

Bab V

MIKROBIOLOGI PERTANIAN

5.1 Pendahuluan

Indonesia dikenal sebagai negara agraria, namun saat ini untuk memenuhi kebutuhan pangan seperti beras ataupun kedelai harus di import dari negara lain. Masalah yang dihadapi petani adalah cuaca yang ekstrim, pupuk yang mahal serta serangan hama. Inovasi yang sedang dikembangkan saat ini ialah penggunaan mikroorganisme untuk meningkatkan hasil pertanian dengan memanfaatkan mikroorganisme yang dapat menambat nitrogen, fosfat dan sebagai pengendali hayati. Pada bab IV ini, akan dijelaskan peran mikroorganisme yang menguntungkan maupun merugikan dari mikroorganisme pertanian.

Setelah mengikuti pokok bahasan ini mahasiswa, dapat menjelaskan mekanisme pembentukan bintil akar pada legum dan proses fiksasi nitrogen di atmosfer oleh bakteri *Rhizobium* serta manfaat mikoriza pada bidang pertanian dan peran *Bacillus thuringensis* sebagai pengendali hayati. Serta kerugian dalam bidang pertanian yang disebabkan oleh mikroorganisme.

5.2 Mikrobiologi Pertanian

Mikrobiologi pertanian adalah ilmu yang mempelajari mikroorganisme dalam bidang pertanian yang bertujuan untuk memecahkan masalah-masalah praktis di bidang pertanian. Manfaat mikrobiologi pertanian antara lain adalah agar kita dapat mempelajari dan memanfaatkan mikroorganisme sebaik mungkin guna meningkatkan produksi pertanian baik kuantitas maupun kualitas dan menekan kemungkinan kehilangan produksi. Ilmu pengetahuan yang mempelajari mikrobiologi pertanian menjadi cukup penting, terlebih dengan berkembangnya bioteknologi modern yang sangat pesat.

5.3 Peran Mikroorganisme dalam Pertanian

Mikroorganisme sangat berperan penting dalam pertumbuhan tanaman pertanian. Mikroorganisme dapat digunakan untuk peningkatan kesuburan tanah melalui fiksasi N_2 dan Daur nutrien, dan peternakan hewan. Nitrogen bebas merupakan komponen terbesar udara. Unsur ini hanya dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan dalam bentuk nitrat. Nitrat diambil oleh tumbuhan khususnya melalui akar. Pembentukan nitrat dari nitrogen ini dapat terjadi karena adanya mikroorganisme.

5.3.1 Fiksasi Nitrogen

Jumlah nitrogen (N_2) di atmosfer sekitar 80% di udara. Namun N_2 tidak dapat digunakan secara langsung oleh sebagian besar organisme. Sebagian besar organisme menggunakan nitrogen dalam bentuk NH_3 sebagai penyusun asam amino, protein, dan asam nukleat. Fiksasi nitrogen merupakan proses yang mengubah N_2 menjadi NH_3 yang kemudian digunakan secara biologi. Proses ini dapat terjadi secara alamiah oleh mikroorganisme.

Mikroorganisme yang berfungsi sebagai penyedia unsur nitrogen melalui penambatan nitrogen atmosfer dapat dibedakan ke dalam dua kelompok yaitu mikroorganisme yang hidup bebas, artinya bekerja secara non-simbiotik atau tidak memiliki asosiasi spesifik dengan

tanaman tertentu, dan mikroorganisme yang melakukan hubungan simbiotik dengan tanaman tertentu. Salah satu contoh yang saat ini sudah banyak diteliti adalah hubungan simbiotik *Rhizobium* dengan tanaman legum.

5.3.1.1 Mikroorganisme Penambat Nitrogen

Mikroorganisme yang bersimbiotik dengan tanaman legum melakukan fiksasi adalah *Rhizobium*. *Rhizobium* merupakan bakteri gram negatif, bersifat aerob, tidak membentuk spora, berbentuk batang dengan ukuran sekitar 0,5-0,9 μm . Bakteri ini termasuk famili *Rhizobiaceae*. Bakteri ini banyak terdapat di daerah perakaran (rizosfer) tanaman legum dan membentuk hubungan simbiotik dengan inang khusus.

Rhizobium merupakan simbion fakultatif, dalam keadaan tidak ada tanaman inang. *Rhizobium* dapat hidup sebagai komponen normal dari mikroflora tanah, tetapi tetap hidup bebas sebagai heterotrof tergantung kehadiran akar tanaman inang. Populasi *Rhizobium* pada rizosfer tanaman legum biasa mencapai 10^6 sel/gram atau lebih. Di tanah, bakteri ini hidup bebas, memperoleh nutrisi dari sisa organisme yang telah mati. *Rhizobium* yang hidup bebas tidak dapat memfiksasi nitrogen dan punya bentuk yang berbeda dari bakteri lain yang ditemukan pada bintil akar tanaman.

Adapun faktor pendukung pertumbuhan *Rhizobium* antara lain pH tanah, suhu, sinar matahari, dan unsur hara tanah. Kebanyakan *Rhizobium* tumbuh optimum pada pH netral. Reaksi optimum bagi pertumbuhan dan perkembangan *Rhizobium* pada pH 5,5-7,0 dengan batas kecepatan reaksi pada pH 3,2-5,0 pada keadaan asam, dan 9,0-10,0 pada keadaan alkali. Meskipun begitu ada beberapa strain *Rhizobium* yang toleran masam. Pada strain ini pertumbuhannya terlihat lebih luas dan mempunyai lendir yang lebih banyak. Suhu tanah juga sangat mempengaruhi pertumbuhan bakteri ini. Zahran (1999), menyatakan bahwa sebagian besar *Rhizobium* memiliki suhu optimum antara 28-31°C dan umumnya tidak dapat tumbuh pada 37°C. suhu

pembatas bagi pertumbuhan bakteri adalah 0-50°C dan suhu titik kematian pada 60°-62°C.

Rhizobium yang aktif pada bintil akar mampu memenuhi seluruh atau sebagian kebutuhan N bagi tanaman. Berdasarkan kemampuan tersebut *Rhizobium* memiliki andil yang cukup besar dalam peningkatan produktivitas pertanian terutama kacang-kacangan. Dalam jaringan bintil akar bakteri tersebut memfiksasi nitrogen dan mengubahnya menjadi ammonium yang selanjutnya dimanfaatkan oleh tanaman. Hal ini menyebabkan kondisi pertumbuhan tanaman berbintil akar lebih baik dibandingkan tanpa bintil akar.

5.3.1.2. Mekanisme Pembentukan Bintil Akar

Simbiosis *Rhizobium* dengan tanaman legum dicirikan oleh pembentukan bintil akar pada tanaman inang. Pembentukan bintil akar diawali dengan sekresi produk metabolisme tanaman berupa liposakarida ke daerah perakaran (*nodul factors*) yang menstimulasi pertumbuhan bakteri. Eksudat akar yang dihasilkan tanaman legum tersebut memberikan efek yang menguntungkan untuk pembelahan *Rhizobium* di tanah. Bintil akar pada kacang tanah dapat dilihat pada Gambar 5.1

Nodulasi dan fiksasi nitrogen tergantung pada kerjasama dari faktor-faktor yang berbeda yaitu kehadiran strain *Rhizobium* yang efektif pada sel akar, peningkatan jumlah sel *Rhizobium* di rizosfer, infeksi akar oleh bakteri, pertumbuhan, dan aktivitas *Rhizobium* itu sendiri. Pelekatan *Rhizobium* pada rambut akar juga dapat terjadi karena pada permukaan sel *Rhizo-*



sumber: <http://www.doeaccimphal.org.in>

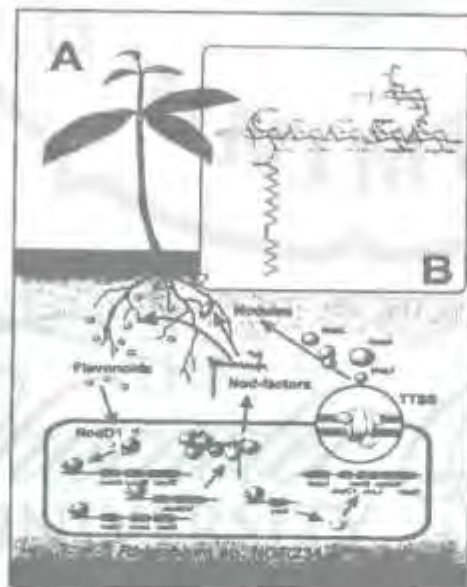
Gambar 5.1. Bintil pada akar kacang tanah

bium terdapat suatu protein pelekat yang disebut rikodesin. Senyawa ini adalah suatu protein pengikat kalsium yang berfungsi dalam pengikatan kompleks kalsium pada permukaan rambut akar.

Secara umum pembentukan bintil akar pada tanaman legum terjadi melalui beberapa tahapan:

1. Pengenalan pasangan antara tanaman dengan bakteri yang diikuti oleh pelekatan bakteri *Rhizobium* pada permukaan rambut akar tanaman.
2. Invasi rambut akar oleh bakteri melalui pembentukan benang-benang infeksi (*infection thread*).
3. Perjalanan bakteri ke akar utama melalui benang-benang infeksi.
4. Pembentukan sel-sel bakteri yang mengalami deformasi, yang disebut sebagai bakteroid, di dalam sel akar tanaman. Pembelahan sel tanaman dan bakteri sehingga terbentuk bintil akar.

Interaksi *Rhizobium* dengan bintil akar dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Sumber : <http://be.convdocs.org/docs/index-104626.html>

Gambar 5.2 Interaksi antara tanaman dan bakteri *Rhizobium* beserta mekanisme respon dari rangsangan yang diberikan.

5.3.1.3. Mekanisme Penambatan Nitrrogen Pada Bintil Akar

Peran utama *Rhizobium* adalah memfiksasi nitrogen melalui aktivitas nitrogenase. Tinggi rendahnya aktivitas nitrogenase menentukan banyak sedikitnya pasokan ammonium yang diberikan *Rhizobium* kepada tanaman. Aktivitas nitrogenase *Rhizobium* ditentukan oleh 2 jenis enzim yaitu enzim dinitrogenase reduktase dan dinitrogenase.

Dinitrogenase reduktase dengan kofaktor protein Fe berperan sebagai penerima elektron untuk selanjutnya diteruskan ke protein MoFe, sedangkan enzim dinitrogenase yang memiliki protein MoFe berperan dalam pengikatan N_2 . Kemampuan *Rhizobium* dalam menambat nitrogen dari udara dipengaruhi oleh besarnya bintil akar dan jumlah bintil akar (Arimurti, 2000). Semakin besar bintil akar atau semakin banyak bintil akar yang terbentuk, semakin besar nitrogen yang ditambah. Semakin aktif nitrogenase semakin banyak pasokan nitrogen bagi tanaman, sehingga dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman.

Efisiensi dan efektivitas dari suatu strain *Rhizobium* pada bintil akar dapat diamati dari warna kemerahan yang tampak pada bintil akar. Jumlah N_2 yang dapat difiksasi oleh tanaman legum sangat bervariasi, tergantung pada jenis tanaman legum, kultivar, jenis bakteri dan tempat tumbuh bakteri tersebut dan terutama pH tanah.

Pigmen merah ini disebut Leghaemoglobin (LHb), dijumpai pada bintil akar antara bakteroid dan selubung membran yang mengelilinginya. Jumlah LHb dalam bintil akar memiliki hubungan langsung dengan jumlah nitrogen yang difiksasi. Pada bintil akar yang sudah tua, aktivitas nitrogenasenya sudah berkurang karena kehilangan bakteroid. Keadaan ini biasanya ditandai oleh warna bintil yang berwarna kuning sampai coklat, menandakan dimulainya proses penuaan. LHb hanya ditemukan pada bintil akar yang sehat, sedangkan tanaman yang tidak sehat mempunyai bintil akar berwarna putih karena tidak mempunyai LHb sehingga penambatan nitrogen tidak dapat terjadi pada bintil akar tersebut.

Penambatan nitrogen sangat peka terhadap keberadaan oksigen. Oksigen pada konsentrasi di atas 0,5 atm dapat menghambat penambatan nitrogen akibat penonaktifan kompleks enzim nitrogenase. Penelitian menunjukkan bahwa membran bakteroid pada bintil akar berperan dalam memisahkan bakteroid dari sistem penyangga oksigen. Lhb berfungsi mengatur konsentrasi oksigen karena bakteroid bersifat aerobik. Lhb juga berperan sebagai fasilitator pengambilan oksigen oleh enzim oksidase terminal dan meningkatkan produksi *Adenosin Trifosfat* (ATP) untuk aktivitas nitrogenase, sekaligus berperan dalam menciptakan suasana anaerob di sekitar nitrogenase dengan cara bergabung dengan oksigen membentuk oksihemoglobin (OLhb), sehingga oksigen menjadi tersedia di permukaan membran sel bakteri dan menyediakan ATP untuk penambatan nitrogen tetapi sekaligus melindungi kompleks enzim nitrogenase dari pengaruh oksigen. Konsentrasi Lhb dapat digunakan untuk memperkirakan efisiensi bintil akar dalam penambatan nitrogen.

Hampir seluruh nitrogen yang difiksasi secara langsung ditransfer ke tanaman. Nitrogen yang dihasilkan sebagian kecil dilepaskan ke tanah dan dimanfaatkan oleh tanaman non-legum. Bagaimanapun nitrogen pada akhirnya akan dikembalikan ke tanah untuk tanaman tetangga ketika vegetasi legum tersebut mati dan terdekomposisi.

Rhizobium yang berasosiasi dengan tanaman legum mampu memfiksasi nitrogen 100-300 kg/hektar dalam suatu musim tanam dan meninggalkan sejumlah nitrogen untuk tanaman berikutnya. *Rhizobium* mampu mencukupi 80% kebutuhan nitrogen tanaman legum dan meningkatkan produksi antara 10-25%. Respon tanaman untuk memfiksasi nitrogen dari udara tergantung pada kondisi medium tumbuh dan efektivitas populasi asli.

5.3.1.4 Pengamatan Bintil Akar Leguminasea

Adapun alat dan bahan yang diperlukan dalam pengamatan bintil akar adalah:

Alat:

1. Objek glass
2. Mikroskop
3. Lampu Bunsen
4. Pisau silet
5. Pinset
6. Petri dish
7. Botol Semprot

Bahan:

1. Bintil akar tanaman kacang tanah dan kacang panjang.
2. Alkohol 70 %
3. H_2O_2
4. Aquades
5. Pewarna Karbon Fuchin

Prosedur Kerja:

1. Bintil akar disterilisasi dengan merendam dalam alkohol 70% selama ± 10 detik H_2O_2 selama 3 menit, aquades selama 5 menit.
2. Bintil disayat tipis, diletakkan di objek glass, ditekan perlahan, dismear, dikering anginkan.
3. Difiksasi dengan melewati diatas api Bunsen.
4. Diwarnai dengan Karbon Fuchin (5 detik), kemudian dicuci dengan aquades mengalir secara perlahan dan dikeringkan.
5. Diamati di bawah mikroskop.

5.3.1.5 Tugas

1. Jelaskanlah mekanisme pembentukan bintil akar pada tanaman kacang tanah.
2. Jika suhu di lingkungan pertanian kacang tanah meningkat, apakah bakteri *Rhizobium* masih dapat bersimbiosis dengan tanaman leguminase secara normal?

5.3.2 Penyerap Fosfat

Mikroorganisme yang menyerap fosfat adalah mikoriza. Mikoriza adalah salah satu bentuk asosiasi simbiotik antara akar tumbuhan tingkat tinggi dan miselium cendawan tertentu. Perhatikan Gambar 5.3.



Sumber : www.Wikipedia/Mikoriza.com

Gambar 5.3 *Mikoriza Amanita (bercak-bercak putih) menginfeksi ujung-ujung akar*

Mikoriza pertama kali dikemukakan oleh ilmuwan Jerman, pada tanggal 17 April 1885. Mikoriza adalah suatu struktur yang khas yang mencerminkan adanya interaksi fungsional yang saling menguntungkan antara tumbuhan tertentu dengan satu atau lebih galur mikroorganisme dalam ruang dan waktu. Struktur yang terbentuk dari asosiasi ini tersusun secara beraturan dan memperlihatkan spektrum yang sangat luas, baik dalam hal tanaman inang, jenis cendawan maupun penyebarannya.

5.3.2.1 Jenis Mikoriza

Ektomikoriza, hifa cendawan membentuk selimut di luar dan di dalam akar, di ruang dalam sel epidermis atau korteks tidak terjadi, namun jala-jala yang meluas yang dinamakan jala Hartig terbentuk diantara sel-

sel ini. Endomikoriza terdiri dari tiga anak kelompok, namun sejauh ini yang paling lazim adalah mikoriza vesikular arbuskular (MVA). Cendawan yang menyusun MVA adalah sel korteks, yang kemudian meruak keluar menuju ke tanah untuk menyerap air dan garam mineral. Hal yang paling menarik dari dua tipe mikoriza adalah kemampuannya untuk memperbaiki pertumbuhan tanaman dengan mempertinggi pengambilan fosfat.

5.3.2.2 Mekanisme penyerapan fosfat

Beberapa hipotesis dikemukakan tentang mekanisme penyerapan fosfat (P), yaitu:

1. Kolonisasi mikoriza mengubah morfologi akar sedemikian rupa, misalnya dengan menginduksi hipertrofi akar, sehingga mengakibatkan pembesaran sistem akar, dengan demikian luas permukaan akar untuk mengabsorpsi P menjadi lebih besar.
2. Mikoriza memiliki akses terhadap sumber P-anorganik yang relatif tidak dapat larut (seperti apatit misalnya), yang tidak dimiliki oleh akar yang tidak bermikoriza.
3. Kolonisasi mikoriza mengubah metabolisme tanaman inang sehingga absorpsi atau pemanfaatan P oleh akar terkolonisasi ditingkatkan, yaitu peningkatan daya absorpsi (*absorbing power*) individu-individu akar.
4. Hifa dalam tanah mengabsorpsi P dan mengangkutnya ke akar-akar yang dikolonisasi, dimana P ditransfer ke inang bermikoriza, sehingga berakibat meningkatnya volume tanah yang dapat dijangkau oleh sistem akar tanaman.
5. Daerah akar bermikoriza tetap aktif dalam mengabsorpsi hara untuk jangka waktu yang lebih lama dibandingkan dengan akar yang tidak bermikoriza.

5.3.2.3 Peran Mikoriza dalam Pertanian

Peningkatan pertumbuhan, serapan hara, dan hasil tanaman kedelai oleh koloni jamur mikoriza arbuskular (MA) dapat meningkatkan per-

tumbuhan dan hasil kedelai dan konsentrasi fosfat tanaman kedelai. Selain itu juga dapat meningkatkan nodulasi dan fiksasi N. Perbaikan serapan hara karena simbiosis dengan jamur MA tidak hanya terbatas pada fosfat, tetapi juga pada berbagai unsur lain.

Serapan unsur hara tanaman kedelai yang diinokulasi dengan mikoriza *Glomus mosseae* dan *Glomus fasciculatum* dibandingkan dengan tanaman kontrol yang diberi pupuk P yang tinggi hasilnya adalah tanaman yang diinokulasi mikoriza memiliki konsentrasi Cu dan Zn yang lebih tinggi tapi Fe dan Mn yang lebih rendah dari tanaman kontrol. Tanaman kedelai bermikoriza memiliki konsentrasi S yang lebih tinggi dari tanaman control.

a. Mikoriza sebagai pengendali hayati

Kemampuan mikoriza sebagai pengendalian hayati berbagai penyakit dapat dipengaruhi oleh satu atau lebih mekanisme-mekanisme berikut:

1. Perbaikan gizi tanaman; terjadinya peningkatan serapan hara (terutama P dan unsur mineral lain) menghasilkan tanaman yang lebih baik sehingga dapat melawan atau bersifat toleran terhadap penyakit;
2. Kompetisi hara dan tempat infeksi pada tanaman inang; hasil penelitian menunjukkan bahwa patogen jamur akar dapat menempati sel-sel korteks akar yang dekat dengan yang dikolonisasi cendawan MA, jadi tidak ada kompetisi;
3. Perubahan morfologi dan jaringan akar; karena adanya peningkatan lignifikasi pada sel-sel endodermis misalnya pada tomat dan ketimun yang bermikoriza dan berspekulasi bahwa respons semacam itu merupakan penyebab berkurangnya penyakit layu *Fusarium*;
4. Perubahan susunan kimia jaringan tanaman; perubahan fisiologis dapat juga terlibat pada pengaruh lokal terhadap patogen akar. Hasil penelitian yang pernah dilakukan menunjukkan terjadinya

peningkatan konsentrasi kitinase anti jamur pada akar bermikoriza ada dugaan peningkatan akumulasi arginin pada akar bermikoriza menekan sporulasi *Thielaviopsis*;

5. Reduksi stres abiotik; stres lingkungan mempengaruhi terjadi dan beratnya penyakit tanaman biotik. Mikoriza arbuskuler meningkatkan toleransi terhadap stres seperti itu dengan berbagai mekanisme. Mikoriza arbuskuler dapat secara biologis mengurangi penyakit berdasarkan kemampuannya untuk mengurangi pengaruh faktor stres seperti stres hara, (kahat atau kelebihan), kekeringan dan keracunan tanah; dan
6. Perubahan mikroorganisme dalam mikorizosfir; mikoriza sangat berpengaruh terhadap terhadap mikroflora rizosfir dengan jalan mengubah fisiologi dan eksudasi akar.

b. Mikoriza sebagai sebagai pembenah tanah

Mikoriza berpengaruh terhadap agregasi tanah. Terutama ini dipengaruhi oleh persentase agregat tanah dengan ukuran > 2 mm, yang lebih tinggi pada tanaman yang diinokulasi mikoriza dari yang tidak diinokulasi. Adanya miselium jamur MA yang dilapisi oleh zat berlendir menyebabkan partikel-partikel tanah melekat satu sama lain. Zat berlendir ini disebut glomalin. Glomalin ini adalah glikoprotein yang mengikat partikel-partikel tanah, dikeluarkan oleh jamur MA melalui hifa. Banyak tanaman pertanian yang ditanam pada lahan-lahan yang mudah tererosi, karena berada pada tingkat kemiringan yang tinggi. Dengan kemampuan seperti disebutkan di atas simbiosis tanaman dengan jamur MA dapat meningkatkan stabilitas tanah.

c. Mikoriza sebagai pereduksi stres abiotik

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa MA dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan. Perbaikan toleransi tanaman bermikoriza terhadap stres air dapat disebabkan oleh peningkatan konduktivitas hidrolis, laju transpirasi yang lebih kecil per satuan luas, adanya ekstraksi air dari tanah ke potensi yang lebih ren-

dah, pemulihan tanaman yang lebih cepat dari stres air, P tanah yang lebih baik. Simbiosis jamur MA mungkin mempengaruhi hubungan air tanaman kedelai secara tidak langsung, yaitu melalui perbaikan nutrisi P tanaman.

Dari hasil-hasil penelitian yang ada terkait dengan toleransi terhadap cekaman kekeringan ini terdapat, dua tipe yaitu: perbaikan nutrisi P sebagai penyebab peningkatan toleransi, dan adanya pengaruh-pengaruh yang bersifat nonnutrisi yang dapat terjadi. Kedua peubah ini merupakan indikator toleransi ketahanan terhadap cekaman kekeringan.

d. Mikoriza dapat merehabilitasi lahan terdegradasi

Peran mikoriza tidak hanya memiliki arti potensial untuk melestarikan produksi tanaman, tetapi juga untuk mengkonservasi lingkungan. Di Jepang inokulan cendawan MA sudah digunakan paling berhasil untuk penanaman kembali (revegetasi) lahan-lahan yang dirusak oleh aktivitas gunung berapi. Aktivitas pertambangan dan industri juga dapat menimbulkan kerusakan pada lingkungan. Berbagai bekas tambang dan daerah industri sudah tidak memiliki lagi lapisan atas (*top soil*), sehingga tidak ada vegetasi lagi yang tumbuh. Biasanya lapisan ini tidak mengandung propagul CMA lagi. Oleh karena itu inokulasi tanaman-tanaman yang digunakan untuk revegetasi lahan-lahan terdegradasi ini dengan jamur MA sangat dibutuhkan.

5.3.3 Pengendali hayati

Mikroorganisme yang dimanfaatkan sebagai pengendali hayati contohnya adalah *Bacillus Thuringiensis*. *Bacillus thuringiensis* (Bt) adalah bakteri gram positif yang berbentuk batang, aerobik dan membentuk spora. Bt merupakan famili bakteri yang memproduksi kristal protein di *inclusion body*-nya pada saat ia bersporulasi. Bioinsektisida Bt merupakan 90-95% dari bioinsektisida yang dikomersialkan untuk dipakai oleh petani di berbagai negara. Dengan kemajuan teknologi, gen insektisidal Bt ini telah dapat diisolasi dan diklon sehingga membuka ke-

mungkinan untuk diintroduksi ke dalam tanaman. Tanaman yang mengekspresikan gen Bt ini dikenal dengan sebutan tanaman transgenik Bt. Tanaman transgenik Bt pertama kali dikomersialkan pada tahun 1995-1996 dan sejak itu luas pertanaman ini meningkat.

Bt telah dikenal sebagai biokontrol agen sejak tahun 1950. Bakteri ini tersebar di berbagai tempat pada hampir semua penjuru dunia. Pertama kali dijumpai di Jepang pada tahun 1901, yang membunuh ulat sutera di tempat pemeliharaan. Sepuluh tahun kemudian, di Jerman ditemukan strain baru dari Bt pada larva yang menyerang biji-bijian (serealia) di gudang penyimpanan, karena strain berikutnya ditemukan di Propinsi Thuringen, maka bakteri ini disebut *Bacillus thuringiensis*, yaitu nama yang diberikan pada famili bakteri yang memproduksi kristal paraspora yang bersifat insektisidal. Semula bakteri ini hanya diketahui menyerang larva dari serangga kelas *Lepidoptera* sampai kemudian ditemukan bahwa bakteri ini juga menyerang *Diptera* dan *Koleoptera*.

Keberadaan inklusi paraspora dalam *B. thuringiensis* telah ditemukan sejak tahun 1915, namun komposisi protein penyusunnya baru diketahui pada tahun 1915. Pada tahun 1953, Hannay, mendeteksi struktur kristal pada inklusi paraspora yang mengandung lebih dari satu macam protein kristal insektisida (*insecticidal crystal protein, ICP*) atau disebut juga delta endotoksin. Berdasarkan komposisi ICP penyusunnya, kristal tersebut dapat membentuk bipiramida, kuboid, romboid datar, atau campuran dari beberapa tipe kristal.

Bt hanya tumbuh pada fase vegetatif jika ia hidup pada inang yang kaya akan nutrien, namun bila suplai makanannya menurun akan membentuk spora dorman yang mengandung satu atau lebih jenis kristal protein. Kristal ini mengandung protein yang disebut endotoksin, yang bersifat letal jika dimakan oleh serangga yang peka. Penggunaan Bt tidak hanya dalam bentuk *microbial spray* yang berkembang di lapangan, tetapi juga dalam bentuk tanaman transgenik Bt.

5.3.3.1 Mekanisme Patogenisitas

B. thuringiensis adalah bakteri yang menghasilkan kristal protein yang bersifat membunuh serangga (insektisidal) sewaktu mengalami proses sporulasinya. Kristal protein yang bersifat insektisidal ini sering disebut dengan δ -endotoksin. Kristal ini sebenarnya hanya merupakan protoksin yang jika larut dalam usus serangga akan berubah menjadi polipeptida yang lebih pendek serta mempunyai sifat insektisidal. Pada umumnya kristal Bt di alam bersifat protoksin, karena adanya aktivitas proteolisis dalam sistem pencernaan serangga dapat mengubah Bt-protoksin menjadi polipeptida yang lebih pendek dan bersifat toksin. Toksin yang telah aktif berinteraksi dengan sel-sel epitelium di midgut serangga. Bukti-bukti telah menunjukkan bahwa toksin Bt ini menyebabkan terbentuknya pori-pori (lubang yang sangat kecil) di sel membran di saluran pencernaan dan mengganggu keseimbangan osmotik dari sel-sel tersebut. Karena keseimbangan osmotik terganggu, sel menjadi bengkak dan pecah dan menyebabkan matinya serangga.

5.3.3.2 Pembuatan bioinsektisida *Bacillus thuringiensis*

Penggunaan *Bacillus thuringiensis* sebagai pengendali hayati, sangat bermanfaat bagi petani, karena akan mengurangi penggunaan pestisida. Hal tersebut akan berdampak positif terhadap peningkatan harga hasil pertanian karena menghasilkan tanaman organik. Adapun cara pembuatan bioinsektisida adalah:

1. *Bacillus thuringiensis* tersebut terlebih dahulu dikulturkan dalam jumlah besar di dalam tangki fermentor.
2. Hasil fermentasi ditampung kemudian dicampur dengan bahan yang lengket.
3. Campuran tadi disemprotkan pada tumbuhan.
4. Penyemprotan sebaiknya dilakukan pada waktu pagi hari ataupun sore hari, karena pada waktu itu serangga sedang aktif memakan suatu tanaman.

5. Cara lain yang dapat dilakukan untuk membuat bioinsektisida *Bacillus thuringiensis* adalah dengan rekayasa genetika. Cara yang dapat dilakukan adalah:
 - a) memindahkan gen penghasil (*insecticidal crystal protein*) ICP pada plasmid tumor mahkota.
 - b) Memasukkan rekombinan tersebut ke dalam sel tumbuhan, dengan begitu maka tumbuhan akan secara aktif menghasilkan ICP sendiri.

Selain *Bacillus thuringiensis* ada beberapa mikroorganisme lainnya yang dimanfaatkan sebagai pengendali hayati, dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Mikroorganisme sebagai Pengendali Hayati

Mikroorganisme	Pengendali	Sumber
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Rhizoctonia solani</i>	Kartika, B (2010)
<i>Bacillus popilliae</i>	<i>Popillie japonica</i> (kumbang jepang)	Sunarno (2007)
<i>Colpodes rupitarsis,</i>	<i>Palagium sp.</i>	
<i>Conocephalus longipennis</i>	Telur/larva walang sangit	
<i>Streptomyces libani</i>	<i>P. capsici</i>	Widyastuti, AM (2009)

5.3.4 Mikroorganisme Sebagai Sumber Pupuk Hayati

Pupuk hayati (biofertilizer) merupakan pupuk yang mengandung mikroorganisme bermanfaat untuk meningkatkan kesuburan tanah dan kualitas hasil tanam. Bioferlizer tersebut fungsinya antara lain untuk membantu penyediaan hara bagi tanaman, mempermudah penyerapan hara bagi tanaman, membantu dekomposisi bahan organik, menyediakan lingkungan rizosfer yang lebih baik sehingga pada akhirnya akan mendukung pertumbuhan dan meningkatkan produksi tanaman. Pemanfaatan mikroorganisme untuk meningkatkan kualitas tanaman dapat dilihat pada Tabel 5.2

Tabel 5.2 Mikroorganisme yang dimanfaatkan meningkatkan kualitas tanaman

Mikroorganisme	Manfaat
<i>Azotobacter sp.</i> , <i>Azospirillum sp.</i> (bakteri fiksasi Nitrogen non simbiotik)	Membantu proses fiksasi nitrogen
<i>Rhizobium sp.</i> (simbiotik dengan legum)	
<i>Bacillus megaterium</i> , <i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Bacillus subtilis</i>	pelarut fosfat
<i>Lactobacillus sp.</i> , <i>Cellulomonas sp.</i> , <i>Saccharomyces cereviceae</i>	dekomposer

Sumber: Simanungkalit (2006)

Pemanfaatan biofertilizer pada pertanian organik harus lebih dikembangkan untuk mengurangi ketergantungan sistem pertanian organik yang lebih banyak memanfaatkan bahan organik dengan volume yang sangat besar serta mengefisienkan penggunaan bahan organik tersebut untuk memenuhi kebutuhan hara tanaman.

Hasil penelitian Masfufah (2012) yang memberikan pupuk hayati pada tanaman tomat menunjukkan pengaruh nyata terhadap tinggi tanaman tomat. Mezuan (2002) melakukan penelitian terhadap formula pupuk hayati terhadap tanaman padi gogo, dan hasil terbaik ialah kombinasi antara pupuk hayati dengan bahan organik yang menunjukkan pengaruh nyata terhadap jumlah anakan, bioaktivitas dan stabilitas agregat.

5.4 Mikroorganisme Yang Merugikan pada Bidang Pertanian

Mikroorganisme yang merugikan tanaman disebut patogen tanaman. Patogen merupakan organisme yang mengakibatkan tanaman menderita, artinya tanaman tersebut mengalami perubahan proses fisiologi yang terus menerus dan perubahan struktural. Oleh karena itu, tanaman yang mengalami perubahan berkelanjutan pada proses fisiologi dan strukturnya dikategorikan sebagai tanaman yang menderita penyakit.

Proses perubahannya disebut penyakit atau secara umum disebut gangguan. Ekspresi perubahan pada tanaman disebut gejala. Oleh karena itu, pemberian nama penyakit secara umum dapat didasarkan kepada nama patogen, nama gejala, nama bagian tanaman yang bergejala atau kombinasinya dan keterangan lain. Mikroorganisme bersifat patogen pada tanaman adalah jamur, bakteri dan virus.

5.4.1 Jamur

Jamur ada yang menyebut cendawan atau jamur. Jamur merupakan mikroorganisme yang organel selnya bermembran (eukariotik), tidak mempunyai klorofil, berkembangbiak secara seksual dan atau aseksual dengan membentuk spora, tubuh vegetatif (somatik) berupa sel tunggal atau berupa benang-benang halus (hifa, miselium) yang biasanya bercabang-cabang, dinding selnya terdiri dari selulose dan atau kitin bersama-sama dengan molekul-molekul organik kompleks lainnya. Adapun jamur genus Basidiomycetes yang merugikan tanaman dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Jamur Basidiomycetes yang menyebabkan penyakit

Jamur Basidiomycetes	Penyebab Penyakit
<i>Corticium salmonicolor</i>	upas pada banyak tanaman tahunan
<i>Exobasidium vexans</i>	cacar daun teh
<i>Hemileia vastatrix</i>	daun kopi
<i>Puccinia sorghi</i>	pada sorgum
<i>Rigidoporus lignosus</i>	akar putih pada tanaman tahunan
<i>Ustilago scitaminea</i>	penyakit gosong pada tebu

Sumber: Purnomo (2012)

Beberapa jamur dari kelas *Deuteromycetes* yang menyebabkan penyakit pada tanaman, dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Jamur *Deuteromycetes* yang menyebabkan penyakit pada tanaman

Jamur kelas <i>Deuteromycetes</i>	Penyebab
<i>Alternaria solani</i>	penyakit bercak pada buah dan daun tomat
<i>Botryodiplodia theobromae</i>	penyakit busuk pada buah kakao, kelapa, pisang, pepaya, dan ubi jalar
<i>Cercospora coffeicola</i>	penyakit bercak mata coklat pada kopi
<i>Cercospora purpurea</i>	penyakit bercak blotch apokat
<i>Cercospora nicotianae</i> ,	penyakit bercak mata katak pada tembakau
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	penyakit antraknose pada banyak tanaman
<i>Fusarium oxysporum</i>	penyakit layu pada berbagai tanaman
<i>Pyricularia oryzae</i>	penyakit hawar daun padi dan beberapa rerumputan

Sumber: Purnomo (2012)

Padi yang diserang jamur *Pyricularia oryzae* dan tomat yang diserang *Alternaria solani* dapat dilihat pada Gambar 5.4.



sumber: <http://epetani.deptan.go.id>

(a)



sumber: <http://coursewares.mju.ac.th>

(b)

Gambar 5.4 Penyakit yang disebabkan jamur: (a) penyakit hawar pada padi, (b) bercak pada buah dan daun tomat.

5.4.2 Bakteri

Bakteri merupakan mikroorganisme prokariotik bersel tunggal. Kurang lebih 200 jenis bakteri yang dapat menyebabkan penyakit tanaman. Jenis-jenis bakteri ini terutama berbentuk batang dan hanya terdiri dari enam genus (marga), yaitu: *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Corynebacteriaceae*, *Erwinia*, *Pseudomonas*, *Streptomyces* dan *Xanthomonas*. Bakteri *Agrobacterium* merupakan bakteri berbentuk batang pendek, motil (dapatbergerak), flagela peritrik, menyebabkan hipertropi yang berupa bengkak pada akar dan batang.

Beberapa bakteri dari genus *Agrobacterium* dan *Corynebacterium*, yang menyebabkan penyakit pada tanaman pertanian, dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Bakteri genus *Agrobacterium* dan *Corynebacterium* yang menyebabkan penyakit pada tanaman.

Bakteri	Penyebab Penyakit
<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	Crown gall atau bengkak pada pangkal batang, akar, dan ranting tanaman gandum, anggur dan mawar.
<i>Agrobacterium thizogenes</i>	Akar berambut (hairy roots), dan
<i>Agrobacterium rubi</i>	Bengkak pada batang, dahan, daun dan bunga tanaman <i>oleander</i> .
<i>Corynebacterium fasciens</i>	Fasiasi pada dahan kapri
<i>Corynebacterium spedonicum</i>	Layu bakteri pada kacang buncis,
<i>Corynebacterium michiganense</i>	Layu bakteri pada tomat.

Sumber: Purnomo (2012)

Bakteri genus *Corynebacterium* berbentuk batang ramping, non-motil (ada juga yang motil) sampai sekarang belum merugikan pertanian dalam skala besar. Bakteri genus *Erwinia* merupakan bakteri berbentuk batang, motil, flagela peritrik. Penyebab kematian jaringan tanaman (mengering), juga penyebab benjolan-benjolan, layu dan busuk basah. Genus *Erwinia* biasanya sangat sulit dikendalikan. Beberapa

bakteri *Erwinia* yang menyebabkan penyakit pada tanaman dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Bakteri genus *Erwinia* yang menyebabkan penyakit pada tanaman pertanian

Bakteri genus <i>Erwinia</i>	Penyebab Penyakit
<i>Erwinia amylovora</i>	Fireblight pada apel
<i>Erwinia carotovora</i>	Busuk basah pada wortel dan sayuran lain sampai tembakau
<i>Erwinia chrysanthemi</i>	Busuk lunak pada kentang, talas dan nenas
<i>Erwinia dissolvens</i>	Busuk lunak pada batang jagung.

Sumber: Pumomo (2012)

Pseudomonas merupakan genus terbesar sebagai penyebab penyakit tanaman, bakteri berbentuk batang, motil dengan flagela polar, koloni membentuk pigmen berwarna kehijauan yang larut dalam air. Genus *Pseudomonas* meliputi hampir separuh jenis bakteri yang mampu menimbulkan penyakit tanaman. Bakteri patogen ini menyebabkan gejala yang bervariasi mulai dari bercak daun, hawar, busuk daun, sampai layu. Beberapa bakteri genus *Pseudomonas* yang bersifat patogen pada tanaman dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Bakteri genus *Pseudomonas* yang bersifat patogen pada tanaman

Bakteri genus <i>Pseudomonas</i>	Penyebab penyakit
<i>Pseudomonas solanacearum</i>	Layu pada Solanaceae dan jahe
<i>Pseudomonas glycinea</i>	Hawar pada daun kedelai
<i>Pseudomonas phaseolicola</i>	Bercak halo pada buncis
<i>Pseudomonas pseudozoogloeae</i>	Karat hitam pada tembakau
<i>Pseudomonas malvacearum</i>	Bercak bersudut pada kapas.

Sumber: Pumomo (2012)

Contoh tanaman yang diserang bakteri *Pseudomonas phaseolicola* pada buncis dan *Xanthomonas citri* pada tanaman jeruk dapat dilihat pada Gambar 5.5.



sumber: <http://www.extension.umn.edu>

sumber: <http://www.apsnet.org>

(a)

(b)

Gambar 5.5 Penyakit yang disebabkan oleh bakteri; (a) penyakit bercak halo pada buncis, (b) kanker pada jeruk

Genus bakteri patogen selanjutnya adalah *Xanthomonas*, yang mencakup hampir 60 jenis yang mampu menimbulkan penyakit pada tanaman. Gejala-gejala yang disebabkan oleh *Xanthomonas* juga bervariasi yang meliputi busuk, hawar dan bercak. Jenis-jenis *Xanthomonas* mempunyai kekhususan terutama terbentuknya pigmen kuning pada koloninya. Beberapa bakteri genus *Xanthomonas* yang menyebabkan penyakit pada tanaman dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Bakteri genus *Xanthomonas* yang menyebabkan penyakit pada tanaman

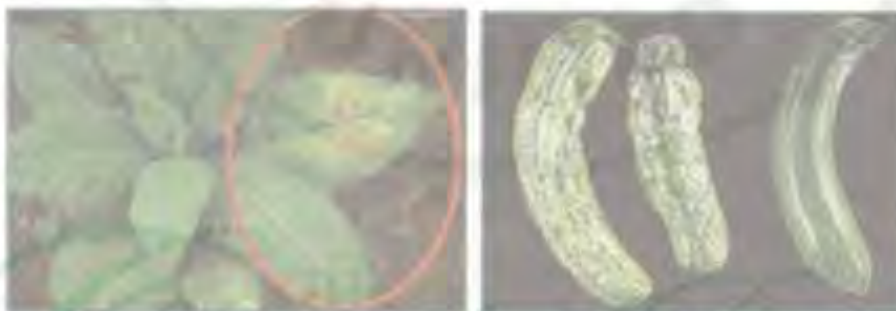
Bakteri genus <i>Xanthomonas</i>	Penyebab Penyakit
<i>Xanthomonas campestris</i>	Hawar daun padi, kedelai dan busuk lunak pada talas, ubi kayu
<i>Xanthomonas citri</i>	Kanker pada jeruk
<i>Xanthomonas malvacearum</i>	Bercak bersudut pada kapas
<i>Xanthomonas oryzae</i>	Hawar daun padi

Sumber: Purnomo (2012)

5.4.3 Virus

Virus merupakan kesatuan ultramikroskopik yang hanya mengandung satu atau dua bentuk asam nukleat yang dibungkus oleh senyawa protein kompleks. Asam nukleat dan protein disintesis oleh sel inang yang sesuai dengan memanfaatkan mekanisme sintesis dari sel-sel inang untuk menghasilkan substansi viral (asam nukleat dan protein).

Virus pada tanaman sangat sulit diatasi, karena virus tersusun atas sebuah mantel pelindung yang disebut kapsid dan tersusun atas protein. Bagian inti virus yang disebut nukleokapsid tersusun atas asam nukleat. Asam nukleat virus tanaman sebagian besar berbentuk Asam Ribonukleat (ARN), sedangkan virus hewan dan manusia sebagian besar berbentuk Asam Dioksiribo Nukleat (ADN). Virus telah banyak menimbulkan kerugian ekonomi terhadap hasil-hasil pertanian. Beberapa jenis virus mampu menyerang banyak macam tanaman inang tetapi ada pula yang hanya mempunyai satu tanaman inang spesifik. Tanaman yang terjangkit penyakit yang disebabkan oleh virus dapat dilihat pada Gambar 5.6.



(sumber: <http://undertecfona.blogspot.com>) (sumber: <http://biologie.uni-hamburg.de>)

Gambar 5.6 Tanaman yang terjangkit virus; (a) penyakit yang disebabkan mosaik Tembakau, (b) timun yang lisut (kiri) akibat virus mosaik ketimun

Gejala penyakit yang disebabkan oleh virus sangat bervariasi. Ada virus yang laten tanpa menimbulkan gejala, ada virus yang dapat menimbulkan gejala ke seluruh tubuh tanaman, mulai dari tidak berat sampai sangat berat. Gejala penyakit untuk satu virus penyebab dapat

bervariasi dari tiga sampai enam macam gejala yang berbeda. Gejala penyakit yang disebabkan oleh virus lebih tampak pada bagian tanaman yang baru tumbuh. Virus tumbuhan biasanya disebarkan oleh serangga vektor golongan aphid, leaf hoppers, trips, tungau, lalat putih atau karena pembuatan okulasi, penyambungan atau oleh adanya kontak antara tanaman sakit dengan tanaman sehat.

Virus penyebab penyakit tanaman yaitu: virus mosaik tembakau (*tobacco mosaic virus*) ditularkan oleh Aphids, virus mosaik ketimun (*cucumber mosaic virus*) ditularkan oleh Aphids, virus pucuk keriting (*curly-top virus*) ditularkan oleh leaf hopper, virus layu berbercak (*spotted wilt virus*) disebarkan oleh thrips.

5.5 Rangkuman

Peranan mikroorganisme dalam pertanian: (a) membantu penyerapan nitrogen dengan bersimbiosis dengan bakteri *Rhizobium* dan (b) membantu penyerapan fosfat dengan bersimbiosis dengan mikoriza. Mikroorganisme yang bersifat patogen pada tanaman yaitu jamur, bakteri, ada lima genus bakteri yang dikenal sebagai patogen pada tanaman, yaitu; *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Corynebacteriaceae*, *Erwinia*, *Pseudomonas*, *Streptomyces* dan *Xanthomonas*., dan patogen terakhir adalah virus. Mikroorganisme patogen tidak hanya merusak hasil pertanian bahkan dapat menyebabkan kematian pada tanaman yang diserang.

Jika dilakukan penelitian lebih lanjut, banyak mikroorganisme yang dapat dimanfaatkan untuk membuat pupuk biologis, sehingga menggunakan pupuk kimia dapat dihindari.

5.6 Latihan

1. Pada suatu lahan pertanian kacang tanah diketahui jumlah bintil akar yang dimiliki tanaman tersebut sangat sedikit. Apa yang menyebabkan sedikitnya jumlah bintil akar yang terbentuk pada tanaman *Legum* tersebut?

2. Pada kondisi seperti apa, yang memacu pertumbuhan mikoriza sehingga dapat meningkatkan jumlah fosfat pada tanaman?

