hayati, biofertilizer, dan biopestisida. Di sisi lain, berbagai mikroorganisme juga berperan sebagai patogen yang dapat menurunkan produktivitas tanaman dan kualitas hasil pertanian. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif mengenai mikrobiologi menjadi bekal penting bagi mahasiswa Agroteknologi dalam menghadapi tantangan pembangunan pertanian yang produktif, berdaya saing, dan berkelanjutan.

Buku ajar ini disusun dengan mengintegrasikan konsep-konsep dasar mikrobiologi dengan penerapannya dalam sistem pertanian modern. Materi disajikan secara sistematis mulai dari konsep dasar mikrobiologi, struktur dan klasifikasi mikroorganisme, pertumbuhan dan metabolisme mikroorganisme, mikroorganisme menguntungkan dan merugikan, mikroorganisme tanah dan peranannya dalam siklus hara, biofertilizer dan mikroorganisme lokal, mikroorganisme dalam pengendalian hayati dan biopestisida, hingga mikroorganisme patogen serta pemanfaatan mikroba dalam pertanian berkelanjutan. Setiap bab dilengkapi dengan capaian

pembelajaran, ilustrasi konseptual, analisis kasus, mini project atau latihan, serta refleksi pembelajaran yang dirancang untuk mendorong kemampuan berpikir kritis, analitis, dan aplikatif.

Dalam penyusunannya, buku ini memadukan teori klasik dengan hasil penelitian mutakhir yang bersumber dari buku referensi, jurnal ilmiah bereputasi, serta berbagai publikasi nasional dan internasional di bidang mikrobiologi dan pertanian. Pendekatan tersebut diharapkan mampu memberikan wawasan yang lebih luas kepada mahasiswa mengenai perkembangan ilmu mikrobiologi sekaligus implementasinya dalam pengelolaan sumber daya hayati dan agroekosistem yang berkelanjutan.

Sebagai buku ajar berbasis OBE, materi yang disajikan tidak hanya menekankan penguasaan konsep, tetapi juga kemampuan mahasiswa dalam menganalisis permasalahan, menghubungkan teori dengan praktik, serta merancang solusi berbasis ilmu pengetahuan. Dengan demikian, proses pembelajaran diharapkan mampu menghasilkan lulusan yang memiliki kompetensi akademik, keterampilan profesional, dan kepedulian terhadap keberlanjutan lingkungan pertanian.

Penulis menyadari bahwa buku ajar ini masih memiliki keterbatasan dan sangat terbuka terhadap perkembangan ilmu pengetahuan yang berlangsung begitu cepat. Oleh karena itu, kritik, saran, dan masukan yang bersifat konstruktif sangat diharapkan sebagai bahan penyempurnaan pada edisi berikutnya. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa, dosen, peneliti, serta praktisi pertanian sebagai referensi dalam memahami dan mengembangkan ilmu mikrobiologi untuk mendukung sistem pertanian yang inovatif, produktif, dan berkelanjutan.

Lubuklinggau, 2026
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii

BAB 1

KONSEP DASAR DAN SEJARAH MIKROBIOLOGI....	1
1.1 Pengertian Mikrobiologi.....	2
1.2 Ruang Lingkup Mikrobiologi	5
1.3 Sejarah Perkembangan Mikrobiologi	7
1.4 Tokoh-Tokoh Mikrobiologi	10
1.5 Cabang-Cabang Mikrobiologi	13
1.6 Peranan Mikrobiologi dalam Pertanian dan Lingkungan	15

BAB 2

STRUKTUR, MORFOLOGI, DAN KLASIFIKASI MIKROORGANISME	21
2.1 Struktur Sel Mikroorganisme	23
2.2 Morfologi Bakteri.....	25
2.3 Morfologi Fungi	27
2.4 Virus.....	28
2.5 Protozoa	30
2.6 Klasifikasi Mikroorganisme	32
2.7 Karakteristik Masing-Masing Kelompok Mikroorganisme	35

BAB 3

PERTUMBUHAN DAN METABOLISME MIKROORGANISME	41
3.1 Pertumbuhan Mikroorganisme	43
3.2 Reproduksi Mikroorganisme	45
3.3 Kurva Pertumbuhan Mikroba	47

3.4	Metabolisme Mikroorganisme	50
3.5	Nutrisi Mikroorganisme	52
3.6	Faktor Lingkungan yang Memengaruhi Pertumbuhan Mikroba	54

BAB 4

MIKROORGANISME	MENGUNTUNGAN	DAN	MERUGIKAN	60
4.1	Mikroorganisme Menguntungkan			63
4.2	Mikroorganisme Merugikan			64
4.3	Interaksi Mikroorganisme dengan Lingkungan			66
4.4	Dampak Mikroorganisme dalam Kehidupan			68
4.5	Pemanfaatan Mikroorganisme pada Pangan, Industri, dan Lingkungan			69

BAB 5

MIKROORGANISME TANAH DAN PERANANNYA	DALAM SIKLUS HARA.....	73
5.1	Mikroorganisme tanah.....	75
5.2	Mikroorganisme rizosfer	76
5.3	Peranan mikroorganisme dalam siklus karbon	77
5.4	Peranan mikroorganisme dalam siklus nitrogen ...	78
5.5	Peranan mikroorganisme dalam siklus fosfor	79
5.6	Kontribusi mikroorganisme terhadap kesuburan tanah	80

BAB 6

BIOFERTILIZER DAN MIKROORGANISME LOKAL ...		85
6.1	Pengertian Biofertilizer	88
6.2	Jenis-Jenis Biofertilizer	90
6.3	Mikroorganisme Lokal (MOL)	93
6.4	Pemanfaatan Mikroorganisme Lokal dalam Budidaya Tanaman	95

BAB 7

MIKROORGANISME DALAM PENGENDALIAN HAYATI DAN BIOPESTISIDA	103
7.1 Konsep Pengendalian Hayati	106
7.2 Agen Hayati	107
7.3 Biopestisida Berbasis Mikroorganisme	109
7.4 Pemanfaatan Mikroorganisme untuk Pengendalian Penyakit Tanaman	111
7.5 Implementasi pada Sistem Pertanian Berkelanjutan.....	113

BAB 8

MIKROORGANISME PATOGEN DAN PEMANFAATAN MIKROBA DALAM PERTANIAN BERKELANJUTAN	119
8.1 Mikroorganisme Patogen pada Tanaman.....	122
8.2 Mikroorganisme Patogen pada Manusia	124
8.3 Dampak Mikroorganisme Patogen terhadap Pertanian.....	125
8.4 Pemanfaatan Mikroba dalam Pertanian Berkelanjutan.....	127
8.5 Inovasi dan Prospek Pengembangan Mikrobiologi Pertanian.....	129

DAFTAR PUSTAKA.....	135
GLOSARIUM	160
INDEKS	162
PROFIL PENULIS.....	164

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Objek Kajian Mikrobiologi	5
Gambar 2.1	Klasifikasi Umum Mikroorganisme	33
Gambar 3.1.	Hubungan Pertumbuhan dan Metabolisme Mikroorganisme dalam Menunjang Aktivitas Biologis dan Siklus Hara Pertanian.	43
Gambar 4.1.	Peran Mikroorganisme Menguntungkan dan Merugikan dalam Sistem Pertanian dan Lingkungan.....	62
Gambar 5.1.	Peran Mikroorganisme Tanah dalam Siklus Hara dan Pemeliharaan Kesuburan Tanah pada Sistem Pertanian Berkelanjutan.....	74
Gambar 6.1.	Konsep Biofertilizer Berbasis Mikroorganisme Lokal dan Mekanisme Perannya dalam Meningkatkan Kesuburan Tanah serta Pertumbuhan Tanaman.....	86
Gambar 7.1.	Peran Mikroorganisme dalam Pengendalian Hayati dan Pengembangan Biopestisida untuk Mendukung Pertanian Berkelanjutan.	104
Gambar 8.1.	Hubungan Mikroorganisme Patogen dan Pemanfaatan Mikroba Menguntungkan dalam Mendukung Sistem Pertanian Berkelanjutan.....	121

PETUNJUK PENGGUNAAN BUKU

Buku ajar “Mikrobiologi” disusun sebagai sumber belajar utama bagi mahasiswa Program Studi Agroteknologi yang menempuh mata kuliah Mikrobiologi. Penyusunan buku ini mengacu pada pendekatan **Outcome-Based Education (OBE)** sehingga setiap materi diarahkan untuk mendukung pencapaian Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) secara bertahap, sistematis, dan aplikatif.

Agar proses pembelajaran berlangsung secara optimal, pembaca disarankan menggunakan buku ini sesuai dengan urutan materi yang telah disusun. Setiap bab diawali dengan pendahuluan yang memberikan gambaran umum mengenai topik yang akan dipelajari, dilanjutkan dengan ilustrasi konseptual untuk memudahkan pemahaman hubungan antar konsep sebelum memasuki pembahasan yang lebih rinci. Pembaca dianjurkan untuk memahami konsep dasar pada setiap subbab sebelum melanjutkan ke materi berikutnya karena setiap bab saling berkaitan dan membangun pemahaman secara berkelanjutan.

Setiap bab dilengkapi dengan Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) yang menjadi acuan kompetensi yang diharapkan setelah mahasiswa mempelajari materi tersebut. Oleh karena itu, mahasiswa disarankan untuk membaca CPMK terlebih dahulu agar memiliki tujuan belajar yang jelas dan mampu mengevaluasi tingkat penguasaan materi secara mandiri.

Dalam proses pembelajaran, mahasiswa diharapkan tidak hanya membaca materi secara pasif, tetapi juga melakukan analisis terhadap contoh kasus, menghubungkan konsep dengan kondisi nyata di lapangan, serta memanfaatkan referensi yang disajikan pada setiap bab untuk memperluas wawasan ilmiah. Pendekatan ini diharapkan mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis, analitis, dan

pemecahan masalah sesuai dengan kebutuhan pembelajaran di perguruan tinggi.

Pada bagian akhir setiap bab tersedia latihan, analisis kasus, mini project, atau refleksi pembelajaran yang dirancang untuk mengukur pemahaman konsep sekaligus mengembangkan keterampilan dalam menerapkan ilmu mikrobiologi pada bidang pertanian. Mahasiswa dianjurkan untuk menyelesaikan seluruh aktivitas tersebut secara mandiri maupun melalui diskusi kelompok sebagai bagian dari proses pembelajaran aktif (*student-centered learning*).

Bagi dosen pengampu mata kuliah, buku ini dapat digunakan sebagai acuan dalam menyusun strategi pembelajaran berbasis OBE melalui kombinasi metode ceramah interaktif, diskusi, studi kasus, pembelajaran berbasis proyek (*project-based learning*), serta praktikum. Dosen juga dapat mengembangkan materi dengan mengaitkan pembahasan dalam buku ini dengan hasil penelitian terbaru, kondisi lokal, maupun perkembangan teknologi di bidang mikrobiologi pertanian.

Untuk memperoleh manfaat yang maksimal, pembaca disarankan memanfaatkan daftar pustaka yang tersedia sebagai referensi lanjutan sehingga pemahaman terhadap konsep mikrobiologi tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga didukung oleh hasil penelitian dan perkembangan ilmu pengetahuan terkini. Integrasi antara teori, praktik, dan kajian ilmiah diharapkan dapat membentuk kompetensi mahasiswa dalam mengidentifikasi permasalahan, menganalisis interaksi mikroorganisme dalam agroekosistem, serta merancang solusi berbasis mikrobiologi untuk mendukung sistem pertanian yang produktif dan berkelanjutan.

Semoga buku ajar ini menjadi sumber belajar yang bermanfaat, mampu meningkatkan kualitas proses pembelajaran, serta mendorong lahirnya inovasi di bidang mikrobiologi pertanian yang berorientasi pada keberlanjutan lingkungan dan ketahanan pangan.

PETA KOMPETENSI

Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK) – Materi Pembelajaran

◆ CPMK 1

Memahami konsep dasar pengendalian hayati dan pengelolaan habitat

- └─ Bab 1. Konsep Dasar Pengendalian Hayati
 - └─ Pengertian pengendalian hayati
 - └─ Sejarah perkembangan pengendalian hayati
 - └─ Definisi dan ruang lingkup pengendalian hayati
 - └─ Prinsip dasar pengendalian hayati
 - └─ Perbedaan pengendalian hayati, biopestisida, dan PHT
 - └─ Keunggulan dan keterbatasan pengendalian hayati
 - └─ Pengelolaan habitat sebagai fondasi pengendalian hayati konservasi
- └─ Studi kasus implementasi pengendalian hayati pada tanaman padi

◆ CPMK 2

Mengidentifikasi agen hayati dan perannya dalam pengendalian organisme pengganggu tanaman (OPT)

- └─ Bab 2. Agen Hayati sebagai Musuh Alami
 - └─ Konsep agen hayati dan musuh alami dalam agroekosistem
 - └─ Predator (Coccinellidae, Chrysopidae, Mantidae)
 - └─ Parasitoid (Trichogramma, Braconidae, Ichneumonidae)
 - └─ Patogen serangga (Beauveria, Metarhizium, Bacillus thuringiensis, NPV)
 - └─ Agen antagonis penyakit (Trichoderma, Pseudomonas, Bacillus)
 - └─ Rizobakteri PGPR dan ketahanan tanaman
- └─ Identifikasi mikroskopis dan atlas musuh alami lokal

◆ CPMK 3

Menerapkan teknik pengendalian hayati dalam sistem budidaya tanaman

- Bab 3. Teknik Konservasi Musuh Alami
 - Prinsip konservasi musuh alami
 - Diversifikasi vegetasi dan refugia
 - Pengelolaan pestisida selektif
 - Konservasi habitat pada agroekosistem
 - Implementasi konservasi pada berbagai komoditas
- Bab 4. Teknik Augmentasi dan Introduksi Agen Hayati
 - Konsep augmentasi dan introduksi
 - Produksi massal agen hayati
 - Pelepasan agen hayati di lapangan
 - Monitoring keberhasilan introduksi
 - Evaluasi efektivitas augmentasi

◆ CPMK 4

Menganalisis interaksi ekologi dalam sistem pengendalian hayati

- Bab 5. Interaksi Ekologi dalam Agroekosistem
 - Dinamika populasi hama dan musuh alami
 - Jaring-jaring makanan agroekosistem
 - Faktor biotik dan abiotik
 - Keseimbangan ekosistem
 - Analisis interaksi trofik
- Bab 6. Keanekaragaman Hayati dan Stabilitas Agroekosistem
 - Konsep biodiversitas
 - Biodiversitas fungsional
 - Stabilitas agroekosistem
 - Jasa ekosistem
 - Hubungan biodiversitas dengan pengendalian hayati
- Bab 7. Biopestisida dan Inovasi Agen Hayati
 - Konsep biopestisida
 - Jenis dan formulasi biopestisida

- └─ Mekanisme kerja biopestisida
- └─ Efektivitas dan keamanan lingkungan
- └─ Inovasi biopestisida berbasis mikroba lokal

◆ CPMK 5

Mengevaluasi efektivitas pengelolaan habitat dan merancang strategi pengendalian hayati berbasis ekosistem dalam sistem pertanian berkelanjutan

- └─ Bab 8. Pengelolaan Habitat untuk Pengendalian

Hayati

- └─ Manipulasi habitat
- └─ Tanaman refugia
- └─ Koridor ekologi
- └─ Lanskap pertanian berkelanjutan
- └─ Evaluasi keberhasilan pengelolaan habitat

- └─ Bab 9. Integrasi Pengendalian Hayati dalam Sistem PHT

- └─ Prinsip Pengendalian Hama Terpadu (PHT)
- └─ Peran pengendalian hayati dalam PHT
- └─ Integrasi teknik kultur, biologis, dan kimia
- └─ Pengambilan keputusan berbasis ambang ekonomi
- └─ Studi kasus implementasi PHT

- └─ Bab 10. Strategi Pengendalian Hayati Berbasis Ekosistem dan Pertanian Berkelanjutan

- └─ Pendekatan agroekologi
- └─ Climate Smart Agriculture
- └─ One Health Agriculture
- └─ Nature-Based Solutions
- └─ Smart Farming dan teknologi digital
- └─ Penyusunan strategi pengendalian hayati berbasis

ekosistem

- └─ Sintesis strategi pengendalian hayati

- └─ Bab 11. Inovasi Teknologi Pengendalian Hayati di Era Pertanian Presisi

- └─ Artificial Intelligence (AI) dalam pengendalian hayati

- | — Drone dan sensor untuk monitoring OPT
- | — Internet of Things (IoT) dalam agroekosistem
- | — Big Data dan Decision Support System (DSS)
- | — Citizen Science dan digital agriculture
- | — Studi kasus implementasi teknologi pengendalian

hayati

- | — Bab 12. Proyek Integratif dan Arah Masa Depan

Pengendalian Hayati

- | — Analisis kasus nyata pengendalian hayati
 - | — Penyusunan proposal strategi pengendalian hayati
- berbasis ekosistem
- | — Evaluasi keberhasilan program pengendalian hayati
 - | — Presentasi dan diskusi proyek
 - | — Refleksi pembelajaran berbasis OBE
 - | — Sintesis dan pencapaian kompetensi akhir mata kuliah

BAB 1

KONSEP DASAR DAN SEJARAH MIKROBIOLOGI

Capaian Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu memahami konsep dasar mikrobiologi, sejarah perkembangannya, ruang lingkup kajian, serta peran mikroorganisme dalam berbagai bidang, khususnya pertanian. Mahasiswa juga diharapkan mampu menjelaskan hubungan mikrobiologi dengan ilmu agroteknologi sebagai landasan dalam mempelajari materi pada bab-bab berikutnya.

Pendahuluan

Pembelajaran mikrobiologi pada program studi agroteknologi tidak dapat ditempatkan hanya sebagai pengantar tentang organisme berukuran kecil, sebab mikroorganisme merupakan penggerak proses biologis yang menentukan kesuburan tanah, kesehatan tanaman, keamanan pangan, dan stabilitas lingkungan. Dalam skala yang tidak tampak secara langsung, bakteri, arkea, fungi, protozoa, alga mikroskopis, dan virus membentuk jejaring proses yang menghubungkan bahan organik, unsur hara, air, tanaman, hewan, dan manusia. Pemahaman ini penting karena praktik pertanian modern semakin menuntut efisiensi input, pengurangan ketergantungan pada bahan kimia sintetis, serta pemulihan ekosistem tanah yang mengalami tekanan akibat intensifikasi produksi. Dengan demikian, konsep dasar mikrobiologi menjadi landasan untuk membaca persoalan pertanian secara lebih menyeluruh, tidak hanya dari sisi tanaman sebagai objek budidaya, tetapi juga dari sisi kehidupan mikroba yang menopang proses budidaya tersebut. Urgensi topik ini semakin kuat ketika riset mutakhir menunjukkan bahwa mikrobioma tanah dan tanaman berperan

BAB 2

STRUKTUR, MORFOLOGI, DAN KLASIFIKASI MIKROORGANISME

Capaian Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu mengidentifikasi struktur sel, morfologi, karakteristik, dan klasifikasi berbagai kelompok mikroorganisme, serta menjelaskan perbedaan dan persamaan masing-masing kelompok berdasarkan prinsip-prinsip taksonomi dan fungsi biologisnya.

Pendahuluan

Pembelajaran mikrobiologi pada tahap awal sering kali dimulai dari pengenalan nama kelompok mikroorganisme, tetapi pengenalan tersebut belum cukup untuk membangun kemampuan identifikasi yang benar. Mahasiswa perlu memahami struktur sel, bentuk luar, pola susunan, alat gerak, dinding sel, organel, dan ciri reproduksi karena karakter-karakter tersebut menjadi dasar untuk membedakan bakteri, fungi, protozoa, dan virus. Dalam konteks agroteknologi, kemampuan ini penting karena mikroorganisme yang ditemukan pada tanah, kompos, benih, jaringan tanaman, air irigasi, dan bahan pangan memiliki bentuk dan perilaku yang berbeda. Kesalahan membaca struktur dan morfologi dapat menyebabkan kesalahan diagnosis, misalnya membedakan jamur patogen dari koloni bakteri, atau membedakan gejala akibat virus dari kerusakan fisiologis tanaman. Oleh sebab itu, bab ini menempatkan struktur dan morfologi sebagai pintu masuk menuju pemahaman klasifikasi mikroorganisme secara lebih ilmiah.

Urgensi topik ini semakin kuat karena mikrobiologi modern tidak lagi mengandalkan ciri morfologi semata, tetapi mengintegrasikan pengamatan mikroskopis, fisiologi, biokimia,

BAB 3

PERTUMBUHAN DAN METABOLISME MIKROORGANISME

Capaian Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan proses pertumbuhan, reproduksi, dan metabolisme mikroorganisme beserta faktor-faktor yang memengaruhinya, serta menganalisis pemanfaatan aktivitas metabolik mikroorganisme dalam bidang pertanian dan lingkungan.

Pendahuluan

Pertumbuhan dan metabolisme mikroorganisme merupakan inti dari mikrobiologi karena hampir seluruh peran mikroba dalam pangan, tanah, tanaman, kesehatan, dan lingkungan bergantung pada dua proses tersebut. Pertumbuhan menjelaskan bagaimana jumlah sel atau biomassa meningkat, sedangkan metabolisme menjelaskan bagaimana sel memperoleh energi, menyusun komponen tubuh, dan mempertahankan fungsi hidup. Dalam konteks agroteknologi, kedua konsep ini tidak dapat dipisahkan dari produktivitas lahan karena mikroorganisme tanah menentukan kecepatan dekomposisi bahan organik, transformasi unsur hara, pembentukan senyawa penghambat patogen, dan stabilitas komunitas biologis di sekitar akar. Jika Bab 2 menekankan pengenalan struktur, morfologi, dan klasifikasi, maka Bab 3 bergerak ke arah pemahaman proses: mengapa mikroba dapat berkembang cepat, mengapa sebagian mikroba aktif pada kondisi tertentu, dan mengapa respons mikroba terhadap lingkungan sering kali menentukan keberhasilan aplikasi biofertilizer, fermentasi, maupun pengendalian hayati. Urgensi topik ini semakin tinggi karena praktik pertanian berkelanjutan

BAB 4

MIKROORGANISME MENGUNTUNGKAN DAN MERUGIKAN

Capaian Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu menganalisis peran mikroorganisme menguntungkan dan merugikan dalam agroekosistem, menjelaskan interaksi mikroorganisme dengan tanaman dan lingkungan, serta mengevaluasi dampaknya terhadap produktivitas dan kesehatan tanaman.

Pendahuluan

Mikroorganisme merupakan komponen biologis yang paling luas persebarannya di biosfer, tetapi pengaruhnya terhadap kehidupan manusia sering dipahami secara terbelah: sebagian dianggap sebagai agen penyakit, sementara sebagian lain dipandang sebagai sumber manfaat teknologi dan ekologis. Cara pandang dikotomis tersebut berguna sebagai titik awal, namun tidak cukup untuk menjelaskan kenyataan bahwa mikroorganisme yang sama dapat berperan menguntungkan atau merugikan bergantung pada konteks ekologis, inang, dosis, dan kondisi lingkungan. Bakteri asam laktat, misalnya, dapat memperpanjang umur simpan pangan melalui fermentasi, tetapi kelompok mikroba lain dalam rantai pangan dapat menimbulkan pembusukan atau penyakit bawaan makanan apabila kendali sanitasi gagal. Dengan demikian, persoalan utama dalam bab ini bukan sekadar membedakan mikroorganisme “baik” dan “jahat”, melainkan memahami mekanisme yang membuat suatu mikroorganisme menghasilkan dampak tertentu dalam sistem biologis dan sosial. Pemahaman semacam ini penting bagi

BAB 5

MIKROORGANISME TANAH DAN PERANANNYA DALAM SIKLUS HARA

Capaian Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan peran mikroorganisme tanah dalam siklus hara dan kesuburan tanah, menganalisis proses transformasi unsur hara oleh mikroorganisme, serta mengaitkannya dengan pengelolaan lahan dan pertanian berkelanjutan.

Pendahuluan

Tanah merupakan ekosistem yang dihuni oleh berbagai kelompok mikroorganisme yang berinteraksi secara dinamis dengan akar tanaman, bahan organik, dan lingkungan sekitarnya. Aktivitas mikroorganisme tersebut berperan penting dalam proses dekomposisi, mineralisasi, transformasi unsur hara, serta pembentukan hubungan simbiosis yang mendukung pertumbuhan tanaman. Melalui berbagai proses biokimia, mikroorganisme menjadi penggerak utama siklus nitrogen, fosfor, karbon, sulfur, dan kalium sehingga menentukan ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Oleh karena itu, pemahaman mengenai keterkaitan antara komunitas mikroba tanah dan siklus hara menjadi dasar dalam pengelolaan tanah yang produktif dan berkelanjutan. Hubungan tersebut disajikan secara ringkas pada Gambar 5.1.

BAB 6

BIOFERTILIZER

DAN MIKROORGANISME LOKAL

Capaian Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu memahami konsep biofertilizer dan mikroorganisme lokal, menjelaskan mekanisme kerjanya dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman, serta mengevaluasi penerapannya sebagai teknologi ramah lingkungan untuk mendukung sistem pertanian berkelanjutan.

Pendahuluan

Biofertilizer merupakan pupuk hayati yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme menguntungkan untuk meningkatkan ketersediaan unsur hara, memperbaiki kesuburan tanah, dan mendukung pertumbuhan tanaman secara alami. Mikroorganisme lokal memiliki potensi yang besar sebagai sumber biofertilizer karena telah beradaptasi dengan kondisi lingkungan setempat sehingga mampu bertahan dan berinteraksi secara efektif dengan tanaman. Melalui mekanisme seperti fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, produksi fitohormon, sintesis siderofor, serta induksi ketahanan tanaman, biofertilizer dapat mengurangi ketergantungan terhadap pupuk kimia sekaligus meningkatkan produktivitas pertanian secara berkelanjutan. Hubungan antara sumber mikroorganisme lokal, mekanisme kerja, jenis biofertilizer, dan manfaatnya dalam sistem pertanian disajikan pada Gambar 6.1.

BAB 8

MIKROORGANISME PATOGEN DAN PEMANFAATAN MIKROBA DALAM PERTANIAN BERKELANJUTAN

Capaian Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu mengidentifikasi mikroorganisme patogen pada tanaman dan manusia, menganalisis dampaknya terhadap sistem pertanian, serta mengevaluasi pemanfaatan mikroba sebagai solusi inovatif dalam mendukung pertanian yang produktif, sehat, dan berkelanjutan.

Pendahuluan

Mikroorganisme menempati posisi ganda dalam sistem pertanian: sebagian berperan sebagai penyebab penyakit, sedangkan sebagian lain menjadi fondasi produktivitas tanah, kesehatan tanaman, dan stabilitas agroekosistem. Posisi ganda ini membuat mikrobiologi pertanian tidak dapat dipahami hanya sebagai studi tentang organisme kecil, tetapi sebagai kajian mengenai hubungan sebab-akibat antara mikrob, tanaman, manusia, lingkungan, dan praktik budidaya. Pada satu sisi, jamur, bakteri, virus, nematoda, dan oomycetes patogen dapat menurunkan hasil, mengganggu mutu panen, mempercepat kerusakan pascapanen, serta memicu penggunaan pestisida secara berlebihan. Pada sisi lain, mikroba menggerakkan siklus hara, menekan patogen, meningkatkan toleransi cekaman, dan menyediakan alternatif teknologi yang lebih sesuai dengan prinsip pertanian berkelanjutan. Karena itu, bab ini memandang mikroorganisme bukan sekadar ancaman biologis, melainkan juga sumber inovasi ekologis yang harus dikelola secara ilmiah.

Urgensi pembahasan ini semakin kuat karena pertanian modern menghadapi tekanan simultan berupa peningkatan

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, M. R., & Moss, M. O. (2008). *Food Microbiology* (3rd ed.). Royal Society of Chemistry.
- Adl, S. M., & others. (2019). Revisions to the classification, nomenclature, and diversity of eukaryotes. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 66(1), 4–119. <https://doi.org/10.1111/jeu.12691>
- Agrios, G. N. (2005). *Plant Pathology* (5th ed.). Elsevier Academic Press.
- Albers, S. V., & Meyer, B. H. (2011). The archaeal cell envelope. *Nature Reviews Microbiology*, 9(6), 414–426. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2576>
- Alberts, B., Heald, R., Johnson, A., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2019). *Molecular Biology of the Cell* (6th ed.). W. W. Norton.
- Alexander, M. (1999). *Biodegradation and Bioremediation* (2nd ed.). Academic Press.
- Ali, Q., Ahmar, S., Sohail, M. A., Kamran, M., Ali, M., Saleem, M. H., Rizwan, M., Ahmed, A. M., Mora-Poblete, F., do Amaral Júnior, A. T., Al-Taisan, W. A., & Alghamdi, S. S. (2021). Research Advances and Applications of Biosensing Technology for the Diagnosis of Pathogens in Sustainable Agriculture. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 9002–9019. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12419-6>
- Anggraini, S. (2020). Potensi rizobakteri sebagai biofertilizer dalam memacu pertumbuhan mentimun (*Cucumis sativus* L.). *Jurnal Agrohita*, 5(2), 155–167.

- Anggraini, S., Fahrudin, A., Restiani, S., & Kusmari, D. P. (2025). Sinergi Biochar dan Agen Hayati dalam Rehabilitasi Lahan serta Peningkatan Produktivitas Tanaman: Systematic Literature Review (SLR). *Jurnal Agroteknologi Dan Pertanian (JURAGAN)*, 6(1), 14–27.
- Anggraini, S., Lumbantoruan, S. M., Ansiska, P., Sridanti, I. L., & Vajri, I. Y. (2023). Identifikasi jamur penyebab penyakit pascapanen pada biji jagung dan kacang tanah di waktu penyimpanan. *Jurnal Agroqua: Media Informasi Agronomi Dan Budidaya Perairan*, 21(2), 345–351.
- Anggraini, S., Murtini, S., Vajry, I., Khairunnisa, P., & Ansiska, P. (2025). Biokonversi limbah pertanian menjadi biopestisida rizobakteri antifungal. *Jurnal Agroqua*, 23(2), 248–262.
- Anggraini, S., Paulina, M., Siaga, E., Lumbantoruan, S. M., & Az-Azahra, R. C. (2022). Efikasi mikroorganisme lokal limbah organik sebagai biofertilizer alternatif dalam memacu pertumbuhan tanaman. *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 22(2), 148–154.
- Anggraini, S., Rahma, H., Rifqah, R. A., Yudha, P. A., & Vajri, I. Y. (2026). *Buku Ajar Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan*. Insight Mediatama.
- Ansiska, P., Anggraini, S., Sari, I. M., Windari, E. H., & Oktoyoki, H. (2023). Isolasi dan identifikasi jamur patogen buah stroberi selama penyimpanan. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(1), 34–39.
- Atlas, R. M. (2010). *Handbook of Microbiological Media*. CRC Press.
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S., & Smith, D. L. (2018). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Context,

- Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
- Bäckhed, F., Fraser, C. M., Ringel, Y., Sanders, M. E., Sartor, R. B., Sherman, P. M., Versalovic, J., Young, V., & Finlay, B. B. (2012). Defining a healthy human gut microbiome: Current concepts, future directions, and clinical applications. *Cell Host & Microbe*, 12(5), 611–622. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2012.10.012>
- Bajsa, N., Fabiano, E., & Rivas-Franco, F. (2023). Biological Control of Phytopathogens and Insect Pests in Agriculture: An Overview of 25 Years of Research in Uruguay. *Environmental Sustainability*, 6, 221–238. <https://doi.org/10.1007/s42398-023-00275-8>
- Baltimore, D. (1971). Expression of animal virus genomes. *Bacteriological Reviews*, 35(3), 235–241. <https://doi.org/10.1128/br.35.3.235-241.1971>
- Bardgett, R. D., & van der Putten, W. H. (2014). Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*, 515, 505–511. <https://doi.org/10.1038/nature13855>
- Barka, E. A., Vatsa, P., Sanchez, L., & others. (2016). Taxonomy, physiology, and natural products of Actinobacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 80(1), 1–43. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00019-15>
- Barth, M., Hankinson, T. R., Zhuang, H., & Breidt, F. (2009). Microbiological Spoilage of Fruits and Vegetables. In W. H. Sperber & M. P. Doyle (Eds.), *Compendium of the Microbiological Spoilage of Foods and Beverages* (pp. 135–183). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419->

- Basan, M., Hui, S., Okano, H., Zhang, Z., Shen, Y., Williamson, J. R., & Hwa, T. (2015). Overflow metabolism in *Escherichia coli* results from efficient proteome allocation. *Nature*, 528, 99–104. <https://doi.org/10.1038/nature15765>
- Bashan, Y., de-Bashan, L. E., Prabhu, S. R., & Hernandez, J. P. (2014). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology. *Plant and Soil*, 378, 1–33. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x>
- Batista, B. D., & Singh, B. K. (2021). Realities and Hopes in the Application of Microbial Tools in Agriculture. *Microbial Biotechnology*, 14(4), 1258–1268. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13866>
- Beattie, G. A., Bayliss, K. L., Jacobson, D. A., Roper, M. C., & Vinatzer, B. A. (2024). From Microbes to Microbiomes: Applications for Plant Health and Sustainable Agriculture. *Phytopathology*, 114(9), 1905–1918. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-24-0054-KC>
- Bender, S. F., Wagg, C., & van der Heijden, M. G. A. (2016). An underground revolution: Biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(6), 440–452. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.02.016>
- Berche, P. (2012). Louis Pasteur, from crystals of life to vaccination. *Clinical Microbiology and Infection*, 18(Suppl. 5), 1–6. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2012.03945.x>
- Berg, G., Rybakova, D., Fischer, D., Cernava, T., Vergès, M. C., Charles, T., Chen, X., Cocolin, L., Eversole, K., Corral, G. H., & others. (2020). Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges. *Microbiome*, 8(1), 103.

<https://doi.org/10.1186/s40168-020-00875-0>

- Berg, G., Rybakova, D., Grube, M., & Köberl, M. (2016). The Plant Microbiome Explored: Implications for Experimental Botany. *Journal of Experimental Botany*, 67(4), 995–1002. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv466>
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Gatto, G. J., & Stryer, L. (2019). *Biochemistry* (9th ed.). W. H. Freeman.
- Beveridge, T. J. (1999). Structures of Gram-negative cell walls and their derived membrane vesicles. *Journal of Bacteriology*, 181(16), 4725–4733. <https://doi.org/10.1128/JB.181.16.4725-4733.1999>
- Blevins, S. M., & Bronze, M. S. (2010). Robert Koch and the “golden age” of bacteriology. *International Journal of Infectious Diseases*, 14(9), e744–e751. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2009.12.003>
- Bonkowski, M. (2004). Protozoa and plant growth: The microbial loop in soil revisited. *New Phytologist*, 162(3), 617–631. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01066.x>
- Bravo, A., Likitvivatanavong, S., Gill, S. S., & Soberón, M. (2011). *Bacillus thuringiensis*: A Story of a Successful Bioinsecticide. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 41(7), 423–431. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2011.02.006>
- Brock, T. D. (1999). *Robert Koch: A Life in Medicine and Bacteriology*. ASM Press.
- Burges, H. D. (1998). *Formulation of Microbial Biopesticides: Beneficial Microorganisms, Nematodes and Seed Treatments*. Springer.

- Cabeen, M. T., & Jacobs-Wagner, C. (2005). Bacterial cell shape. *Nature Reviews Microbiology*, 3(8), 601–610. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1205>
- Canfield, D. E., Glazer, A. N., & Falkowski, P. G. (2010). The evolution and future of Earth's nitrogen cycle. *Science*, 330(6001), 192–196. <https://doi.org/10.1126/science.1186120>
- Cappuccino, J. G., & Welsh, C. T. (2020). *Microbiology: A Laboratory Manual* (12th ed.). Pearson.
- Carroll, K. C., Butel, J. S., Morse, S. A., Mietzner, T. A., & Detrick, B. (2019). *Jawetz, Melnick & Adelberg's Medical Microbiology* (28th ed.). McGraw-Hill Education.
- Carter, K. C. (1985). Koch's postulates in relation to the work of Jacob Henle and Edwin Klebs. *Medical History*, 29(4), 353–374. <https://doi.org/10.1017/S0025727300044689>
- Cavalier-Smith, T. (2018). Kingdom Protozoa and its 18 phyla. *Microbiology Today*, 45(3), 106–111.
- Cavicchioli, R., Ripple, W. J., Timmis, K. N., & others. (2019). Scientists' warning to humanity: Microorganisms and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 17, 569–586. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0222-5>
- Chaparro, J. M., Sheflin, A. M., Manter, D. K., & Vivanco, J. M. (2012). Manipulating the soil microbiome to increase soil health and plant fertility. *Biology and Fertility of Soils*, 48, 489–499. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0691-4>
- Clarholm, M. (1985). Interactions of bacteria, protozoa and plants leading to mineralization of soil nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry*, 17(2), 181–187. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(85\)90113-0](https://doi.org/10.1016/0038-0717(85)90113-0)

- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C., & Barka, E. A. (2005). Use of Plant Growth-Promoting Bacteria for Biocontrol of Plant Diseases. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(9), 4951–4959. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.9.4951-4959.2005>
- Compant, S., Samad, A., Faist, H., & Sessitsch, A. (2019a). A Review on the Plant Microbiome: Ecology, Functions and Emerging Trends in Microbial Application. *Journal of Advanced Research*, 19, 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.03.004>
- Compant, S., Samad, A., Faist, H., & Sessitsch, A. (2019b). A review on the plant microbiome and biological control of plant diseases. *Microbiological Research*, 245.
- Crous, P. W., Cowan, D. A., & others. (2021). Fungal Planet description sheets: 1182--1283. *Persoonia*, 46, 313–528. <https://doi.org/10.3767/persoonia.2021.46.11>
- Crowther, T. W., van den Hoogen, J., Wan, J., & others. (2019). The global soil community and its influence on biogeochemistry. *Science*, 365(6455), eaav0550. <https://doi.org/10.1126/science.aav0550>
- Davies, J., & Davies, D. (2010). Origins and evolution of antibiotic resistance. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 74(3), 417–433. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00016-10>
- Deacon, J. W. (2013). *Fungal Biology* (4th ed.). Wiley-Blackwell.
- DeBach, P., & Rosen, D. (1991). *Biological Control by Natural Enemies* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Demain, A. L., & Vaishnav, P. (2009). Production of recombinant proteins by microbes and higher organisms. *Biotechnology*

- Advances*, 27(3), 297–306.
<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.01.008>
- Díaz-Rodríguez, A. M., Parra-Cota, F. I., Cira-Chávez, L. A., & de los Santos-Villalobos, S. (2025). Microbial Inoculants in Sustainable Agriculture: Advancements, Challenges, and Future Directions. *Plants*, 14(2), 191.
<https://doi.org/10.3390/plants14020191>
- Dobell, C. (1932). *Antony van Leeuwenhoek and his "little animals"*. Harcourt, Brace and Company.
- Droby, S., Wisniewski, M., Macarisin, D., & Wilson, C. (2016). Twenty years of postharvest biocontrol research: Is it time for a new paradigm? *Postharvest Biology and Technology*, 122, 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.05.009>
- Eilenberg, J., Hajek, A., & Lomer, C. (2001). Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, 46, 387–400.
- Errington, J. (2003). Regulation of endospore formation in *Bacillus subtilis*. *Nature Reviews Microbiology*, 1(2), 117–126. <https://doi.org/10.1038/nrmicro750>
- Falkowski, P. G., Fenchel, T., & Delong, E. F. (2008). The microbial engines that drive Earth's biogeochemical cycles. *Science*, 320(5879), 1034–1039.
<https://doi.org/10.1126/science.1153213>
- Fenchel, T. (1987). *Ecology of Protozoa: The Biology of Free-living Phagotrophic Protists*. Springer.
- Fenibo, E. O., & Matambo, T. (2025). Biopesticides for sustainable agriculture: feasible options for adopting cost-effective strategies. *Frontiers in Sustainable Food*

- Systems*, 9, 1657000.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1657000>
- Fierer, N. (2017). Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome. *Nature Reviews Microbiology*, 15(10), 579–590.
<https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.87>
- Flemming, H.-C., & Wuertz, S. (2019). Bacteria and archaea on Earth and their abundance in biofilms. *Nature Reviews Microbiology*, 17, 247–260.
<https://doi.org/10.1038/s41579-019-0158-9>
- Flemming, H. C., Wingender, J., & others. (2016). Biofilms: An emergent form of bacterial life. *Nature Reviews Microbiology*, 14(9), 563–575.
<https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.94>
- Flint, S. J., Racaniello, V. R., Rall, G. F., Hatzioannou, T., & Skalka, A. M. (2020). *Principles of Virology* (5th ed.). ASM Press.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). *Soil Organic Carbon: The Hidden Potential*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gadd, G. M. (2021). Fungal biology in the origin and emergence of life. *Fungal Biology Reviews*, 36, 1–14.
<https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.01.003>
- García-Fraile, P., Menéndez, E., & Rivas, R. (2015). Role of Bacterial Biofertilizers in Agriculture and Forestry. *AIMS Bioengineering*, 2(3), 183–205.
<https://doi.org/10.3934/bioeng.2015.3.183>
- Geisen, S., Mitchell, E. A. D., & others. (2018). Soil protists: A fertile frontier in soil biology research. *FEMS Microbiology*

- Reviews*, 42(3), 293–323.
<https://doi.org/10.1093/femsre/fuy006>
- Genre, A., Lanfranco, L., Perotto, S., & Bonfante, P. (2020). Unique and common traits in mycorrhizal symbioses. *Nature Reviews Microbiology*, 18(11), 649–660.
<https://doi.org/10.1038/s41579-020-0402-3>
- Gest, H. (2004). The discovery of microorganisms by Robert Hooke and Antoni van Leeuwenhoek, fellows of the Royal Society. *Notes and Records of the Royal Society of London*, 58(2), 187–201.
<https://doi.org/10.1098/rsnr.2004.0055>
- Glare, T., Caradus, J., Gelernter, W., Jackson, T., Keyhani, N., Köhl, J., Marrone, P., Morin, L., & Stewart, A. (2012). Have Biopesticides Come of Age? *Trends in Biotechnology*, 30(5), 250–258.
<https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.01.003>
- Glare, T. R., & Moran-Diez, M. E. (Eds.). (2012). *Microbial-Based Biopesticides: Methods and Protocols*. Humana Press. <https://doi.org/10.1007/978-1-61779-145-3>
- Glazer, A. N., & Nikaido, H. (2007). *Microbial Biotechnology: Fundamentals of Applied Microbiology* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: Mechanisms and applications. *Scientifica*, 2012, 963401.
<https://doi.org/10.6064/2012/963401>
- Glick, B. R. (2014). Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiological Research*, 169(1), 30–39.
<https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.009>

- Gonzalez, J. M., & Aranda, B. (2023). Microbial Growth under Limiting Conditions---Future Perspectives. *Microorganisms*, 11(7), 1641. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071641>
- Gow, N. A. R., Latge, J. P., & Munro, C. A. (2017). The fungal cell wall: Structure, biosynthesis, and function. *Microbiology Spectrum*, 5(3). <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.FUNK-0035-2016>
- Gradmann, C. (2014). A matter of methods: The historicity of Koch's postulates, 1840--2000. *History and Philosophy of the Life Sciences*, 36(3), 359--376.
- Gupta, R., Anand, G., Gaur, R., & Yadav, D. (2021). Plant--microbiome interactions for sustainable agriculture: A review. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27, 165--179. <https://doi.org/10.1007/s12298-021-00927-1>
- Gurr, G. M., Wratten, S. D., Snyder, W. E., & Read, D. M. Y. (2017). Biodiversity and insect pests: Key issues for sustainable management. *Annual Review of Entomology*, 62, 455--472.
- Handelsman, J., Rondon, M. R., Brady, S. F., Clardy, J., & Goodman, R. M. (1998). Molecular biological access to the chemistry of unknown soil microbes: A new frontier for natural products. *Chemistry & Biology*, 5(10), R245--R249. [https://doi.org/10.1016/S1074-5521\(98\)90108-9](https://doi.org/10.1016/S1074-5521(98)90108-9)
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). Trichoderma species--opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43--56. <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>
- Hernández-Rosas, F., Figueroa-Rodríguez, K. A., & García-Pacheco, L. A. (2020). Microorganisms and Biological

- Pest Control: An Analysis Based on a Bibliometric Review. *Agronomy*, 10(11), 1808. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111808>
- Holmes, A. H., Moore, L. S. P., Sundsfjord, A., Steinbakk, M., Regmi, S., Karkey, A., Guerin, P. J., & Piddock, L. J. V. (2016). Understanding the mechanisms and drivers of antimicrobial resistance. *The Lancet*, 387(10014), 176–187. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)00473-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00473-0)
- Hull, R. (2014). *Plant Virology* (5th ed.). Academic Press.
- Human Microbiome Project Consortium. (2012). Structure, function and diversity of the healthy human microbiome. *Nature*, 486, 207–214. <https://doi.org/10.1038/nature11234>
- Hutkins, R. W. (2019). *Microbiology and Technology of Fermented Foods* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Irwandhi, I., Khumairah, F. H., Sofyan, E. T., & Setiawati, M. R. (2024). Current status and the significance of local wisdom biofertilizer in enhancing soil health and crop productivity for sustainable agriculture: A systematic literature review. *Kultivasi*, 23(3), 232–245.
- Jacoby, R., Peukert, M., Succurro, A., Koprivova, A., & Kopriva, S. (2017). The role of soil microorganisms in plant mineral nutrition---Current knowledge and future directions. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1617. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01617>
- Jansson, J. K., & Hofmockel, K. S. (2020). Soil microbiomes and climate change. *Nature Reviews Microbiology*, 18, 35–46. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0265-7>
- Jay, J. M., Loessner, M. J., & Golden, D. A. (2005). *Modern*

Food Microbiology (7th ed.). Springer.

- Jetten, M. S. M. (2008). The microbial nitrogen cycle. *Environmental Microbiology*, 10(11), 2903–2909. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2008.01786.x>
- Jones, R. A. C. (2021). Global Plant Virus Disease Pandemics and Epidemics. *Annual Review of Phytopathology*.
- Judson, H. F. (1996). *The Eighth Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology* (Expanded). Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Jun, S., & Wright, A. (2010). Entropy as the driver of chromosome segregation. *Nature Reviews Microbiology*, 8(8), 600–607. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2391>
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2024). *Pedoman Pemanfaatan Mikroorganisme dalam Pertanian*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Kirchman, D. L. (2018). *Processes in Microbial Ecology* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Knapp, B. D., Willis, L., Gonzalez, C., Vashistha, H., Fernandez, V., Pontrelli, S., & Sauer, U. (2025). Metabolic rearrangement enables adaptation of microbial growth rate to temperature shifts. *Nature Microbiology*, 10, 1–12.
- Koehl, J., Kolnaar, R., & Ravensberg, W. J. (2019). Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: Relevance beyond efficacy. *Frontiers in Plant Science*, 10, 845. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00845>
- Kohl, J., Kolnaar, R., & Ravensberg, W. J. (2019). Mode of Action of Microbial Biological Control Agents Against Plant Diseases: Relevance Beyond Efficacy. *Frontiers in Plant*

Science, 10, 845. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00845>

Koonin, E. V, Dolja, V. V, & Krupovic, M. (2020). The healthy human virome: From virus--host symbiosis to disease. *Current Opinion in Virology*, 40, 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2020.03.008>

Kumar, K. K., Sridhar, J., Murali-Baskaran, R. K., Senthil-Nathan, S., Kaushal, P., Dara, S. K., & Arthurs, S. (2019). Microbial Biopesticides for Insect Pest Management in India: Current Status and Future Prospects. *Journal of Invertebrate Pathology*, 165, 74–81. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2018.10.008>

Kuypers, M. M. M., Marchant, H. K., & Kartal, B. (2018). The microbial nitrogen-cycling network. *Nature Reviews Microbiology*, 16(5), 263–276. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2018.9>

Kysela, D. T., Randich, A. M., Caccamo, P. D., & Brun, Y. V. (2016). Diversity takes shape: Understanding the mechanistic and adaptive basis of bacterial morphology. *PLOS Biology*, 14(10), e1002565. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002565>

Lacey, L. A. (Ed.). (2017). *Microbial Control of Insect and Mite Pests: From Theory to Practice*. Academic Press.

Levine, N. D., Corliss, J. O., & others. (1980). A newly revised classification of the Protozoa. *Journal of Protozoology*, 27(1), 37–58. <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.1980.tb04228.x>

Lucas, J. A. (2020). *Plant Pathology and Plant Pathogens* (4th ed.). Wiley-Blackwell.

Lugtenberg, B. J. J. (Ed.). (2015). *Principles of Plant-Microbe*

Interactions: Microbes for Sustainable Agriculture. Springer.

Lugtenberg, B., & Kamilova, F. (2009). Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria. *Annual Review of Microbiology*, 63, 541–556.

<https://doi.org/10.1146/annurev.micro.62.081307.162918>

Lynch, S. V., & Pedersen, O. (2016). The human intestinal microbiome in health and disease. *The New England Journal of Medicine*, 375(24), 2369–2379.
<https://doi.org/10.1056/NEJMra1600266>

Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. (2021). *Brock Biology of Microorganisms* (16th ed.). Pearson.

Margolin, W. (2020). Bacterial cell division: A moving MinE sweeper boggles the MinD. *Current Biology*, 30(10), R574–R577. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.03.067>

Mascarin, G. M., & Jaronski, S. T. (2016). The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(11), 177. <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2131-3>

Mendes, R., Garbeva, P., & Raaijmakers, J. M. (2013). The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5), 634–663. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12028>

Miller, S. A., Ferreira, J. P., & LeJeune, J. T. (2022). Antimicrobial Use and Resistance in Plant Agriculture: A One Health Perspective. *Agriculture*, 12(2), 289. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020289>

Money, N. P. (2016). *Fungi: A Very Short Introduction*. Oxford University Press.

Moore, D., Robson, G. D., & Trinci, A. P. J. (2020). *21st Century Guidebook to Fungi* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Murray, C. J. L., Ikuta, K. S., Sharara, F., Swetschinski, L., Aguilar, G. R., Gray, A., Han, C., Bisignano, C., Rao, P., Wool, E., Johnson, S. C., Browne, A. J., Chipeta, M. G., Fell, F., Hackett, S., Haines-Woodhouse, G., Kashef Hamadani, B. H., Kumaran, E. A. P., McManigal, B., & others. (2022). Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: A systematic analysis. *The Lancet*, 399(10325), 629–655. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02724-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0)

Murray, P. R., Rosenthal, K. S., & Pfaller, M. A. (2021). *Medical Microbiology* (9th ed.). Elsevier.

Nadarajah, K., & Abdul Rahman, N. S. N. (2023). The microbial connection to sustainable agriculture. *Plants*, 12(12), 2307. <https://doi.org/10.3390/plants12122307>

Nannipieri, P., Ascher-Jenull, J., Ceccherini, M. T., Pietramellara, G., Renella, G., Schloter, M., & others. (2020). Beyond microbial diversity for predicting soil functions: A mini review. *Pedosphere*, 30(1), 5–17. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(19\)60824-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(19)60824-6)

Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2021). *Lehninger Principles of Biochemistry* (8th ed.). W. H. Freeman.

Nguyen, J., Fernandez, V., Pontrelli, S., Sauer, U., & Ackermann, M. (2021). A Distinct Growth Physiology Enhances Bacterial Growth under Rapid Nutrient Fluctuations. *Nature Communications*, 12, 3662.

<https://doi.org/10.1038/s41467-021-23439-8>

- Oliver, T. H., Heard, M. S., Isaac, N. J. B., & others. (2015). Biodiversity and resilience of ecosystem functions. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(11), 673–684. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.08.009>
- Oren, A., & Garrity, G. M. (2021). Valid publication of the names of forty-two phyla of prokaryotes. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 71(10), 5056. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.005056>
- Pace, N. R. (1997). A molecular view of microbial diversity and the biosphere. *Science*, 276(5313), 734–740. <https://doi.org/10.1126/science.276.5313.734>
- Parks, D. H., Chuvochina, M., Waite, D. W., Rinke, C., Skarshewski, A., Chaumeil, P. A., & Hugenholtz, P. (2018). A standardized bacterial taxonomy based on genome phylogeny substantially revises the tree of life. *Nature Biotechnology*, 36(10), 996–1004. <https://doi.org/10.1038/nbt.4229>
- Pasteur, L. (1861). Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. *Annales Des Sciences Naturelles*, 16, 5–98.
- Paul, E. A., & Frey, S. D. (2023). *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (5th ed.). Academic Press.
- Pelczar, M. J., Chan, E. C. S., & Krieg, N. R. (2008). *Microbiology*. McGraw-Hill.
- Pieterse, C. M. J., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., Van Wees, S. C. M., & Bakker, P. A. H. M. (2014). Induced systemic resistance by beneficial microbes. *Annual Review of Phytopathology*, 52, 347–375.

<https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102340>

- Pratama, A. A., & van Elsas, J. D. (2018). The neglected soil virome: Potential role and impact. *Trends in Microbiology*, 26(8), 649–662. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2017.12.004>
- Prosser, J. I., Bohannan, B. J. M., Curtis, T. P., Ellis, R. J., Firestone, M. K., Freckleton, R. P., Green, J. L., Green, L. E., Killham, K., Lennon, J. J., Osborn, A. M., Solan, M., van der Gast, C. J., & Young, J. P. W. (2007). The role of ecological theory in microbial ecology. *Nature Reviews Microbiology*, 5, 384–392. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1643>
- Raaijmakers, J. M., & Mazzola, M. (2016). Soil immune responses. *Science*, 352(6292), 1392–1393. <https://doi.org/10.1126/science.aaf3252>
- Raja, H. A., Miller, A. N., Pearce, C. J., & Oberlies, N. H. (2017). Fungal identification using molecular tools. *Journal of Natural Products*, 80(3), 756–770. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.6b01085>
- Ratkowsky, D. A., Olley, J., McMeekin, T. A., & Ball, A. (1982). Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures. *Journal of Bacteriology*, 149(1), 1–5. <https://doi.org/10.1128/jb.149.1.1-5.1982>
- Ray, P., Lakshmanan, V., Labbé, J. L., & Craven, K. D. (2020). Microbe to microbiome: A paradigm shift in the application of microorganisms for sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*, 11, 622926. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.622926>
- Richardson, A. E., Barea, J. M., McNeill, A. M., & Prigent-Combaret, C. (2009). Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by

- microorganisms. *Plant and Soil*, 321, 305–339.
<https://doi.org/10.1007/s11104-009-9895-2>
- Richardson, A. E., & Simpson, R. J. (2011). Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus. *Plant Physiology*, 156(3), 989–996.
<https://doi.org/10.1104/pp.111.175448>
- Ricke, S. C., Atungulu, G. G., Rainwater, C. E., & Park, S. H. (Eds.). (2020). *Food Safety and Quality Systems in Developing Countries*. Academic Press.
- Rinke, C., Chuvochina, M., & others. (2021). A standardized archaeal taxonomy for the Genome Taxonomy Database. *Nature Microbiology*, 6(7), 946–959.
<https://doi.org/10.1038/s41564-021-00918-8>
- Riquelme, M., Aguirre, J., & others. (2018). Fungal morphogenesis, from the polarized growth of hyphae to complex reproduction and infection structures. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 82(2), e00068-17. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00068-17>
- Rohwer, F., & Youle, M. (2014). *Life in Our Phage World*. Wholon.
- Rosselló-Móra, R., & Amann, R. (2015). Past and future species definitions for Bacteria and Archaea. *Systematic and Applied Microbiology*, 38(4), 209–216.
<https://doi.org/10.1016/j.syapm.2015.02.001>
- Santoyo, G., Guzmán-Guzmán, P., Parra-Cota, F. I., Santos-Villalobos, S. D. L., Orozco-Mosqueda, M. D. C., & Glick, B. R. (2021). Plant growth stimulation by microbial consortia. *Agronomy*, 11(2), 219.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11020219>

- Santoyo, G., Urtis-Flores, C. A., Loeza-Lara, P. D., Orozco-Mosqueda, M. C., & Glick, B. R. (2021). Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria. *Microbiological Research*, 252, 126858. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126858>
- Sarrocco, S. (2023). Biological Disease Control by Beneficial (Micro)Organisms: Selected Breakthroughs in the Past 50 Years. *Phytopathology*, 113(11), 2091–2101. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-11-22-0405-KD>
- Sasse, J., Martinoia, E., & Northen, T. (2018). Feed your friends: Do plant exudates shape the root microbiome? *Trends in Plant Science*, 23(1), 25–41. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.09.003>
- Schimel, J. P. (2018). Life in dry soils: Effects of drought on soil microbial communities and processes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 49, 409–432. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062614>
- Schoch, C. L., Seifert, K. A., & others. (2012). Nuclear ribosomal internal transcribed spacer region as a universal DNA barcode marker for fungi. *PNAS*, 109(16), 6241–6246. <https://doi.org/10.1073/pnas.1117018109>
- Schwartz, M. (2001). The life and works of Louis Pasteur. *Journal of Applied Microbiology*, 91(4), 597–601. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2001.01495.x>
- Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H., & Gobi, T. A. (2013). Phosphate solubilizing microbes: Sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*, 2, 587. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-587>
- Silhavy, T. J., Kahne, D., & Walker, S. (2010). The bacterial cell

- envelope. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 2(5), a000414.
<https://doi.org/10.1101/cshperspect.a000414>
- Simmonds, P., Adams, M. J., & others. (2017). Consensus statement: Virus taxonomy in the age of metagenomics. *Nature Reviews Microbiology*, 15(3), 161–168.
<https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.177>
- Singh, B. K., Jiang, G., Wei, Z., Sáez-Sandino, T., Gao, M., & others. (2025). Plant Pathogens, Microbiomes, and Soil Health. *Trends in Microbiology*.
- Slonczewski, J. L., & Foster, J. W. (2022). *Microbiology: An Evolving Science* (6th ed.). W. W. Norton.
- Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.
- Sodiq, A. H., Setiawati, M. R., Santosa, D. A., & Simarmata, T. (2021). Molecular identification of isolates from local microorganisms as potential biofertilizer. *Sains Tanah: Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 18(1), 58–66.
- Sofo, A., Zanella, A., & Ponge, J. F. (2022). Soil quality and fertility in sustainable agriculture. *Soil Use and Management*, 38(2), 1085–1112.
<https://doi.org/10.1111/sum.12702>
- Sommer, F., & Bäckhed, F. (2013). The gut microbiota--masters of host development and physiology. *Nature Reviews Microbiology*, 11, 227–238.
<https://doi.org/10.1038/nrmicro2974>
- Stanbury, P. F., Whitaker, A., & Hall, S. J. (2017). *Principles of Fermentation Technology* (3rd ed.). Butterworth-Heinemann.

- Strange, R. N., & Scott, P. R. (2005). Plant Disease: A Threat to Global Food Security. *Annual Review of Phytopathology*, 43, 83–116. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.43.113004.133839>
- Suman, J., Rakshit, A., Ogireddy, S. D., Singh, S., Gupta, C., & Chandrakala, J. (2022). Microbiome as a key player in sustainable agriculture and human health. *Frontiers in Soil Science*, 2, 821589. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.821589>
- Summerell, B. A. (2019). Resolving Fusarium: Current status of the genus. *Annual Review of Phytopathology*, 57, 323–339. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082718-100204>
- 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>
- Tecon, R., & Or, D. (2017). Biophysical processes supporting the diversity of microbial life in soil. *FEMS Microbiology Reviews*, 41(5), 599–623. <https://doi.org/10.1093/femsre/fux039>
- Timmis, K., de Lorenzo, V., Verstraete, W., Ramos, J. L., Danchin, A., Bruessow, H., Singh, B. K., & Timmis, J. K. (2019). The contribution of microbial biotechnology to sustainable development goals. *Microbial Biotechnology*, 12(5), 984–987. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13390>
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2021). *Microbiology: An Introduction* (13th ed.). Pearson.
- Trivedi, P., Leach, J. E., Tringe, S. G., Sa, T., & Singh, B. K. (2020). Plant–Microbiome Interactions: From Community

- Assembly to Plant Health. *Nature Reviews Microbiology*, 18(11), 607–621. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0412-1>
- Trivedi, P., Mattupalli, C., Eversole, K., & Leach, J. E. (2021). Enabling sustainable agriculture through understanding and enhancement of microbiomes. *New Phytologist*, 230(6), 2129–2147. <https://doi.org/10.1111/nph.17319>
- Van Bruggen, A. H. C., Gamliel, A., & Finckh, M. R. (2016). Plant Disease Management in Organic Farming Systems. *Pest Management Science*, 72(1), 30–44. <https://doi.org/10.1002/ps.4145>
- van Driesche, R., Hoddle, M., & Center, T. (2020). *Control of Pests and Weeds by Natural Enemies: An Introduction to Biological Control* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- van Niel, C. B. (1949). The Delft School and the rise of general microbiology. *Bacteriological Reviews*, 13(3), 161–174. <https://doi.org/10.1128/br.13.3.161-174.1949>
- Vandamme, P., Pot, B., Gillis, M., de Vos, P., Kersters, K., & Swings, J. (1996). Polyphasic taxonomy, a consensus approach to bacterial systematics. *Microbiological Reviews*, 60(2), 407–438. <https://doi.org/10.1128/mr.60.2.407-438.1996>
- Vessey, J. K. (2003). Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 255, 571–586. <https://doi.org/10.1023/A:1026037216893>
- Vidali, M. (2001). Bioremediation: An overview. *Pure and Applied Chemistry*, 73(7), 1163–1172. <https://doi.org/10.1351/pac200173071163>
- Vollmer, W., Blanot, D., & de Pedro, M. A. (2008). Peptidoglycan

structure and architecture. *FEMS Microbiology Reviews*, 32(2), 149–167. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2007.00094.x>

Wackett, L. P. (2021). Microbial bioremediation and biodegradation. *Microbial Biotechnology*, 14(5), 1872–1873. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13872>

Waites, M. J., Morgan, N. L., Rockey, J. S., & Highton, G. (2017). *Industrial Microbiology: An Introduction*. Wiley-Blackwell.

Waksman, S. A. (1952). *My Life with the Microbes*. Simon and Schuster.

Walker, J. M., & Rapley, R. (Eds.). (2009). *Molecular Biology and Biotechnology* (5th ed.). Royal Society of Chemistry.

Walters, D. R. (2015). *Disease Control in Crops: Biological and Environmentally Friendly Approaches* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.

Webster, J., & Weber, R. W. S. (2007). *Introduction to Fungi* (3rd ed.). Cambridge University Press.

White, D., Drummond, J., & Fuqua, C. (2011). *The Physiology and Biochemistry of Prokaryotes* (4th ed.). Oxford University Press.

Willey, J. M., Sandman, K. M., & Wood, D. H. (2020). *Prescott's Microbiology* (11th ed.). McGraw-Hill.

Woese, C. R., Kandler, O., & Wheelis, M. L. (1990). Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *PNAS*, 87(12), 4576–4579. <https://doi.org/10.1073/pnas.87.12.4576>

Young, K. D. (2006). The selective value of bacterial shape. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 70(3), 660–

703. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00001-06>

Zaini, N. S. M., Idris, H., Yaacob, J. S., Lim, S. H. E., & Rahim, M. H. A. (2022). The potential of fermented food from Southeast Asia as biofertiliser. *Horticulturae*, 8(2), 102. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8020102>

Zwietering, M. H., Jacxsens, L., Membré, J.-M., Nauta, M., & Peterz, M. (2016). Relevance of microbial finished product testing in food safety management. *Food Control*, 60, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.002>

GLOSARIUM

Agen hayati: Mikroorganisme atau organisme yang dimanfaatkan untuk mengendalikan organisme pengganggu tanaman.

Antibiosis: Mekanisme penghambatan mikroba melalui produksi senyawa antimikroba.

Biofertilizer: Pupuk hayati yang mengandung mikroorganisme bermanfaat untuk meningkatkan ketersediaan hara.

Biopestisida: Produk pengendali hama/penyakit berbasis mikroorganisme atau metabolitnya.

Biofilm: Komunitas mikroorganisme yang melekat pada permukaan dan diselubungi matriks ekstraseluler.

Fiksasi nitrogen: Proses konversi N_2 atmosfer menjadi bentuk yang dapat dimanfaatkan tanaman.

Fungi: Mikroorganisme eukariotik yang umumnya berdinding sel kitin.

Gram positif: Bakteri dengan lapisan peptidoglikan tebal yang mempertahankan warna ungu pada pewarnaan Gram.

Gram negatif: Bakteri dengan membran luar dan peptidoglikan tipis.

Inokulan: Preparat mikroba yang diaplikasikan ke tanah, benih, atau tanaman.

Metabolisme: Seluruh reaksi kimia yang berlangsung dalam sel.

Mikrobioma: Keseluruhan komunitas mikroba beserta materi genetiknya pada suatu habitat.

Mikroorganisme lokal (MOL): Konsorsium mikroba yang berasal dari sumber daya lokal dan dimanfaatkan dalam budidaya.

Patogen: Mikroorganisme penyebab penyakit.

PGPR: Plant Growth-Promoting Rhizobacteria, bakteri pemacu pertumbuhan tanaman.

Rizosfer: Zona tanah yang dipengaruhi aktivitas akar tanaman.

Siklus hara: Peredaran unsur hara melalui komponen biotik dan abiotik.

Trichoderma: Genus fungi yang banyak dimanfaatkan sebagai agen hayati.

Virus: Entitas aseluler yang hanya bereplikasi di dalam sel inang.

INDEKS

A

- agen antagonis
- agen hayati
- antibiosis

B

- bakteri
- Beauveria
- biofertilizer
- biofilm
- biopestisida

F

- fermentasi
- fiksasi nitrogen
- fungi

G

- Gram negatif
- Gram positif

M

- metabolisme
- mikrobiologi
- mikrobioma
- mikroorganisme lokal

P

- patogen
- PGPR
- protozoa

R

- rizobakteri
- rizosfer

S

- siklus hara
- struktur sel

T

Trichoderma
tanah

V

virus

PROFIL PENULIS



Selviana Anggraini, S.P., M.P. lahir di Pesisir Selatan pada 12 Mei 1991. Saat ini penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi, Universitas Bina Insan.

Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana (S1) di bidang Agroekoteknologi dengan peminatan Proteksi Tanaman, serta pendidikan magister (S2) di bidang Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan di

Universitas Andalas. Bidang keilmuan yang ditekuni meliputi pertanian berkelanjutan, proteksi tanaman, agroekologi, pengendalian hayati, serta bioteknologi pertanian yang menjadi fokus dalam pengembangan penelitian dan publikasi ilmiah.

Dalam menjalankan tridharma perguruan tinggi, penulis aktif dalam kegiatan penelitian, pengabdian kepada masyarakat, serta pengembangan pembelajaran berbasis Outcome-Based Education (OBE). Penulis juga terlibat dalam implementasi program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) dan pernah menjadi dosen pendamping Program Kreativitas Mahasiswa (PKM). Selain itu, penulis berkontribusi sebagai editor pada beberapa jurnal ilmiah nasional.

Sebagai akademisi, penulis berkomitmen untuk terus mengembangkan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang Epidemiologi Penyakit Tumbuhan dan pertanian berkelanjutan, serta mendorong penerapan hasil penelitian dalam praktik pertanian yang produktif dan ramah lingkungan.

Penulis dapat dihubungi melalui email: anggrainiselviana26@gmail.com



Dr. Haliatur Rahma, S.Si., M.P. lahir pada 25 Mei 1972 di Sulit Air, Kecamatan X Koto Diatas Singkarak, Kabupaten Solok, Provinsi Sumatera Barat. Pendidikan dasar hingga menengah ditempuh di SD Inpres Jorong Silungkang Sulit Air, SMP Negeri Sulit Air, dan SMA Negeri Singkarak. Pendidikan sarjana diselesaikan pada Program Studi Biologi, Fakultas

Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas pada tahun 1997. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan magister pada Program Studi Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas dan lulus pada tahun 2000. Pendidikan doctoral ditempuh di Departemen Proteksi Tanaman, Program Studi Fitopatologi, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor dan diselesaikan pada tahun 2013.

Sejak tahun 2006, penulis berkarier sebagai dosen tetap di Fakultas Pertanian, Universitas Andalas. Bidang keahlian penulis meliputi Fitopatologi, Bakteri Patogen Tumbuhan, Mikrobiologi Pertanian, serta Pengendalian Hayati Penyakit Tanaman. Penulis aktif melakukan penelitian dan publikasi ilmiah pada bidang Interaksi Mikroba–Tanaman, Bakteri Endofit, Rizobakteri Pemacu Pertumbuhan Tanaman (PGPR), serta pengelolaan penyakit tanaman berkelanjutan.

Selain kegiatan akademik dan penelitian, penulis juga terlibat aktif dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat, khususnya dalam penerapan teknologi pengendalian hayati dan pertanian berkelanjutan di tingkat petani. Penulis dapat dihubungi melalui surat elektronik: haliaturrahma@agr.unand.ac.id.



Rahil Ade Rifqah, S.P., M.P., lahir di Padang kunik, Kec. Pariaman Utara, Provinsi Sumatera Barat, 29 Juni 1989. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan (2007-2012), kemudian melanjutkan studi Magister (2012-2015) dengan jurusan yang sama di Fakultas Pertanian Universitas Andalas (UNAND).

Penulis pernah mengajar di Program Studi Agroteknologi, Institut Perkebunan Pelalawan Indonesia sebagai dosen aktif (2017-2022). Saat ini penulis aktif sebagai dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Tamansiswa Padang. Penulis juga aktif sebagai anggota profesi Perhimpunan Fitopatologi Indonesia (PFI). Penulis aktif meneliti, menulis artikel ilmiah, buku, kegiatan pengabdian masyarakat dan publikasi pada jurnal nasional maupun internasional bereputasi. Penulis juga aktif berpartisipasi dalam kegiatan pertemuan ilmiah baik di tingkat nasional hingga internasional.