

Pengelolaan Terpadu
terhadap



Patogen Bakteri Tumbuhan



Jahira S.
Sopialena

**PENGELOLAAN TERPADU
TERHADAP PATOGEN
BAKTERI TUMBUHAN**

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).

PENGELOLAAN TERPADU TERHADAP PATOGEN BAKTERI TUMBUHAN

Jahira S.
Sopialena



PENGELOLAAN TERPADU TERHADAP PATOGEN BAKTERI TUMBUHAN

**Jahira S.
Sopialena**

Desain Cover :
Dwi Novidiantoko

Sumber :
www.cleanpng.com

Tata Letak :
Amira Dzatın Nabila

Proofreader :
M. Royfan Ardian

Ukuran :
x, 100 hlm, Uk: 15.5x23 cm

ISBN :
978-623-02-3830-7

Cetakan Pertama :
Desember 2021

Hak Cipta 2021, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2021 by Deepublish Publisher
All Right Reserved

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

PENERBIT DEEPUBLISH
(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)
Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman
Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581
Telp/Faks: (0274) 4533427
Website: www.deepublish.co.id
www.penerbitdeepublish.com
E-mail: cs@deepublish.co.id

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku *Pengelolaan Terpadu Terhadap Patogen Bakteri Tumbuhan* dapat diselesaikan. Dengan tersusunnya materi ini semoga dapat menjadi referensi ilmu pengetahuan bagi para pembaca mengenai pengelolaan Organisme Pengganggu Tumbuhan yang disebabkan oleh bakteri pada tumbuhan, sebagai salah satu strategi untuk meningkatkan pengetahuan tentang pengelolaan Organisme Pengganggu Tumbuhan yang tepat untuk meningkatkan produksi tanaman. Pada buku ini penulis banyak menggunakan gambar dari penulis Vaike Haas, University of Wisconsin-Madison, dengan tujuan untuk memperjelas pembaca mengenai pembahasan. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
II. KONSEP MANAJEMEN PENGELOLAAN TERPADU	3
A. Pengertian Pengelolaan OPT Terpadu	3
B. Komponen Pengelolaan OPT Secara Terpadu.....	9
III. DEFINISI, KONSEP DASAR DAN KARAKTERISTIK	
BAKTERI.....	19
A. Pengertian Bakteri	19
B. Klasifikasi Bakteri.....	20
C. Ciri-Ciri Bakteri	28
D. Struktur Bakteri	30
E. Reproduksi Bakteri.....	55
IV. PENGELOLAAN TERPADU PADA TANAMAN	
YANG DISEBABKAN OLEH BAKTERI.....	60
A. Penyebaran dan Penyebaran Bakteri Patogen Tumbuhan.....	61
B. Metode Pengendalian Hama Terpadu.....	65
C. Bakteri pada Hewan	71
V. PENELITIAN-PENELITIAN YANG TERKAIT	75
A. Isolasi dan Pemilihan Bakteri Endofit untuk	
Pengendalian Penyakit Darah pada Tanaman Pisang	75

B. Efektivitas Aplikasi <i>Paenibacillus polymyxa</i> dalam Pengendalian Penyakit Darah Daun Bakteri pada Tanaman Padi Mekongga	83
C. Pengaruh Pupuk Cair terhadap Serangan Penyakit Layu Bakteri (<i>Ralstonia solanacearum</i>) pada Tomat (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.).....	85
D. Pengaruh Aplikasi <i>Bacillus sp.</i> dan <i>Pseudomonas sp.</i> tentang Perkembangan Penyakit Bulai yang Disebabkan oleh Patogen <i>Peronosclerospora maydis</i> pada Tanaman Jagung	88
E. Potensi <i>Corynebacterium sp.</i> dan <i>Bacillus sp.</i> untuk Mengendalikan Penyakit Pustulik Bakteri pada Tanaman Kedelai.....	93
VI. KESIMPULAN.....	97
DAFTAR PUSTAKA.....	98

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Makromolekul yang Menyusun Materi Sel	31
--	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Klasifikasi Bakteri	21
Gambar 2.	Gram-positif dan negatif bakteri	22
Gambar 3.	Struktur Bakteri	31
Gambar 4.	Gambar Potongan Sel Bakteri Tipikal yang Mengilustrasikan Komponen Struktural	32
Gambar 5.	Susunan Flagela Bakteri yang Berbeda. Motilitas Renang, Didukung oleh Flagela, Terjadi Pada Setengah Basil dan Sebagian Besar Spirila.....	33
Gambar 6.	Pewarnaan Flagela Tiga Bakteri a. <i>Bacillus cereus</i> , b. <i>Vibrio cholera</i> , c. <i>Bacillus brevis</i> (CDC).....	34
Gambar 7.	Spesies <i>Desulfovibrio</i> . TEM. Sekitar 15.000X. Bakteri Ini Motil dengan Menggunakan Flagela Kutub Tunggal.....	36
Gambar 8.	Selubung Sel Gram Positif dan Negatif	37
Gambar 9.	Kapsul pada Bakteri	38
Gambar 10.	Struktur Dinding Sel Bakteri Gram-Positif.....	40
Gambar 11.	Struktur Dinding Sel Gram-Negatif.....	41
Gambar 12.	Model Mosaik Fluida dari Membran Biologis.....	46
Gambar 13.	Lipid Membran <i>archaeal</i>	47
Gambar 14.	Pengoperasian Sistem Transportasi Bakteri. Sistem Transpor Bakteri Dioperasikan oleh Protein Transpor (Kadang-Kadang Disebut Pembawa, Porter atau Permease) dalam Membran Plasma.....	50
Gambar 15.	Pembelahan Biner.....	56
Gambar 16.	Bakteri Patogen	60

I.

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pengelolaan Organisme Pengganggu Tumbuhan (OPT) Terpadu adalah pendekatan yang efektif dan peka terhadap lingkungan untuk pengelolaan hama yang bergantung pada kombinasi praktik akal sehat. Program terpadu menggunakan informasi terkini dan komprehensif tentang siklus hidup OPT dan interaksinya dengan lingkungan. Informasi ini, dikombinasikan dengan metode pengendalian hama yang tersedia, digunakan untuk mengelola kerusakan akibat hama dengan cara yang paling ekonomis, dan dengan kemungkinan bahaya yang paling kecil bagi manusia, properti, dan lingkungan. Pendekatan terpadu dapat diterapkan pada pengaturan pertanian dan non pertanian terpadu memanfaatkan semua opsi pengelolaan hama yang sesuai termasuk, tetapi tidak terbatas pada, penggunaan pestisida yang bijaksana. Sebaliknya, produksi pangan organik menerapkan banyak konsep yang sama dengan pengelolaan terpadu tetapi membatasi penggunaan pestisida hanya pada pestisida yang diproduksi dari sumber alami, bukan bahan kimia sintetis.

Pengelolaan Organisme Pengganggu Tumbuhan secara terpadu bukanlah metode pengendalian hama tunggal, melainkan serangkaian evaluasi, keputusan dan pengendalian pengelolaan hama. Dalam praktiknya, penanam yang sadar akan potensi serangan hama mengikuti pendekatan. Sebelum mengambil tindakan pengendalian OPT, terlebih dahulu menetapkan ambang tindakan, titik di mana populasi hama atau kondisi lingkungan menunjukkan bahwa tindakan pengendalian hama harus dilakukan. Penampakan satu OPT tidak selalu berarti diperlukan pengendalian. Tingkat di mana hama akan menjadi ancaman ekonomi sangat penting untuk memandu keputusan pengendalian hama di masa depan. Tidak semua serangga, gulma, dan organisme hidup lainnya membutuhkan pengendalian. Banyak organisme tidak berbahaya, dan

beberapa bahkan bermanfaat. Program terpadu bekerja untuk memantau hama dan mengidentifikasinya secara akurat, sehingga keputusan pengendalian yang tepat dapat dibuat sehubungan dengan ambang tindakan. Pemantauan dan identifikasi ini menghilangkan kemungkinan bahwa pestisida akan digunakan ketika tidak benar-benar dibutuhkan atau jenis pestisida yang salah akan digunakan.

Sebagai langkah awal pengendalian hama, program terpadu bekerja untuk mengelola tanaman untuk mencegah hama menjadi ancaman. Dalam tanaman pertanian, dengan menggunakan metode budaya, seperti pergiliran tanaman yang berbeda, memilih varietas yang tahan terhadap serangan hama dan penyakit. Metode pengendalian ini bisa sangat efektif dan hemat biaya serta mengurangi risiko bagi orang atau lingkungan. Setelah pemantauan, identifikasi, dan ambang tindakan menunjukkan bahwa pengendalian hama diperlukan dan metode pencegahan tidak lagi efektif atau tersedia. Program kemudian terpadu metode pengendalian yang tepat untuk efektivitas dan risiko. Pengendalian hama yang efektif dan kurang berisiko dipilih terlebih dahulu, termasuk bahan kimia yang sangat ditargetkan, seperti feromon untuk mengganggu perkawinan hama, atau pengendalian mekanis, seperti menjebak atau menyiangi. Jika pemantauan lebih lanjut, identifikasi dan ambang tindakan menunjukkan bahwa pengendalian yang kurang berisiko tidak berfungsi maka metode pengendalian hama tambahan akan digunakan, seperti penyemprotan pestisida yang ditargetkan. Penyemprotan pestisida nonspesifik adalah upaya terakhir.

Dengan langkah-langkah Pengendalian Terpadu yang diterapkan akan mengurangi risiko penggunaan pestisida yang terus menerus karena sangat berpengaruh pada kesehatan maupun lingkungan. Oleh sebab itu, diharapkan agar petani yang mengusahakan tanaman mampu melakukan identifikasi hama sebelum penyemprotan. Sasarannya adalah untuk menggerakkan pekebun lebih jauh di sepanjang waktu untuk menggunakan semua teknik yang sesuai. Karena pengendalian terpadu adalah proses pengendalian OPT yang kompleks, bukan hanya serangkaian praktik.

II.

KONSEP MANAJEMEN PENGELOLAAN TERPADU

A. Pengertian Pengelolaan OPT Terpadu

Pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman Terpadu memiliki arti penting dalam mendukung upaya pertanian berkelanjutan. Hal ini karena konsep Pengelolaan Terpadu sejalan dengan konsep pertanian berkelanjutan. Selain itu, IPM dan Pertanian Berkelanjutan merupakan kebijakan pemerintah yang disahkan dalam UU. Dasar hukum dan dasar pelaksanaan kegiatan perlindungan tanaman yaitu UU No. 12 Tahun 1992 tentang Sistem Budidaya Tanaman, Peraturan Pemerintah No. 6 Tahun 1995 tentang Perlindungan Tanaman, dan Keputusan Menteri Pertanian Nomor 887/Kpts/OT/9/1997 tentang Pedoman Pengendalian Hama. Pengendalian Hama Penyakit Terpadu merupakan suatu komponen integral dari Sistem Pertanian Berkelanjutan. Tujuan Pengelolaan Terpadu tidak hanya untuk mengendalikan populasi hama tetapi juga untuk meningkatkan produksi dan kualitas produksi serta meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan petani. Cara dan metode yang digunakan sesuai dengan memadukan teknik pengendalian hama dan tidak membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan. Pengelolaan Terpadu bertujuan untuk mengendalikan populasi hama agar tetap berada di bawah ambang batas yang tidak merugikan secara ekonomi. Strategi Pengelolaan Terpadu bukanlah pemberantasan tetapi pembatasan. Pengendalian OPT dengan Pengelolaan Terpadu disebut pengendalian multilateral, yang menggunakan semua metode atau teknik yang diketahui dan penerapannya tidak menyebabkan kerusakan lingkungan yang berbahaya bagi hewan, manusia, dan makhluk hidup lainnya baik sekarang maupun di masa depan.

Konsep Pengelolaan Terpadu tidak tergantung pada teknik pengendalian hama dan pengelolaan ekosistem tertentu, tetapi Pengelolaan Terpadu tergantung pada pemberdayaan atau kemandirian petani dalam

mengambil keputusan. Dalam mengembangkan Sistem Pengelolaan Terpadu berdasarkan keadaan agroekosistem setempat sehingga perkembangan pengelolaan di suatu daerah bisa jadi berbeda dengan pembangunan di daerah lain. Sistem Pengelolaan Terpadu harus disesuaikan dengan ekosistem dan kondisi sosial ekonomi masyarakat petani setempat.

Tujuan dan Strategi Pengembangan Pengelolaan OPT Terpadu

Menurut Smith (1978), langkah-langkah utama yang perlu dilakukan dalam pengembangan Pengelolaan Terpadu adalah:

- Mengetahui status OPT yang dikelola. Pengenalan tersebut meliputi perilaku hama, dinamika perkembangan populasi, tingkat kesukaan terhadap makanan, dan tingkat kerusakan yang ditimbulkannya. Dalam suatu agroekosistem, kelompok hama dikelompokkan menjadi OPT utama, OPT minor, OPT potensial, OPT migrasi, dan non-OPT.
- Mempelajari komponen saling ketergantungan dalam ekosistem. Salah satu komponen ekosistem yang perlu dikaji dan dipelajari adalah komponen yang mempengaruhi dinamika perkembangan populasi hama utama. Contohnya adalah inventarisasi musuh alami, serta mengetahui potensi musuh alami sebagai pengendali alam. Interaksi berbagai komponen biotik dan abiotik, dinamika populasi hama dan musuh alami, studi fenologi tanaman dan hama, studi distribusi hama merupakan komponen yang sangat diperlukan dalam menentukan strategi pengendalian hama yang tepat.
- Penetapan dan pengembangan *Economic Threshold*. Ambang ekonomi atau ambang kendali adalah keputusan tentang kapan harus menggunakan pestisida sebagai alternatif terakhir untuk pengendalian. Untuk menentukan ambang ekonomi memerlukan banyak informasi mengenai data biologi, ekologi dan ekonomi. Penentuan kerusakan/kerugian produksi dan hubungannya dengan populasi hama, analisis biaya dan manfaat pengendalian merupakan bagian penting dalam penetapan ambang ekonomi.
- Pengembangan sistem pengamatan dan pemantauan hama. Pengamatan atau pemantauan hama secara teratur dan terorganisir

diperlukan untuk mengetahui kepadatan populasi hama pada suatu waktu dan tempat. Metode pengambilan sampel di lapangan dilakukan dengan benar sehingga data yang diperoleh dapat dipercaya secara statistik. Selain itu, jaringan dan organisasi pemantauan juga perlu dikembangkan untuk memastikan keakuratan dan kecepatan arus informasi dari lapangan kepada pengambil keputusan pengendalian hama.

- Pengembangan model deskriptif dan peramalan hama. Pengetahuan tentang fluktuasi populasi hama dan hubungannya dengan komponen ekosistem mendorong kebutuhan untuk mengembangkan model kuantitatif yang dinamis. Di mana model tersebut menggambarkan fluktuasi populasi dan kerusakan yang ditimbulkan di masa yang akan datang. Dengan demikian, dinamika populasi hama dapat diperkirakan dan sekaligus dapat memberikan pertimbangan bagaimana penanganan pengendaliannya agar tidak menimbulkan ledakan populasi yang merugikan secara ekonomi.
- Pengembangan strategi pengendalian hama. Strategi dasar Pengendalian Terpadu adalah menggunakan taktik kendali ganda dalam satu kesatuan sistem terkoordinasi. Strategi Pengendalian Terpadu berusaha untuk menjaga populasi atau kerusakan yang disebabkan oleh hama di bawah ambang ekonomi. Beberapa taktik dasar IPM meliputi:
 - a) Memanfaatkan pengendalian hayati asli di tempat (*indigenous*),
 - b) Mengoptimalkan pengelolaan lingkungan melalui penerapan budaya rekayasa yang baik,
 - c) Penggunaan pestisida secara selektif sebagai alternatif pengendalian terakhir.
- Penyuluhan kepada petani untuk menerima dan melaksanakan pengendalian terpadu. Petani sebagai pelaksana utama pengendalian hama, perlu mengetahui dan memahami tentang metode Pengelolaan Terpadu dan penerapannya di lapangan.
- Pengembangan organisasi IPM. Sistem Pengelolaan Terpadu membutuhkan organisasi yang efisien dan efektif, yang dapat bekerja dengan cepat dan tepat dalam merespons setiap perubahan yang terjadi pada agroekosistem. Organisasi Pengendalian Terpadu

terdiri dari komponen *monitoring*, pengambil keputusan, program aksi, dan penyuluhan kepada petani.

Sasaran Pengembangan Pengendalian Terpadu, antara lain:

1. Populasi hama dan kerusakan tanaman masih berada pada ambang ekonomi,
2. Produktivitas pertanian stabil dari segi kualitas dan kuantitas.
3. Peningkatan pendapatan dan kesejahteraan petani, dan
4. Risiko kesehatan dan pencemaran lingkungan rendah (dapat dikurangi).

Strategi yang diterapkan dalam pengembangan Pengelolaan Terpadu adalah menggabungkan semua teknik pengendalian hama dan menerapkannya dengan taktik yang memenuhi prinsip ekologi dan ekonomi. Metode IPM adalah sebagai berikut:

a. Pengendalian secara biologi

Pengendalian secara biologi adalah dengan melestarikan dan memanfaatkan Agen Pengendali Hayati (*Biocontrol Agents*). Agen biokontrol meliputi musuh alami seperti predator (laba-laba), parasitoid (*Trichogramma sp*), jamur entomopatogen (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*), bakteri entomopatogen (*Bacillus thuringiensis*), nematoda entomopatogen (*Famili Steinernematidae dan Heterorhabditidae*) (entomopathogenic, 2002). Virus (*Nuclear Polyhedrosis Viruses/NPV, Granuloviruses/GV*), dan Microsporidia, sedangkan agens hayati (agen antagonis) penyakit tanaman antara lain bakteri antagonis (*Pseudomonas fluorescens*), jamur antagonis (*Gliocladium sp, Trichoderma sp*).

Pengendalian gulma telah banyak dipelajari dengan menggunakan agens hayati terutama fungi karena memiliki spesifisitas yang tinggi. Misalnya, pengendalian gulma *Sesbania exaltata* dengan jamur *Colletotrichum truncatum* (Jackson, 1996) dan *Striga hermonthica* dengan jamur parasit fakultatif *Fusarium nygamai* (Sauerborn, 1996).

b. Pemanfaatan Tumbuhan yang Berpotensi sebagai Pestisida Nabati

Famili tumbuhan yang dianggap potensial sebagai sumber pestisida nabati adalah Meliaceae, Annonaceae, Asteraceae, Piperaceae dan Rutaceae (Arnason *et al.*, 1993; Isman, 1995). Beberapa contoh tumbuhan yang berpotensi sebagai pestisida nabati adalah *P. Retrofractum*, *Chrysanthemum cenerariaefolium* (pyrethrin), *Nicotiana tabacum* (nicotine), dan *Derris spp.* (rotenon), *Tithonia diversifolia* (daun paitan), *Azadirachta indica*, *Piper betle* Linn. (daun sirih), *Philodendron martianum* (akar philodendron), *Philodendron bipinnatifidum* (akar jari philodendron), *Monstera deliciosa* (akar monstera), dan *Derris elliptica* (akar tuba).

c. Penggunaan feromon

Merupakan senyawa pemikat untuk mengundang serangga datang ke suatu tempat yang kemudian ditangkap dan dibunuh, juga termasuk dalam aspek pengendalian yang ramah lingkungan.

d. Pengendalian Fisik dan Kultur teknis Teknis

Pengendalian secara fisik dapat dilakukan dengan cara membunuh/mengendalikan Organisme Pengganggu Tumbuhan secara manual, sedangkan secara teknis budidaya dapat dilakukan dengan mengelola ekosistem melalui usaha tani. Beberapa teknik budidaya antara lain:

- Budidaya tanaman sehat (varietas toleran), yaitu menanam varietas tahan dengan menanam benih sehat, merotasi tanaman dan varietas.
- Penyehatan Lingkungan, salah satunya adalah pengendalian gulma. Hal ini dikarenakan gulma dapat menjadi inang alternatif hama dan penyakit tanaman.
- Penentuan waktu tanam
- Penanaman simultan dan penyesuaian jarak
- Menanam tanaman perangkap/penolak
- Tumpang sari (diversifikasi tanaman) dan rotasi tanaman
- Pengelolaan tanah dan air
- Pemupukan berimbang sesuai anjuran

- Penggunaan kompos bioaktif berkualitas tinggi, juga berperan sebagai agen hayati untuk mengendalikan penyakit tanaman terutama penyakit yang menyerang dari dalam tanah
- Penggunaan pestisida secara selektif merupakan alternatif pengendalian terakhir. Selektivitas pestisida didasarkan pada sifat fisiologis, ekologis dan cara aplikasinya. Keputusan penggunaan pestisida dilakukan setelah dilakukan analisis ekosistem terhadap hasil pengamatan dan penetapan ambang batas ekonomis/kontrol. Pestisida yang digunakan harus efektif, terdaftar dan disahkan. Selain itu penggunaan pestisida didasarkan pada ketepatan yaitu tepat jenis, tepat dosis, tepat sasaran, tepat aplikasi, dan tepat waktu.

Kegiatan pengendalian penyakit tanaman didasarkan pada prinsip-prinsip Pengelolaan Terpadu mulai dari masa pratanam hingga panen, bahkan rekomendasi pengendalian untuk beberapa jenis tanaman juga menyangkut pasca panen. Dalam pelaksanaannya pengendalian terjadi pada setiap fase pertumbuhan tanaman dengan mengamati dan memantau penyakit yang menyerang. Prinsip-prinsip manajemen penyakit tanaman adalah strategi berikut:

1. Strategi untuk mengurangi inokulum awal
2. Strategi untuk mengurangi tingkat infeksi, dan
3. Strategi untuk mengurangi durasi epidemi.

Pengelolaan Organisme Pengganggu Tanaman dengan Bioteknologi

Salah satu pendekatan Pengelolaan Terpadu dengan Bioteknologi adalah dengan memanipulasi gen untuk mendapatkan individu baru yang unggul. Salah satu produk pengelolaan organisme pengganggu tumbuhan adalah tanaman transgenik. Tanaman transgenik terkait erat dengan perlindungan tanaman. Sebagian besar tanaman transgenik yang telah diproduksi dan dipasarkan memiliki karakteristik unggul yaitu tahan terhadap hama atau penyakit tanaman, atau toleran terhadap herbisida tertentu. Varietas transgenik berdaya hasil tinggi dihasilkan melalui rekayasa genetika, termasuk rekombinasi DNA dan transfer gen.

Tanaman transgenik yang telah disisipi gen toksik yang berasal dari *Bacillus thuringiensis* (Bt). Contoh tanaman yang telah disisipkan gen ini adalah kapas, jagung, gandum, kentang, tomat, tembakau, kedelai.

Rekayasa genetika selain menggunakan *Bacillus thuringiensis*, juga memanfaatkan *Agrobacterium tumefaciens*. Selain itu, rekayasa genetika ketahanan virus juga dilakukan pada tanaman tembakau, jeruk, tomat, kentang yang disisipi gen tahan virus. Teknologi Pengelolaan Terpadu dalam pengendalian hama terpadu juga memanfaatkan sifat alelopati. Alelopati berfungsi untuk melindungi tanaman dari pengaruh tanaman lain di sekitarnya. Jika sifat tersebut dapat ditransfer ke tanaman lain, maka akan diperoleh tanaman yang mampu mengendalikan gulma yang hidup di sekitarnya. Pertanian Berkelanjutan yang memegang konsep ekologi dan berkelanjutan baik dari segi produksi, pemanfaatan Sumber Daya Alam, Stabilitas dan Pemerataan menyebabkan perlunya sistem budidaya dan pengendalian organisme pengganggu tanaman yang ekologis (memperhatikan lingkungan). Masalah ini menyebabkan perlunya pengendalian/Pengelolaan Organisme Pengganggu Tumbuhan memiliki prospek pengembangan yang cukup besar.

Hal ini karena konsep Pengelolaan Terpadu memperhatikan keseimbangan ekosistem dan lingkungan. Hal ini didukung oleh kebijakan pemerintah dalam Peraturan Pemerintah No. 6 Tahun 1995 tentang Perlindungan Tanaman, dan Keputusan Menteri Pertanian Nomor 887/Kpts/OT/9/1997 tentang Pedoman Pengendalian Hama. Selain itu, meningkatnya kesadaran masyarakat akan pentingnya kesehatan mendorong penerapan Pengelolaan Terpadu. Karena dalam Pengelolaan Terpadu penggunaan pestisida ditekan sedemikian rupa atau penggunaan pestisida dijadikan alternatif terakhir dalam pengendalian jika populasi organisme pengganggu tanaman sudah di atas batas toleransi atau di atas ambang batas ekonomis yang merugikan.

B. Komponen Pengelolaan OPT Secara Terpadu

Langkah-langkah IPM paling baik digambarkan sebagai sebuah kontinum. Jika sebagian besar petani mengidentifikasi hama mereka sebelum penyemprotan. Sejumlah kecil petani menggunakan pestisida yang kurang berisiko seperti feromon. Semua petani ini berada dalam kontinum IPM. Tujuannya adalah untuk memobilisasi lebih banyak petani untuk menggunakan semua teknik Pengelolaan Terpadu yang tepat. Dalam kebanyakan kasus, makanan yang ditanam menggunakan praktik

Pengelolaan Terpadu tidak diidentifikasi di pasar sebagai makanan organik. Karena Pengelolaan Terpadu adalah proses pengendalian hama yang kompleks, bukan hanya serangkaian praktik, tidak mungkin menggunakan satu definisi Pengelolaan Terpadu untuk semua makanan dan semua wilayah negara. Banyak petani komoditas individu, untuk tanaman seperti kentang dan stroberi, bekerja untuk menentukan apa arti Pengelolaan Terpadu bagi tanaman dan daerah mereka, dan makanan berlabel Pengelolaan Terpadu tersedia di daerah terbatas.

Pengelolaan Terpadu adalah strategi berbasis ekosistem yang berfokus pada pencegahan hama atau kerusakan jangka panjang melalui kombinasi teknik seperti pengendalian hayati, manipulasi habitat, modifikasi praktik budaya, dan penggunaan varietas tahan. Pestisida digunakan hanya setelah pemantauan menunjukkan bahwa mereka diperlukan sesuai dengan pedoman yang ditetapkan, dan pengobatan dilakukan dengan tujuan hanya menghilangkan organisme target. Bahan pengendalian hama dipilih dan diterapkan dengan cara yang meminimalkan risiko terhadap kesehatan manusia, organisme menguntungkan, nontarget, dan lingkungan.

Hama adalah organisme yang merusak atau mengganggu tanaman yang diinginkan di ladang dan kebun, lanskap, atau alam liar kita. Hama juga termasuk organisme yang mempengaruhi kesehatan manusia atau hewan. Hama dapat menularkan penyakit atau mungkin hanya pengganggu. Hama dapat berupa tumbuhan (gulma), vertebrata (burung, hewan pengerat, atau mamalia lainnya), invertebrata (serangga, kutu, tungau, atau siput), nematoda, patogen (bakteri, virus, atau jamur) penyebab penyakit, atau lainnya. Organisme yang tidak diinginkan yang dapat merusak kualitas air, kehidupan hewan, atau bagian lain dari ekosistem. IPM berfokus pada pencegahan hama atau kerusakan jangka panjang dengan mengelola ekosistem. Dengan Pengelolaan Terpadu, tindakan dilakukan untuk mencegah hama menjadi masalah, seperti menanam tanaman yang sehat, tahan hama, menggunakan tanaman tahan penyakit, atau mendempul retakan untuk mencegah serangga atau hewan pengerat merusak tanaman. Daripada hanya menghilangkan hama yang kita lihat sekarang, menggunakan Pengelolaan Terpadu berarti melihat faktor lingkungan yang mempengaruhi hama dan kemampuannya untuk

berkembang sehingga menciptakan kondisi yang tidak menguntungkan bagi hama. Dalam Pengelolaan Terpadu, pemantauan dan identifikasi hama yang benar membantu Anda memutuskan apakah pengelolaan diperlukan. Pemantauan berarti memeriksa lahan atau kebun untuk mengidentifikasi OPT mana yang ada, berapa banyak, atau kerusakan apa yang telah mereka sebabkan. Mengidentifikasi OPT dengan benar adalah kunci untuk mengetahui apakah suatu OPT kemungkinan besar akan menjadi masalah dan menentukan strategi pengelolaan terbaik. Setelah memantau dan mempertimbangkan informasi tentang OPT, biologi, dan faktor lingkungan maka kita dapat memutuskan apakah OPT dapat ditoleransi atau merupakan masalah yang perlu dikendalikan. Jika kontrol diperlukan, informasi ini membantu kita untuk memilih metode pengelolaan yang paling efektif dan waktu terbaik untuk menggunakannya.

Program Pengelolaan Terpadu menggabungkan pendekatan manajemen untuk efektivitas yang lebih besar. Cara yang paling efektif dan berjangka panjang untuk mengelola hama adalah dengan menggunakan kombinasi metode yang bekerja sama lebih baik daripada secara terpisah. Pendekatan untuk mengelola hama sering dikelompokkan dalam kategori berikut:

Kontrol biologis

Pengendalian biologis adalah penggunaan musuh alami predator, parasit, patogen, dan pesaing untuk mengendalikan hama dan kerusakannya. Invertebrata, patogen tumbuhan, nematoda, gulma, dan vertebrata memiliki banyak musuh alami.

Kontrol Budaya

Pengendalian budaya adalah praktik yang mengurangi pembentukan hama, reproduksi, penyebaran, dan kelangsungan hidup. Misalnya, mengubah praktik irigasi dapat mengurangi masalah hama karena terlalu banyak air dapat meningkatkan penyakit akar dan gulma.

Kontrol Mekanis dan Fisik

Pengendalian mekanis dan fisik membunuh hama secara langsung, memblokir hama keluar, atau membuat lingkungan tidak cocok untuknya. Perangkap untuk hewan pengerat adalah contoh pengendalian mekanis.

Pengendalian fisik termasuk mulsa untuk pengelolaan gulma, sterilisasi uap tanah untuk pengelolaan penyakit, atau penghalang seperti layar untuk mencegah burung atau serangga masuk.

Pengendalian Kimiawi

Pengendalian kimiawi adalah penggunaan pestisida. Dalam Pengelolaan Terpadu, pestisida digunakan hanya jika diperlukan dan dikombinasikan dengan pendekatan lain untuk pengendalian jangka panjang yang lebih efektif. Pestisida dipilih dan diterapkan dengan cara yang meminimalkan kemungkinan bahaya bagi manusia, organisme bukan target, dan lingkungan. Dengan Pengelolaan Terpadu, menggunakan pestisida paling selektif yang akan menjadi yang paling aman bagi organisme lain dan untuk kualitas udara, tanah, dan air, gunakan pestisida di tempat umpan daripada semprotan atau semprotkan sedikit rumput liar ke seluruh area.

Pengelolaan Terpadu adalah pendekatan yang ramah lingkungan dan masuk akal untuk mengendalikan hama. Prinsip dan manfaat Pengelolaan Terpadu yang dijelaskan di bawah ini berlaku untuk semua jenis struktur dan lansekap. Pengendalian hama tradisional melibatkan aplikasi pestisida secara rutin. Pengelolaan Terpadu, sebaiknya memberikan pendekatan yang lebih efektif dan peka terhadap lingkungan. Program Pengelolaan Terpadu memanfaatkan semua strategi pengelolaan hama yang tepat, termasuk penggunaan pestisida yang bijaksana. Penggunaan pestisida preventif dibatasi karena risiko paparan pestisida lebih besar daripada manfaat pengendaliannya, terutama bila metode non-kimiawi memberikan hasil yang sama. Pengelolaan Terpadu bukanlah metode pengendalian hama tunggal melainkan melibatkan integrasi berbagai metode pengendalian berdasarkan informasi lokasi yang diperoleh melalui inspeksi, pemantauan, dan laporan. Konsekuensinya, setiap program pengelolaan terpadu dirancang berdasarkan tujuan pencegahan hama dan kebutuhan pemberantasan situasi. Cerdas karena Pengelolaan Terpadu menciptakan lingkungan belajar yang lebih aman dan sehat dengan mengelola hama dan mengurangi paparan hama dan pestisida. Berkelanjutan karena penekanannya pada pencegahan, yang menjadikannya pendekatan yang menguntungkan secara ekonomi.

Pengelolaan Terpadu adalah pendekatan yang efektif dan peka terhadap lingkungan yang menawarkan berbagai alat untuk mengurangi kontak dengan hama dan paparan pestisida.

Manfaat Pengelolaan Terpadu

Pengelolaan Terpadu menawarkan beberapa manfaat untuk membantu mengurangi jumlah hama, mengurangi jumlah aplikasi pestisida, menghemat uang sekaligus melindungi kesehatan manusia. Program Pengelolaan Terpadu menetapkan strategi akal sehat untuk mengurangi sumber makanan, air, dan tempat berlindung bagi hama. Sederhananya, Pengelolaan Terpadu adalah pilihan yang lebih aman dan biasanya lebih murah untuk pengelolaan hama yang efektif. Meskipun pestisida dapat memainkan peran kunci dalam program Pengelolaan Terpadu, sebagian besar pestisida pada dasarnya memiliki risiko. Mereka adalah alat yang ampuh untuk mengendalikan hama tetapi perlu digunakan dengan hati-hati dan bijaksana.

Pertimbangan Ekonomi

Ada penghematan biaya yang terkait dengan penggunaan pengelolaan terpadu. Mungkin lebih padat karya daripada pengendalian hama konvensional dan mungkin membutuhkan lebih banyak sumber daya pada saat awal. Namun, biaya umumnya lebih rendah dari waktu ke waktu karena penyebab utama masalah hama telah diatasi. Praktik Terpadu juga memberikan keuntungan finansial yang tidak terkait dengan hama.

Komponen Pengelolaan Terpadu

Penggunaan pestisida kimia yang berlebihan telah menyebabkan masalah seperti resistensi pestisida, wabah hama yang sebelumnya ditekan, dan kontaminasi lingkungan. Pengelolaan Terpadu berkembang sebagai tanggapan atas masalah ini. Berikut adalah enam komponen Pengelolaan Terpadu dan bagaimana masing-masing komponen tersebut membantu pengendalian hama menjadi lebih berkelanjutan.

1. Pencegahan

Mencegah masalah hama menghilangkan kebutuhan untuk mengambil tindakan lebih lanjut. Misalnya, menyimpan kayu di tempat

yang kering di atas tanah mencegah semut tukang kayu untuk tinggal di dekat tanaman. Tindakan tersebut juga dapat mengurangi tingkat keparahan masalah hama yang muncul, yang berarti lebih sedikit uang yang dihabiskan untuk pestisida yang berpotensi berbahaya.

2. Identifikasi

Pengelolaan Terpadu mengandalkan tindakan berkelanjutan yang menargetkan hama tertentu, penting untuk mengidentifikasi dengan jelas penyebab masalah yang muncul. Menggunakan pestisida berspektrum luas mungkin lebih cepat, tetapi selain menyebabkan masalah di masa mendatang, kemungkinan besar tidak akan efektif.

3. Pemantauan

Banyak teknik pengelolaan mengandalkan waktu. Mengetahui kapan predator terpadu alami hama lebih aktif membuat metode pengendalian komplementer lebih efektif. Inspeksi rutin juga memberi tahu kapan populasi hama tumbuh dan di mana sarang berada. Dalam kasus di mana pestisida kimia diperlukan, pemantauan ketat akan meningkatkan efisiensinya.

4. Penilaian

Kita mungkin tidak selalu perlu mengambil tindakan terhadap hama. Misalnya, semanggi dianggap sebagai hama oleh beberapa petani, tetapi yang lain menghargai kontribusi tanaman terhadap kesuburan tanah. Menentukan ambang kerusakan dapat membuat pengelolaan sumber daya lebih mudah.

5. Perencanaan

Pengelolaan Terpadu mengandalkan sinkronisasi berbagai metode pengendalian hama, termasuk:

- ✓ Metode pencegahan budaya seperti memperkenalkan varietas tahan, pemangkasan secara strategis, dan mengubah nutrisi tanaman.
- ✓ Metode fisik seperti memasang penghalang, memasang sekat, dan menggunakan mulsa.

- ✓ Pengendalian biologis seperti memperkenalkan organisme menguntungkan, spesies predator, dan pengendalian mikroba.
- ✓ Pestisida dipilih agar sesuai dengan metode lain.

Strategi terbaik sangat bergantung pada jenis hama tertentu yang dihadapi.

6. Evaluasi

Pemantauan lanjutan adalah bagian penting dari pengelolaan hama. Identifikasi apa yang berhasil dan apa yang tidak dan simpan catatan untuk referensi di masa mendatang. Mengadopsi metode pengendalian hama yang berkelanjutan adalah cara yang baik untuk menghindari penggunaan pestisida yang berlebihan serta penggunaan sumber daya yang tidak efisien.

Komponen utama Pengendalian Terpadu dalam meningkatkan urutan kompleksitas adalah sebagai berikut:

- ✓ Metode budaya pengendalian hama terdiri dari operasi pertanian teratur sedemikian rupa yang menghancurkan hama atau mencegahnya menyebabkan kerugian ekonomi.
- ✓ Persiapan pembibitan atau ladang utama yang bebas dari serangan hama dengan menghilangkan sisa-sisa tanaman, pemangkasan pematang, perawatan tanah dan pembajakan musim panas yang dalam yang membunuh berbagai tahap hama.
- ✓ Pengujian tanah untuk kekurangan unsur hara atas dasar pemupukan yang harus diterapkan.
- ✓ Pemilihan benih yang bersih dan bersertifikat dan merawat benih dengan fungisida atau biopestisida sebelum disemai untuk pengendalian penyakit yang ditularkan melalui benih.
- ✓ Pemilihan benih dari varietas yang relatif tahan hama/toleran yang berperan penting dalam menekan hama.
- ✓ Penyesuaian waktu tanam dan panen untuk menghindari puncak musim serangan hama.
- ✓ Rotasi tanaman dengan tanaman bukan inang. Ini membantu dalam mengurangi kejadian penyakit yang ditularkan melalui tanah.
- ✓ Jarak tanam yang tepat membuat tanaman lebih sehat dan tidak mudah terserang hama.

- ✓ Penggunaan pupuk secara optimal. Penggunaan pupuk hayati harus didorong.
- ✓ Pengelolaan air yang tepat karena kelembapan yang tinggi di dalam tanah dalam waktu lama sangat kondusif untuk berkembangnya hama terutama penyakit yang dibawa oleh tanah.
- ✓ Pengelolaan gulma yang tepat. Fakta umum yang diketahui bahwa sebagian besar gulma selain bersaing dengan tanaman untuk mendapatkan unsur hara mikro juga menyimpan banyak hama.
- ✓ Menyiapkan perangkat lengket berbentuk panci kuning untuk lalat putih dan kutu daun jauh di atas ketinggian kanopi.
- ✓ Penaburan tersinkronisasi. Di sini pendekatan masyarakat diperlukan untuk menabur tanaman secara bersamaan di area yang luas sehingga OPT mungkin tidak mendapatkan tanaman bertingkat yang berbeda yang sesuai untuk pertumbuhan populasinya dan jika OPT muncul dalam proporsi yang merusak, operasi pengendalian dapat diterapkan secara efektif di seluruh area.
- ✓ Menanam tanaman perangkat di perbatasan atau pinggiran ladang. Ada tanaman tertentu yang lebih disukai oleh suatu spesies hama yang dikenal sebagai tanaman perangkat untuk OPT tersebut. Dengan menanam tanaman semacam itu di perbatasan ladang, populasi hama berkembang di sana yang dapat dibunuh dengan menggunakan pestisida atau musuh alaminya dibiarkan berkembang di sana untuk pengendalian alami.
- ✓ Tumpang sari atau banyak tanam jika memungkinkan. Semua tanaman tidak disukai oleh setiap spesies hama dan tanaman tertentu bertindak sebagai penolak, sehingga menjauhkan spesies hama dari tanaman yang disukai sehingga mengurangi kejadian hama.
- ✓ Pemanenan sedekat mungkin dengan permukaan tanah. Hal ini dikarenakan tahapan perkembangan tertentu dari hama/penyakit serangga tetap berada pada bagian tanaman yang berperan sebagai inokulum primer untuk musim tanam berikutnya. Oleh karena itu, memanen tanaman di permukaan tanah akan mengurangi serangan hama di musim depan.

- ✓ Sebelum ditanam, pembibitan tanaman disemprot/dicelupkan ke dalam larutan fungisida tembaga/biopestisida untuk melindungi tanaman dari penyakit yang ditularkan melalui tanah.
- ✓ Saat memangkas pohon buah-buahan, buang cabang yang berjejal/mati/patah/sakit dan musnahkan. Jangan menumpuknya di kebun yang bisa menjadi sumber serangan hama.
- ✓ Luka pemangkasan yang besar harus ditutup dengan pasta/cat Bordeaux untuk melindungi tanaman dari serangan hama/penyakit.
- ✓ Memelihara sarang lebah atau menempatkan karangan bunga dari kultivar penyerbuk memfasilitasi penyerbukan yang lebih baik dan rangkaian buah berikutnya.
- ✓ Pemilihan varietas unggul untuk berbagai tanaman.
- ✓ Pemilihan varietas yang relatif tahan hama/toleran.

Praktik mekanis:

- ✓ Pembuangan dan penghancuran massa telur, larva, kepompong dan serangga dewasa hama dan bagian tanaman yang sakit sedapat mungkin.
- ✓ Pemasangan kandang bambu dengan burung bertengger di lapangan dan menempatkan telur yang telah diparasit di dalamnya untuk konservasi musuh alami dan menahan spesies hama jika memungkinkan.
- ✓ Penggunaan perangkap cahaya dan penghancuran serangga yang terperangkap.
- ✓ Penggunaan tali untuk mencabut larva pakan daun. Misalnya, cacing Caseworm dan folder daun.
- ✓ Pemasangan parut burung di lapangan jika diperlukan.
- ✓ Pemasangan burung bertengger di lapangan untuk memungkinkan burung duduk dan memakan serangga dan tahap dewasa mereka yaitu telur, larva, dan pupa.
- ✓ Penggunaan feromon untuk gangguan kawin dan pembuatan zona pembunuhan.
- ✓ Penggunaan perangkap feromon untuk memantau dan menekan populasi hama.
- ✓ Penggunaan perangkap feromon untuk perangkap massal.

Praktik regulasi:

Dalam proses ini aturan regulasi dibingkai oleh Pemerintah diberlakukan apabila benih dan bahan tanaman yang terinfestasi tidak diperbolehkan memasuki negara atau dari satu bagian ke bagian lain negara. Ini dikenal sebagai metode karantina dan terdiri dari dua jenis, yaitu karantina dalam dan luar negeri.

III.

DEFINISI, KONSEP DASAR DAN KARAKTERISTIK BAKTERI

A. Pengertian Bakteri

Bakteri adalah mikro organisme bersel tunggal, umumnya berukuran berkisar 1-2 μm . Sel bakteri muncul sendiri-sendiri atau dalam koloni dari beberapa sel. Sel bakteri individu sangat kecil dan tidak dapat dilihat tanpa bantuan mikroskop. Namun, populasi besar bakteri menjadi terlihat sebagai agregat dalam cairan, sebagai film biologis pada tanaman, sebagai suspensi kental yang menyumbat pembuluh tanaman, atau koloni pada cawan petri di laboratorium.

Pada tahun 1676, Anton Van Leeuwenhoek pertama kali mengamati bakteri melalui mikroskop dan menyebutnya "*animalcules*." Pada tahun 1838, Naturalis Jerman Christian Gottfried Ehrenberg menyebut mereka bakteri, dari bahasa Yunani *baktéria*, yang berarti "tongkat kecil." Kata yang tepat karena bakteri yang pertama kali diamati berbentuk seperti batang, meskipun bakteri juga bisa berbentuk spiral atau bulat. Bakteri adalah mikroorganisme bersel tunggal. Struktur sel mereka unik karena tidak memiliki inti dan sebagian besar bakteri memiliki dinding sel yang mirip dengan sel tumbuhan. Mereka datang dalam berbagai bentuk termasuk batang, spiral, dan bola. Beberapa bakteri dapat "berenang" menggunakan ekor panjang yang disebut flagela. Sebagian besar bakteri tidak berbahaya, tetapi beberapa berbahaya dan dapat membuat kita sakit. Bakteri ini disebut patogen. Patogen dapat menyebabkan penyakit pada hewan dan tumbuhan. Beberapa contoh patogen adalah kusta, keracunan makanan, pneumonia, tetanus, dan demam tifoid.

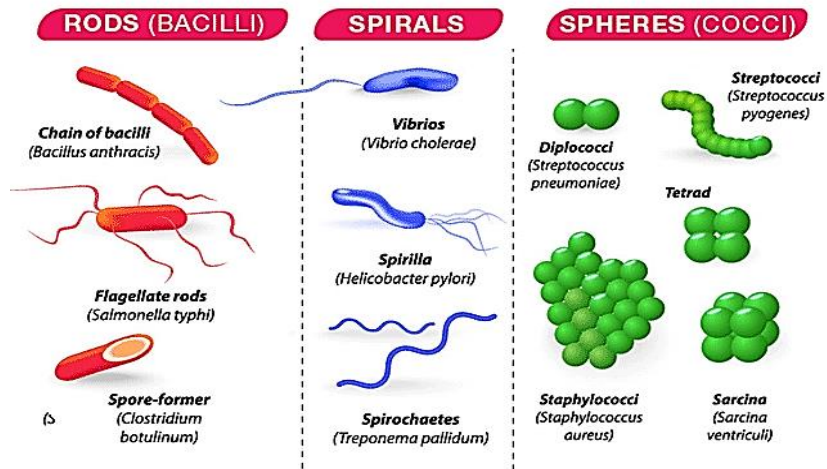
B. Klasifikasi Bakteri

Bakteri diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama berdasarkan struktur dinding selnya. Perbedaan ini mudah ditentukan dengan menggunakan prosedur pewarnaan sederhana yang disebut pewarnaan Gram. Bakteri Gram-negatif berwarna merah atau merah muda dan bakteri Gram-positif berwarna ungu tetapi pengujian ini membutuhkan fasilitas laboratorium. Pewarnaan Gram berhubungan langsung dengan komposisi kimia dan struktur dinding selnya. Gram-negatif memiliki dinding yang lebih kompleks yang penting karena melindungi sel dengan lebih baik dan membuatnya lebih sulit untuk dikendalikan. Jika dilihat di bawah mikroskop, sel bakteri memiliki jenis bentuk yang berbeda-beda. Ini bisa berbentuk batang, bulat, spiral, atau berserabut. Kebanyakan bakteri penyebab penyakit tanaman berbentuk batang.

Klasifikasi bakteri adalah salah satu faktor kunci untuk mengatasinya pada penyakit. Klasifikasi dilakukan berdasarkan faktor-faktor seperti bentuknya, kebutuhan nutrisi, pewarnaan dinding sel, pelengkap sel, dll. Dari bakteri ini, bakteri yang berbahaya dan berguna bagi manusia dipelajari secara luas dalam kedokteran dan farmasi, sedangkan bakteri patogen yang menyebabkan penyakit pada tumbuhan dan hewan dipelajari secara ekstensif dalam ilmu pertanian dan peternakan. Beberapa aspek klasifikasi bakteri juga membantu dalam identifikasi bakteri.

Klasifikasi bakteri melayani berbagai fungsi yang berbeda. Karena ini berbagai bakteri dapat dikelompokkan menggunakan banyak skema pengetikan yang berbeda. Fitur penting untuk semua sistem klasifikasi ini adalah organisme yang diidentifikasi oleh satu individu (ilmuwan, dokter, epidemiologi), diakui sebagai organisme yang sama oleh individu lain. Saat ini skema pengetikan yang digunakan oleh dokter dan ahli mikrobiologi klinis bergantung pada pengetikan fenotipik skema. Skema ini memanfaatkan morfologi bakteri dan sifat pewarnaan dari organisme, serta kebutuhan pertumbuhan O₂ dari spesies yang dikombinasikan dengan berbagai tes biokimia. Untuk dokter, reservoir lingkungan organisme, vektor dan cara penularan patogen juga sangat penting. Klasifikasi skema yang paling umum digunakan oleh dokter dan ahli mikrobiologi klinis.

CLASSIFICATION OF BACTERIA



Gambar 1. Klasifikasi Bakteri

Sumber: Google

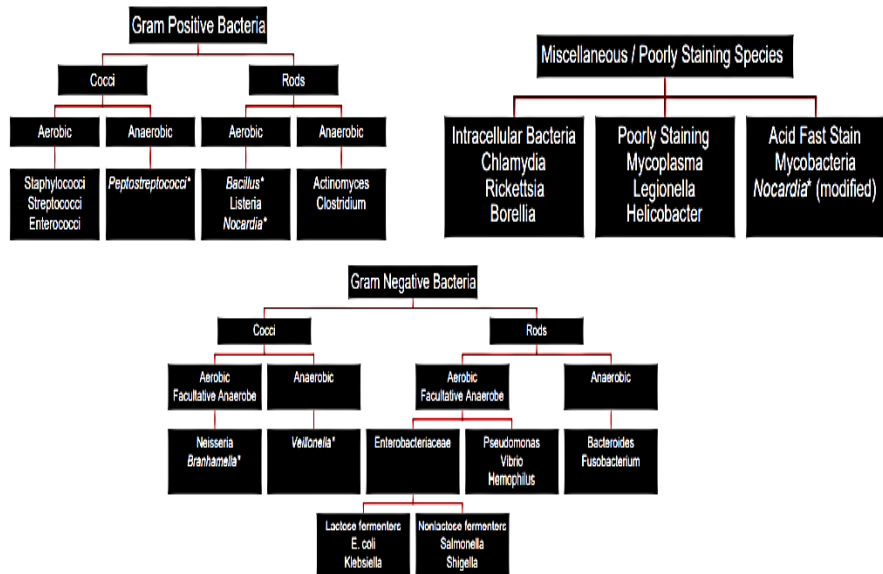
Para ilmuwan yang tertarik pada evolusi mikroorganisme lebih tertarik pada teknik taksonomi yang memungkinkan perbandingan gen yang sangat lestari di antara berbagai jenis. Sebagai hasil dari perbandingan ini sebuah pohon filogenetik dapat dikembangkan yang menampilkan tingkat keterkaitan organisme yang berbeda. Aplikasi yang relatif baru dari teknologi ini telah menjadi pengenalan dan karakterisasi patogen dan penyakit yang tidak dapat dibudidayakan yang mereka sebabkan.

Pewarnaan Gram dan Morfologi Bakteri

Dari semua sistem klasifikasi yang berbeda, pewarnaan Gram telah bertahan dalam ujian waktu. Ditemukan oleh H.C. Gram pada tahun 1884 itu tetap teknik yang penting dan berguna sampai hari ini. Hal ini memungkinkan sebagian besar klinis bakteri penting untuk diklasifikasikan sebagai Gram-positif atau negatif berdasarkan morfologi dan sifat pewarnaan diferensial. *Slide* diwarnai secara berurutan dengan kristal violet, iodin, kemudian di-*destaining* dengan alkohol dan *counter-stained* dengan safranin.

Bakteri Gram-positif berwarna biru keunguan dan bakteri Gram-negatif berwarna merah. Itu perbedaan antara kedua kelompok diyakini karena peptidoglikan yang jauh lebih besar (dinding sel) pada Gram-positif. Akibatnya yodium dan kristal violet mengendap di dinding sel menebal dan tidak dielusi oleh alkohol berbeda dengan Gram-negatif di mana kristal violet mudah dielusi dari bakteri. Akibatnya, bakteri dapat dibedakan berdasarkan morfologi dan sifat pewarnaannya.

Beberapa bakteri seperti mikobakteri (penyebab TBC) tidak ternoda secara andal karena kandungan lipid yang besar dari peptidoglikan. Teknik pewarnaan alternatif (Kinyoun atau pewarna tahan asam) oleh karena itu digunakan yang memanfaatkan ketahanan terhadap *destaining* setelah pewarnaan awal yang lebih lama.



Gambar 2. Gram-positif dan negatif bakteri
 Sumber: Vaike Haas, University of Wisconsin-Madison

Persyaratan Pertumbuhan

Mikroorganisme dapat dikelompokkan berdasarkan kebutuhan mereka untuk oksigen untuk tumbuh. Bakteri anaerob fakultatif dapat tumbuh pada oksigen tinggi atau oksigen rendah konten dan termasuk di

antara bakteri yang lebih serbaguna. Sebaliknya, sangat anaerobik bakteri tumbuh hanya dalam kondisi di mana ada sedikit atau tidak ada oksigen di dalam lingkungan hidup. Bakteri seperti *Bacteroides* yang ditemukan di usus besar adalah contoh dari anaerob. Aerob yang ketat hanya tumbuh di hadapan sejumlah besar oksigen. *Pseudomonas aeruginosa*, patogen oportunistik, adalah contoh aerob ketat. Bakteri mikroaerofilik tumbuh dalam kondisi oksigen tereduksi dan kadang-kadang juga membutuhkan peningkatan kadar karbon dioksida. Spesies *Neisseria* (Misalnya, penyebab gonore) adalah contoh bakteri mikroaerofilik.

Klasifikasi bakteri menurut dinding sel

Dinding sel adalah sel tumbuhan yang khas. Ciri dinding sel bakteri memiliki ciri-ciri yang berguna untuk klasifikasi. Anda mungkin juga menyukai Perbedaan antara sel Bakteri dan Sel manusia. Bakteri berbentuk batang berwarna merah. Pewarnaan dinding sel bakteri berbeda berdasarkan lapisan di dalamnya. Pewarnaan Gram digunakan untuk mengklasifikasikan bakteri ini berdasarkan variasi lapisannya. Dinding sel bakteri ini terbuat dari bahan-bahan seperti karbohidrat, protein, dan lemak dalam proporsi yang bervariasi. Pewarnaan Gram membantu dalam diferensiasi bakteri sebagai Gram-positif dan Gram-negatif. Pada bakteri Gram-positif terdapat lapisan peptidoglikan yang lebih tebal sedangkan Gram-negatif memiliki lebih sedikit peptidoglikan dan lebih banyak membran glikolipid sehingga bila diwarnai dengan pewarnaan Gram, kristal violet, peptidoglikan mempertahankannya memberikan warna ungu pada bakteri Gram-positif. Bakteri Gram-negatif tidak dapat mempertahankan kristal violet ini dan sebaliknya mempertahankan warna kunyit. Pewarnaan Gram terdiri dari pewarna, seperti kristal violet dan kunyit. Saat kultur bakteri ditambahkan pewarnaan Gram, bakteri Gram-positif menunjukkan warna ungu, sedangkan bakteri Gram-negatif menunjukkan warna kunyit. Jadi, spesies bakteri yang mengambil warna biru selama pewarnaan Gram disebut Gram-positif dan yang mengambil warna oranye disebut bakteri Gram-negatif.

Klasifikasi bakteri berdasarkan bentuk atau struktur sel

Cohn membagi bakteri menjadi empat jenis berdasarkan bentuknya pada tahun 1872. Mereka memiliki struktur sel yang berbeda, tetapi kebanyakan berada di bawah dua bentuk dasar seperti basil atau *cocci*.

- a) *Bacillus*: Ini adalah bakteri berbentuk batang atau filamen. Mereka terdiri dari empat jenis seperti:
- *Monobacillus*: Ini adalah bakteri basil berbentuk batang tunggal.
 - *Diplobacillus*: Ini adalah sepasang bakteri berbentuk batang. Dua sel bakteri saling menempel. Mereka juga bisa hadir sebagai sel empat sebagai tetrad.
 - *Streptobacillus*: Ini adalah rantai bakteri berbentuk batang. Bakteri basil tersusun seperti rantai panjang.
 - *Palisade*: Di sini dua sel *Bacillus* disusun berdampingan seperti tongkat di kotak korek api

Klasifikasi Bakteri berdasarkan bentuk *Bacillus* berbentuk batang, kokus berbentuk bola, bakteri kolera berbentuk koma dan bakteri sifilis berbentuk spiral. Selanjutnya, cocci dan basil dapat berkelompok atau berantai.

- b) *Kokus*: Ini adalah bakteri berbentuk bola atau berbentuk oval. Berdasarkan jumlah dan susunannya mereka dibagi menjadi:
- *Monococcus* adalah bakteri berbentuk bulat bersel tunggal.
 - *Diplococci* adalah dua bakteri berbentuk bola yang berpasangan.
 - *Streptococcus* adalah rantai dari banyak bakteri berbentuk bulat.
 - *Stafilococcus* adalah sekelompok bakteri berbentuk bola yang tersusun seperti seikat buah anggur.
 - *Sarcina* adalah jenis di mana delapan bakteri berbentuk bulat disusun dalam bentuk kubus.
- c) Bakteri berbentuk koma: Berikut adalah bakteri yang agak bengkok dan bentuknya seperti koma. Misalnya, bakteri *Vibrio cholera* penyebab kolera.
- d) Bakteri *spirillum*: Ini adalah bakteri berbentuk spiral panjang. Mereka juga disebut sebagai *spirochetes*. Ini berbentuk spiral atau seperti rambut. Misalnya, bakteri penyebab sifilis.

- e) Pleomorfisme: Meskipun sebagian besar bakteri memiliki bentuk tertentu, beberapa tidak. Mereka ada dalam berbagai bentuk. Contohnya, termasuk *Acetobacter*.

Klasifikasi bakteri berdasarkan keberadaan flagela

Flagela adalah pelengkap gerakan untuk bakteri. Mereka muncul dari membran sel. Tidak semua bakteri memiliki flagela tetapi bakteri motil memiliki flagela. Berdasarkan jumlah flagela dan juga klasifikasi lokasi bakteri dilakukan seperti di bawah ini:

- Bakteri atrichous: Tanpa flagela pada dinding sel bakteri. Ini adalah bakteri nonmotil
- Bakteri monotrichous: Dengan satu flagela tunggal.
- Bakteri amfitrichous: Dua flagela di kedua sisi sel
- Bakteri peritrichous: Banyak flagela pada titik yang berbeda
- Bakteri lophotrichous: Flagela pada satu kutub atau titik sel
- Flagela di sekitar sel: Bakteri peritrichous. Flagela ada di seluruh dinding sel.

Klasifikasi bakteri berdasarkan kebutuhan nutrisi

Bakteri memperoleh nutrisi dalam berbagai bentuk. Karena karakter ini, mereka memberikan kontribusi yang besar bagi manusia dan lingkungan. Penggunaan Bakteri untuk manusia dan lingkungan:

- Autotrof: Ini adalah bakteri yang menyiapkan makanannya sendiri. Karena adanya pigmen seperti klorofil, mereka melakukan fotosintesis. Mereka melakukan ini dengan menggunakan sinar matahari sebagai sumber energi. Selain itu, mereka mengambil CO₂ dan air dari alam. Fotosintesis ini membantu pembentukan karbohidrat. Karbohidrat ini memberikan energi. Contoh, *Chlorella*.
- Kemoautotrof: Seperti namanya, mereka bertahan hidup dengan bahan kimia. Ini adalah bakteri yang menyintesis makanannya sendiri dengan menggunakan energi yang diperoleh dari sumber kimia. Mereka berbeda dari autotrof karena tidak membutuhkan sinar matahari.

- Heterotrof: Ini adalah bakteri yang tidak menyintesis makanannya sendiri, tetapi mendapatkannya dari orang lain. Mereka bisa memakan bahan makanan, seperti halnya hewan.
- Bakteri simbiosis: (*sym + biosis* = hidup bersama). Ini adalah bakteri yang memperoleh makanan dengan cara hidup bersama organisme lain. Mereka berada dalam dukungan yang saling menguntungkan dengan orang lain. Misalnya, Bakteri Rhizobium pada tumbuhan polongan. Di sini bakteri mengikat nitrogen di akar dengan menyerapnya dari udara. Nitrogen ini berperan sebagai pupuk untuk tanaman. Sebagai gantinya, mereka mengambil nutrisi dari tanaman yang sama. Contoh lainnya adalah Enterobacteria di usus. Oleh karena itu, mengonsumsi terlalu banyak antibiotik membunuh bakteri ramah di usus yang menyebabkan masalah bagi kita.
- Bakteri saprofit: (*sapro + phytes* = bahan busuk + tanaman). Bakteri ini bertahan hidup dengan memakan bahan busuk. Mereka mendapatkan nutrisinya dengan mengonsumsi bahan yang mati dan membusuk. Dengan demikian membantu dalam membersihkan lingkungan dari penumpukan limbah.
- Bakteri patogen: (*patho + genesis* = penyakit + penyebab). Ini adalah bakteri yang bertanggung jawab atas penyakit pada manusia dan tumbuhan. Mereka hanya tumbuh di tubuh hewan atau tumbuhan lain. Mereka mendapatkan nutrisi dari tuan rumah. Dengan melakukan itu, mereka mengonsumsi elemen hidup yang vital di dalamnya dan menyebabkan penyakit.

Klasifikasi berdasarkan ketergantungan suhu

Ini adalah metode yang cukup menarik karena mereka dibedakan berdasarkan preferensi mereka terhadap suhu sekitarnya. Bakteri dapat tumbuh pada suhu dingin bahkan suhu panas di samping suhu ruangan normal. Jadi, mereka diklasifikasikan berdasarkan suhu mereka dapat bertahan hidup.

- Termofilik: (*thermo + phyllic* = suhu mencintai) Bakteri termofilik adalah bakteri yang dapat bertahan hidup pada suhu tinggi yaitu suhu 45 hingga 60 derajat

- Mesothermic: (*medium + thermic = medium temperature*) Dapat bertahan pada suhu 25 sampai 45 derajat
- Hipotermik: (hipo = rendah) Bakteri ini bertahan hidup pada suhu rendah seperti 8 derajat atau bahkan kurang.

Secara umum, sebagian besar bakteri bertahan hidup antara 25 hingga 45 derajat, yaitu *mesotherms*.

Klasifikasi berdasarkan kebutuhan oksigen

Tidak semua bakteri membutuhkan oksigen untuk bertahan hidup. Beberapa dapat bertahan hidup tanpa oksigen. Ini adalah mikroba yang dianggap abadi karena pembelahan sel, tetapi fitur ini menambah bobotnya. Berdasarkan ketergantungan oksigen, dibagi menjadi:

- Aerobik: Membutuhkan oksigen untuk bertahan hidup.
- Anaerob: Bakteri ini tidak membutuhkan oksigen untuk bertahan hidup. Mereka lebih jauh sebagai dua jenis.
- Anaerob obligat: Mereka bertahan hidup tanpa oksigen. Tapi saat terkena oksigen mereka mati.
- Anaerob fakultatif: Ini juga bertahan hidup di lingkungan tanpa oksigen, tetapi ketika terpapar oksigen mereka dapat bertahan hidup.

Klasifikasi bakteri ke dalam filum yang berbeda dilakukan sesuai taksonomi, yaitu nomenklatur ilmiah.

Bakteri adalah basis rantai makanan hewani di dalam kolam atau danau. Bakteri mengkonsumsi (menguraikan) produk limbah dan mengasimilasi nutrisi dengan mengubah bahan ini menjadi bakteri lain melalui proses tumbuh, berkembang biak, dan berkembang biak. Bakteri kemudian menjadi sumber makanan bagi organisme akuatik lainnya, seperti Zooflagellata, Ciliata, dan Rotifera, yang selanjutnya menjadi makanan bagi ikan, serangga, invertebrata, dan organisme lainnya. Organisme hidup ini bersaing untuk mendapatkan nutrisi (nitrogen dan fosfor) yang diperlukan untuk pertumbuhan alga. Bergantung pada jenis produk dan spesies di dalamnya, bakteri dapat mengurangi sedimen organik (kotoran) dari dasar danau, meningkatkan kejernihan air, mengurangi jumlah nitrogen dan fosfor yang tersedia untuk pertumbuhan alga, dan membantu peningkatan kualitas air secara keseluruhan.

Kehidupan di bumi, seperti yang kita ketahui, tidak akan ada tanpa enzim, sebagaimana kehidupan tidak akan ada tanpa oksigen atau air. Enzim adalah protein organik yang terbuat dari asam amino. Enzim dibentuk dengan merangkai 100 atau bahkan 1.000 asam amino dalam urutan yang sangat spesifik dan unik. Rantai asam amino kemudian terlipat menjadi bentuk unik yang memungkinkan enzim bertindak sebagai katalisator untuk melakukan reaksi kimia tertentu. Meskipun enzim mengkatalisasi (meningkatkan) reaksi kimia dengan memecah molekul dan menyatukan molekul. Enzim tidak dikonsumsi dalam proses tersebut. Enzim melakukan fungsi vital untuk mengendalikan proses metabolisme di mana nutrisi diubah menjadi energi dan bahan sel segar. Di alam, enzim mengontrol pembentukan dan penguraian materi penting dalam organisme nabati dan hewan.

Efisiensi enzim atau bakteri tergantung pada jumlah limbah yang tersedia, banyaknya oksigen terlarut yang dapat diakses oleh organisme, kimia air (mis. PH), dan jenis atau strain bakteri yang ada untuk melakukan pekerjaan tersebut. Di kolam dan danau eutrofik (penuaan) di mana tanaman air dan alga menjadi masalah, biasanya terdapat limbah organik yang melimpah. Heterotrofik, kemolitotrofik, dan autotrofik adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan bakteri tertentu yang biasanya digunakan dalam produk bioaugmentasi. Secara umum bijaksana untuk memiliki ketiga jenis bakteri yang ada dalam produk bioaugmentasi bakteri. Bakteri heterotrofik adalah saprob (memakan bahan organik mati). Bakteri heterotrofik secara teratur mengkonsumsi fosfor, karbon organik (karbohidrat, lipid, dan protein), dan nitrogen yang ada di dalam massa organik mati yang sebaliknya akan menjadi sedimen organik. (Fosfor, karbon, dan nitrogen adalah komponen utama sedimen organik, yang terakumulasi di dasar danau dan pon).

C. Ciri-Ciri Bakteri

Bakteri adalah organisme yang paling banyak dan lebih tersebar luas daripada makhluk hidup lainnya. Bakteri memiliki ratusan ribu spesies yang hidup di darat hingga lautan bahkan di tempat-tempat ekstrem. Beberapa bakteri menguntungkan tetapi beberapa berbahaya. Bakteri memiliki ciri-ciri yang membedakannya dengan makhluk hidup lainnya.

Bakteri adalah organisme uniseluler dan prokariota dan umumnya tidak memiliki klorofil dan berukuran mikroskopis.

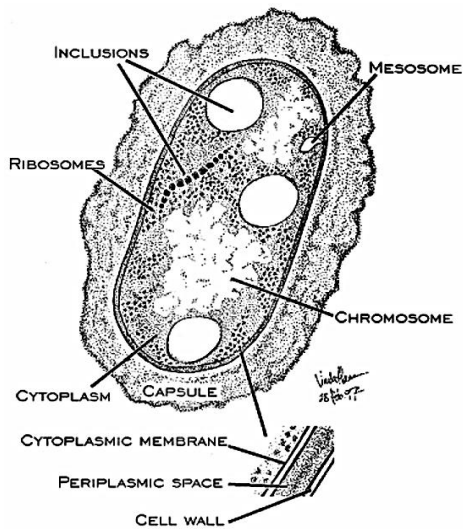
Bakteri adalah organisme bersel tunggal atau nonseluler berbentuk bola atau spiral atau batang yang tidak memiliki klorofil yang berkembang biak secara fisikobakteri (mikrobiologi) organisme bersel tunggal atau nonseluler berbentuk bola atau spiral atau batang yang tidak memiliki klorofil yang berkembang biak melalui pembelahan; penting sebagai patogen dan sifat biokimianya; taksonomi sulit; sering dianggap sebagai reaksi imun tanaman bakteri, respons imun, respons imun-reaksi pertahanan tubuh yang mengenali zat penyerang (antigen: seperti virus atau jamur atau bakteri atau organ transplantasi) dan menghasilkan antibodi spesifik untuk melawan antigen. bioremediasi adalah tindakan pengolahan limbah atau polutan dengan menggunakan mikroorganisme (sebagai bakteri) yang dapat memecah zat yang tidak diinginkan mikroorganisme, mikroorganisme dengan ukuran mikroskopis asidofil, organisme asidofil yang tumbuh subur di lingkungan yang relatif asam probiotik, bakteri probiotik, flora probiotik, mikroflora probiotik bakteri menguntungkan yang ditemukan di saluran usus mamalia sehat; Ini sering dianggap sebagai tanaman bakteroid. bakteri seperti batang (terutama bakteri berbentuk batang atau bercabang di bintil akar tanaman pengikat nitrogen) eubacteria, eubacterium, bakteri sejati sekelompok besar bakteri yang memiliki dinding sel kaku; jenis motil memiliki flagela *Calymmatobacterium*, genus *Calymmatobacterium*-genus bakteri batang yang hanya mengandung satu spesies penyebab granuloma inguinale *Francisella*, genus *Francisella*-genus bakteri Gram-negatif aerobik yang muncul sebagai patogen dan parasit pada banyak hewan (termasuk manusia) gonococcus, *Neisseria gonorrhoeae*-bakteri penghasil nanah yang menyebabkan gonore legionella, *Legionella pneumophila*-bakteri Gram-negatif berbentuk batang aerobik motil yang tumbuh subur dalam sistem pemanas dan pendingin udara sentral dan dapat menyebabkan penyakit *Legiuner nitrobacterium* salah satu bakteri di dalam tanah yang mengambil bagian dalam siklus nitrogen; mereka mengoksidasi senyawa amonium menjadi nitrit atau mengoksidasi nitrit menjadi nitrat.

Ciri Pembeda antara Bakteri Gram-Positif dan Negatif

Bakteri Gram-positif memiliki struktur peptidoglikan yang besar. Seperti disebutkan di atas, akurasi ini untuk pewarnaan diferensial dengan pewarnaan Gram. Beberapa bakteri Gram-positif juga mampu membentuk spora di bawah kondisi lingkungan yang penuh tekanan seperti bila ada yang terbatas ketersediaan karbon dan nitrogen. Oleh karena itu, spora memungkinkan bakteri bertahan dari paparan kondisi ekstrem dan dapat menyebabkan infeksi ulang (misalnya, kolitis pseudomembran dari *Difiker Clostridium*). Bakteri Gram-negatif memiliki lapisan peptidoglikan kecil tetapi memiliki membran tambahan, membran sitoplasma luar. Ini menciptakan penghalang permeabilitas tambahan dan menghasilkan kebutuhan akan mekanisme transpor melintasi membran ini.

D. Struktur Bakteri

Komponen struktural prokariotik terdiri dari makromolekul seperti DNA, RNA, protein, polisakarida, fosfolipid, atau beberapa kombinasinya. Makromolekul terdiri dari subunit primer seperti nukleotida, asam amino dan gula (Tabel 1). Ini adalah urutan di mana sub unit disatukan dalam makromolekul, yang disebut struktur primer, yang menentukan banyak sifat yang akan dimiliki makromolekul. Dengan demikian, kode genetik ditentukan oleh urutan basa nukleotida spesifik dalam DNA kromosom; urutan asam amino dalam protein menentukan sifat dan fungsi protein; dan urutan gula dalam lipopolisakarida bakteri menentukan sifat dinding sel yang unik untuk patogen.



Gambar 3. Struktur Bakteri

Sumber: Oleh Vaike Haas, University of Wisconsin-Madison

Struktur utama makromolekul akan mendorong fungsinya, dan perbedaan dalam struktur utama makromolekul biologis menyebabkan keragaman kehidupan yang sangat besar.

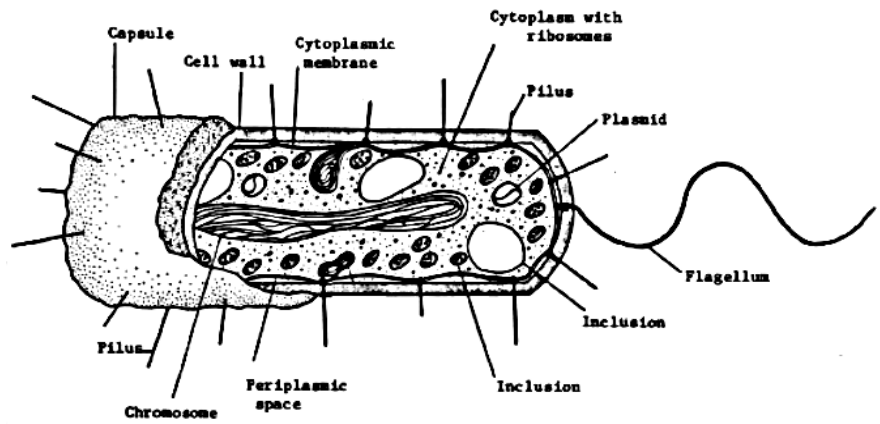
Tabel 1. Makromolekul yang Menyusun Materi Sel

Makromolekul	Sub unit Primer	Di mana ditemukan di sel
Protein	asam amino	Flagela, pili, dinding sel, membran sitoplasma, ribosom, sitoplasma
Polisakarida	gula (karbohidrat)	kapsul, inklusi (penyimpanan), dinding sel
Fosfolipid	asam lemak	membran
Asam nukleat (DNA/RNA)	nukleotida	DNA: nukleoid (kromosom), plasmid rRNA: ribosom; mRNA, tRNA: sitoplasma

Pada suatu waktu dianggap bahwa bakteri dan prokariota lainnya pada dasarnya adalah “kantong enzim” tanpa arsitektur seluler yang melekat. Perkembangan mikroskop elektron pada 1950-an mengungkapkan ciri-ciri anatomi yang berbeda dari bakteri dan

mengonfirmasi kecurigaan bahwa mereka tidak memiliki membran inti. Prokariota adalah sel dengan konstruksi yang relatif sederhana, terutama jika dibandingkan dengan eukariota. Sedangkan sel eukariotik memiliki organel yang lebih banyak dengan fungsi seluler yang terpisah, prokariota menjalankan semua fungsi seluler sebagai unit individu. Sebuah sel prokariotik memiliki lima komponen struktural penting: nukleoid (DNA), ribosom, membran sel, dinding sel, dan semacam lapisan permukaan, yang mungkin atau mungkin tidak menjadi bagian yang melekat pada dinding.

Secara struktural, ada tiga wilayah arsitektur: pelengkap (perlekatan pada permukaan sel) dalam bentuk flagela dan pili (atau fimbria); selubung sel yang terdiri dari kapsul, dinding sel dan membran plasma; dan daerah sitoplasma yang berisi kromosom sel (DNA) dan ribosom dan berbagai macam inklusi (Gambar 4).



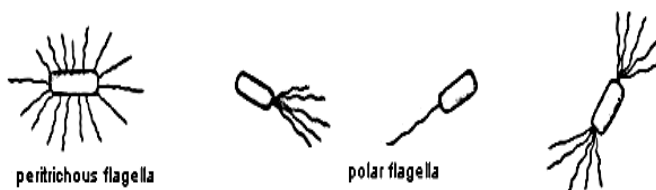
Gambar 4. Gambar Potongan Sel Bakteri Tipikal yang Mengilustrasikan Komponen Struktural

(Sumber: Vaikke Haas, University of Wisconsin-Madison)

Flagela adalah struktur protein berfilamen yang melekat pada permukaan sel yang menyediakan gerakan berenang untuk sebagian besar prokariota motil. Flagela prokariotik jauh lebih tipis daripada flagela eukariotik, dan mereka tidak memiliki susunan mikrotubulus yang khas. Diameter flagela prokariotik adalah sekitar 20 nanometer, jauh di bawah kekuatan resolusi mikroskop cahaya. Filamen flagela diputar oleh alat

motorik di membran plasma yang memungkinkan sel untuk berenang di lingkungan cairan. Flagela bakteri ditenagai oleh kekuatan motif proton (potensial kemiosmotik) yang terbentuk pada membran bakteri, daripada hidrolisis ATP yang menggerakkan flagela eukariotik. Sekitar setengah dari basil dan semua bakteri spiral dan melengkung bergerak melalui flagela. Sangat sedikit kokus yang motil, yang mencerminkan adaptasi mereka terhadap lingkungan kering dan kurangnya desain hidrodinamik.

Diperkirakan ada 50 gen diperlukan untuk sintesis dan fungsi flagela. Aparatus flagela terdiri dari beberapa protein yang berbeda: sistem cincin yang tertanam dalam selubung sel (badan basal), struktur seperti kait di dekat permukaan sel dan filamen flagela. Cincin terdalam, cincin M dan S, terletak di membran plasma, terdiri dari aparatus motor. Cincin terluar, cincin P dan L, masing-masing terletak di periplasma dan membran luar, berfungsi sebagai bantalan untuk menopang batang di mana ia bergabung dengan kait filamen pada permukaan sel. Saat cincin M berputar, ditenagai oleh masuknya proton, gerakan putar ditransfer ke filamen yang berputar untuk mendorong bakteri. Flagela dapat didistribusikan secara beragam di atas permukaan sel bakteri dalam pola yang berbeda, tetapi pada dasarnya flagela adalah polar (satu atau lebih flagela yang muncul dari satu atau kedua kutub sel) atau peritrichous (flagela lateral tersebar di seluruh permukaan sel). Distribusi flagela adalah sifat genetik yang berbeda biasanya digunakan untuk mengkarakterisasi atau membedakan bakteri. Misalnya, di antara batang Gram-negatif, *Pseudomonas* memiliki flagela polar untuk membedakannya dari bakteri enterik, yang memiliki flagela peritrik.

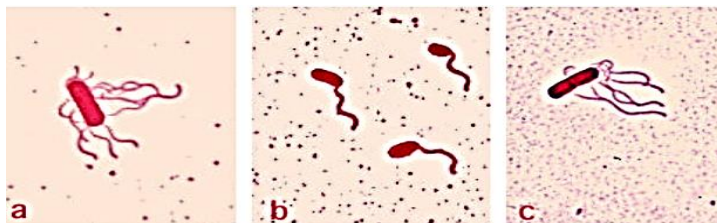


Gambar 5. Susunan Flagela Bakteri yang Berbeda. Motilitas Renang, Didukung oleh Flagela, Terjadi Pada Setengah Basil dan Sebagian Besar Spirila.

Sumber: Oleh Vaike Haas, University of Wisconsin-Madison

Flagela terbukti sebagai organel motilitas bakteri dengan mencukurnya (dengan mencampurkan sel-sel dalam blender) dan mengamati bahwa sel-sel tersebut tidak dapat lagi berenang meskipun tetap hidup. Saat flagela tumbuh kembali dan mencapai panjang kritis, gerakan berenang dikembalikan ke sel. Filamen flagela tumbuh di ujungnya (oleh pengendapan subunit protein baru) bukan di dasarnya (seperti rambut). Prokariota diketahui menunjukkan berbagai jenis perilaku taktik, yaitu kemampuan untuk bergerak (berenang) sebagai respons terhadap rangsangan lingkungan. Misalnya, selama kemotaksis, bakteri dapat merasakan kualitas dan kuantitas bahan kimia tertentu di lingkungannya dan berenang ke arah mereka (jika itu adalah nutrisi yang berguna) atau menjauh darinya (jika itu adalah zat berbahaya). Jenis lain dari respons taktik pada prokariota termasuk fototaksis, aerotaksis dan magnetotaksis. Terjadinya perilaku taktik memberikan bukti keuntungan ekologis (kelangsungan hidup) flagela pada bakteri dan prokariota lainnya. Karena motilitas adalah kriteria utama untuk diagnosis dan identifikasi bakteri, beberapa teknik telah dikembangkan untuk menunjukkan motilitas bakteri, secara langsung atau tidak langsung.

1. Pewarnaan flagela menguraikan flagela dan menunjukkan pola distribusinya. Jika bakteri memiliki flagela, itu dianggap motil.



Gambar 6. Pewarnaan Flagela Tiga Bakteri a. *Bacillus cereus*, b. *Vibrio cholera*, c. *Bacillus brevis* (CDC).

Sumber: Vaike Haas, University of Wisconsin-Madison

Teknik pewarnaan seperti metode Leifson menggunakan pewarna dan komponen lain yang mengendap di sepanjang filamen protein dan karenanya meningkatkan diameter efektifnya. Distribusi flagela kadang-kadang digunakan untuk membedakan antara bakteri yang terkait secara

morfologis. Misalnya, di antara bakteri Gram-negatif berbentuk batang motil, *Enterik* memiliki flagela peritrichous, sedangkan *Pseudomonas* memiliki flagela polar.

2. Media uji motilitas menunjukkan jika sel dapat berenang dalam media semipadat.

Sebuah media semipadat diinokulasi dengan bakteri di tusukan garis lurus dengan jarum. Setelah inkubasi, jika kekeruhan (kekeruhan) karena pertumbuhan bakteri dapat diamati jauh dari garis tusukan, itu adalah bukti bahwa bakteri mampu berenang melalui media. Julius Adler memanfaatkan pengamatan ini selama studinya tentang kemotaksis pada *E. coli*. Dia menyiapkan gradien glukosa dengan membiarkan gula berdifusi ke dalam medium semipadat dari titik pusat dalam medium. Ini membentuk gradien konsentrasi glukosa di sepanjang jari-jari difusi. Ketika sel-sel *E. coli* diunggulkan dalam medium dengan konsentrasi glukosa terendah (sepanjang tepi lingkaran), mereka berenang menaiki gradien menuju konsentrasi yang lebih tinggi (pusat lingkaran), menunjukkan respons kemotaktik mereka untuk berenang menuju nutrisi yang bermanfaat. Kemudian, Adler mengembangkan mikroskop pelacak yang dapat merekam dan merekam jejak yang diambil *E. coli* saat berenang menuju penarik kemotaksis atau menjauh dari penolak kemotaksis. Hal ini menyebabkan pemahaman tentang mekanisme kemotaksis bakteri, pertama pada tingkat struktural, kemudian pada tingkat Biomolekuler.

3. Pengamatan mikroskopis langsung bakteri hidup di gunung basah.

Seseorang harus mencari pergerakan sementara dari bakteri yang berenang. Sebagian besar bakteri uniseluler karena ukurannya yang kecil, akan bergoyang maju mundur di tempat basah yang diamati pada 400X atau 1000X. Ini adalah gerakan Brown karena tumbukan acak antara molekul air dan sel bakteri. Motilitas sejati dikonfirmasi dengan mengamati bakteri berenang dari satu sisi bidang mikroskop ke sisi lain.

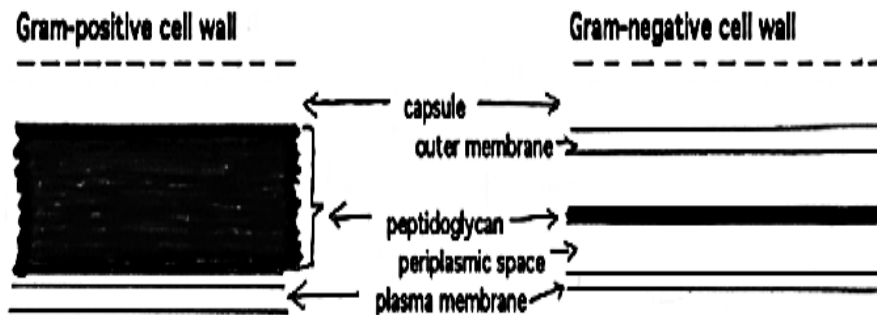


Gambar 7. Spesies *Desulfovibrio*. TEM. Sekitar 15.000X. Bakteri Ini Motil dengan Menggunakan Flagela Kutub Tunggal

Sumber: Vaike Haas, University of Wisconsin-Madison

Fimbria dan pili adalah istilah yang dapat dipertukarkan yang digunakan untuk menunjuk struktur pendek seperti rambut pada permukaan sel prokariotik. Seperti flagela, mereka terdiri dari protein. Fimbria lebih pendek dan lebih kaku dari flagela, dan diameternya sedikit lebih kecil. Umumnya, fimbria tidak ada hubungannya dengan gerakan bakteri (ada pengecualian contohnya gerakan berkedut pada *Pseudomonas*). Fimbria sangat umum pada bakteri Gram-negatif, tetapi juga terjadi pada beberapa *Archaea* dan bakteri Gram-positif. Fimbria paling sering terlibat dalam perlekatan bakteri pada permukaan, substrat dan sel atau jaringan lain di alam. Pada *E. coli*, jenis pilus khusus, F atau pilus seks, tampaknya menstabilkan bakteri yang kawin selama proses konjugasi, tetapi fungsi pili umum yang lebih kecil dan lebih banyak cukup berbeda. Pili umum (hampir selalu disebut fimbria) biasanya terlibat dalam pelekatan spesifik (pelekatan) prokariota ke permukaan di alam. Dalam situasi medis, mereka merupakan penentu utama virulensi bakteri karena mereka memungkinkan patogen untuk menempel (menjajah) jaringan dan/atau untuk melawan serangan sel darah putih fagositik. Misalnya, *Neisseria gonorrhoeae* patogen melekat secara khusus pada epitel serviks atau uretra manusia melalui fimbrianya, strain enterotoksigenik *E. coli* menempel pada epitel mukosa usus melalui fimbria spesifik, protein-M dan fimbria terkait dari *Streptococcus pyogenes* terlibat dalam pelekatan dan resistensi terhadap penelanan oleh fagosit.

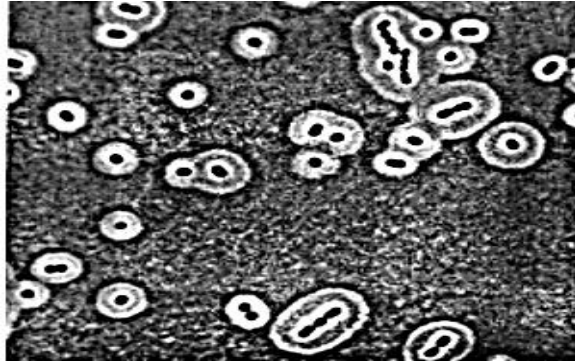
Selubung sel adalah istilah deskriptif untuk beberapa lapisan bahan yang menyelimuti atau membungkus protoplasma sel. Semua sel memiliki membran, yang merupakan karakteristik esensial dan definitif dari sebuah “sel”. Hampir semua prokariota memiliki dinding sel untuk mencegah kerusakan pada protoplas yang mendasarinya. Terdapat diluar dinding sel, utamanya sebagai struktur permukaan berupa kapsul polisakarida atau glikokaliks.



Gambar 8. Selubung Sel Gram Positif dan Negatif
 Sumber: Oleh Vaike Haas, University of Wisconsin-Madison

Kapsul

Kebanyakan prokariota mengandung semacam lapisan polisakarida di luar polimer dinding sel. Dalam pengertian umum, lapisan ini disebut kapsul. Kapsul sejati adalah lapisan polisakarida yang dapat dideteksi dan disimpan di luar dinding sel. Struktur atau matriks yang kurang terpisah yang melekatkan sel disebut lapisan lendir atau biofilm. Jenis kapsul yang ditemukan pada bakteri yang disebut glikokaliks adalah lapisan tipis serat polisakarida kusut yang terjadi pada permukaan sel yang tumbuh di alam (berlawanan dengan laboratorium). Beberapa ahli mikrobiologi menyebut semua kapsul sebagai glikokaliks dan tidak membedakan mikrokapsul.



Gambar 9. Kapsul pada Bakteri

Sumber: Vaike Haas, University of Wisconsin-Madison

Kapsul memiliki beberapa fungsi dan seringkali memiliki banyak fungsi pada organisme tertentu. Seperti fimbria, kapsul, lapisan lendir, dan glikokaliks sering memediasi pelekatan sel ke permukaan. Kapsul juga melindungi sel bakteri dari tertelan oleh protozoa predator atau sel darah putih (fagosit), atau dari serangan agen antimikroba yang berasal dari tumbuhan atau hewan. Kapsul dalam bakteri tanah tertentu melindungi sel dari efek abadi dari pengeringan atau pengeringan. Bahan kapsul (seperti dekstran) dapat diproduksi berlebihan ketika bakteri diberi makan gula untuk menjadi cadangan karbohidrat untuk metabolisme selanjutnya. Beberapa bakteri menghasilkan bahan lendir untuk menempel dan mengapung sendiri sebagai massa kolonial di lingkungan mereka. Bakteri lain menghasilkan bahan lendir untuk menempel pada permukaan atau substrat. Bakteri dapat menempel ke permukaan, menghasilkan lendir, membelah dan menghasilkan mikrokoloni di dalam lapisan lendir, dan membangun biofilm, yang menjadi lingkungan yang diperkaya dan dilindungi untuk diri mereka sendiri dan bakteri lain. Contoh klasik konstruksi biofilm di alam adalah pembentukan plak gigi yang dimediasi oleh bakteri mulut, *Streptococcus mutans*. Bakteri menempel secara khusus pada pelikel gigi melalui protein pada permukaan sel. Bakteri tumbuh dan menyintesis kapsul dekstran yang mengikat mereka ke email dan membentuk biofilm dengan ketebalan sekitar 300-500 sel. Bakteri mampu membelah sukrosa (disediakan oleh makanan hewani) menjadi

glukosa ditambah fruktosa. Fruktosa difermentasi sebagai sumber energi untuk pertumbuhan bakteri. Glukosa dipolimerisasi menjadi polimer dekstran ekstraseluler yang mengikat bakteri pada email gigi dan menjadi matriks plak gigi. Lendir dekstran dapat didepolimerisasi menjadi glukosa untuk digunakan sebagai sumber karbon, menghasilkan produksi asam laktat dalam biofilm (plak) yang mendekalsifikasi email dan menyebabkan karies gigi atau infeksi bakteri pada gigi.

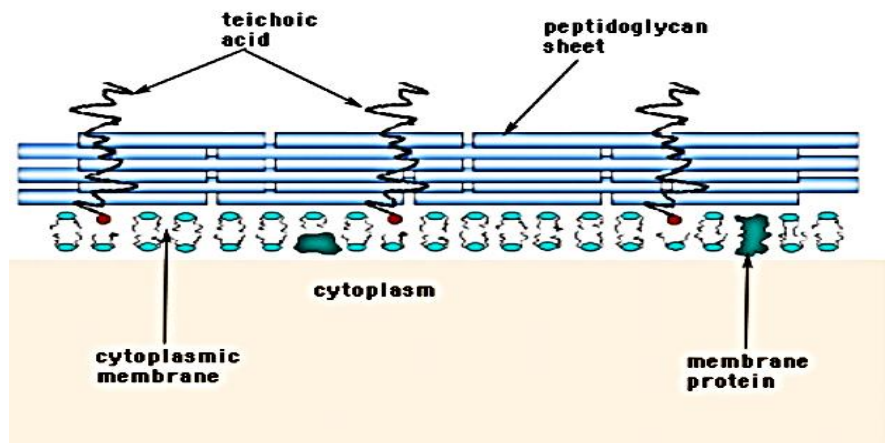
Karakteristik penting lain dari kapsul adalah kemampuannya untuk memblokir beberapa langkah dalam proses fagositosis dan dengan demikian mencegah sel bakteri ditelan atau dihancurkan oleh fagosit. Misalnya, penentu utama virulensi patogen *Streptococcus pneumoniae* adalah kapsul polisakaridnya, yang mencegah konsumsi pneumokokus oleh makrofag alveolar. *Bacillus anthracis* bertahan menelan fagosit karena enzim lisosom fagosit tidak dapat memulai serangan pada kapsul poli-D-glutamat bakteri. Bakteri seperti *Pseudomonas aeruginosa*, yang membangun biofilm yang terbuat dari lendir ekstraseluler ketika menjajah jaringan, juga resisten terhadap fagosit, yang tidak dapat menembus biofilm. Dinding sel bakteri perlu mendapat perhatian khusus karena beberapa alasan:

1. Mereka adalah struktur penting untuk kelangsungan hidup, seperti dijelaskan di atas.
2. Mereka terdiri dari komponen unik yang tidak ditemukan di tempat lain di alam.
3. Mereka adalah salah satu tempat paling penting untuk diserang oleh antibiotik.
4. Mereka menyediakan ligan untuk pelekatan dan situs reseptor untuk obat atau virus.
5. Menimbulkan gejala penyakit pada hewan.
6. Mereka memberikan perbedaan imunologis dan variasi imunologis di antara strain bakteri.

Kebanyakan prokariota memiliki dinding sel yang kaku. Dinding sel adalah struktur penting yang melindungi protoplas sel dari kerusakan mekanis dan dari pecah atau lisis osmotik. Prokariota biasanya hidup di lingkungan yang relatif encer sehingga akumulasi zat terlarut di dalam sitoplasma sel prokariotik jauh melebihi konsentrasi zat terlarut total di

lingkungan luar. Dengan demikian, tekanan osmotik terhadap bagian dalam membran plasma mungkin setara dengan 10-25 atm. Karena membran adalah struktur plastik yang halus, membran harus ditahan oleh dinding luar yang terbuat dari bahan kaku berpori yang memiliki kekuatan tarik tinggi. Bahan semacam itu adalah *murein*, komponen dinding sel bakteri yang ada di mana-mana.

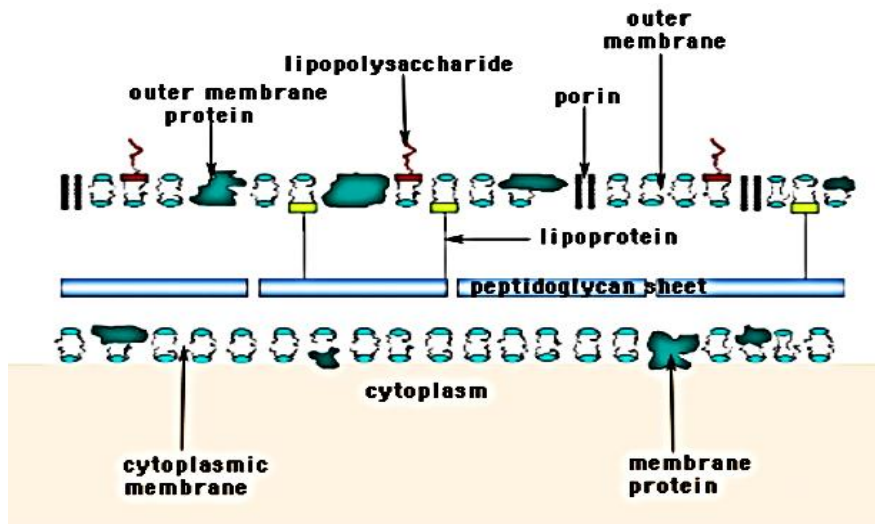
Murein adalah jenis peptidoglikan yang unik, polimer disakarida (glikan) yang dihubungkan silang oleh rantai pendek asam amino (peptida). Ada banyak jenis peptidoglikan. Semua peptidoglikan Bakteri mengandung asam N-asetilmuramat, yang merupakan komponen definitif *murein*. Dinding sel *Archaea* mungkin terdiri dari protein, polisakarida, atau molekul mirip peptidoglikan, tetapi tidak pernah mengandung *murein*. Fitur ini membedakan Bakteri dari *Archaea*. Pada Bakteri Gram-positif (mereka yang mempertahankan pewarna kristal violet ungu ketika dikenakan prosedur pewarnaan Gram), dinding sel terdiri dari beberapa lapisan peptidoglikan. Berjalan tegak lurus terhadap lembaran peptidoglikan adalah sekelompok molekul yang disebut asam teikoat yang unik untuk dinding sel Gram-positif (Gambar 10).



Gambar 10. Struktur Dinding Sel Bakteri Gram-Positif.

Sumber: Vaike Haas, University of Wisconsin-Madison

Pada Bakteri Gram-negatif (yang tidak mempertahankan kristal violet), dinding sel terdiri dari satu lapisan peptidoglikan yang dikelilingi oleh struktur membran yang disebut membran luar. Membran luar bakteri Gram-negatif selalu mengandung komponen unik, lipopolisakarida (LPS atau endotoksin), yang beracun bagi hewan. Pada bakteri Gram-negatif, membran luar biasanya dianggap sebagai bagian dari dinding sel (Gambar 11).



Gambar 11. Struktur Dinding Sel Gram-Negatif

Sumber: Vaikke Haas, University of Wisconsin-Madison

Pada Bakteri Gram-positif, dinding selnya tebal (15-80 nanometer), terdiri dari beberapa lapisan peptidoglikan. Pada Bakteri Gram-negatif dinding selnya relatif tipis (10 nanometer) dan terdiri dari satu lapisan peptidoglikan yang dikelilingi oleh membran luar. Struktur dan susunan peptidoglikan pada *E. coli* mewakili semua Enterobacteriaceae, serta banyak bakteri Gram-negatif lainnya. Tulang punggung glikan terdiri dari molekul bolak-balik N-asetilglukosamin (G) dan asam N-asetilmuramat (M) yang dihubungkan oleh ikatan beta 1,4-glikosida. 3-karbon asam N-asetilmuramat (M) diganti dengan gugus laktil eter yang berasal dari piruvat. Laktil eter menghubungkan tulang punggung glikan ke rantai

samping peptida yang mengandung L-alanin, (L-ala), D-glutamat (D-glu), asam Diaminopimelic (DAP), dan D-alanin (D-ala). MurNAc unik untuk dinding sel bakteri, seperti D-glu, DAP dan D-ala. Untaian *murein* dirakit di periplasma dari sekitar 10 subunit asam muramat. Kemudian untaiannya terhubung untuk membentuk molekul glikan kontinu yang meliputi sel. Di mana pun kedekatannya memungkinkan, rantai tetrapeptida yang diproyeksikan dari tulang punggung glikan dapat dihubungkan silang oleh ikatan interpeptida antara gugus amino bebas pada DAP dan gugus karboksi bebas pada D-ala terdekat. Perakitan peptidoglikan di bagian luar membran plasma dimediasi oleh sekelompok enzim periplasma, yaitu transglikosilase, transpeptidase, dan karboksipeptidase. Mekanisme kerja penisilin dan antibiotik beta-laktam terkait adalah untuk memblokir enzim transpeptidase dan karboksipeptidase selama perakitan mereka di dinding sel *murein*. Oleh karena itu, dikatakan bahwa antibiotik beta-laktam “memblokir sintesis dinding sel” pada bakteri.

Tulang punggung glikan dari molekul peptidoglikan dapat dibelah oleh enzim yang disebut lisozim yang terdapat dalam serum hewan, jaringan dan sekresi, dan dalam lisosom fagositik. Fungsi lisozim adalah untuk melisis sel bakteri sebagai pertahanan konstitutif terhadap patogen bakteri. Beberapa bakteri Gram-positif sangat sensitif terhadap lisozim dan enzim ini cukup aktif pada konsentrasi rendah. Sekresi lakrimal (air mata) dapat diencerkan 1:40.000 dan mempertahankan kemampuan untuk melisis sel bakteri tertentu. Bakteri Gram-negatif kurang rentan terhadap serangan lisozim karena peptidoglikannya dilindungi oleh membran luar. Tempat pembelahan lisozim yang tepat adalah ikatan beta 1,4 antara asam N-asetilmuramat (M) dan N-asetilglukosamin (G), sehingga subunit asam muramat yang ditunjukkan pada Gambar 16(a) adalah hasil kerja lisozim. pada peptidoglikan bakteri.

Pada bakteri Gram-positif ada banyak pengaturan peptida yang berbeda di antara peptidoglikan. Di tempat DAP (dalam *E. coli*) adalah asam diamino, L-lisin (L-lys), dan di tempat ikatan interpeptida (dalam Gram-negatif) adalah jembatan interpeptida asam amino yang menghubungkan gugus amino bebas pada lisin ke gugus karboksi bebas pada D-ala dari rantai samping tetrapeptida terdekat. Susunan ini tampaknya memungkinkan ikatan silang yang lebih sering antara rantai

samping tetrapeptida terdekat. Dalam *S. aureus*, jembatan interpeptida adalah peptida yang terdiri dari lima molekul glisin (disebut jembatan pentaglisin). Perakitan jembatan interpeptida pada *murein* Gram-positif dihambat oleh antibiotik beta-laktam dengan cara yang sama seperti ikatan interpeptida pada *murein* Gram negatif. Bakteri Gram-positif lebih sensitif terhadap penisilin daripada bakteri Gram-negatif karena peptidoglikan tidak dilindungi oleh membran luar dan merupakan molekul yang lebih melimpah. Pada bakteri Gram-positif, peptidoglikan dapat bervariasi dalam asam amino menggantikan DAP atau L-lys pada posisi tiga tetrapeptida, dan dalam komposisi yang tepat dari jembatan interpeptida. Setidaknya ada delapan jenis peptidoglikan yang berbeda pada bakteri Gram-positif.

Bakteri Gram-negatif mungkin mengandung lapisan monomolekul tunggal *murein* di dinding selnya sementara bakteri Gram-positif diperkirakan memiliki beberapa lapisan atau “bungkus” peptidoglikan. Terkait erat dengan lapisan peptidoglikan pada bakteri Gram-positif adalah sekelompok molekul yang disebut asam teikoat. Asam teikoat adalah polimer linier poligliserol atau poliribitol yang disubstitusi dengan fosfat dan beberapa asam amino dan gula. Polimer asam teikoat kadang-kadang melekat pada membran plasma (disebut asam lipoteikoat, LTA) tampaknya diarahkan ke luar pada sudut kanan ke lapisan peptidoglikan. Fungsi asam teichoic tidak diketahui tetapi sangat penting untuk kelangsungan hidup bakteri Gram-positif di alam liar. Satu ide adalah bahwa mereka menyediakan saluran muatan negatif berorientasi teratur untuk memasukkan zat bermuatan positif melalui jaringan peptidoglikan yang rumit. Teori lain adalah bahwa asam teikoat dalam beberapa cara terlibat dalam pengaturan dan perakitan subunit asam muramat di bagian luar membran plasma. Ada beberapa contoh, khususnya pada streptokokus, di mana asam teikoat terlibat dalam pelekatan bakteri pada permukaan jaringan.

Membran Luar Bakteri Gram-negatif Yang menarik sebagai komponen dinding sel Gram-negatif adalah membran luarnya, sebuah struktur berlapis ganda yang terpisah di bagian luar lembaran peptidoglikan. Untuk bakteri, membran luar pertama dan terutama merupakan penghalang permeabilitas, tetapi terutama karena kandungan

lipopolisakaridanya, ia memiliki banyak karakteristik yang menarik dan penting dari bakteri Gram-negatif. Membran luar adalah lapisan ganda lipid yang diselengi dengan protein, secara superfisial menyerupai membran plasma. Bagian dalam membran luar terdiri dari fosfolipid yang mirip dengan fosfoliserida yang menyusun membran plasma. Permukaan luar membran luar mungkin mengandung beberapa fosfolipid, tetapi terutama dibentuk oleh jenis molekul amfifilik yang berbeda yang terdiri dari lipopolisakarida (LPS). Protein membran luar biasanya melintasi membran dan dalam satu kasus, mengikat membran luar ke lembaran peptidoglikan yang mendasarinya.

Molekul LPS yang membentuk permukaan luar membran luar terdiri dari daerah hidrofobik, yang disebut Lipid A, yang melekat pada daerah polisakarida linier hidrofilik, yang terdiri dari polisakarida inti dan polisakarida spesifik-O. Lipid A kepala molekul menyisipkan ke bagian dalam membran, dan ekor polisakarida molekul menghadapi lingkungan berair. Di mana ekor molekul menyisipkan ke kepala ada akumulasi muatan negatif sehingga kation magnesium *chelated* antara molekul LPS yang berdekatan. Ini memberikan stabilitas lateral untuk membran luar dan menjelaskan mengapa pengobatan bakteri Gram-negatif dengan agen pengelat yang kuat, seperti EDTA, menyebabkan dispersi molekul LPS.

Lipopolisakarida bakteri bersifat racun bagi hewan. Ketika disuntikkan dalam jumlah kecil LPS atau endotoksin mengaktifkan makrofag untuk menghasilkan pirogen, mengaktifkan kaskade komplemen yang menyebabkan peradangan, dan mengaktifkan faktor darah yang mengakibatkan koagulasi intravaskular dan perdarahan. Endotoksin mungkin berperan dalam infeksi oleh bakteri Gram-negatif. Komponen toksik endotoksin (LPS) adalah Lipid A. Polisakarida spesifik-O dapat menyediakan ligan untuk pelekatan bakteri dan memberikan beberapa resistensi terhadap fagositosis. Variasi kandungan gula yang tepat dari polisakarida O (juga disebut sebagai antigen O) menyumbang beberapa jenis antigen (serotipe) di antara bakteri patogen Gram-negatif. Karena itu. Meskipun Lipid A adalah komponen toksik dalam LPS, polisakarida tetap berkontribusi terhadap virulensi bakteri Gram-negatif.

Beberapa bakteri dapat hidup atau hidup tanpa dinding sel. Mikoplasma adalah sekelompok bakteri yang tidak memiliki dinding sel.

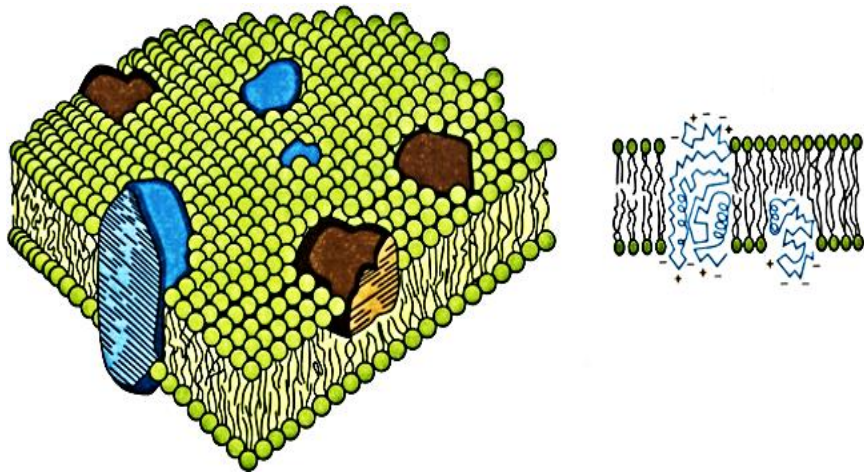
Mikoplasma memiliki molekul seperti sterol yang tergabung ke dalam membrannya dan biasanya merupakan penghuni lingkungan yang terlindungi secara osmotik. *Mycoplasma pneumoniae* adalah penyebab pneumonia bakterial atipikal primer, yang dikenal dalam bahasa sehari-hari sebagai “pneumonia berjalan”. Untuk alasan yang jelas, penisilin tidak efektif dalam pengobatan jenis pneumonia ini. Kadang-kadang, di bawah tekanan terapi antibiotik, bakteri patogen dapat kembali ke bentuk tanpa dinding sel (disebut spheroplasts atau protoplas) dan bertahan atau bertahan hidup di jaringan yang dilindungi secara osmotik. Ketika antibiotik ditarik dari terapi, organisme dapat menumbuhkan kembali dinding sel mereka dan menginfeksi kembali jaringan yang tidak terlindungi.

Membran Plasma

Membran plasma, juga disebut membran sitoplasma, adalah struktur paling dinamis dari sel prokariotik. Fungsi utamanya adalah sebagai penghalang permeabilitas selektif yang mengatur masuknya zat ke dalam dan keluar dari sel. Membran plasma adalah struktur definitif sel karena memisahkan molekul kehidupan dalam satu unit, memisahkannya dari lingkungan. Membran bakteri memungkinkan lewatnya air dan molekul tidak bermuatan hingga mw sekitar 100 dalton, tetapi tidak memungkinkan lewatnya molekul yang lebih besar atau zat bermuatan apa pun kecuali melalui proses transpor membran khusus dan sistem transpor.

Membran bakteri tersusun dari 60 persen protein dan 40 persen fosfolipid. Fosfolipid adalah molekul amfifilik dengan “kepala” gliserol hidrofilik polar yang melekat melalui ikatan ester ke dua ekor asam lemak hidrofobik nonpolar, yang secara alami membentuk *bilayer* dalam lingkungan berair. Tersebar dalam *bilayer* adalah berbagai protein struktural dan enzimatik yang melaksanakan sebagian besar fungsi membran. Pada suatu waktu, diperkirakan bahwa protein tersusun rapi di sepanjang permukaan dalam dan luar membran dan hal ini menyebabkan munculnya jalur ganda membran dalam mikrograf elektron. Namun, sekarang diketahui bahwa sementara beberapa protein membran terletak dan berfungsi pada satu sisi atau sisi lain dari membran, sebagian besar protein dimasukkan sebagian ke dalam membran, atau bahkan mungkin

melintasi membran sebagai saluran dari luar ke dalam. Ada kemungkinan bahwa protein dapat bergerak secara lateral di sepanjang permukaan membran, tetapi secara termodinamika tidak mungkin bahwa protein dapat diputar di dalam membran, yang mengabaikan teori awal tentang bagaimana sistem transportasi dapat bekerja. Susunan protein dan lipid untuk membentuk membran disebut model mosaik fluida, dan diilustrasikan pada Gambar 12.

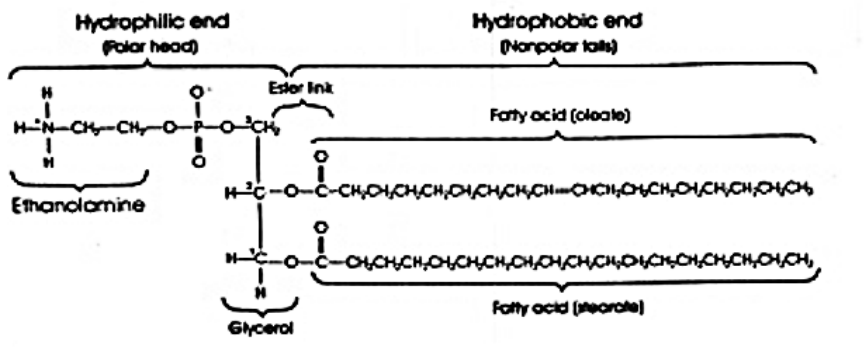


Gambar 12. Model Mosaik Fluida dari Membran Biologis

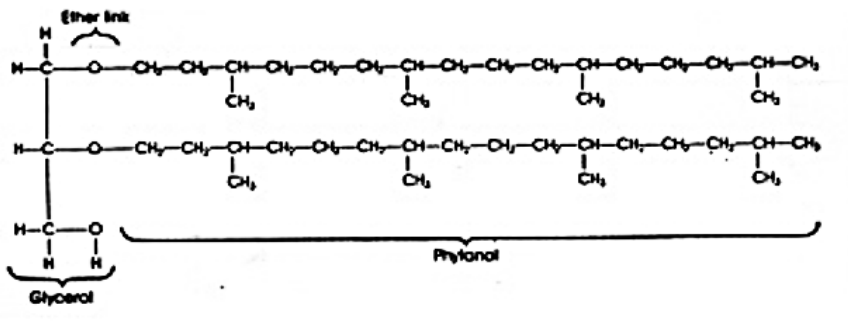
Sumber: Vaikke Haas, University of Wisconsin-Madison

Membran Bakteri secara struktural mirip dengan membran sel eukariota, kecuali bahwa membran bakteri terdiri dari asam lemak jenuh atau tak jenuh tunggal (jarang, asam lemak tidak jenuh ganda) dan biasanya tidak mengandung sterol. Membran *archaea* membentuk *bilayer* secara fungsional setara dengan membran bakteri, tetapi lipid *archaeal* adalah subunit *isoprenoid* jenuh, bercabang, berulang yang menempel pada gliserol melalui hubungan eter yang bertentangan dengan hubungan ester yang ditemukan dalam gliserida lipid membran eukariotik dan bakteri. Struktur membran *archaeal* dianggap sebagai adaptasi terhadap keberadaan dan kelangsungan hidup mereka di lingkungan yang ekstrem.

Struktur umum lipid membran. Sebuah fosfolipid dalam membran bakteri *Escherichia coli*. Posisi R1 dan R2 pada gliserol diganti dengan asam lemak jenuh atau tak jenuh tunggal, dengan ikatan ester ke gliserida. Posisi R3 diganti dengan *Phosphatidylethanolamine*, substituen yang paling umum dalam posisi ini di bakteri.



Bacterial membrane phospholipid



Archaeal membrane lipids

Gambar 13. Lipid Membran *archaeal*

Sumber: Vaike Haas, University of Wisconsin-Madison

Berbeda dengan fosfolipid bakteri, yang merupakan ester gliserol dari asam lemak, lipid dalam membran *archaea* adalah diether gliserol dan rantai panjang, bercabang, hidrokarbon jenuh yang disebut isoprenoid atau yang terdiri dari subunit C5 berulang. Salah satu isoprenoid utama adalah

molekul C20 fitanol. Posisi R3 gliserol mungkin atau mungkin tidak diganti. Struktur lipid membran *archaea* dianggap sebagai adaptasi terhadap lingkungan ekstrem seperti kondisi panas dan asam di mana *archaea* berlaku di alam.

Fungsi Membran Sitoplasma

Karena prokariota tidak memiliki organel intraseluler untuk proses seperti respirasi atau fotosintesis atau sekresi, membran plasma memasukkan proses ini untuk sel dan akibatnya memiliki berbagai fungsi dalam pembangkitan energi, dan biosintesis. Misalnya, sistem transpor elektron yang menggabungkan respirasi aerobik dan sintesis ATP ditemukan di membran prokariotik. Kromofor fotosintesis yang memanen energi cahaya untuk diubah menjadi energi kimia terletak di membran. Oleh karena itu, membran plasma adalah tempat fosforilasi oksidatif dan fotofosforilasi pada prokariota, analog dengan fungsi mitokondria dan kloroplas dalam sel eukariotik. Selain protein transpor yang secara selektif memediasi perjalanan zat masuk dan keluar sel, membran prokariotik mungkin mengandung protein pengindraan yang mengukur konsentrasi molekul di lingkungan atau protein pengikat yang mentranslokasi sinyal ke mesin genetik dan metabolisme di sitoplasma. Membran juga mengandung enzim yang terlibat dalam banyak proses metabolisme seperti sintesis dinding sel, pembentukan septum, sintesis membran, replikasi DNA, fiksasi CO₂ dan oksidasi amonia. Fungsi utama membran prokariotik tercantum adalah sebagai berikut:

1. Penghalang osmotik atau permeabilitas
2. Lokasi sistem transportasi untuk zat terlarut tertentu (nutrisi dan ion)
3. Fungsi pembangkit energi, yang melibatkan sistem transpor elektron respirasi dan fotosintesis, pembentukan gaya gerak proton, dan ATPase transmembran yang menyintesis ATP
4. Sintesis lipid membran (termasuk lipopolisakarida dalam sel Gram-negatif)
5. Sintesis *murein* (peptidoglikan dinding sel)
6. Perakitan dan sekresi protein ekstrasitoplasma
7. Koordinasi replikasi dan pemisahan DNA dengan pembentukan septum dan pembelahan sel

8. Kemotaksis (baik motilitas per se dan fungsi pengindraan)
9. Lokasi sistem enzim khusus

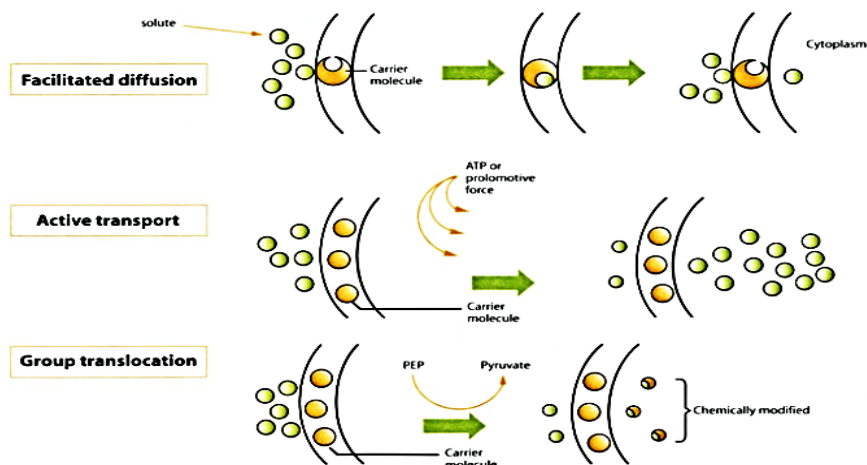
Membran sel adalah struktur paling dinamis dalam sel. Fungsi utamanya adalah sebagai penghalang permeabilitas yang mengatur keluar masuknya zat ke dalam sel. Membran plasma adalah struktur definitif sel karena memisahkan molekul kehidupan dalam sitoplasma, memisahkannya dari lingkungan luar. Membran bakteri dengan bebas memungkinkan lewatnya air dan beberapa molekul kecil yang tidak bermuatan (kurang dari berat molekul 100 dalton), tetapi tidak memungkinkan lewatnya molekul yang lebih besar atau zat bermuatan apa pun kecuali bila dipantau oleh protein dalam membran yang disebut sistem transpor.

Transportasi Zat Terlarut

Protein yang memediasi lewatnya zat terlarut melalui membran disebut sebagai sistem transpor, protein pembawa, porter, dan permease. Dalam proses uniport, zat terlarut melewati membran searah. Dalam proses symport (juga disebut cotransport) dua zat terlarut harus diangkut dalam arah yang sama pada waktu yang sama; dalam proses antiport (juga disebut difusi pertukaran), satu zat terlarut diangkut dalam satu arah secara bersamaan sebagai zat terlarut kedua diangkut dalam arah yang berlawanan.

Jenis Sistem Transportasi

Bakteri memiliki berbagai jenis sistem transportasi yang dapat digunakan sebagai alternatif dalam berbagai situasi lingkungan. Perkembangan proses transpor dan sistem transpor yang rumit pada prokariota mungkin mencerminkan kebutuhan mereka untuk mengonsentrasikan zat di dalam sitoplasma terhadap konsentrasi (gradien) lingkungan. Konsentrasi zat terlarut dalam sitoplasma memerlukan pengoperasian sistem transpor aktif, yang pada bakteri ada dua jenis: sistem transpor yang digerakkan oleh ion (IDT) dan sistem transpor yang bergantung pada protein (BPDT). Fitur definitif dari sistem transpor aktif adalah akumulasi zat terlarut dalam sitoplasma pada konsentrasi yang jauh melebihi lingkungan. Menurut hukum kimia fisik, jenis proses ini membutuhkan energi.



Gambar 14. Pengoperasian Sistem Transportasi Bakteri. Sistem Transpor Bakteri Dioperasikan oleh Protein Transpor (Kadang-Kadang Disebut Pembawa, Porter atau Permease) dalam Membran Plasma.

Sumber Gambar: Oleh Vaike Haas, University of Wisconsin-Madison

Ada empat jenis sistem transportasi yang dimediasi pembawa pada prokariota. Pembawa adalah protein (atau kelompok protein) yang berfungsi dalam perjalanan molekul kecil dari satu sisi membran ke sisi lain. Sistem transpor dapat berupa protein transmembran tunggal yang membentuk saluran yang memungkinkan lewatnya zat terlarut tertentu, atau mungkin sistem protein terkoordinasi yang mengikat dan secara berurutan melewati molekul kecil melalui membran. Sistem transportasi memiliki sifat kekhususan untuk zat terlarut yang diangkut. Beberapa sistem transportasi mengangkut zat terlarut tunggal dengan spesifisitas dan kinetika yang sama seperti enzim. Beberapa sistem transportasi akan mengangkut (secara struktural) molekul terkait, meskipun pada efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan substrat utama mereka. Sebagian besar sistem transportasi mengangkut gula, asam amino, anion atau kation tertentu yang bernilai gizi bagi bakteri.

Sistem difusi terfasilitasi (FD) adalah jenis sistem transportasi yang paling tidak umum pada bakteri. Sebenarnya, uniporter gliserol dalam *E. coli* adalah satu-satunya sistem difusi terfasilitasi yang terkenal. FD

melibatkan perjalanan zat terlarut tertentu melalui pembawa yang membentuk saluran di membran. Zat terlarut dapat bergerak di kedua arah melalui membran ke titik kesetimbangan di kedua sisi membran. Meskipun sistem ini dimediasi pembawa dan spesifik, tidak ada energi yang dikeluarkan dalam proses transportasi. Untuk alasan ini molekul gliserol tidak dapat terakumulasi melawan gradien konsentrasi.

Sistem transpor yang digerakkan oleh ion (IDT) dan Sistem transpor yang bergantung pada protein (BPDT) adalah sistem transpor aktif yang digunakan untuk transpor sebagian besar zat terlarut oleh sel bakteri. IDT digunakan untuk akumulasi banyak ion dan asam amino; BPDT sering digunakan untuk gula dan asam amino. IDT adalah proses simport atau antiport yang menggunakan ion hidrogen (H^+) yaitu *proton motive force* (PMF), atau beberapa kation lain, yaitu potensial kemiosmotik, untuk mendorong proses transportasi. Sistem IDT seperti permease laktosa *E. coli* memanfaatkan konsumsi ion hidrogen selama pengangkutan laktosa. Dengan demikian energi yang dikeluarkan selama transpor aktif laktosa adalah dalam bentuk pmf. Permease laktosa adalah polipeptida transmembran tunggal yang membentang membran tujuh kali membentuk saluran yang secara khusus menerima laktosa.

Binding-protein dependent transport systems (BPDT), seperti sistem transpor histidin pada *E. coli*, terdiri dari empat protein. Dua protein membentuk saluran membran yang memungkinkan lewatnya histidin. Protein ketiga berada di ruang periplasma di mana ia mampu mengikat asam amino dan meneruskannya ke protein lain yang memasukkan asam amino ke dalam saluran membran. Mengemudi zat terlarut melalui saluran melibatkan pengeluaran energi, yang disediakan oleh hidrolisis ATP.

Sistem translokasi kelompok (GT), lebih dikenal sebagai sistem Phosphotransferase (PTS) di *E. coli*, digunakan terutama untuk pengangkutan gula. Seperti sistem transportasi terikat protein yang mengikat, mereka terdiri dari beberapa komponen yang berbeda. Namun, sistem GT khusus untuk satu gula dapat berbagi beberapa komponennya dengan sistem transportasi kelompok lainnya. Pada *E. coli*, glukosa dapat diangkut melalui proses translokasi kelompok yang melibatkan sistem fosfotransferase. Pembawa sebenarnya dalam membran adalah saluran protein yang cukup spesifik untuk glukosa. Glukosa secara khusus

memasuki saluran dari luar, tetapi untuk keluar ke dalam sitoplasma, glukosa harus terlebih dahulu difosforilasi oleh sistem fosfotransferase. PTS memperoleh energi dari metabolisme antara fosfoenol piruvat (PEP). PEP dihidrolisis menjadi piruvat dan glukosa difosforilasi untuk membentuk glukosa-fosfat selama proses tersebut. Jadi, dengan pengeluaran satu molekul fosfat energi tinggi, glukosa diangkut dan diubah menjadi glukosa-fosfat.

Tidak seperti eukariota, bakteri tidak memiliki organel intraseluler untuk proses penghasil energi seperti respirasi atau fotosintesis. Sebaliknya, membran sitoplasma melakukan fungsi-fungsi ini. Membran adalah lokasi sistem transpor elektron (ETS) yang digunakan untuk menghasilkan energi selama fotosintesis dan respirasi dan merupakan lokasi enzim yang disebut ATP sintetase (ATPase) yang digunakan untuk menyintesis ATP. Ketika sistem transpor elektron beroperasi, ia membentuk gradien pH melintasi membran karena akumulasi proton (H^+) di luar dan ion hidroksil (OH^-) di dalam. Jadi bagian luar bersifat asam dan bagian dalam bersifat basa. Pengoperasian ETS juga membentuk muatan pada membran yang disebut gaya gerak proton (PMF). Muka bagian luar membran menjadi bermuatan positif sedangkan bagian dalam menjadi bermuatan negatif, sehingga membran memiliki sisi positif dan sisi negatif, seperti halnya baterai. PMF dapat digunakan untuk melakukan berbagai jenis pekerjaan termasuk rotasi flagela atau transpor aktif seperti yang dijelaskan di atas. PMF juga dapat digunakan untuk membuat ATP oleh enzim membran ATPase yang mengkonsumsi proton ketika menyintesis ATP dari ADP dan fosfat. Hubungan antara transpor elektron, pembentukan PMF, dan sintesis ATP selama respirasi dikenal sebagai fosforilasi oksidatif; fotosintesis disebut fotofosforilasi.

Membran plasma prokariota dapat berinvaginasi ke dalam sitoplasma atau membentuk tumpukan atau vesikel yang menempel pada permukaan membran bagian dalam. Struktur ini kadang-kadang disebut sebagai mesosom. Sistem membran internal tersebut dapat dianalogikan dengan krista mitokondria atau tilakoid kloroplas yang meningkatkan luas permukaan membran tempat enzim terikat untuk fungsi enzimatik tertentu. Aparatus fotosintesis (pigmen pemanen cahaya dan ATPase) dari prokariota fotosintesis terkandung dalam jenis struktur membran ini.

Mesosom juga dapat mewakili daerah membran khusus yang terlibat dalam replikasi dan segregasi DNA, sintesis dinding sel, atau peningkatan aktivitas enzimatik. Lipatan membran dan vesikel terkadang muncul dalam mikroskop elektron sel prokariotik sebagai artefak teknik persiapan. Struktur membran ini, tentu saja, bukan mesosom, tetapi keberadaan mereka tidak membuktikan bahwa mesosom tidak ada dalam prokariota, dan ada beberapa contoh topologi dan penampilan membran prokariotik yang menunjukkan mesosom. Ada beberapa antibiotik (misalnya polimiksin), agen hidrofobik (misalnya garam empedu), dan protein (misalnya komplemen) yang dapat merusak membran bakteri.

Periplasma

Antara membran dalam (plasma) dan luar bakteri Gram-negatif dan spirochetes adalah ruang yang disebut periplasma atau ruang periplasmik. Sebenarnya, lembaran peptidoglikan berada di dalam periplasma. Periplasma adalah kompartemen sel yang sangat aktif, mengandung enzim untuk perakitan dinding sel dan komponen membran, berbagai enzim degradatif atau detoksifikasi, sistem sekresi, protein penginderaan untuk kemotaksis dan transduksi sinyal, dan protein pengikat untuk zat terlarut yang diambil oleh sistem transportasi BPDT. Komponen periplasma dibutuhkan di wilayah sel ini dan dibatasi atau “terjebak” oleh dua membran sel. Dalam kasus spirochetes, flagela mereka (disebut endoflagela atau *flagella periplasmic*) berputar di dalam periplasma dan memberikan karakteristik rotasi spirochete yang lentur dan seperti sekrup dari motilitas spirochete.

Sitoplasma

Sitoplasma sel bakteri terdiri dari larutan berair dari tiga kelompok molekul: makromolekul seperti protein (enzim), mRNA dan tRNA; molekul kecil yang merupakan sumber energi, prekursor makromolekul, metabolit atau vitamin; dan berbagai ion anorganik dan kofaktor. Komponen struktural utama yang ditemukan dalam sitoplasma adalah nukleoid dan ribosom, dan mungkin beberapa jenis inklusi. Sitoplasma prokariota lebih mirip gel daripada eukariota dan proses aliran sitoplasma, yang terbukti pada eukariota, tidak terjadi. Kromosom bakteri (nukleoid)

biasanya satu molekul DNA melingkar besar, kurang lebih bebas di sitoplasma, meskipun melingkar dan superkoil dan ditambatkan oleh protein. Prokariota terkadang memiliki potongan DNA ekstrachromosomal yang lebih kecil yang disebut plasmid. Kandungan DNA total prokariota disebut sebagai genom sel. Kromosom sel adalah pusat kendali genetik sel yang menentukan semua sifat dan fungsi bakteri. Selama pertumbuhan dan pembelahan sel, kromosom prokariotik direplikasi secara semikonservatif untuk membuat salinan molekul yang tepat untuk didistribusikan ke sel keturunan. Namun, proses eukariotik meiosis dan mitosis tidak ada pada prokariota. Replikasi dan segregasi DNA prokariotik dikoordinasikan oleh membran dan berbagai protein dalam sitoplasma.

Penampilan granular yang berbeda dari sitoplasma prokariotik disebabkan oleh keberadaan dan distribusi ribosom. Ribosom tersusun atas protein dan RNA. Ribosom prokariota lebih kecil dari ribosom sitoplasma eukariota. Ribosom prokariotik berukuran 70S, terdiri dari subunit 30S dan 50S. Ribosom 80S eukariota terdiri dari subunit 40S dan 60S. Ribosom terlibat dalam proses translasi (sintesis protein), tetapi beberapa detail aktivitasnya berbeda pada eukariota, bakteri, dan *archaea*. Ribosom 70S yang terjadi di mitokondria eukariotik dan kloroplas mengandung *ssrRNA* yang terkait erat dengan RNA ribosom bakterinya diambil sebagai garis utama bukti bahwa organel ini diturunkan dari prokariota. Sering terkandung dalam sitoplasma sel prokariotik adalah satu atau lain dari beberapa jenis granula inklusi. Inklusi adalah butiran berbeda yang dapat menempati sebagian besar sitoplasma. Butiran inklusi biasanya merupakan bahan cadangan. Misalnya, cadangan karbon dan energi dapat disimpan sebagai glikogen (polimer glukosa) atau sebagai butiran asam Polibetahidroksibutirat (sejenis lemak). Inklusi polifosfat adalah cadangan PO_4 dan mungkin energi, unsur belerang (butiran belerang) disimpan oleh beberapa prokariota fototrofik dan beberapa litotrofik sebagai cadangan energi atau elektron. Beberapa badan inklusi sebenarnya adalah vesikel membran atau intrusi ke dalam sitoplasma yang mengandung pigmen atau enzim fotosintesis.

Endospora

Struktur bakteri kadang-kadang diamati sebagai inklusi sebenarnya adalah jenis sel tidak aktif yang disebut endospora. Endospora dibentuk oleh beberapa kelompok Bakteri sebagai struktur intraseluler, tetapi akhirnya dilepaskan sebagai endospora bebas. Secara biologis, endospora adalah jenis sel yang menarik. Endospora tidak menunjukkan tanda-tanda kehidupan, digambarkan sebagai kriptobiotik. Mereka sangat tahan terhadap tekanan lingkungan seperti suhu tinggi (beberapa endospora dapat direbus selama berjam-jam dan mempertahankan viabilitasnya), iradiasi, asam kuat, desinfektan, dan lain-lain. Mereka mungkin merupakan sel paling tahan lama yang diproduksi di alam. Meskipun kriptobiotik, mereka mempertahankan viabilitas tanpa batas sehingga di bawah kondisi lingkungan yang sesuai, mereka berkecambah kembali menjadi sel vegetatif. Endospora dibentuk oleh sel vegetatif sebagai respons terhadap sinyal lingkungan yang menunjukkan faktor pembatas untuk pertumbuhan vegetatif, seperti kehabisan nutrisi penting. Mereka berkecambah dan menjadi sel vegetatif ketika stres lingkungan dihilangkan. Oleh karena itu, pembentukan endospora adalah mekanisme bertahan hidup daripada mekanisme reproduksi.

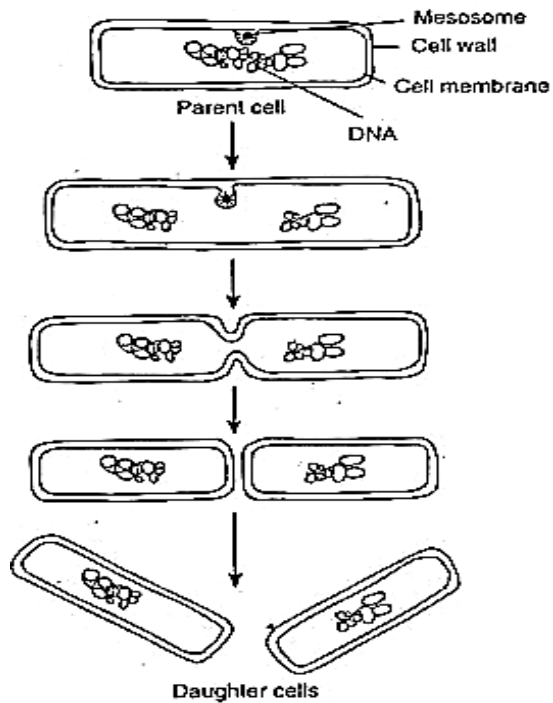
E. Reproduksi Bakteri

Bakteri berkembang biak secara aseksual dengan pembelahan biner (satu sel membelah menjadi dua). Ketika kondisi lingkungan memungkinkan, metode pembelahan biner dari reproduksi bisa sangat cepat, menimbulkan populasi sel yang besar yang membantu bakteri menyerang tanaman. Misalnya, beberapa sel membelah setelah setiap 20 atau 30 menit. Ini adalah salah satu karakteristik penting yang harus kita ingat ketika memikirkan bagaimana kita dapat mengendalikan patogen ini secara efektif. Strategi yang baik adalah dengan menolak mereka dari kondisi yang dapat mendukung perkalian mereka. Angka penting dalam fungsi bakteri. Misalnya, biasanya bakteri lebih efektif dalam menyebabkan penyakit ketika mereka mencapai populasi sekitar 1 juta sel per mililiter. Ketika kondisi menjadi tidak menguntungkan, yaitu sumber nutrisi menjadi membatasi, sel-sel bakteri mulai mati.

Adapun metode reproduksi bakteri yaitu sebagai berikut:

1. Pembelahan Biner

Dalam pembelahan biner, sel tunggal membelah menjadi dua sel yang sama. Awalnya sel bakteri mencapai massa kritis dalam struktur dan konstituen selulernya. Pembelahan biner DNA bakteri beruntai ganda melingkar mengalami replikasi, di mana untai terpisah dan untai komplementer baru terbentuk pada untai asli menghasilkan pembentukan dua untai ganda identik (Gbr. 15).



Gambar 15. Pembelahan Biner

Molekul DNA untai ganda yang baru, yaitu inti yang baru jadi, kemudian didistribusikan ke dua kutub sel yang membelah (tidak ada pembentukan spindle yang terjadi seperti pembelahan mitosis). Septum melintang berkembang di daerah tengah sel, yang memisahkan dua sel anak. Pembelahan biner adalah proses yang cepat dan sel mengalami

pembelahan dengan selang waktu 20-30 menit. Pembagian menjadi lambat secara bertahap setelah waktu tertentu karena penumpukan zat beracun dan habisnya nutrisi.

2. Pembentukan Konidia

Pembentukan konidia terjadi pada bakteri berfilamen seperti *Streptomyces* dan lain-lain, dengan pembentukan septum transversal di puncak filamen (Gbr. 2.21 A). Bagian dari filamen ini yang mengandung konidia disebut konidiofor. Setelah terlepas dari induknya dan bersentuhan dengan substrat yang sesuai, konidium berkecambah dan memunculkan miselium baru.

3. Budding

Sel bakteri mengembangkan pembengkakan kecil di satu sisi yang secara bertahap bertambah besar ukurannya (Gbr. 2.21 B). Bersamaan dengan itu nukleus mengalami pembelahan, di mana satu tetap dengan ibu dan satu lagi dengan sitoplasma pergi ke pembengkakan. Hasil ini adalah tunas, yang terpisah dari induknya dengan dinding partisi. Misalnya, *Hyphomicrobium vulgare*, *Rhodomicrobium vannielia*, dll.

4. Kista

Kista dibentuk oleh pengendapan lapisan tambahan di sekitar dinding induk. Ini adalah struktur istirahat dan selama kondisi yang menguntungkan mereka kembali berperilaku sebagai ibu, misalnya, banyak anggota *Azotobacter*.

5. Endospora

Spora terbentuk selama kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan seperti pengeringan dan kelaparan. Ketika spora terbentuk di dalam sel, mereka disebut endospora. Hanya satu spora yang terbentuk dalam sel bakteri. Saat berkecambah, itu menimbulkan sel bakteri.

a) Beberapa bakteri pembentuk endospora:

1. Gram-positif

□ Bacilli

- Obligate aerob. Misalnya, *Bacillus subtilis*, *B. anthracis*.

- Obligat anaerob. Misalnya, *Clostridium tetani*, *C. botulinum*.
 - Cocci. Misalnya, *Sporosarcina*.
2. Gram-negatif
- Bacillus. Misalnya, *Coxiella burnetii*.
 - Cocci. Misalnya, *Escherichia coli*.
- b) Beberapa bakteri anaerob non-sporing:
1. Gram-positif
- Bacilli
 - Lactobacillus
 - Propionibacterium
 - Bifidobacterium
 - Cocci
 - Peptokokus
 - Sarkina
 - Peptostreptococcus
2. Gram-negatif
- Bacilli
 - Fusobacterium
 - Leptotrichia
 - Bacteroides
 - Cocci
 - Acidoaminococcus
 - Veillonella
- c) Bentuk dan posisi endospora:

Spora bisa berbentuk oval atau bulat. Posisi, ukuran dan bentuk relatif tetap konstan pada spesies tertentu. Posisi spora mungkin sentral, subterminal atau terminal. Diameternya, mungkin sama atau lebih lebar (*Clostridium*) atau kurang (*Bacillus*) dari lebar sel bakteri tertentu. Perbedaan Posisi Endospora pada Sel Bakteri.

Endospora terdiri dari protoplas sentral, Inti terutama terdiri dari DNA, ribosom, t-RNA, enzim, dll. Inti ditutupi oleh membran tipis, yang disebut membran inti atau membran dalam atau membran sel germinal, dari mana dinding sel bakteri vegetatif masa depan berkembang ditutupi

oleh lapisan tebal, korteks dan kemudian lapisan spora luar tipis dan keras berlapis-lapis, yang dapat dibedakan menjadi lapisan bulu luar dan dalam. Pada beberapa spesies (*Bacillus thuringiensis*), itu ditutupi oleh penutup tambahan, yang disebut lapisan basal exosporium atau exosporium, yang tampaknya longgar.

Bakteri Endospora Pembentukan endospora tidak berlangsung selama fase pertumbuhan aktif. Sporulasi dimulai pada kondisi yang tidak menguntungkan bagi pertumbuhan karena kelaparan, pengeringan, suhu tinggi, dan lain-lain. Sporulasi juga dapat disebabkan oleh penipisan S, C, N, Fe dan PO₄ dari media kultur. Selama sporulasi, perubahan pertama yang dapat dideteksi adalah konversi nukleoid kompak menjadi filamen kromatin aksial. Kemudian septum melintang diletakkan ke arah satu kutub, yang memisahkan menjadi bagian kecil dan besar. Porsi kecil dengan sitoplasma dan DNA-nya membentuk spora ke depan, yang kemudian berkembang menjadi spora.

Membran dengan porsi besar secara bertahap tumbuh di sekitar spora ke depan. Spora depan bertambah besar, yang menjadi buram dan sangat bias, disebut endospora. Seluruh proses sporulasi berlangsung dalam 16 hingga 20 jam. Sel tempat spora terbentuk, disebut sporangium, yang tetap dapat hidup dalam waktu singkat setelah spora matang. Spora dibebaskan dengan autolisis sporangium. Spora dapat bertahan dalam berbagai kondisi buruk seperti panas, pengeringan, pembekuan, bahan kimia beracun, dan radiasi. Beberapa basil dapat menahan suhu lebih tinggi dari 150 ° C.

Reproduksi bakteri benar-benar aseksual, tetapi dapat mengalami reproduksi seksual dalam kasus yang sangat jarang. Potensi terjadinya rekombinasi genetik pada bakteri melalui konjugasi, transformasi, atau transduksi. Dalam kasus seperti itu, bakteri dapat menjadi resisten terhadap antibiotik karena ada variasi dalam materi genetik (berlawanan dengan reproduksi aseksual di mana materi genetik yang sama hadir dalam beberapa generasi)

IV.

PENGELOLAAN TERPADU PADA TANAMAN YANG DISEBABKAN OLEH BAKTERI

Penyakit yang disebabkan oleh bakteri patogen tanaman merupakan salah satu masalah paling utama bagi produktivitas pertanian. Banyak jenis tanaman diserang oleh patogen ini setiap musim dengan kerugian besar yang terjadi. Penyakit yang disebabkan oleh bakteri penting karena mereka umumnya memiliki cara pengelolaan yang lebih sedikit dibandingkan dengan jenis patogen lain, dan oleh karena itu dapat menimbulkan ancaman yang lebih serius bagi produksi tanaman. Bakteri patogen mampu menyebar dengan cepat dan sering terlambat terdeteksi ketika tanaman telah diserang dan kerusakan yang cukup parah telah terjadi. Infeksi juga mungkin laten dan hanya terdeteksi setelah bibit dipindahkan atau hasil panen sudah dikirim ke pasar. Oleh karena itu, penguatan kapasitas petani untuk mengidentifikasi dan secara efektif mengelola bakteri patogen tanaman sangat penting untuk pertanian yang berhasil dan menguntungkan.

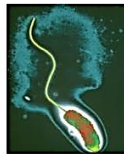
Bacterial Pathogens- CLASSIFICATION



Bacillus anthracis (anthrax)



Neisseria gonorrhoeae (gonorrhoea)
Source: CDC



Vibrio cholerae (cholera)



Hemophilus influenzae (pneumonia, meningitis)
Source: CDC

Gambar 16. Bakteri Patogen

Sumber: Google

Gejala penyakit bakterial sangat bervariasi, tetapi biasanya khas untuk patogen tertentu. Gejala dapat bervariasi dengan fotoperiode, varietas tanaman, suhu dan kelembaban, serta dosis infeksi. Dalam beberapa kasus, gejala dapat hilang atau menjadi tidak penting saat tanaman matang. Beberapa gejala umum ditunjukkan di bawah ini: *Wilts*, Bercak daun dan *Blights*, Busuk lunak. Misalnya, disebabkan oleh spesies *Eriwinia* pada kentang. Busuk hitam contohnya disebabkan oleh *Xanthomonas campestris* pada kubis. Keropeng, berbeda dengan virus yang menyerang bagian dalam sel tumbuhan yang terinfeksi, kebanyakan bakteri tumbuh di ruang antar sel dan jarang masuk ke dalam sel.

Beberapa bakteri menghasilkan senyawa toksik yang menyebabkan kematian sel. Beberapa spesies menghasilkan enzim yang memecah komponen struktural sel tumbuhan dan dindingnya, misalnya bakteri busuk lunak yang menyerang kentang. Beberapa spesies merusak tanaman dengan cara menjajah pembuluh penghantar air (xilem) sehingga menyebabkan tanaman yang terinfeksi menjadi layu dan layu seperti pada kasus layu bakteri pada tomat yang disebabkan oleh *Ralstonia solanacearum*. Beberapa spesies seperti *Agrobacterium* secara genetik memodifikasi inang mereka untuk membentuk pertumbuhan berlebih dari sel yang disebut empedu mahkota. Ini adalah kejadian umum pada tanaman mawar di Kenya.

A. Penyebaran dan Penyebaran Bakteri Patogen Tumbuhan

Patogen tumbuhan bakteri menyebar dengan berbagai cara. Sel-sel yang mengalir di permukaan tanaman terkena air hujan atau air irigasi. Dapat tertiuap angin dalam partikel tanah. Dapat disebarkan oleh vektor seperti burung, serangga atau hewan. Aktivitas manusia memangkas tanaman yang terinfeksi. Menanam benih atau bibit yang terinfeksi. Menggunakan air yang terkontaminasi untuk irigasi. Pembuangan sisa-sisa tanaman dan residu secara tidak benar. Terlepas dari bagaimana sel bakteri disebarluaskan, mereka membutuhkan lubang untuk masuk ke dalam jaringan tanaman. Pembukaan bisa berupa luka atau bukaan alami seperti stomata. Oleh karena itu, perlu untuk menghindari cedera pada tanaman jika risiko penyebaran bakteri tinggi, misalnya selama musim hujan. Air merupakan faktor yang sangat penting dalam penyebaran bakteri dan

kemampuannya untuk menjajah jaringan tanaman. Oleh karena itu perlu terjadi pembasahan jaringan tanaman yang intens ketika risiko penyakit bakteri tinggi.

Untuk sebagian besar populasi sel spesies bakteri harus meningkat sebelum proses infeksi dimulai. Diduga bahwa sel-sel dalam satu spesies berkomunikasi secara kimiawi satu sama lain (*quorum sensing*) dan mungkin juga dengan spesies lain. Bakteri penyebab penyakit tanaman diketahui mengatur dirinya sendiri dalam pertumbuhan padat biofilm yang melekat erat pada permukaan tanaman, berfungsi sebagai pelindung terhadap kondisi lingkungan yang merugikan dan memungkinkan sel untuk menghasilkan lingkungan yang mendukung untuk bertahan hidup dan menyebar. Di alam, bakteri patogen tanaman dapat bertahan hidup dengan berbagai cara yaitu:

1. Di puing-puing tanaman yang tertinggal di permukaan tanah atau terkubur di dalam tanah. Di dalam dan di atas biji.
2. Berkaitan dengan tanaman inang lain, seperti gulma atau spesies tanaman tahunan.
3. Beberapa bakteri juga dapat bertahan hidup di air.
4. Beberapa bertahan hidup pada benda mati, seperti *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*, agen penyebab busuk cincin kentang, terkenal karena bertahan hidup pada mesin dan bahan pengemas. Di dalam atau di dalam serangga. Pengelolaan penyakit tumbuhan *bacterial* Resistensi Inang Genetik

Menumbuhkan varietas tahan adalah strategi yang berguna dalam pengelolaan penyakit tanaman bakteri. Hemat biaya, tidak mencemari lingkungan, tidak membahayakan petani dan lebih berkelanjutan dalam jangka panjang. Petani harus didorong untuk mencari informasi tentang varietas pasar untuk menetapkan jenis yang tahan terhadap berbagai penyakit. Praktik budaya termasuk melakukan hal-hal yang dilakukan petani secara teratur saat mereka mengelola tanaman dan pertanian mereka. Praktik-praktik ini ramah lingkungan dan jika diterapkan dengan baik dapat menghemat biaya secara substansial.

Mereka didasarkan pada pilihan yang dibuat petani tentang operasi pertanian mereka sebagai berikut ini:

1. Pemilihan dan penanaman benih atau bahan perbanyak bebas bakteri dengan hati-hati. Program sertifikasi sedang diberlakukan untuk sebagian besar tanaman di Kenya, terutama untuk kentang yang terkait dengan *Ralstonia solanacearum*.
2. Praktik sanitasi yang rajin, seperti pembersihan alat yang digunakan dalam pemangkasan, buang dan buang kotoran atau residu lain yang mungkin terkontaminasi bakteri.
3. Pemilihan tanaman yang cermat yang ditanam dengan rotasi tanaman rutin untuk mengurangi penyebaran patogen.
4. Mencegah tanaman melukai yang bisa digunakan oleh bakteri untuk masuk.
5. Pengelolaan air irigasi yang cermat untuk meminimalkan percikan dan pembasahan tanaman yang berkepanjangan.
6. Paparan udara kering, panas, dan sinar matahari yang terlalu lama terkadang akan membunuh bakteri dalam bahan tanaman.

Antibiotik: Streptomisin dan/atau oksitetrasiklin juga dapat membantu membunuh atau menekan bakteri patogen tanaman jika diterapkan sebelum infeksi, tetapi tidak menyembuhkan tanaman yang sudah sakit. Insektisida dapat digunakan untuk mengendalikan vektor serangga dari bakteri patogen, atau serangga lain yang memakan tanaman yang menimbulkan luka yang dapat menjadi titik masuk. Persaingan antar spesies bakteri dapat menyebabkan penekanan beberapa spesies patogen. Penggunaan produk pengendalian antagonis atau biologis, seperti Blight Ban dan Agrosin K84 juga dapat efektif untuk mengelola penyakit bakteri pada tanaman. Penerapan karantina ketat yang mengecualikan atau membatasi masuknya atau pergerakan patogen atau bahan tanaman yang terinfeksi.

Memahami biologi bakteri tanaman penting untuk mengetahui pada tahap apa patogen diharapkan menyerang tanaman dan juga membantu dalam pengelolaan patogen tepat waktu. Diagnosis bakteri patogen tanaman yang benar didorong karena diagnosis yang salah dapat menyebabkan penyebaran patogen mudah dan pengelolaan menjadi mahal. Pengelolaan jamur patogen tanaman dapat dicapai melalui metode

resistensi inang, budaya, kimia dan biologi serta peraturan pemerintah. Biopestisida lebih dianjurkan dibandingkan dengan pestisida sintesis karena biopestisida ramah lingkungan dan manusia. Pengelolaan hama terpadu dianjurkan untuk bakteri patogen tanaman karena tidak ada satu pun pilihan pengelolaan yang efektif dengan sendirinya. Hama merupakan bahaya utama yang merusak tanaman dan mengubah upaya petani menjadi pemborosan waktu dan sumber daya. Dengan demikian, kendali mereka merupakan tugas penting yang memerlukan penanganan serius dan tanggapan tepat waktu. Pertanian menangani masalah ini dengan pengelolaan hama terintegrasi.

IPM adalah singkatan dari pengelolaan hama terintegrasi yang menggabungkan beberapa alat dan metode. Mengenai definisi pengelolaan hama terpadu, kita dapat menguraikannya sebagai langkah-langkah tertentu untuk menghilangkan, membunuh, atau mencegah nomor hama di area pertanian dengan bahaya minimal bagi alam, manusia, dan tanaman yang dilindungi. Istilah 'hama' tidak hanya berhubungan dengan hewan atau serangga, tetapi juga gulma dan penyakit. Kerusakannya berdampak sangat kuat pada hasil panen, dan terkadang, bibit hancur total. Hama menyerang tanaman dari mana-mana: tikus dan nematoda merusak akar di bumi, siput dan larva menghancurkan daun dan buah beri yang berasal dari tanah, dan burung memakan buah dan biji yang menyerang dari udara. Daftar tidak akan lengkap tanpa jamur, virus, bakteri, dan parasit lainnya, untuk menyebutkan beberapa.

Klasifikasi pestisida menampilkan beberapa kelompok organisme yang tidak diinginkan yang merusak tanaman, dengan jenis pestisida tertentu untuk masing-masing: herbisida, rodentisida, insektisida, penolak hewan, avicides, nematisida, larvasida, bakterisida, fungisida, zat antimikroba, dan lain-lain. Ciri utama dalam definisi pestisida adalah bahwa pestisida merupakan obat kimiawi. Penerapan bahan kimia untuk membunuh hama adalah praktik umum di banyak negara. Namun, ada beberapa alasan mengapa pertanian organik dan prinsip pertanian berkelanjutan merekomendasikan untuk menahannya:

1. Polusi lingkungan (tanah, udara, air), pestisida membutuhkan waktu untuk terpecah menjadi komponen yang tidak terlalu agresif, dan beberapa di antaranya cenderung menumpuk. Bahan kimia ini dicuci

dengan hujan, dipindahkan dengan air bawah tanah, menguap dari permukaan tanah dan masuk ke atmosfer saat disemprot dengan kendaraan udara berawak dan tak berawak.

2. Berbahaya bagi manusia, senyawa kimia berbahaya menyebabkan masalah kesehatan pada manusia. Bahaya bagi hewan, pestisida membunuh spesies non-target (menguntungkan atau tidak berbahaya) yang hidup di ladang atau kebun buah. Efek yang tidak diinginkan pada produk akhir-penggunaan yang berlebihan membakar daun dan akar, menyebabkan tanaman memudar, dan tanaman cenderung menyimpan pestisida dalam jumlah yang berbahaya lalu berimbas ke konsumen.
3. Resistensi hama, mengembangkan resistensi ketika zat diterapkan secara terus menerus. Itu membutuhkan dosis yang lebih besar dan jenis pestisida baru. Skenario berjalan paling buruk ketika hama merasakan racun dan lebih memilihnya daripada sumber nutrisi biasanya, di luar dugaan semua ilmuwan. Ekosistem berubah ketika salah satu elemen dalam rantai makanan dihancurkan.

B. Metode Pengendalian Hama Terpadu

Bahaya dari penerapan kimia pertanian menjelaskan mengapa ini adalah langkah terakhir yang diambil para agraria hanya ketika yang lainnya tidak efisien. Pendekatan untuk pengelolaan hama terintegrasi. Pengendalian biologis menyiratkan cara khas untuk memusnahkan hama seperti yang terjadi di alam. Predator membunuh mangsanya yang merusak tanaman, misalnya kepik mengurangi jumlah kutu. Cara ini juga melibatkan parasitoid, patogen, dan herbivora. Ini diterapkan baik dengan meningkatkan populasi predator di habitat primer mereka atau dengan mengimpor spesies bermanfaat dari daerah lain. Memanfaatkan sifat alelopati dan pembasmi hama pada akhirnya membantu dalam hal ini juga. Dengan semua keuntungan yang jelas, pendekatan ini juga memiliki kekurangan, yaitu predator “asing” mungkin tidak dapat mengatasi tugas tersebut. Hewan yang dibawa menjadi hama seiring waktu jika tidak ada musuh alami untuk mengendalikan populasinya di lingkungan baru, pengurangan spesies tertentu dapat menyebabkan invasi hama sekunder. Contoh terkenal dari kesalahan rantai makanan adalah impor kelinci ke

Australia. Seiring waktu, populasi mereka berubah menjadi gangguan nyata bagi para petani bersama kanguru atau dingo asli. Kodok tebu adalah kasus lain yang menggambarkan kegagalan pengendalian biologis dalam hal ini ketika menolak untuk berburu spesies target dan menjadi hama itu sendiri.

Namun, sejarah agronomi juga menunjukkan hasil yang efisien. Jumlah kelinci liar menurun secara signifikan dengan virus Myxomatosis yang ditularkan oleh nyamuk, asalkan daerah tersebut banyak terdapat di dalamnya. Di daerah yang jarang nyamuknya, gagasan itu dilaksanakan dengan virus yang dibawa oleh kutu. Pengelolaan hama terpadu yang canggih menggunakan solusi inovatif. Dengan demikian, perusahaan Israel BioBee berhasil membasmi lalat Buah Mediterania dengan teknologi serangga steril. Ini menetralkan laki-laki dan melepaskan mereka di alam. Perkawinan mereka dengan betina liar yang subur tidak menghasilkan keturunan yang hidup. Solusi ini sangat membantu pemilik kebun buah dan kebun anggur di Israel. Biopestisida adalah pengusir nyamuk alami yang mengandung ekstrak atau minyak tumbuhan. Obat klasik untuk mengatasi ngengat adalah aroma lavender.

Pengendalian fisik/mekanis meliputi pengolahan untuk memusnahkan gulma atau telur/larva, penutup/mulsa untuk menghilangkan pertumbuhan gulma dengan tidak adanya sinar matahari, pemindahan/pengambilan fisik, mengukus tanah untuk membunuh bakteri patogen penyebab penyakit tanaman, membuat layar untuk burung dan serangga, membangun pagar di sekitar ladang atau memasang perangkap sebagai penghalang alami bagi hewan liar, menempatkan orang-orangan sawah di ladang. Meskipun solusi ini terkadang memberikan hasil yang bermanfaat, namun mahal. Dalam kasus Australia, pagar tertinggi pun tidak akan menghalangi kanguru yang mampu melompat setinggi tiga meter.

Pengendalian budaya menggunakan rotasi tanaman ketika tanaman alternatif tidak tepat untuk hama yang merusak kelompok tanaman lain. Misalnya, hewan pengerat mengancam hasil biji-bijian, burung dan siput merusak stroberi, kumbang kentang menyerang kentang, tomat, dan terung. Jika habitat tidak dapat diterima dan tidak ada nutrisi yang disukai, hama akan pergi ke tempat yang lebih menguntungkan. Perubahan irigasi, kejenuhan air yang berlebihan memicu penyakit akar. Konservasi/

karantina tanaman pada saat tanaman diisolasi hingga cukup matang untuk menahan ancaman hama. Pengendalian kimiawi menyiratkan penggunaan pestisida ketika metode yang disebutkan di atas tidak dapat secara efisien memerangi invasi atau ketika penerapannya tidak mungkin dilakukan karena keadaan tertentu untuk meminimalkan bahaya bagi organisme nontarget (manusia, hewan, dan tanaman), memastikan efek yang tahan lama tanpa mengembangkan resistensi hama, perlakukan hanya area masalah, bukan seluruh bidang. Petani yang menggunakan pestisida di lapangan pemantauan tanaman memiliki rencana pengendalian hama yang efisien rencana pengelolaan hama terpadu mencakup beberapa langkah dasar yang umum di setiap situasi. Memeriksa area untuk keberadaan OPT dan menentukannya, manakah dari berikut ini yang bukan merupakan tanda kemungkinan infestasi OPT, spesies, jumlah, wilayah yang terinfestasi, dan volume kerusakan. Identifikasi bahaya hama membutuhkan pengambilan tindakan yang tepat untuk memberantas hama berbahaya, menggabungkan metode yang berbeda dan menghilangkan konsekuensi pengendalian kimiawi. Penilaian hasil memungkinkan pengambilan kesimpulan untuk memahami apakah pengobatan itu efisien atau tidak.

Pencegahan infestasi di masa depan akan menghemat biaya dan sumber Spesifikasi area yang terinfestasi dan aplikasi yang berbeda dari produk perlindungan tanaman meminimalkan kerusakan bagi manusia dan alam karena bahan kimia hanya digunakan jika diperlukan. Dengan demikian, Anda menyadari masalah tersebut begitu masalah itu muncul. Penilaian awal memungkinkan Anda untuk mengatasinya dengan segera dan menyelesaikannya dengan keberhasilan maksimum. Halaman ini memberikan gambaran umum tentang penyakit bakteri pada tanaman sayuran. Alat terkait yang tercantum di akhir halaman memberikan informasi rinci tentang identifikasi, gejala, dan pengelolaan penyakit bakteri. Penting untuk memiliki laboratorium diagnostik tanaman yang memastikan patogen yang menyebabkan penyakit pada tanaman sehingga penyakit tersebut dapat ditangani dengan tepat.

Bakteri patogen menyebabkan banyak penyakit serius pada sayuran. Mereka tidak menembus langsung ke dalam jaringan tanaman tetapi perlu masuk melalui luka atau bukaan tanaman alami. Luka dapat diakibatkan

oleh kerusakan oleh serangga, patogen lain, dan peralatan selama operasi seperti pemangkasan dan pemetikan. Bakteri hanya menjadi aktif dan menyebabkan masalah jika ada faktor yang kondusif bagi mereka untuk berkembang biak. Mereka bisa berkembang biak dengan cepat. Beberapa faktor yang mendukung infeksi meliputi: kelembapan tinggi, kesesakan, sirkulasi udara yang buruk, stres tanaman yang disebabkan oleh penyiraman yang berlebihan, penyiraman yang kurang, atau penyiraman yang tidak teratur, kesehatan tanah yang buruk, dan kekurangan atau kelebihan nutrisi.

Organisme bakteri dapat bertahan hidup di tanah dan sisa-sisa tanaman, serta di dalam biji dan bagian tanaman lainnya. Gulma dapat menjadi reservoir penyakit bakteri. Bakteri menyebar di benih yang terinfeksi, menyebarkan bahan dan sisa tanaman, melalui percikan air dan hujan yang didorong angin, serta peralatan dan tangan pekerja yang terkontaminasi. Irigasi *overhead* membantu penyebaran penyakit bakteri. Cuaca basah yang hangat mendukung perkembangan beberapa penyakit bakteri, sementara yang lain disukai oleh kondisi sejuk dan basah. Perkembangan sering terhambat oleh kondisi panas dan kering, tetapi dapat memperburuk gejala setelah tanaman terinfeksi (misalnya Layu bakteri yang disebabkan oleh *Ralstonia solanacearum*). Terkadang cairan bakteri dapat terlihat pada jaringan tanaman yang sakit. Namun, gejala penyakit bakteri mungkin bingung dengan gejala yang disebabkan oleh penyakit jamur. Jaringan yang sakit perlu diperiksa di laboratorium diagnostik tanaman untuk memastikan jenis patogen yang menyebabkan penyakit. *Strain* yang berbeda (pathovars-pv.) Dari penyakit bakterial mempengaruhi jenis tanaman sayuran yang berbeda atau menyebabkan penyakit yang berbeda pada tanaman yang sama. Contohnya, *Xanthomonas campestris* pv. *vitiensis* dalam selada dan *X. campestris* pv. *cucurbitae* di cucurbits; kacang *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* dan *P. syringae* pv. *phaseolicola* menyebabkan penyakit yang berbeda.

Jenis-jenis bakteri yang menyebabkan penyakit pada tumbuhan dan hewan serta cara penanganannya, antara lain:

1. *Erwinia amylovora*

Bakteri ini merupakan bakteri penyebab penyakit *wilt* pembuluh atau nekrotik kering pada tanaman, misalnya pada buah pir. Adapun gejala

serangan yang ditimbulkan berupa bercak (*blight*) pada daun, cabang, ranting dan lainnya. Terjadi busuk pada buah, akar serta bagian tempat penyimpanan zat makanan layu.

Cara penanganan yaitu dengan sistem irigasi yang baik, pemangkasan pohon secara teratur, pembersihan alat yang digunakan dengan klorin atau alcohol, dan tidak menanam kultivar tanaman yang rentan terhadap hama penyakit. Pengendalian secara kimiawi menggunakan bahan kimia yang mengandung senyawa tembaga antibiotik.

2. *Liberibacter asiaticum*

Bakteri ini menyebabkan penyakit CVPD (*Citrus Vein Phloem Degeneration*) adalah penyakit pada tanaman jeruk yang mengakibatkan daun jeruk menguning serta rusaknya pembuluh tapis sehingga pertumbuhan tanaman menjadi terhambat dan secara perlahan akan mati. Gejala yang ditimbulkan pada tanaman ditandai dengan belang-belang berwarna kuning pada daun dan pola tidak teratur, tidak simetris antara bagian kiri dan kanan daun.

Cara penanganan yaitu dengan melakukan penanaman bibit jeruk yang sehat dan bersertifikat, Pengendalian serangga vektor/penularan penyakit CVPD, yaitu serangga kutu loncat (*Diaphorina citri*) dengan menggunakan musuh alami, yaitu kepik merah.

3. *Pseudomonas Savastanoi* glycinea

Bakteri ini merupakan penyebab penyakit hawar pada kedelai. Gejala serangan berupa bercak cokelat kecil atau bintik-bintik pada daun, noda terus melebar sehingga tampak menyudut, tembus ke permukaan bawah daun dan muncul warna kuning. Bintik-bintik melebar dan akhirnya daun menguning, kering dan rontok. Penyakit ini akan menyebar dengan cepat pada kondisi cuaca lembap atau hujan. Cara penanganannya adalah dengan melakukan sanitasi lahan dengan cara membakar atau mengubur sisa tanaman yang sakit pada saat penyiapan lahan, melakukan rotasi tanaman, seperti merotasi kedelai dengan tanaman yang bukan inang bakteri, seperti padi, jagung, dan sereal lainya.

4. *Pseudomonas solanacearum*

Bakteri ini merupakan penyebab penyakit layu pada kacang tanah yang dapat menurunkan produksi hingga 60%. Gejala serangan pada tanaman muda adalah batang dan daun layu secara tiba-tiba tetapi daun lainnya tetap hijau, sedangkan pada daun tua daun menguning, layu, mati satu cabang, atau seluruh tanaman. Akar tanaman yang terinfeksi akan membusuk dan berubah warna menjadi cokelat. Cara penanganannya, yaitu dilakukan secara terpadu dengan kultur teknis dengan rotasi tanaman dan sanitasi tanaman, penggunaan varietas tahan, dan benih sehat (tidak terinfeksi).

5. *Ralstonia solanacearum* (*Pseudomonas solanacearum*)

Bakteri *Ralstonia solanacearum* menyebabkan penyakit layu bakteri pada tanaman kentang. Gejala serangan berupa layu daun tanaman kentang muda (umumnya terjadi pada tanaman berumur kurang dari 6 minggu). Pembuluh batang kentang berubah warna menjadi cokelat. Cara penanganannya adalah dengan menjaga lahan tetap bersih dari gulma dan memiliki sistem drainase yang baik. Usahakan agar tanah tidak terlalu lembap dan tidak menahan air dalam waktu lama. Hindari menumpahkan pupuk NPK atau pupuk kimia lainnya langsung pada akar tanaman, karena akan menyebabkan luka pada akar tanaman.

6. *Xanthomonas axonopodis* pv. *glisin*

Bakteri ini menyebabkan Pustula atau bisul pada kedelai. Gejala serangan yang muncul pada daun yang terinfeksi adalah bercak kecil atau bisul. Mula-mula bercak berwarna hijau pucat kemudian berubah menjadi cokelat. Gejala Pustula sering muncul selama fase berbunga sekitar 40 hari, dan daun muda paling rentan terhadap infeksi. Bakteri tidak hanya menyerang daun, tetapi juga menyerang polong dan biji kedelai. Yang dimaksud dengan benih yang terinfeksi biasanya tidak menunjukkan gejala kerusakan yang khas atau masih terlihat normal. Cara penanganannya hampir sama dengan penyakit hawar kedelai: Varietas tahan tanaman (Varietas Anjasmoro berdasarkan pengamatan lapangan menunjukkan agak rentan terhadap penyakit Pustula). Melaksanakan sanitasi lahan yaitu dengan cara membakar dan mengubur sisa tanaman yang sakit pada

kegiatan penyiapan lahan. Lakukan rotasi tanaman, seperti memutar kedelai dengan jenis bakteri bukan inang seperti jagung, padi, dan berbagai jenis tanaman sereal lainnya. Pengendalian secara biologis dan kimiawi.

7. *Xanthomonas campestris*

Bakteri *Xanthomonas campestris* menyebabkan penyakit busuk hitam pada tanaman kubis. Gejala serangan antara lain muncul di tepi daun, berlanjut sampai klorosis membentuk huruf V. Gejala yang timbul kering dan seperti terbakar (necrotizing), kemudian masuk melalui hidatoda, luka alami & luka mekanis. Cara penanganannya, yaitu pengobatan dengan air panas, kontrol tanaman, rotasi tanaman, penanaman varietas tahan, dan penyemprotan berbagai bakterisida Kode &&WP.

8. *Xanthomonas oryzae*

Bakteri ini menyebabkan penyakit pada berbagai jenis tanaman padi, yang dapat menurunkan tingkat produksi hingga 50%. Gejala serangan yang muncul adalah bercak kuning sampai putih dimulai dari terbentuknya garis lebam berair pada tepi helaian daun. Timbulnya bercak dimulai dari salah satu atau kedua tepi helaian daun, atau dapat pada bagian mana saja dari helaian daun yang rusak dan berkembang hingga menutupi seluruh helaian daun. Cara penanganannya yaitu diperlukan pengendalian hama terpadu yang meliputi cara budidaya dengan perlakuan benih yang baik, jarak tanam tidak terlalu rapat, pengairan berselang, dan pemupukan sesuai kebutuhan tanaman dan varietas tanaman.

C. Bakteri pada Hewan

Jenis bakteri yang dapat menyebabkan penyakit pada hewan, antara lain:

1. *Bacillus anthracis*

Bakteri ini merupakan bakteri Gram-positif berupa tangkai berukuran sekitar 1×6 mikrometer yang menyebabkan penyakit antraks atau sapi gila yang menyerang sapi, kerbau, domba, dan sebagainya. Gejala klinis yang muncul pada penyakit antraks tergantung pada jenis infeksiya dan dapat dimulai kapan saja, mulai dari 1 hari hingga lebih dari 2 bulan muncul. Berdasarkan jenis infeksiya, penyakit ini dapat dibedakan menjadi 3, yaitu antraks kulit, antraks inhalasi, dan antraks

gastrointestinal. Cara mengatasinya yaitu: Upaya pencegahan dan pengobatan dapat dilakukan dengan terapi antibiotik. Orang yang terkena antraks dapat diberikan antibiotik oral, biasanya amoksisilin, *ciprofloxacin*, atau doksisisiklin.

2. *Brucella*

Bakteri ini menyebabkan Brucellosis pada hewan ternak, seperti kambing dan sapi. Penyakit ini dapat menular ke manusia melalui konsumsi hewan ternak yang terkontaminasi. Bakteri *Brucella* dapat keluar dari tubuh sapi atau kambing melalui susu, urine, cairan plasenta, dan cairan lain dari tubuh hewan dalam arti hewan ternak. Gejala yang muncul jika terinfeksi adalah merasa lemas, pusing, berat badan menurun, nafsu makan menurun, nyeri punggung, nyeri seluruh sendi tubuh, demam, menggigil, dan berkeringat di malam hari. Cara penanganannya pasien diberikan antibiotik, seperti doksisisiklin atau rifampisin, untuk dikonsumsi minimal enam minggu.

3. *Chlamydophila psittaci*

Bakteri ini merupakan bakteri penyebab Psittacosis atau Ornithosi. Gejala klinis disebabkan oleh demam dan anoreksia. Setelah 2 minggu, bakteri dapat ditemukan dalam air liur. Hasilnya adalah adanya bintik-bintik inflamasi di paru-paru. Infeksi dapat menyebabkan diare, masalah pernapasan, konjungtivitis dan sekret hidung, enteritis, hepatitis, dan splenitis. Cara penanganannya, yaitu upaya pencegahan dan pengendalian dilakukan melalui tindakan biosekuriti dengan meningkatkan sanitasi dan kebersihan kandang. Pengobatan psittacosis dapat dilakukan dengan menggunakan *chlortetracycline* dengan dosis 2 mg/hari selama 21 hari. Pada kalkun dosisnya adalah 40 mg/L air minum selama 3 minggu.

4. *Haemophilus equigenitalis* atau *Taylorella equigenitalis*

Bakteri ini merupakan bakteri penyebab menular *Contagious Equine Metritis* (CEM) pada kuda. Penyakit ini menyerang sistem reproduksi yang sangat menular dan menyebabkan kegagalan sementara (majer/gabuk/gagal hamil). Gejala klinis adalah keputihan mukopurulen yang sedikit berlebihan dan servisititis dan vaginitis yang bervariasi.

Metode pengobatannya adalah pencucian disinfektan yang dikombinasikan dengan pengobatan antibiotik lokal dan sistemis untuk menghilangkan bakteri *T. equigenitalis*.

5. *Hemophilus gallinarum*

Bakteri ini merupakan bakteri penyebab penyakit Coryza, penyakit menular pada unggas yang menyerang sistem pernapasan. Gejala klinis yang timbul berupa eksudat yang berasal dari hidung yang awalnya berwarna bening dan berair, tetapi lama kelamaan menjadi kuning kental dan bernanah dengan bau yang khas. Di sekitar lubang hidung terdapat kerak eksudat berwarna kuning. Sinus intraorbital membengkak parah, unilateral atau bilateral. Cara penanganannya, yaitu melakukan sanitasi dan pengelolaan ternak yang baik. Pengobatan kawanan dengan sulfonamida atau antibiotik dianjurkan. Ada berbagai sulfonamida seperti *sulfadimethoxine*, *sulfaquinoxaline*, *sulfamethazine* yang semuanya efektif, tetapi *sulfadimethoxine* adalah obat yang paling aman.

6. *Pasteurella multocida* (*P. multocida*)

Bakteri ini menyebabkan kolera burung, penyakit menular yang menyerang unggas peliharaan dan unggas liar dengan angka kesakitan dan kematian yang tinggi. Gejala klinis yang ditimbulkan pada awal wabah terjadi, yaitu angka kematian yang tinggi terutama kalkun. Bentuk akut penyakit ini ditandai dengan konjungtivitis dan keluarnya cairan dari mata. Cara penanganannya, yaitu pencegahan dan pengendalian dapat dilakukan dengan cara vaksinasi, sanitasi ternak, dan keberadaan hewan yang sakit harus segera dipisahkan dan diobati. Pengobatan bisa menggunakan antimikroba; *Sulfaquinoxalin* 0,05%, Sulfametasin dan natrium sulfametasin 0,5-1,0%, Streptomisin 000 mg, *Terramycin*.

7. *Salmonella*

Bakteri ini menyebabkan infeksi paratifoid (paratifoid) yang merupakan penyakit pada unggas (tetapi tidak termasuk bakteri *Salmonella pullorum* dan *Salmonella gallinarum*). Penyakit ini juga dikenal sebagai Salmonellosis. Gejala infeksi pada ayam dewasa umumnya tidak menunjukkan gejala klinis tertentu. Infeksi akut yang menyerang ayam

atau ayam dewasa jarang terjadi dalam kondisi alami. Gejala klinis yang tampak pada ayam yang terinfeksi *Salmonella typhimurium*, antara lain diare disertai depresi dan kelemahan umum, sayap menggantung dan bulu berdiri. Cara penanganannya adalah dengan mencegah masuknya *Salmonella* sp. menjadi kelompok ayam dengan praktik manajemen pemeliharaan yang optimal. Penggunaan obat yang dapat digunakan untuk ayam yang terserang Salmonellosis adalah antibiotik atau antibakteri.

V.

PENELITIAN-PENELITIAN YANG TERKAIT

A. Isolasi dan Pemilihan Bakteri Endofit untuk Pengendalian Penyakit Darah pada Tanaman Pisang

Isolasi dan seleksi bakteri endofit dalam pengendalian penyakit darah pada tanaman pisang. Penyakit darah pada tanaman pisang merupakan salah satu penyakit penting yang ada di Indonesia. Bakteri endofit merupakan kandidat potensial sebagai agen pengendali hayati penyakit darah, karena bakteri endofit berkoloni pada relung ekologi yang sama dengan patogen tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi bakteri endofit dari akar tanaman pisang, dan menganalisis kemampuan bakteri tersebut dalam menekan penyakit darah pada tanaman pisang. Sebanyak 90 isolat bakteri endofit diisolasi dari akar tanaman pisang. Rata-rata kepadatan populasi bakteri endofit bervariasi antara $6,0 \times 10^3$ - $4,2 \times 10^5$ cfu/g berat basah akar. Sebanyak 27 isolat bakteri endofit memiliki kemampuan antibiosis *in vitro* terhadap BDB. Berdasarkan pengamatan terhadap pertumbuhan tanaman dan penekanan penyakit darah, sebanyak 10 isolat mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman dan 4 isolat mampu menekan kejadian penyakit darah sebesar 66,67–83,33%.

Penyakit darah yang disebabkan oleh *Blood Disease Bacterium* (BDB) merupakan salah satu penyakit penting pada tanaman pisang di Indonesia (Supriadi, 2005). Infeksi BDB pada tanaman pisang dapat menyebabkan tanaman mati atau menghasilkan buah yang tidak dimakan. Daging pisang yang terinfeksi BDB menjadi berlendir yang mengandung banyak bakteri. Salah satu upaya pengendalian penyakit darah pada tanaman pisang adalah dengan aplikasi bakteri endofit. Menurut Kado (1992), bakteri endofit adalah bakteri yang hidup dalam jaringan tanaman tanpa merugikan bahkan memberikan banyak manfaat bagi tanaman inangnya. Bakteri endofit menjajah relung ekologi yang sama dengan patogen tanaman (terutama patogen layu vaskular) sehingga bakteri ini

lebih cocok sebagai kandidat agen pengendali hayati (Hallmann *et al.*, 1997). Bakteri endofit memiliki banyak efek menguntungkan pada tanaman inangnya, termasuk merangsang pertumbuhan tanaman (Sturz *et al.*, 1997; Sessitsch *et al.*, 2004; Adeline *et al.*, 2008; Olmar *et al.*, 2007; Chandrashekhara *et al.*, 2007), menginduksi ketahanan tanaman terhadap patogen tanaman (Chen *et al.*, 1995; Kavino *et al.*, 2007; Chandrashekhara *et al.*, 2007) dan memfiksasi nitrogen (Reinhold-Hurek & Hurek, 1998; Bashan & de-Bashan, 2005). Berdasarkan hasil penelitian Hadiwiyono (2010) ditemukan adanya perbedaan struktur komunitas bakteri endofit pada tanaman pisang yang terinfeksi BDB dengan gejala penyakit darah dengan pisang yang asimtomatik. Dilaporkan bahwa pada pisang terdapat bakteri endofit tertentu yang tidak bergejala penyakit darah, namun bakteri endofit tersebut tidak ditemukan pada pisang yang bergejala penyakit darah. Bakteri endofit ini diduga berperan dalam menghambat infeksi BDB pada tanaman pisang. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi isolat bakteri endofit dari tanaman pisang, menganalisis kemampuan antibiosis isolat bakteri endofit terhadap BDB, menganalisis pengaruh bakteri endofit terhadap pertumbuhan tanaman pisang, dan memilih bakteri endofit yang berpotensi mengendalikan penyakit darah pada tanaman pisang.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Husda Marwan, dkk. di Laboratorium Bakteriologi Tanaman Departemen Proteksi Tanaman IPB dan Rumah Kaca Institut Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik (BB-BIOGEN) Bogor dari Maret 2009 sampai September 2010. Isolasi Bakteri Endofit Akar Pisang. Bakteri endofit diisolasi dari akar beberapa jenis tanaman pisang yang tumbuh sehat dari sekitar perkebunan pisang yang terserang BDB dan akar tanaman pisang yang terserang BDB di wilayah Bogor. Isolasi bakteri endofit dilakukan dengan metode plating. Akar pisang dicuci dengan air mengalir untuk membersihkannya dari partikel lain yang menempel, dikeringkan dengan kertas tisu, dan ditimbang masing-masing 5 gram. Akar pisang disterilkan permukaannya menurut metode Sessitsch *et al.* (2004) dimodifikasi. Sterilisasi permukaan dilakukan secara berurutan dengan merendam akar pisang dalam 5% natrium hipoklorit + 0,25% Tween 20 selama 5 menit, dicuci 4 kali dengan akuades steril dan dinyalakan di atas lampu bunsen. Akar yang disterilkan

dipotong kecil-kecil menggunakan pisau skalpel steril dan dihancurkan dalam mortar menggunakan mortar steril. Akar yang telah dihaluskan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer yang berisi 45 ml akuades steril, kemudian diencerkan secara serial hingga 10⁻³. Sebanyak 100 l pengenceran 10⁻¹ dan 10⁻³ dikultur dalam media 50% Tryptic Soy Agar (TSA) dan diinkubasi pada suhu kamar selama 24-96 jam. Pengujian efektivitas sterilisasi permukaan dilakukan dengan mengkultur 100 l air cucian akar ke-4 pada media TSA dan diinkubasi pada suhu kamar selama 24-96 jam. Sampel air suling pencuci akar yang menunjukkan pertumbuhan mikroorganisme tidak dapat digunakan sebagai sampel isolat bakteri endofit. Pengamatan pertumbuhan bakteri endofit dilakukan pada 24, 48, dan 96 jam setelah inkubasi.

Pengamatan dilakukan terhadap jumlah koloni bakteri yang tumbuh dan jenis morfologi koloni (Habazar & Rivai, 2004). Koloni tunggal dari setiap sampel akar tanaman pisang yang menunjukkan tipe morfologi berbeda dimurnikan dalam media 100% TSA dan disimpan sebagai isolat. Masing-masing isolat diuji reaksi hipersensitivitasnya pada daun tembakau. Uji Kemampuan Antibiosis Isolat Bakteri Endofit Terhadap BDB. Pengujian dilakukan pada media *Sucrose Peptone Agar* (SPA) menggunakan metode *Paper-Agar Diffusion* (Madigan *et al.*, 1997). Setiap isolat bakteri endofit dikultur pada media TSA selama 48 jam, kemudian disuspensikan dalam 10 ml akuades steril dan dihitung populasinya sehingga mencapai 10⁸-10⁹ cfu/ml (OD₆₀₀ = 0,16), sedangkan BDB dikultur dalam media SPA selama 76 jam, kemudian disuspensikan dalam 10 ml akuades steril dan dihitung populasinya sehingga mencapai 10⁸-10⁹ cfu/ml (OD₆₀₀ = 0,1). Sebanyak 100 l suspensi BDB ditebarkan secara merata pada permukaan media SPA dan dikeringkan di udara. Selanjutnya 5 lembar kertas saring steril berdiameter 5 mm diletakkan secara teratur pada permukaan media. Sebanyak 5 lembar kertas saring ditetesi 7,5 l suspensi bakteri endofit yang berbeda dan 1 lembar kertas saring ditetesi 7,5 l akuades steril sebagai kontrol. Pengamatan dilakukan terhadap adanya zona bening di sekitar kertas saring yang merupakan reaksi penghambatan bakteri endofit terhadap BDB.

Seleksi Antagonis Bakteri Endofit terhadap Penyakit Darah.

Seleksi dilakukan terhadap 30 isolat bakteri endofit yang menunjukkan kemampuan antibiosis terhadap BDB dan isolat bakteri endofit yang dominan dalam satu komunitas berdasarkan frekuensi kemunculan isolat tersebut. Percobaan ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan tiga ulangan, setiap unit perlakuan terdiri dari 4 bibit pisang. Inokulasi BDB pada tanaman yang telah diberi perlakuan isolat bakteri endofit menggunakan dua cara (Rustam, 2007), yaitu (1) Injeksi suspensi BDB pada gulma pisang dan (2) melukai akar dan menyiram suspensi BDB. Bibit pisang yang digunakan adalah pisang Cavendish hasil kultur jaringan dari BIOTROP Bogor yang telah diaklimatisasi selama 2 bulan. Bibit pisang dipilih untuk mendapatkan bibit dengan tinggi dan jumlah daun tanaman yang seragam. Bersihkan akar bibit dari kotoran media persemaian dengan air mengalir dan biarkan mengering. Bakteri endofit yang digunakan dalam pengujian ini dipropagasi pada media TSA dalam cawan petri dan diinkubasi selama 48 jam pada suhu kamar, kemudian ditambahkan 10 ml akuades steril. Populasi suspensi bakteri dihitung dan diencerkan sehingga populasinya mencapai 10^8 - 10^9 cfu/ml. Benih terpilih direndam dalam 750 ml suspensi bakteri endofit selama 6 jam (dimodifikasi oleh Kavino *et al.*, 2007), sedangkan tanaman kontrol direndam dalam akuades steril. Bibit yang telah diinokulasi bakteri endofit ditanam dalam pot plastik (diameter 17 cm) dengan media tanam berupa campuran tanah humus steril dan sekam bakar (rasio 2:1 v/v). Penyiraman media tanam dengan sisa suspensi bakteri endofit hasil perendaman. Pemeliharaan bibit dilakukan selama 8 minggu untuk proses kolonisasi bakteri endofit pada bibit pisang. Selama proses kolonisasi pada bakteri endofit, dilakukan pengamatan terhadap pertumbuhan tanaman (pertambahan tinggi dan jumlah daun tanaman) untuk mengetahui pengaruh perlakuan bakteri endofit terhadap pertumbuhan tanaman pisang. Dilakukan Inokulasi BDB pada bibit pisang 8 minggu setelah introduksi bakteri endofit (Kasutjianingati, 2004).

Metode inokulasi BDB pada gulma pisang dilakukan dengan menyuntikkan 2 ml suspensi BDB 10^8 - 10^9 cfu/ml menggunakan jarum suntik steril (5 ml) ke dalam gulma pisang. Metode penyemprotan suspensi BDB pada akar dilakukan dengan cara melukai akar tanaman pisang

dengan pisau skalpel steril, kemudian 25 ml suspensi BDB 108–109 cfu/ml ditetaskan ke dalam tanah di sekitar akar luka. Pengamatan dilakukan pada masa inkubasi penyakit darah dan persentase kejadian penyakit darah. Persentase kejadian penyakit dihitung dengan menggunakan rumus $KjP = (a/b) \times 100\%$, di mana KjP adalah kejadian penyakit layu (%), a adalah jumlah tanaman yang menunjukkan gejala penyakit darah dalam satu perlakuan, dan b adalah jumlah tanaman yang diinokulasi dengan BDB pada perlakuan dengan cara yang sama. Data observasi dianalisis secara statistik dan perlakuan yang berpengaruh nyata diuji lebih lanjut oleh Dunnett pada taraf 5%.

Isolasi Bakteri Endofit dari Akar Tanaman Pisang.

Hasil isolasi bakteri endofit akar tanaman pisang diperoleh 90 isolat bakteri endofit yang terdiri dari 33 isolat pisang kepok, 31 isolat pisang raja, dan 26 isolat pisang ambon. Kepadatan populasi bakteri masing-masing tanaman sampel berkisar antara $6,0 \times 10^3$ hingga $4,2 \times 10^5$ cfu/g berat basah akar. Menurut Hallmann (2001) dan Zinniel *et al.* (2002), kepadatan populasi bakteri endofit tergantung pada jenis tanaman, umur tanaman, jenis jaringan (akar, batang, dan daun), habitat, dan faktor lingkungan. Pengaruh jenis tanaman pisang terhadap kepadatan populasi bakteri endofit dapat dilihat pada sampel pisang raja dan lumut ambon dari kebun PKBT IPB. Rata-rata kepadatan populasi bakteri endofit dari sampel pisang raja (RB1, RB2, dan RB3) lebih tinggi dibandingkan dengan lumut Ambon (AL1, AL3, AL4, dan AL5).

Berdasarkan jenis tanaman pisang, kepadatan populasi bakteri endofit pada pisang raja ($1,09 \times 10^5$ cfu/g berat basah akar) lebih tinggi dibandingkan pisang kuning kepok ($5,15 \times 10^4$ cfu/g berat basah akar) dan pisang ambon. pisang ($4,09 \times 10^4$ cfu/g berat basah akar). Hal ini senada dengan Harni (2010) yang melaporkan bahwa kepadatan populasi bakteri endofit pada nilam dipengaruhi oleh varietas nilam. Selanjutnya, Hung & Annapurna (2004) menemukan variasi bakteri endofit pada tanaman kedelai jenis *Glycine max* dan *G. soja*. Uji Kemampuan Antibiosis Isolat Bakteri Endofit Terhadap BDB. Hasil uji antibiosis terhadap 90 isolat bakteri endofit terhadap BDB menunjukkan bahwa sebanyak 27 isolat (30%) memiliki kemampuan antibiotik terhadap BDB dengan berbagai

diameter hambatan. Diketahui bahwa beberapa isolat bakteri endofit yang diisolasi dari tanaman pisang bersifat antagonis terhadap BDB, Long *et al.* (2004) menunjukkan bahwa 13 isolat bakteri endofit (35%) dari *Solanum* sp. antibiosis terhadap *Ralstonia solanacearum* dalam pengujian *in vitro*. Berdasarkan hasil pengujian aktivitas antibakteri secara *in vitro*, beberapa isolat bakteri endofit dari tanaman kentang merupakan antibiotik terhadap *Streptomyces* sp. dan *Xanthomonas* sp. (Sessitsch *et al.*, 2004). Nawangsih (2007) menyatakan bahwa isolat bakteri endofit CA8 (genus *Bacillus*) dan PK5 (genus *Pseudomonas*) yang diisolasi dari sampel tanaman pisang mampu menekan perkembangan BDB secara *in vitro*.

Senyawa antibiotik yang dihasilkan oleh bakteri antagonis dapat bertindak langsung sebagai bakterisida terhadap bakteri patogen dan agen penginduksi (*elicitor*) ketahanan tanaman terhadap penyakit (Lyon, 2007). Pada bakteri endofit, senyawa antibiotik yang mereka hasilkan dianggap lebih bertindak sebagai *elicitor* untuk menginduksi resistensi tanaman daripada bertindak langsung sebagai bakterisida di mana bakteri endofit memerlukan kontak langsung dengan patogen tanaman. Hal ini dikarenakan populasi bakteri endofit pada jaringan tanaman lebih sedikit dibandingkan populasi patogen sehingga kemampuan bakteri endofit untuk melakukan kontak langsung dengan patogen kurang. Selain itu, antibiotik yang dihasilkan oleh bakteri endofit dalam jumlah banyak dalam jaringan tanaman dapat memberikan efek negatif terhadap pertumbuhan tanaman. Mourhofer dkk. (1995) memberitahukan bahwa antibiotik pyoluteorin dan 2,4-diacetylphloroglucinol (DPAG) yang dihasilkan oleh *Pseudomonas spp.* bersifat fitotoksik pada konsentrasi tinggi.

Pengaruh Bakteri Endofit terhadap Pertumbuhan Tanaman Pisang.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa inokulasi bakteri endofit berpengaruh nyata terhadap pertambahan tinggi dan jumlah daun tanaman pisang Cavendish. Berdasarkan analisis pertambahan tinggi dan jumlah daun pisang diketahui bahwa 11 isolat bakteri endofit (36,7%) mampu meningkatkan pertambahan tinggi tanaman dan 12 isolat (40%) mampu meningkatkan jumlah daun. Sessitsch dkk. (2004) melaporkan bahwa 40% bakteri endofit yang diisolasi dari tanaman kentang mampu merangsang pertumbuhan *plantlet* kentang. Dari hasil penelitian Adeline *et al.* (2007)

menunjukkan bahwa bakteri endofit *Serratia* sp. yang diisolasi dari pisang liar dapat meningkatkan pertumbuhan *plantlet* pisang Barangan kultivar Intan. Harni (2010) menyampaikan bahwa 26 isolat bakteri endofit yang diisolasi dari tanaman nilam mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman nilam (berat tajuk tanaman dan berat akar). Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa 20 isolat bakteri endofit (66,7%) yang diinokulasikan pada pisang Cavendish tidak mempengaruhi pertumbuhan tanaman pisang (netral). Menurut Bacon & Hinton (2007), interaksi antara tanaman inang dan bakteri endofit dapat bersifat netralisme (tidak berpengaruh pada tanaman inang), mutualisme (bermanfaat bagi tanaman inang dan bakteri endofit), atau komensalisme (bermanfaat bagi tanaman inang atau bakteri endofit). Berdasarkan variabel pertambahan tinggi dan jumlah daun pisang, sebanyak 10 isolat bakteri endofit (EAL09, EAL11, EAL15, EAL20, EKK11, EKK15, EKK22, ERB05, ERB06, dan ERB16 berpotensi sebagai zat pemacu pertumbuhan. untuk tanaman pisang, karena isolat tersebut secara konsisten mampu meningkatkan pertambahan tinggi dan jumlah daun tanaman pisang Cavendish. Hal ini diduga karena bakteri endofit dapat meningkatkan ketersediaan hara tertentu dan menghasilkan hormon pertumbuhan tanaman seperti auksin dan sitokinin menurut Bacon & Hinton (2007), bakteri endofit dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan meningkatkan ketersediaan unsur hara tanaman seperti nitrogen, fosfat, dan mineral lainnya, serta merangsang pertumbuhan tanaman dengan memproduksi hormon pertumbuhan seperti etilen, auksin, dan sitokinin.

Bakteri Endofit Berpengaruh terhadap Penyakit Darah pada Tanaman Pisang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan bakteri endofit berpengaruh nyata terhadap masa inkubasi dan kejadian penyakit darah pada tanaman pisang dari kedua metode inokulasi. Pada metode inokulasi BDB dengan cara penyuntikan ke gulma tanaman didapatkan 15 isolat bakteri endofit mampu memperlambat timbulnya gejala penyakit dan 7 isolat menekan kejadian penyakit dengan persentase penekanan sebesar 8,33–75,00%, sedangkan pada metode BDB metode inokulasi dengan luka akar dan penyiraman suspensi BDB Diketahui 27 isolat bakteri endofit

mampu memperlambat munculnya gejala penyakit dan 26 doa menekan timbulnya penyakit dengan persentase penekanan 16,67-83,33%. Perbedaan pengaruh metode inokulasi BDB terhadap kemampuan antagonis bakteri endofit terjadi karena metode inokulasi BDB pada tanaman pisang mempengaruhi fase patogenesis yang dilalui patogen, sehingga mempengaruhi kemampuan antagonis bakteri endofit dalam menekan munculnya gejala. Dan kejadian penyakit darah. Menurut Sinaga (2006), fase patogenesis dimulai dengan kontak inokulum pada permukaan jaringan inang (inokulasi), masuknya patogen ke dalam jaringan inang (penetrasi), infeksi patogen di dalam jaringan inang, kolonisasi patogen di jaringan inang, dan penyebaran (diseminasi) inokulum ke jaringan inang/tanaman lainnya. Metode inokulasi dengan menyuntikkan suspensi BDB ke dalam kumbang menyebabkan fase patogenesis BDB tidak terjadi secara alami, karena patogen langsung menginfeksi jaringan tanaman dan menjajah jaringan dengan populasi BDB yang disuntikkan ke kumbang. Pada percobaan metode inokulasi ini, kemampuan bakteri endofit dalam memperlambat munculnya gejala penyakit diduga disebabkan oleh adanya kemampuan antibakteri bakteri endofit terhadap BDB.

Metode inokulasi dengan melukai akar dan menyiram suspensi BDB menyebabkan fase patogenesis BDB berlangsung secara alami, karena patogen melewati fase patogenesis secara bertahap dan terus menerus sampai munculnya gejala penyakit. Hal ini memungkinkan bakteri endofit yang sudah ada dalam jaringan tanaman untuk melakukan berbagai kemampuan antagonis (antibiosis, kompetisi, dan induksi resistensi sistemis) terhadap BDB, mulai dari tahap awal patogenesis BDB. Aktivitas antagonis bakteri endofit pada percobaan metode inokulasi ini dapat dilihat dari perbedaan masa inkubasi penyakit dan persentase kejadian penyakit darah dengan metode inokulasi sebelumnya. Berdasarkan kemampuan menekan kejadian penyakit darah melalui metode inokulasi BDB yang telah dilakukan, diketahui bahwa isolat EAL15, EKK10, EKK20, EKK22 berpotensi untuk dikembangkan sebagai agen pengendali hayati penyakit darah pada tanaman pisang. Dengan tingkat penekanan terjadinya penyakit sebesar 66,67–83,33%. Haris dkk. (2008) melaporkan bahwa perlakuan kombinasi isolat bakteri endofit dan PGPR pada *plantlet* pisang mampu menurunkan kejadian penyakit Banana Bunchy Top Virus sebesar 20-80%.

Kesimpulan

Bakteri endofit yang diisolasi dari akar tanaman pisang adalah 90 isolat, 33 isolat pisang kepok, 31 isolat pisang raja, dan 26 isolat pisang Ambon. Kepadatan populasi bakteri endofit berkisar antara $6,0 \times 10^3$ - $4,2 \times 10^5$ cfu/g berat basah akar. Sebanyak 27 isolat memiliki kemampuan antibiosis in vitro terhadap BDB. Bakteri endofit mampu meningkatkan tinggi dan jumlah daun bibit pisang Cavendish. Hasil seleksi bakteri endofit terhadap penyakit darah diperoleh 4 isolat bakteri endofit yang berpotensi untuk mengendalikan penyakit darah pada tanaman pisang, yaitu: EAL15, EKK10, EKK20, dan EKK22 dengan tingkat penekanan kejadian penyakit sebesar 66,67-83,33%.

B. Efektivitas Aplikasi *Paenibacillus polymyxa* dalam Pengendalian Penyakit Darah Daun Bakteri pada Tanaman Padi Mekongga

Padi (*Oryza sativa* L.) di Indonesia merupakan komoditas strategis yang mempengaruhi berbagai aspek kehidupan, baik sosial, ekonomi dan budaya maupun politik. Sampai saat ini beras atau beras masih berperan sebagai makanan utama bahkan sebagai sumber perekonomian bagi sebagian besar penduduk di pedesaan (Mahmud dan Farida, 1995). Penyakit yang sering menyerang tanaman padi antara lain hawar daun bakteri (BLB). Penyakit ini tersebar luas di padi sawah dan dapat menurunkan hasil panen dari 36% menjadi 60%, tergantung tingkat kerusakannya. Penyakit ini umumnya terjadi pada musim hujan atau musim kemarau basah, terutama pada lahan sawah yang selalu tergenang dengan pemupukan N yang tinggi (BPTPH, 2007). Hawar daun bakteri merupakan penyakit yang menyerang tanaman padi dan penyebabnya adalah *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae* Dye, yang dapat menginfeksi tanaman padi pada berbagai tahap pertumbuhan. Gejala penyakit ini dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu gejala layu (kresek) pada tanaman muda atau tanaman dewasa yang rentan, gejala hawar daun, dan gejala daun kuning pucat (BPTPH, 2007). *Paenibacillus polymyxa* merupakan bakteri non patogen yang bermanfaat bagi kesehatan dan lingkungan. Bakteri ini menghasilkan antibiotik polimiksin.

Antibiotik adalah zat yang dihasilkan oleh mikroorganisme dan mempunyai daya untuk menghambat aktivitas mikroorganisme lain.

Dalam bidang pertanian, *Paenibacillus polymyxa* dapat ditemukan di tanah dan juga pada tanaman. Bakteri ini mampu memfiksasi nitrogen. Biofilm dari *Paenibacillus polymyxa* menunjukkan produksi eksopolisakarida pada akar tanaman yang dapat melindungi tanaman dari patogen. Hasil pengujian pada bakteri BB Biogen juga mengandung hormon pengatur giberelin. (Widarti dan Sugeng, 2014) menjelaskan bahwa *Paenibacillus polymyxa* merupakan agen hayati dari jenis bakteri yang diperoleh secara alami di lapangan. Caranya adalah dengan mengisolasi daun padi sehat di antara daun padi yang terserang penyakit hawar daun bakteri (BLB). (PPPTP, 2009). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi agens hayati *Paenibacillus polymyxa* yang dapat menurunkan intensitas penyakit bakteri *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae* Dye, dan mengetahui pengaruhnya terhadap produksi padi sawah (*Oryza sativa* L.) varietas Mekongga.

Berdasarkan hasil penelitian Melissa Syamsiah, menyatakan bahwa intensitas serangan berdasarkan pengamatan pada umur 1 sampai 25 hari setelah tanam tidak menunjukkan intensitas penyakit hawar daun bakteri. Setelah umur padi 26 sampai 89 hari setelah tanam, intensitas penyakit hawar daun bakteri mulai muncul. Ternyata agen biologis *Paenibacillus polymyxa* pada konsentrasi 1 ml L-1 air sampai 5 ml L-1 air dapat menekan perkembangan penyakit. Penyakit bakteri *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae* Pewarna mulai muncul pada umur 26 HST sampai 89 HST dan ditemukan pada setiap perlakuan.

Pada pengamatan selama 26–47 HST menjelaskan bahwa rata-rata intensitas penyakit *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae* Dye, tidak berbeda nyata antar perlakuan. Namun pada 54-89 HST pada tabel 1 terlihat bahwa intensitas serangan *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae* Dye. untuk kontrol berbeda nyata dengan 5 perlakuan lainnya. Intensitas penyakit bakteri berkisar antara 11,11% hingga 34,44%. Intensitas serangan yang tertinggi terjadi pada perlakuan kontrol (tanpa aplikasi) sebesar 34,44%. Pada intensitas penyakit BLB pada perlakuan B (1 ml L-1) sebesar 16,67%, Intensitas penyakit BLB pada perlakuan C (2ml L-1) dengan jumlah sebesar 14,44%. Intensitas penyakit BLB pada perlakuan D (3ml L-1) dengan jumlah sebesar 14,44%. Intensitas penyakit BLB pada perlakuan E (4ml L-1) dengan jumlah sebesar 13,33%. Intensitas penyakit

BLB pada perlakuan F (5ml L-1) dengan jumlah sebesar 11,11%. Bakteri antagonis *Paenibacillus polymyxa* memiliki cara kerja yaitu dengan Antibiosis (Widarti dan Sugeng, 2014). Antibiosis adalah bakteri *Paenibacillus polymyxa* yang mengeluarkan toksin (antibiotik) berupa *polymyxin* yang mempunyai efek penghambatan terhadap aktivitas mikroorganisme lain. Berdasarkan cara kerja bakteri *Paenibacillus polymyxa*, bakteri *Paenibacillus polymyxa* mulai dari dosis 1 ml L-1 air dapat menekan perkembangan penyakit bakteri *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae* Dye. dan konsentrasi *Paenibacillus polymyxa* terbaik dalam menekan intensitas serangan oleh *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae* Dye. adalah konsentrasi F (5ml L-1 air). Diduga bakteri *Paenibacillus polymyxa* yang diaplikasikan dapat berkembang biak pada tanaman padi. (Widarti dan Sugeng, 2014).

Konsentrasi optimum *Paenibacillus polymyxa* yang dapat menekan perkembangan *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae* Dye. adalah konsentrasi 5 ml L-1 air. Perlakuan ini mempengaruhi produksi padi varietas Mekongga dengan hasil terbesar sebesar 7,28 Kg (11.648 Kg ha-1 atau 11,65 Ton ha-1). Bakteri *Paenibacillus polymyxa* dapat digunakan sebagai agen alternatif untuk mengendalikan penyakit bakteri *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae* Dye. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada varietas padi lainnya.

C. Pengaruh Pupuk Cair terhadap Serangan Penyakit Layu Bakteri (*Ralstonia solanacearum*) pada Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) merupakan tumbuhan perdu tahunan, akar tunggang, permukaan batang ditumbuhi banyak bulu halus, daun berbentuk lonjong, bergerigi dan memiliki celah menyirip. Daun majemuk tersusun melingkar di sekitar batang. Bunganya berwarna kuning kecil. Buah muda berwarna hijau, seiring dengan proses pematangan warna buah yang tadinya hijau berangsur-angsur berubah menjadi kuning. Ketika buah sudah masak warnanya menjadi merah (Hanum, 2008). Penyebab penyakit layu bakteri pada tomat adalah *Ralstonia solanacearum* yang sebelumnya dikenal sebagai *Pseudomonas solanacearum* (Smith, 1995). Bakteri ini adalah patogen tanah dan air yang tidak berfluoresensi

dari keluarga Ralstoniaceae. *Ralstonia solanacearum* merupakan patogen yang memiliki kisaran inang yang luas lebih dari 200 spesies dari 53 famili yang berbeda. *R. solanacearum* memiliki efek mematikan pada sejumlah tanaman bernilai ekonomi tinggi. Tanaman inang yang paling penting dari bakteri *R. solanacearum* termasuk pisang (*Musa paradisiaca*), terung (*Solanum melongena*), tembakau (*Nicotiana tabacum*), kacang tanah (*Arachis hypogaea*), kentang (*S. tuberosum*), tomat (*Lycopersicon esculentum*) dan nilam (*Pogostemon cablin*). (Nasrun, 2007). Gejala awal yang ditimbulkan oleh serangan bakteri ini adalah beberapa daun muda layu, daun tua menguning, dan batang tanaman yang sakit cenderung membentuk lebih banyak akar adventif hingga tinggi bunga (Semangun 2007). Gejala serangan *R. solanacearum* secara umum adalah tanaman seperti kekurangan air, daun muda pada pucuk tanaman layu, dan daun tua atau daun bagian bawah menguning (Cavalcante et.al., 1995).

Hal ini disebabkan oleh bakteri menyerang pembuluh xilem (Agrios, 2005). *R. solanacearum* masuk dan menginfeksi luka akar, termasuk luka yang disebabkan oleh nematoda atau organisme lain. Selanjutnya bakteri masuk ke dalam jaringan tanaman bersama-sama dengan unsur hara dan air secara difusi dan mengendap di pembuluh xilem di ruang antar sel (Duriat, 1997). Bakteri berkembang biak melalui pembuluh xilem (Agrios, 2005), dan merusak sel tumbuhan yang ditempatinya sehingga pengangkutan air dan nutrisi terganggu oleh massa bakteri dan menghancurkan sel pembuluh xilem (Duriat, 1997). Rusaknya sel tumbuhan disebabkan bakteri melepaskan enzim yang merusak dinding sel tumbuhan yang mengandung selulosa dan pektin yang dikenal dengan enzim selulase dan pektinase. Akibat serangan ini, proses translokasi air dan unsur hara terganggu, sehingga tanaman layu dan mati (Agrios, 2005). Bakteri *R. solanacearum* umumnya masuk ke jaringan tanaman inang melalui luka yang terjadi selama budidaya melalui lubang alami (lentisel), melalui akar sekunder, melalui akar luka. Setelah masuk ke dalam tumbuhan, bergerak secara sistemik mengikuti aliran cairan dalam pembuluh xilem ke bagian tumbuhan lain (Yulianah, 2007).

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Aulya Retno Setyari, dkk. Hal ini dapat dilihat intensitas serangan bakteri *Ralstonia solanacearum* pada komponen dengan mengamati intensitas serangan penyakit layu

bakteri *Ralstonia solanacearum* berdasarkan gejala penyakit yang muncul berupa layu daun atau seluruh bagian tanaman. Intensitas serangan penyakit pada tanaman tomat merupakan salah satu faktor keberhasilan pertumbuhan tanaman. Pemberian pupuk cair akar 0,2% terbukti lebih efektif menekan penyakit layu bakteri *Ralstonia solanacearum* hingga 43,34% dibandingkan perlakuan kontrol 100% pada 13 jam. Diduga pupuk cair akar 0,2% mampu menghambat pertumbuhan patogen karena kandungan unsur B dalam pupuk tersebut mengentalkan dinding sel tanaman dan unsur Cu berperan dalam ketahanan kimia dalam tubuh tanaman, hal ini sejalan dengan penelitian Wijaya (2009) yang menyebutkan adanya unsur $\text{Cu}(\text{OH})_2$ yang dapat berfungsi sebagai basa kuat untuk membunuh penyakit yang masuk ke dalam tubuh tanaman.

Pada parameter pengamatan masa inkubasi, aplikasi pupuk cair daun dan pupuk cair akar memberikan respons positif. Hal ini sejalan dengan pendapat Rauf (2000) bahwa fungsi unsur K pada tanaman adalah membuat tanaman lebih tahan terhadap hama dan penyakit. Kalium secara langsung mempengaruhi berbagai tahap perkembangan dan keberadaan patogen pada pejamu dan secara tidak langsung mempengaruhi infeksi dengan mempercepat penyembuhan luka, dengan meningkatkan resistensi dan mengurangi infeksi yang biasanya menginisiasi dan jaringan mati (Agrios, 1996). Penyakit layu bakteri *Ralstonia solanacearum* menghasilkan enzim selulase dan poligalakturonase serta toksin ekstrapolisakarida. Enzim selulase mampu mendegradasi dinding sel tumbuhan menjadi glukosa yang dapat berfungsi sebagai makanan. Selain tanaman inang, penggunaan pupuk cair baik akar maupun daun dapat menjadi alternatif pakan bagi patogen *Ralstonia solanacearum*. Virulensi juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Penyakit layu bakteri *Ralstonia solanacearum*, lingkungan yang berpengaruh besar adalah suhu tanah. Menurut Goto (1992) patogen ini tidak menimbulkan gejala layu bakteri pada suhu tanah di bawah 21°C . Semakin tinggi suhu, semakin parah gejalanya dan pada tanaman tomat suhu tanah optimum adalah $22\text{-}32^\circ\text{C}$. Pada saat penelitian suhu tanah mencapai angka tertinggi yaitu $32\text{-}38^\circ\text{C}$, peningkatan virulensi diduga menjadi faktor tingginya intensitas serangan dan populasi bakteri di dalam tanah.

Hardjowigeno (2003) menyatakan bahwa daun memiliki stomata (mulut daun) yang dapat mempercepat penyerapan unsur hara sehingga perbaikan tanaman dapat terlihat lebih cepat. Selain itu, Tisdale dan Nelson (1975) menyatakan, kelebihan pupuk daun adalah menyuburkan tanaman dalam keadaan kekurangan air, meningkatkan jumlah dan kualitas hasil tanaman. Selain itu, pupuk daun ini dapat diaplikasikan bersamaan dengan pestisida. Menurut Karamina (2012) semakin sedikit pemupukan yang diberikan pada tanaman, semakin rentan tanaman tersebut terhadap penyakit layu bakteri *Ralstonia solanacearum*, pada daun terhambat dan kemungkinan daun akan jarang tumbuh. Pemberian pupuk daun pada fase vegetatif dapat memberikan pengaruh yang baik terhadap lingkungan tumbuh tanaman terutama dalam penyediaan unsur hara. Hal ini dikarenakan pupuk daun mampu mengoptimalkan penggunaan unsur hara makro terutama nitrogen yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan termasuk pembentukan daun (Anonim, 2001).

Kesimpulan

1. Pemberian pupuk cair baik akar maupun daun memberikan perbedaan nyata pada parameter tinggi tanaman dan jumlah daun pada setiap perlakuan dan semua waktu pengamatan. Pada tinggi tanaman, pemberian pupuk cair untuk akar dan daun tidak berpengaruh nyata terhadap umur tanaman pada 10 dan 13 dsi.
2. Aplikasi pupuk cair akar 0,2% mampu menekan penyakit layu bakteri akibat inokulasi bakteri *Ralstonia solanacearum* hingga 43,34% bila dibandingkan dengan tanaman kontrol 100% pada umur 13 dsi.

D. Pengaruh Aplikasi *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* tentang Perkembangan Penyakit Bulai yang Disebabkan oleh Patogen *Peronosclerospora maydis* pada Tanaman Jagung

Penyakit bulai merupakan penyakit penting pada tanaman jagung yang disebabkan oleh cendawan patogen *Peronosclerospora maydis*, dengan tingkat serangan 95%. *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* dikenal sebagai mikroorganisme antagonis. Bakteri ini mampu menghasilkan senyawa antibiosis seperti enzim kitinase yang dapat menghidrolisis dinding sel jamur, sideropori, dan antibiotik lain yang dapat menghambat

pertumbuhan patogen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi isolat *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* dalam menekan sporulasi, *Peronosclerospora* dapat mengganggu perkecambahan dan perkembangan penyakit bulai. *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* mampu menekan sporulasi jamur. Namun, hal itu tidak bisa menekan perkecambahan cendawan *Peronosclerospora maydis*. *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* mampu menekan penyakit bulai. Tingkat penekanan tertinggi terjadi pada isolat *Pseudomonas sp.* UB-PF5 sebesar 50%. Bakteri terbaik yang dapat merangsang pertumbuhan tanaman jagung adalah isolat *Pseudomonas sp.* UB-PF5 dan isolat *Bacillus sp.* UB-ABS1.

Bacillus sp. dan *Pseudomonas sp.* dikenal sebagai mikroorganisme antagonis yang digunakan sebagai agen biokontrol terhadap penyakit tanah dan udara. Bakteri ini dapat menghasilkan senyawa antibiosis seperti enzim kitinase yang dapat menghidrolisis dinding sel jamur (Wang dan Chang, 1997), siderofor, dan antibiotik lain yang dapat menghambat perkembangan patogen (Habazar dan Yaherwandi, 2006). Berdasarkan latar belakang tersebut, Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi beberapa isolat *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* dalam menghambat sporulasi dan perkecambahan jamur, serta menekan perkembangan penyakit bulai, yang disebabkan oleh jamur patogen *Peronosclerospora maydis*.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Wiwik Jatnika, dkk. Morfologi jamur dapat dilihat Terdapat konidiofor berbentuk batang, kemudian pada cabang pada ujungnya terdapat spora atau konidia, hingga membentuk batang konidia. Spora berbentuk bulat dan spora berkecambah membentuk pembuluh perkecambahan. Perlakuan bakteri antagonis mampu menghambat laju sporulasi jamur patogen *P. maydis*. *Bacillus sp.* terisolasi. UB-ABS2, UBABS3, UB-ABS4, UB-ABS5, dan isolat *Pseudomonas sp.* UB-PF5 setara dengan perlakuan fungisida dengan bahan aktif Dimetomorph 50% dalam menekan sporulasi *P. maydis*. *Pseudomonas sp.* terisolasi. UB-PF2 dan isolat *Bacillus sp.* UB-ABS1 menunjukkan kadar sporulasi yang tidak berbeda dengan perlakuan kontrol (P9) yang hanya diberi perlakuan aquades.

Hal ini sesuai dengan penelitian Alina *et al.*, 2012 bahwa bakteri *strain* *Bacillus* mampu menghambat sporulasi jamur patogen seperti

Fusarium. Selain itu, senyawa antibiosis dari *Pseudomonas sp.* dapat menghambat perkecambahan spora *Alternaria alternata*, *Fusarium moniliforme* dan *Colletotrichum acutatum* sebesar 82,7%, 67,6%, dan 67,3% (Kumar, 2011). Rata-rata sporulasi *P. maydis* dapat dilihat pada Tabel 3. Persentase Perkecambahan Spora *Peronosclerospora maydis* Aplikasi isolat bakteri antagonis *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* mampu menekan perkecambahan spora *P. maydis*. Hal ini diduga karena faktor kelembapan yang belum optimal sehingga berpengaruh pada fase transmisi selanjutnya. Perkecambahan membutuhkan suhu dan kelembapan yang tepat berupa lapisan air pada permukaan tanaman. Keadaan basah atau bentuk lapisan air ini harus bertahan cukup lama agar patogen dapat masuk atau menembus ke dalam sel atau jaringan. Jika hanya berlangsung sebentar, patogen akan mengering dan mati, sehingga gagal menyerang (Purnomo, 2006). Persentase data perkecambahan spora *P. maydis*. Penindasan gejala penyakit bulai mulai tampak pada pengamatan 7 hari setelah inokulasi. Pada pengamatan 14 jam, perlakuan bakteri mampu menekan serangan penyakit 14% sampai 43%. Pada pengamatan 21 ds, isolat *Bacillus sp.* mampu menekan penyakit bulai 16% sampai 37% dan isolat *Pseudomonas sp.* mampu menekan 33% sampai 50%, sedangkan fungisida dengan bahan aktif Dimetomorph 50% (P8) dapat menekan serangan penyakit bulai hingga 87%, sedangkan pada pengamatan 28 ds, bakteri antagonis mampu menekan serangan penyakit bulai oleh isolat *Bacillus sp.* 16% sampai 17% dan isolat *Pseudomonas sp.* 33% sampai 50%, dan fungisida dengan bahan aktif Dimetomorph 50% mampu menekan serangan penyakit bulai 87% dibandingkan kontrol (POB). Hal ini senada dengan penelitian El Mersawy, (2000) bahwa *Bacillus sp.* dapat mengurangi persentase serangan penyakit Downy mildew. Mekanisme pengendalian penyakit oleh bakteri bersifat langsung dan tidak langsung. Perlakuan terhadap bakteri antagonis seperti *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* dapat memberikan sistem pertahanan (*bioprotectant*), karena bakteri ini dapat mengeluarkan senyawa antibiosis yang mampu memberikan sinyal kepada tanaman yang diserang untuk mempertahankan diri.

Bakteri ini mampu menghasilkan senyawa yang dapat menghambat pertumbuhan jamur (Leong 1988 dalam Hamdan *et al.*, 1991). Haas dan Devago (2005), *Pseudomonas sp.* dapat melepaskan senyawa antibiotik,

siderofor, dan metabolit sekunder lainnya yang dapat menghambat aktivitas jamur. Selain itu, studi Sadoma *et al.*, (2011), penggunaan *Bacillus sp.* mampu menekan *P. maydis* yang menyebabkan penyakit bulai. Pada kondisi ini siderophore menginduksi tanaman untuk menghasilkan asam salisilat yang bertindak sebagai transduksi sinyal yang mengaktifkan gen yang menginduksi pembentukan resistensi didapat sistemik (SAR). Wahyuni (2001) juga menyatakan bahwa resistensi yang terbentuk efektif dalam menekan perkembangan patogen termasuk jamur, bakteri, dan virus (Chivasa *et al.*, 1997). Penekanan intensitas penyakit bulai juga berkaitan dengan kemampuan bakteri untuk menjajah daun dan menghasilkan senyawa metabolik sekunder yang dapat melindungi daun dari infeksi patogen. Penelitian Javandira (2013), menunjukkan bahwa rata-rata populasi *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* pada permukaan daun jagung pada 7 hari setelah aplikasi berada di atas 10 juta CFU per cm². Hasil ini menunjukkan bahwa bakteri *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* memiliki potensi epifit yang baik pada permukaan daun jagung. *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* termasuk bakteri filosfer, yaitu bakteri yang berada di permukaan tanaman dan berpotensi sebagai biokontrol. *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* juga sejauh ini diketahui mampu hidup di filosfer dengan rata-rata populasi 10⁶-10⁷ sel/cm² atau 10⁸ sel/Gram daun (Lindow dan Brandl, 2003). Kemampuan bakteri untuk beradaptasi, bertahan dari tantangan fisik di lingkungan filosfer merupakan faktor yang membedakan komposisi populasi (Meyer dan Leveau, 2012). Hasil penelitian Salerno dan Segardoy (2003) juga menunjukkan bahwa dari 175 isolat bakteri yang diisolasi dari filosfer daun tanaman kedelai, 51 isolat (29%) didominasi oleh *Bacillus sp.* Data rata-rata persentase dan penekanan penyakit bulai yang disebabkan oleh cendawan patogen *Peronosclerospora maydis* pada tanaman jagung.

Pertumbuhan Tanaman Jagung setelah Inokulasi Patogen *P. maydis*

Perlakuan *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung. Pada pengamatan 28 hari setelah inokulasi (hsi), perlakuan fungisida dengan bahan aktif 50% lebih tinggi dibandingkan kontrol tanpa inokulasi tanpa perlakuan (POA). Perlakuan *Bacillus sp.* UB-ABS1 juga menunjukkan hasil yang tidak berbeda dengan

perlakuan *Pseudomonas sp.* UB-PF5. Sedangkan tinggi tanaman *Bacillus sp.* UB-ABS2, UB-ABS3, UBABS4, UB-ABS5 dan isolat *Pseudomonas sp.* UB-PF2 tidak berbeda dengan kontrol yang diinokulasi tanpa perlakuan (POB). Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan bakteri antagonis *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* menunjukkan rerata pertumbuhan yang lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan kontrol tanpa inokulasi tanpa perlakuan (POA), namun lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan yang diinokulasi tanpa perlakuan (POB), hal ini dikarenakan perlakuan kontrol (POB) tidak diberikan perlakuan kontrol sedangkan perlakuan P1 sampai P7 diberikan pengobatan bakteri antagonis *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.*

Hatayama (2005), menyatakan bahwa PGPR seperti *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* mampu memberikan efek langsung yang dapat memicu pertumbuhan tanaman (biostimulan), sedangkan efek tidak langsung yaitu bakteri mampu menghambat pertumbuhan mikroba berbahaya seperti penyebab penyakit (patogen tanaman). Oleh karena itu, tanaman yang diberi perlakuan bakteri antagonis memiliki hasil tinggi tanaman yang lebih baik dibandingkan dengan tanaman yang diberi perlakuan bakteri antagonis mendukung pertumbuhan oleh PGPR (*Plant growth Promoting Rhizobacteria*) adalah ketika bakteri PGPR meningkatkan pertumbuhan tanaman dan ketahanan tanaman melalui kemampuan menghasilkan ZPT (*Growth Regulatory Substances*), pelarut fosfat yang dapat meningkatkan efisiensi pemupukan fosfat, kemampuan untuk menghasilkan antibiotik, menghasilkan siderophores., yang berperan dalam induksi resistensi atau peningkatan ketahanan tanaman terhadap hama. Hasil penelitian Masnilah *et al.*, (2006) menunjukkan bahwa perlakuan bakteri yang tergolong PGPR dapat meningkatkan pertumbuhan akar kedelai. Beberapa *Bacillus* dan *Pseudomonas* mampu melarutkan fosfat. Kehadiran bakteri ini dapat membantu melarutkan fosfat hingga 2-3 kali lebih banyak (Vessey, 2003). Pelarutan fosfat secara biologis terjadi karena mikroorganisme ini menghasilkan enzim termasuk enzim fosfatase (Lynch, 1983) dan enzim fitase (Alexander, 1977). Fosfatase adalah enzim yang diproduksi ketika ketersediaan fosfat rendah. Dalam proses mineralisasi bahan organik, senyawa fosfat organik dipecah menjadi bentuk fosfat anorganik yang tersedia bagi tanaman dengan bantuan enzim fosfatase (Paul dan Clark,

1989). Sehingga penyerapan unsur hara yang kurang tersedia pada tanaman dapat segera terpenuhi.

Kesimpulan

1. Pengobatan *Bacillus Pseudomonas sp.* dapat menekan sporulasi jamur patogen. Namun, tidak dapat menekan perkecambahan cendawan *Peronosclerospora maydis*.
2. Isolat *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* mampu menekan penyakit bulai. Tingkat supresi tertinggi pada isolat *Pseudomonas UB-PF5* adalah 50%.
3. Bakteri *Bacillus sp.* dan *sp.* dapat meningkatkan pertumbuhan jagung. Bakteri terbaik yang dapat merangsang pertumbuhan tanaman jagung adalah isolat *Pseudomonas UB-PF5* dan isolat *Bacillus ABS1*.

E. Potensi *Corynebacterium sp.* dan *Bacillus sp.* untuk Mengendalikan Penyakit Pustulik Bakteri pada Tanaman Kedelai

Serangan bakteri *Pustula* pada kedelai yang disebabkan oleh bakteri *Xanthomonas axonopodis* pv. *glisin* merupakan salah satu faktor yang menurunkan produksi kedelai di Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi antagonis *Corynebacterium sp.* dan *Bacillus sp.* dalam mengendalikan penyakit *Pustula* bakteri pada tanaman kedelai. Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu uji antagonis *in vitro* pada cawan Petri menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 8 perlakuan dan 4 ulangan, dan uji penekanan penyakit *Pustula* bakteri di rumah kaca menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan 8 perlakuan dan 4 ulangan. Aplikasi *Corynebacterium sp.* dan *Bacillus sp.* sebagai bakteri antagonis, dengan konsentrasi 10⁶–10⁸ CFU/ml mampu menekan pertumbuhan patogen *X. axonopodis* pv. *glisin* secara *in vitro*. Aplikasi antagonis *Corynebacterium sp.* dan *Bacillus sp.* dengan konsentrasi 10⁶-10⁸ CFU/ml dapat menekan perkembangan penyakit *Pustula* pada tanaman kedelai. Tingkat penekanan *Pustula* bakteri setara dengan tingkat penekanan oleh bakterisida. Dengan demikian, kedua isolat bakteri antagonis (*Corynebacterium sp.* dan

Bacillus sp) berpotensi besar sebagai agen pengendali hayati penyakit Pustula bakteri pada kedelai.

Gejala penyakit Pustula bakteri pada kedelai umumnya terdapat pada daun, tetapi dapat juga muncul pada polong. Daun yang terinfeksi akan menguning dan gugur. Selain itu, pada tanaman yang terserang dalam tingkat keparahan yang tinggi dapat mengakibatkan defoliiasi total dan menyebabkan penurunan ukuran dan jumlah polong yang dihasilkan (Dunleavy *et al.* 1966). Menurut Shukla (1994), 75% infeksi bakteri Pustula dapat mengakibatkan penurunan produksi kedelai sebesar 53%. Beberapa cara telah dilakukan untuk mengendalikan Pustula, antara lain menggunakan varietas tahan, tumpang sari dengan tanaman bukan inang, penggunaan benih sehat, penambahan bahan organik, dan pemberian pestisida (Dirmawati, 2005). *Corynebacterium sp.* dan *Bacillus sp.* termasuk agens hayati yang bersifat antagonis yang dapat mengendalikan beberapa jenis penyakit tanaman yang disebabkan oleh bakteri. *Corynebacterium sp.* diketahui dapat mengendalikan penyakit tanaman kresek pada padi yang disebabkan oleh *Xanthomonas campestris* pv. *oryzae* dan juga penyakit layu pada tanaman pisang yang disebabkan oleh *Ralstonia solanacearum* (BPTPH, 2008). Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui potensi bakteri antagonis *Corynebacterium sp.* dan *Bacillus sp.* dalam mengendalikan penyakit Pustula bakteri pada tanaman kedelai.

Berdasarkan hasil penelitian dari Ajeng Megasari, dkk. diketahui Isolasi Bakteri Patogen *X. axonopodis* pv. Glisin dari Daun Kedelai Isolasi dari daun dengan gejala Pustula mengakibatkan tumbuhnya koloni bakteri yang diduga *X. axonopodis* pv. glisin pada media YDC. Mula-mula koloni yang muncul berbentuk bulat dengan tepi rata dan berwarna kuning muda, pada hari ketiga koloni berubah warna menjadi kuning mentega, permukaan koloni cembung dan mukoid (Gambar 1). Menurut Schaad (2001), bakteri yang termasuk dalam genus *Xanthomonas* akan menguning bila ditumbuhkan pada media YDC. Ciri-ciri koloni tersebut sesuai dengan laporan Herwati (2008) yaitu koloni bakteri *Xanthomonas* membentuk koloni bulat cembung yang berwarna kuning keputihan atau kuning kecokelatan dan memiliki permukaan yang halus. Bentuk koloni tunggal bakteri *X. axonopodis* Uji Hipersensitivitas Pada 3 hari setelah inokulasi

(HSI), muncul gejala nekrosis pada daun tembakau yang disusupi bakteri yang diduga sebagai penyebab Pustula bakteri pada kedelai. Menurut Lelliott dan Stead (1987), bakteri yang bersifat patogen pada tanaman dapat menginduksi respons hipersensitif jika disuntikkan ke dalam jaringan tanaman inang yang tidak peka dalam waktu 24-72 jam setelah inokulasi. Reaksi hipersensitivitas ini muncul pada tanaman yang terinfeksi selama serangan patogen dan merupakan upaya. Induksi reaksi hipersensitivitas dipengaruhi oleh gen HRP yang banyak ditemukan pada bakteri Gram-negatif patogen tanaman, termasuk *Xanthomonas sp.* Karakterisasi Fisiologis dan Biokimia Karakterisasi fisiologis dan biokimiawi isolat yang diduga sebagai bakteri patogen penyebab Pustula pada kedelai menunjukkan bahwa bakteri tersebut adalah *X. axonopodis* pv. glisin sesuai dengan yang dikemukakan oleh Schaad (2001). menurut Schaad, dkk. (2001), karakter genus *X. axonopodis* adalah Gram-negatif, oksidatif, tidak membentuk pigmen berfluoresensi pada media King's B, koloni berwarna kuning pada media YDC, urease negatif dan mampu tumbuh pada suhu 33oC pada media YDC. Karakter hasil uji fisiologis dan biokimia bakteri patogen dari Pustula daun kedelai sama dengan yang dijelaskan oleh Schaad, *et al.* (2001).

Jadi, isolat yang diambil dari daun dengan gejala Pustula adalah *X. axonopodis*. Uji Antagonis *Corynebacterium sp.* dan *Bacillus sp.* melawan *X. axonopodis* pv. glisin Hasil uji *Corynebacterium sp.* dan *Bacillus sp.* melawan *X. axonopodis* pv. glisin menunjukkan bahwa kedua bakteri antagonis tersebut berpotensi menghambat pertumbuhan *X. axonopodis* pv. glisin, hal ini terlihat dari munculnya zona bening di sekitar koloni kedua bakteri antagonis yang diuji, yang dapat dibandingkan dengan kontrol (P8) yang tidak menghasilkan zona bening. Penekanan Perkembangan Penyakit Pustula Bakteri pada Tanaman Kedelai Pengamatan menunjukkan bahwa semua bakteri antagonis dan perlakuan bakterisida dapat menekan serangan Pustula yang disebabkan oleh *X. axonopodis* pv. glisin. Selama pengamatan hingga 56 dsi, Pustula bakteri hanya muncul pada perlakuan kontrol negatif (P8) yaitu akuades steril. Masa inkubasi Pustula bakteri pada perlakuan kontrol menggunakan akuades steril terjadi pada 14 HST. Intensitas penyakit Pustula bakteri pada kontrol negatif (P8) adalah 25%. Hasil ini menunjukkan bahwa semua bakteri antagonis yang diuji

(*Corynebacterium sp.* dan *Bacillus sp.*) dengan konsentrasi 106 hingga 108 CFU/ml dapat menekan perkembangan penyakit Pustula pada kedelai. Tingkat penekanan Pustula bakteri setara dengan tingkat penekanan oleh bakterisida. Dengan demikian, kedua isolat bakteri antagonis (*Corynebacterium sp.* dan *Bacillus sp.*) berpotensi besar sebagai agen pengendali hayati penyakit Pustula bakteri pada kedelai.

Kesimpulan

Aplikasi *Corynebacterium sp.* dan *Bacillus sp.* sebagai bakteri antagonis, dengan konsentrasi 106–108 CFU/ml mampu menekan pertumbuhan patogen *X. axonopodis* pv. glisin secara *in vitro*. Aplikasi antagonis *Corynebacterium sp.* dan *Bacillus sp.* dengan konsentrasi minimal 106 sampai 108 CFU/ml dapat menekan perkembangan Pustula pada kedelai. Tingkat penekanan Pustula bakteri setara dengan tingkat penekanan oleh bakterisida. Dengan demikian, kedua isolat bakteri antagonis (*Corynebacterium sp.* dan *Bacillus sp.*) berpotensi besar sebagai agen pengendali hayati penyakit Pustula bakteri pada kedelai.

VI.

KESIMPULAN

Organisme pengganggu tanaman (OPT) didefinisikan sebagai semua organisme yang dapat merusak, mengganggu kehidupan, atau menyebabkan kematian tanaman, yang terdiri dari gulma, hama dan penyakit. Untuk melindungi tanaman dari serangan hama, petani menggunakan pestisida kimia sintetik secara berlebihan dan tidak terkendali sehingga berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Kondisi ini menimbulkan perhatian sehingga muncul konsep Pengelolaan OPT Terpadu (POPTT) yang merupakan gabungan dari beberapa teknik pengendalian yang dikembangkan secara serasi dalam satu unit koordinasi pengelolaan sehingga populasi dan serangan hama dapat ditekan atau tetap pada tingkat yang tidak menimbulkan kerugian dengan pendekatan ekologi multidisiplin untuk mengelola populasi hama dan penyakit dengan memanfaatkan berbagai taktik pengendalian yang kompatibel dalam unit manajemen yang terkoordinasi. Komponen POPTT adalah pengendalian dengan kultur teknis, pengendalian fisik mekanis, pengendalian hayati, pengendalian dengan tanaman tahan, dan pengendalian dengan pestisida dengan memegang prinsip-prinsip TERPADU secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alcamo I.E. 2001. *Fundamentals of Microbiology*. Boston: Jones and Bartlett. ISBN 0-7637-1067-9.
- Atlas R.M. 1995. *Principles of Microbiology*. St. Louis: Mosby. ISBN 0-8016-7790-4.
- Burkholder. (Oktober 1948). “Bakteri sebagai Patogen Tanaman”. *Review Tahunan Mikrobiologi*. Universitas Cornell. 2: 389–412
- Dwidjoseputro, D. 1998. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Malang: Djambatan
- Funke B.R., Tortora G.J., Case C.L. 2004. *Microbiology: An Introduction*, 8th ed. San Francisco: Benjamin Cummings. ISBN 0-8053-7614-3.
- Hadioetomo. 1988. *Mikrobiologi Dasar dalam Praktek*. Jakarta: PT. Gramedia
- Hidayati dkk. 2015. Bakteri. *Ilmu Gizi*. STIKES Alma Ata Yogyakarta
- Holt J.C., Bergey D.H. 1994. *Bergey’s Manual of Determinative Bacteriology*, 9th ed. Baltimore: Williams & Wilkins. ISBN 0-683-00603-7.
- Hugenholtz P., Goebel B.M., Pace N.R. 1998. “Impact of culture-independent studies on the emerging phylogenetic view of bacterial diversity”. *J Bacteriol* 180 (18): 4765–74.
- Jackson R.W. (editor). 2009. *Bakteri Patogen Tumbuhan: Genomik dan Biologi Molekuler*. Caister Academic Press
- Jatnika, dkk. 2013. Pengaruh Aplikasi *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* terhadap Perkembangan Penyakit Bulai yang Disebabkan oleh Jamur Patogen *Peronosclerospora maydis* pada Tanaman Jagung. *Jurnal HPT*, Volume 1 Nomor 4. ISSN: 2338–4336
- Lay, Bibiana.W.1994. *Analisis Mikroba di Laboratorium*. Jakarta: Rajawali

- Martinko J.M., Madigan M.T. 2005. *Brock Biology of Microorganisms*, 11th ed. Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall. ISBN 0-13-144329-1.
- Marwan, H., Sinaga, M. S., Giyanto, G., & Nawangsih, A. A. 2011. Isolasi dan Seleksi Bakteri Endofit untuk Pengendalian Penyakit Darah pada Tanaman Pisang. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 11(2), 113–121. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.211113-121>
- Megasari, A., Abadi, A. L., & Aini, L. Q. (2017). Potensi *Corynebacterium sp.* dan *Bacillus sp.* untuk Mengendalikan Penyakit Pustul Bakteri pada Tanaman Kedelai. *Jurnal HPT*, 5(1), 23–29. <http://jurnalhpt.ub.ac.id/index.php/jhpt/article/view/251>
- Neelobon S., J. Burakorn, and S. Thaenthane. 2007. “Effect of Culture Condition on Bacterial Cellulose (BC) Production from *Acetobacter xylium* TISTR 976 and Physical Properties of BC Parchment Paper”. Bureau of Community Tecnology, Department of Science Servis, Ministry of Science and Technology. Bangkok
- Oskar Adolfsson, Simin Nikbin Meydani, and Robert M Russell. 2004. Yogurt and gut function. *Am J Clin Nutr*, August 2004 vol. 80 no. 2 245-256
- Radji, maksum. 1955. *Mikrobiologi Panduan Mahasiswa Farmasi dan Kedokteran*. Jakarta: ECG
- Reddy, P. P. 2005. *Biointensive Integrated Pest Management Ecosystems*.
- Rosihan, Amha. 2015. <http://www.astalog.com/7303/jelaskan-peranan-bakteri-di-bidang-kedokteran.htm> (diakses 6 Maret 2016)
- Setyari, A., Aini, L., & Abadi, A. 2013. Pengaruh Pemberian Pupuk Cair terhadap Penyakit Layu Bakteri (*Ralstonia solanacearum*) pada Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Jurnal HPT*, 1(2), 80–87.
- Suriawiria. 2002. *Mikrobiologi Dasar dalam Praktek*. Jakarta: PT Gramedia

- Syamsiah, M. 2013. *Pengendalian Penyakit Hawar Daun Bakteri pada Tanaman Padi Varietas Mekongga*. 5(1), 24–28.
- Tryana, S.T. 2008. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Malang: Djambatan
- Waluyo, L. 2004. *Mikrobiologi Umum*. Malang: UMM Press.

Pengelolaan Terpadu terhadap Patogen Bakteri Tumbuhan

Buku *Pengelolaan Terpadu terhadap Patogen Bakteri Tumbuhan* merupakan salah satu buku yang disediakan, yang bertujuan untuk memberi pemahaman bagaimana melakukan pengelolaan organisme pengganggu tumbuhan secara terpadu melalui serangkaian evaluasi, keputusan dan pengendalian pengelolaan hama. Memahami biologi bakteri tanaman penting untuk mengetahui pada tahap apa patogen diharapkan menyerang tanaman dan juga membantu dalam pengelolaan patogen tepat waktu. Diagnosis bakteri patogen tanaman yang benar didorong karena diagnosis yang salah dapat menyebabkan penyebaran patogen mudah dan pengelolaan menjadi mahal.

Program terpadu menggunakan informasi terkini dan komprehensif tentang siklus hidup OPT dan interaksinya dengan lingkungan. Informasi ini dikombinasikan dengan metode pengendalian hama yang tersedia, digunakan untuk mengelola kerusakan akibat hama dengan cara yang paling ekonomis, dan dengan kemungkinan bahaya yang paling kecil bagi manusia, properti, dan lingkungan. Langkah-langkah pengendalian terpadu yang diterapkan akan mengurangi risiko penggunaan pestisida yang terus-menerus karena sangat berpengaruh pada kesehatan maupun lingkungan. Oleh sebab itu, diharapkan agar petani yang mengusahakan tanaman mampu melakukan identifikasi hama sebelum penyemprotan. Biopestisida lebih dianjurkan dibandingkan dengan pestisida sintesis karena biopestisida ramah lingkungan dan manusia. Pengelolaan hama terpadu dianjurkan untuk bakteri patogen tanaman karena tidak ada satu pun pilihan pengelolaan yang efektif dengan sendirinya. Hama merupakan bahaya utama yang merusak tanaman dan mengubah upaya petani menjadi pemborosan waktu dan sumber daya. Dengan demikian, kendali mereka merupakan tugas penting yang memerlukan penanganan serius dan tanggapan tepat waktu. Konsep Pengelolaan OPT Terpadu merupakan gabungan dari beberapa teknik pengendalian yang dikembangkan secara serasi dalam satu unit koordinasi pengelolaan sehingga populasi dan serangan hama dapat ditekan atau tetap pada tingkat yang tidak menimbulkan kerugian dengan pendekatan ekologi multidisiplin.

Semoga kehadiran buku *Pengelolaan Terpadu terhadap Patogen Bakteri Tumbuhan* bisa memberikan manfaat terkait pengelolaan tanaman sekaligus menjadi bahan evaluasi di masa mendatang.



Penerbit Deepublish (CV BUDI UTAMA)

Jl. Kaliurang Km 9,3 Yogyakarta 55581

Telp/Fax : (0274) 4533427

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

✉ cs@deepublish.co.id

📘 Penerbit Deepublish

📱 @penerbitbuku_deepublish

🌐 www.penerbitdeepublish.com



Kategori : Biologi

ISBN 978-623-02-3830-7



9

786230

238307