

# MICROORGANISME PENTING DALAM TANAH

Oleh: Lisa Marianah, SP

## PENDAHULUAN

Mikroorganisme adalah organisme yang berukuran sangat kecil sehingga tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Mikroorganisme dapat disebut mikroba atau jasad renik. Tanah yang subur mengandung lebih dari 100 juta mikroorganisme per gram tanah. Produktivitas dan daya dukung tanah tergantung pada aktivitas mikroorganisme tersebut. Sebagian besar mikroorganisme tanah memiliki peranan yang menguntungkan, yaitu berperan dalam menghancurkan limbah organik, siklus hara tanaman, fiksasi nitrogen, pelarut posfat, merangsang pertumbuhan, biokontrol patogen, dan membantu penyerapan unsur hara. Tetapi ada juga mikroorganisme yang merugikan seperti penyebab penyakit baik itu pada tanaman, ternak peliharaan juga pada manusia.

Organisme tanah berperan penting dalam mempercepat penyediaan hara dan juga sebagai sumber bahan organik tanah. Penambahan bahan organik dalam tanah akan menyebabkan aktivitas dan populasi mikrobiologi dalam tanah meningkat, terutama yang berkaitan dengan aktivitas dekomposisi dan mineralisasi bahan organik. Mikroorganisme tanah sangat nyata perannya dalam hal dekomposisi bahan organik pada tanaman tingkat tinggi. Dalam proses dekomposisi sisa tumbuhan dihancurkan atau dirombak menjadi unsur yang dapat digunakan tanaman untuk tumbuh.

## FAKTOR YANG MEMPENGARUHI MIKROORGANISME DALAM TANAH

Pada umumnya biomassa kebanyakan kelompok mikroorganisme menurun jumlahnya dengan meningkatnya kedalaman tanah, kecuali pada gambut.

Tabel 1. Distribusi mikroorganisme dalam horison dari suatu profil tanah

Kedalaman (cm)	Organisme/gr tanah x 10 <sup>3</sup>				
	Bakteri aerob	Bakteri anaerob	Actinomycetes	Fungi	Algae
3 – 8	7.800	1.950	2.080	119	25
20 – 25	1.800	379	245	50	5
35 – 40	472	98	49	14	0,5
65 – 75	10	1	5	6	0,1
135 – 145	1	0,4	-	3	-

Setiap spesies mikroorganisme mempunyai persyaratan tertentu untuk pertumbuhannya dan jika lingkungannya tidak sesuai, pertumbuhan atau aktivitasnya akan menurun sehingga mempengaruhi total populasinya.

### 1. Temperatur

Berdasar temperatur mikroorganisme terbagi atas golongan psikrofil (<5<sup>0</sup>C optimum serupa mesofil), mesofil (optimum antara 25<sup>0</sup>C dan 37<sup>0</sup>C) dan termofil (optimum antara 55<sup>0</sup>C dan 65<sup>0</sup>C).

### 2. Tekanan Osmotic

Pada umumnya mikroorganisme mempunyai daya adaptasi yang cukup terhadap tekanan osmotik dari lingkungan hidupnya. Protoplasma mikroorganisme

yang normal mempunyai kadar solute yang lebih tinggi dari tekanan osmotik lingkungan hidupnya. Kadaan ini menyebabkan kecenderungan air masuk ke sel, sehingga turgor sel dapat dipertahankan.

### 3. Tegangan Permukaan

Hal ini berkaitan dengan kelembaban dimana distribusi mikroorganisme dalam tanah tidak merata dan terutama terdapat pada bagian organik dari partikel tanah yang mengandung cukup air. Dalam hal ini bahan organik sebagai sumber nutrisi dan air berfungsi dalam metabolisme mikroorganisme (*transpor nutrisi dari luar sel ke dalam sel dan untuk proses metabolisme*). Di dalam tanah, mikroorganisme umumnya aktif pada kelembaban > 15 bar (*kapasitas lapang 1/3 bar, titik layu 15 bar*). Beberapa mikroorganisme yang termasuk fungi dan khamir dapat tumbuh pada tekanan 70 bar.

### 4. Fenomena Adsorpsi

Partikel liat sering berukuran sama dengan ukuran bakteri, bahkan liat bisa lebih kecil. Bakteri dan liat mempunyai muatan sehingga keduanya dapat berinteraksi, sebab muatan pada sel dan liat terpolarisasi atau diperantarai oleh ion metal.

### 5. Air

Air mempengaruhi aktivitas mikroorganisme sebab air merupakan komponen utama dari protoplasma. Air yang berlebih akan membatasi pertukaran gas sehingga menurunkan suplai O<sub>2</sub>, lingkungan akan menjadi anaerob.

### 6. pH

pH mempengaruhi tidak saja aktivitas mikroorganisme tetapi juga keragaman spesiesnya. *Streptomyces* (*Actinomycetes*) tidak akan tumbuh pada pH < 7,5. Pada umumnya kebanyakan mikroorganisme tumbuh optimum pada kisaran pH 6 – 8. Meskipun demikian mikroorganisme juga masih dapat tumbuh dengan baik diluar kisaran pH tersebut. Fungi umumnya lebih tahan terhadap pH masam, bakteri belerang dapat tumbuh pada pH 0 – 1, sebaliknya *Actinomycetes* sangat peka terhadap pH < 5.

### 7. Nutrien (hara)

Terjadinya perubahan nutrisi dapat menyebabkan perubahan komponen sel (RNA), protein dan kecepatan tumbuh (medium kaya, medium miskin).

Disamping sifat fisik dan kimia tanah, faktor biologi juga mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme, seperti interaksi antara mikroorganisme dan pengaruh tumbuhan tingkat tinggi.

Interaksi Antara Mikroorganisme meliputi : Netralisme, Kompetisi, Mutualisme, Komensalisme, Amensalisme (antagonisme), Sinergisme, Parasitisme, Predatorisme. Sedangkan pengaruh tumbuhan tingkat tinggi meliputi lingkungan hidup di daerah sistem akar yang disebut rhizosfer.

## PERANAN MIKROORGANISME DALAM TANAH

Produktivitas tanaman sangat erat kaitannya dengan kemampuan tanaman dalam menyerap air dan unsur hara secara efisien dari tanah. Kegiatan akar ditentukan oleh suatu kumpulan proses biologi terpadu.

### 1. Mikroorganisme Pemantap Agregat

Stabilitas agregat pada umumnya meningkat dengan makin banyaknya jumlah mikroorganisme (Lynch, 1987). Hal ini dapat dilihat dari penambahan jumlah bakteri (*Azotobacter chroococcum* dan *Pseudomonas* sp.) dan ragi (*Lypomyces starkeyi*) yang ternyata meningkatkan stabilitas agregat terhadap kekuatan air.

Sebaliknya tanah yang ditambah jenis jamur (*Mucor hiemalis*) menunjukkan hasil yang berbeda.

Berbeda dengan kasus jamur , dengan adanya jamur perekatan ini tidak terjadi, karena hifa jamur akan menghalangi kontak antara partikel tanah dengan bakteri disekelilingnya. Namun dalam kondisi yang lain, hifa jamur dapat melindungi agregat primer yang dibentuk oleh perekatan bakteri untuk membentuk agregat sekunder. Di alam, bahan perekat yang dijumpai jarang yang berupa mikroorganisme saja, tetapi umumnya berkombinasi dengan ikatan asam organik (Hillel, 1982).

## 2. Mikroorganisme Pendorong Serapan Hara

Pemanfaatan mikroorganisme tanah untuk meningkatkan efisiensi serapan hara oleh akar tanaman pada umumnya melalui peningkatan kelarutan unsur hara yang dibutuhkan tanaman baik yang berasal dari pupuk maupun yang berasal dari mineral tanah dan atau peningkatan kemampuan akar menyerap hara. Hal ini berkaitan dengan bakteri pelarut hara dan yang berkaitan dengan jamur mikoriza.

*Pseudomonas* sp. dan *Bacillus* sp. adalah jenis bakteri yang mampu meningkatkan kelarutan fosfat dalam tanah. Namun menurut Lynch (1983) jenis yang pertama mampu mengakumulasi nitrit, sehingga dapat meracuni tanaman. *Pseudomonas fluorescens-putida* mampu membentuk koloni di rhizosfer dengan cepat sehingga dapat meningkatkan hasil kentang, bit gula dan lobak sebanyak 144 %. Pada tanaman kedelai kombinasi antara *Pseudomonas putida* dan *Azospirillum* sp. meningkatkan serapan N dan P. Pemberian bakteri pelarut fosfat juga meningkatkan laju pertumbuhan bibit lamtoro, meningkatkan ketersediaan fosfat pada tanah ber pH tinggi >7 dan kadar P tanah tersedia tinggi (95 ppm).

Jenis bakteri yang terlibat dalam pelarutan masing-masing unsur dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Beberapa jenis bakteri yang berperan penting dalam proses pelepasan unsur hara dalam tanah.

Unsur hara	Reaksi	Jenis Bakteri
Mn	Oksidasi	<i>Corynebacterium</i> sp.
Fe	Oksidasi	<i>Pseudomonas</i> sp.
S	Reduksi	<i>Citrobacter freundii</i>
Si	Oksidasi	<i>Leptospirillum</i> sp
	Alterasi	<i>Thiobacillus ferroxidans</i> <i>Desulfovibrio desulfuricans</i> <i>T. ferroxidans</i> <i>Sulfolobus</i> spp <i>Arthrobacter</i> <i>Bacillus</i> <i>Nocardia</i> <i>Pseudomonas</i> sp.

Tabel 3. Kandungan Bakteri pada Tanah :

No	Jenis Tanah	Jumlah Bakteri
1	Tanah pasir	320– 500 ribu sel bakteri/gr tanah
2	Tanah lempung	360 – 600 ribu sel bakteri/gr tanah
3	Tanah subur	2 – 200 juta sel bakteri/gr tanah

## JENIS DAN FUNGSI MIKROORGANISME PENYUBUR TANAH

Mikroorganisme penyubur tanah yang sering digunakan dalam bidang pertanian antara lain adalah:

### 1. Bakteri Fiksasi Nitrogen

Hara N sebenarnya tersedia melimpah di udara kurang lebih 74%. Namun, N udara tidak dapat langsung diserap oleh tanaman. Tidak ada satupun tanaman yang dapat menyerap N dari udara. N harus difiksasi/ditambat oleh mikroba tanah dan diubah bentuknya menjadi tersedia bagi tanaman. Mikroba penambat N ada yang bersimbiosis dengan tanaman dan ada pula yang hidup bebas di sekitar perakaran tanaman.

Berbagai jenis bakteri fiksasi N<sub>2</sub> secara hayati, antara lain terdiri atas rhizobia, sianobakter (ganggang hijau biru), bakteri foto-autotrofik pada air tergenang dan permukaan tanah, dan bakteri heterotrofik dalam tanah dan zona akar (Ladha and Reddy 1995, Boddey et al. 1995, Kyuma 2004). Bakteri fiksasi N<sub>2</sub> yang hidup bebas pada daerah perakaran dan jaringan tanaman padi, seperti *Pseudomonas* spp., *Enterobacteriaceae*, *Bacillus*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, dan *Herbaspirillum* telah terbukti mampu melakukan fiksasi N<sub>2</sub> (James and Olivares 1997). Bakteri fiksasi N<sub>2</sub> pada rizosfer tanaman gramineae, seperti *Azotobacter paspali* dan *Beijerinckia* spp., termasuk salah satu dari kelompok bakteri aerobik yang mengkolonisasi permukaan akar (Baldani et al. 1997). Kelompok prokariotik fotosintetik, seperti sianobakter, mampu mempertahankan kesuburan ekosistem pada kondisi alami lahan pertanian melalui kemampuannya mengikat N<sub>2</sub> (Albrecht 1998).

Bakteri fiksasi N<sub>2</sub> yang hidup bersimbiosis dengan tanaman kacang-kacangan (rhizobia) disebut juga sebagai bakteri bintil akar (root nodulating bacteria). Pemanfaatan rhizobia sebagai inokulan pupuk hayati dapat meningkatkan ketersediaan N bagi tanaman, yang dapat mendukung peningkatan produktivitas tanaman kacang-kacangan. Keefektivan inokulasi rhizobia dipengaruhi oleh kesesuaian inokulan rhizobia dengan jenis dan varietas tanaman dan jenis tanah yang diinokulasi, serta dipengaruhi oleh faktor kompetisi dengan rhizobia indigenous.

### 2. Mikroba Pelarut Fosfat

Mikroba tanah lain yang berperan di dalam penyediaan unsur hara tanaman adalah mikroba pelarut fosfat (P) dan kalium (K). Tanah-tanah yang lama diberi pupuk superfosfat (TSP/SP 36) umumnya kandungan P-nya cukup tinggi (jenuh). Namun, hara P ini sedikit/tidak tersedia bagi tanaman, karena terikat pada mineral liat tanah yang sukar larut.

Berbagai spesies mikroba pelarut P, antara lain *Pseudomonas*, *Microccus*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Penicillium*, *Sclerotium*, *Fusarium*, dan *Aspergillus*, berpotensi tinggi dalam melarutkan P terikat menjadi P tersedia dalam tanah

(Alexander 1977, Illmer and Schinner 1992, Goenadi *et al.* 1993, Goenadi dan Saraswati 1993). Mekanisme pelarutan P dari bahan yang sukar larut terkait erat dengan aktivitas mikroba bersangkutan dalam menghasilkan enzim fosfatase dan fitase (Alexander 1977) dan asam-asam organik hasil metabolisme seperti asetat, propionat, glikolat, fumarat, oksalat, suksinat, dan tartrat (Banik and Dey 1982), sitrat, laktat, dan ketoglutarat (Illmer and Schinner 1992).

Menurut Alexander (1977), mekanisme pelarutan P yang terikat dengan Fe (ferric phosphate) pada tanah sawah terjadi melalui peristiwa reduksi, sehingga Fe dan P menjadi tersedia bagi tanaman. Proses utama pelarutan senyawa fosfat-sukar larut karena adanya produksi asam organik dan sebagian asam anorganik oleh mikroba yang dapat berinteraksi dengan senyawa P-sukar larut dari kompleks Al-, Fe-, Mn-, dan Ca- (Basyaruddin 1982). Kemampuan cendawan melarutkan P lebih besar dibanding bakteri Cendawan dapat melarutkan P hingga dua kali pada pH 4,6-2,9, dan bakteri sekitar 1,5 kali pada pH 6,5-5,1 (Goenadi dan Saraswati 1993).

### 3. Mikoriza

Mikoriza berperan meningkatkan serapan P dan unsur mikro Zn, Cu, dan Fe. Hal ini terjadi melalui percepatan pertumbuhan akar dengan adanya simbiosis jamur tersebut. Mikoriza memiliki struktur hifa yang menjalar luas ke dalam tanah, melampaui jauh jarak yang dapat dicapai oleh rambut akar. Pada saat P berada di sekitar rambut akar, maka hifa membantu menyerap P di tempat-tempat yang tidak dapat lagi dijangkau rambut akar. Daerah akar bermikoriza tetap aktif dalam mengabsorpsi hara untuk jangka waktu yang lebih lama dibandingkan dengan akar yang tidak bermikoriza (Simanungkalit 2007).

Berbagai tanaman berbeda ketergantungannya terhadap mikoriza. Pada umumnya hubungan simbiosis antara tanaman dan cendawan mikoriza tidak bersifat spesifik, tetapi memiliki spektrum yang luas. Sebagai contoh, 10 spesies cendawan mikoriza dapat mengkolonisasi dan efektif pada jagung dan kedelai (Simanungkalit 1997, Lukiwati dan Simanungkalit 1999). Tanaman dengan akar besar lebih tergantung pada mikoriza daripada tanaman dengan sistem akar yang memiliki rambut akar banyak dan panjang (Baylis 1970). Cendawan mikoriza dapat bersimbiosis dengan tanaman pangan, hortikultura, kehutanan, dan perkebunan.

### 4. Bakteri Pereduksi Sulfat

Degradasi bahan organik di lingkungan anerob dapat terjadi melalui proses reduksi sulfat (Sherman *et al.* 1998). Reduksi sulfat hampir mencapai 100% dari total emisi CO<sub>2</sub> dari sediment mangrove (Kristensen *et al.* 1991). Bakteri pereduksi sulfat yang terdiri atas genera *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*, *Desulfosarcina*, dan *Desulfococcus* mempunyai kemampuan memetabolisme senyawa sederhana, seperti laktat, asetat, propionat, butirrat, dan benzoat.

Perkembangan populasi bakteri pereduksi sulfat terhambat pada ketersediaan sulfat di ambang batas 2-10  $\mu\text{M}$  per liter. Ketersediaan Fe dan P dalam sedimen mangrove bergantung pada aktivitas bakteri pereduksi sulfat (Sherman *et al.* 1998). Pada saat sulfat direduksi oleh bakteri pereduksi sulfat maka senyawa sulfur H<sub>2</sub>S dan HS akan diproduksi dan bereaksi dengan Fe. Fe direduksi dari Fe(III) menjadi Fe(II), yang akan menghasilkan pirit (FeS<sub>2</sub>) dan melepas P terlarut. Bakteri pereduksi sulfat merupakan perombak bahan organik utama dalam sedimen anaerob, dan berperan penting dalam mineralisasi sulfur organik dan produksi Fe dan P mudah larut.

## 5. Mikroorganisme Penghasil Zat Pemacu Tumbuh

Beberapa spesies bakteri rizosfer (di sekitar perakaran) yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman sering disebut Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) atau Rhizobakteria Pemacu Pertumbuhan Tanaman (RPPT). RPPT terdiri atas genus *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Bacterium*, *Mycobacterium*, dan *Pseudomonas* (Tien et al. 1979, Kloepper et al. 1980, Kloepper 1983, Schroth & Weinhold 1986, Biswas et al. 2000).

Kelompok mikroba yang mampu menghasilkan hormon tanaman, antara lain: *Pseudomonas* sp dan *Azotobacter* sp. Bakteri pemacu tumbuh secara langsung memproduksi fitohormon yang dapat menginduksi pertumbuhan. Metabolit yang dihasilkan selain berupa fitohormon, juga antibiotik, siderofor, sianida, dan sebagainya. Fitohormon atau hormon tumbuh yang diproduksi dapat berupa auksin, giberelin, sitokinin, etilen, dan asam absisat.

Bakteri pemacu tumbuh secara tidak langsung juga menghambat patogen melalui sintesis senyawa antibiotik, sebagai kontrol biologis. Beberapa jenis endofitik bersimbiosis mutualistik dengan tanaman inangnya dalam meningkatkan ketahanannya terhadap serangga hama melalui produksi toksin, di samping senyawa anti mikroba seperti fungi *Pestalotiopsis microspora*, dan *Taxus walkchiana* yang memproduksi taxol (zat antikanker) (Strobel et al. 1999). Miles et al. (1998) melaporkan bawa endofitik *Neotyphodium* sp. Menghasilkan N-formilonine dan a paxiline (senyawa anti serangga hama).

## 6. Mikroba Perombak Bahan Organik

Mikroorganisme perombak bahan organik atau biodekomposer adalah mikroorganisme pengurai serat, lignin, dan senyawa organik yang mengandung nitrogen dan karbon dari bahan organik (sisa-sisa organik dari jaringan tumbuhan atau hewan yang telah mati). Mikroba perombak bahan organik terdiri atas *Trichoderma reesei*, *T. harzianum*, *T. koningii*, *Phanerochaeta crysosporium*, *Cellulomonas*, *Pseudomonas*, *Thermospora*, *Aspergillus niger*, *A. terreus*, *Penicillium*, dan *Streptomyces*. Fungi perombak bahan organik umumnya mempunyai kemampuan yang lebih baik dibanding bakteri dalam mengurai sisa-sisa tanaman (hemiselulosa, selulosa dan lignin). Umumnya mikroba yang mampu mendegradasi selulosa juga mampu mendegradasi hemiselulosa (Alexander 1977). Menurut Eriksson et al. (1989), kelompok fungi menunjukkan aktivitas biodekomposisi paling nyata, yang dapat segera menjadikan bahan organik tanah terurai menjadi senyawa organik sederhana, yang berfungsi sebagai penukar ion dasar yang menyimpan dan melepaskan hara di sekitar tanaman.

Mikroba perombak bahan organik secara alami atau sengaja diinokulasikan untuk mempercepat pengomposan dan meningkatkan mutu kompos. Jumlah dan jenis mikroorganisme turut menentukan keberhasilan proses dekomposisi atau pengomposan. Di dalam ekosistem, mikroorganisme perombak bahan organik memegang peranan penting karena sisa organik yang telah mati diurai menjadi unsur-unsur yang dikembalikan ke dalam tanah dalam bentuk hara mineral N, P, K, Ca, Mg, dan atau dalam bentuk gas yang dilepas ke atmosfer berupa CH<sub>4</sub> atau CO<sub>2</sub>. Dengan demikian terjadi siklus hara yang berjalan secara alamiah, dan proses kehidupan di muka bumi dapat berlangsung secara berkelanjutan.

Beberapa enzim yang terlibat dalam perombakan bahan organik antara lain adalah  $\beta$ -glukosidase, lignin peroksidase (LiP), manganese peroksidase (MnP), dan

lakase, selain kelompok enzim reduktase yang merupakan penggabungan dari LiP dan MnP, yaitu enzim versatile peroksidase. Enzim ini dihasilkan oleh *Pleurotus eryngii*, *P. ostreatus*, dan *Bjerkandera adusta* (Lankinen 2004). Selain mengurai bahan berkayu, sebagian besar fungi menghasilkan zat yang bersifat racun, sehingga dapat dipakai untuk menghambat pertumbuhan/perkembangan organisme pengganggu, seperti beberapa strain *T. harzianum* yang merupakan salah satu anggota *Ascomycetes*. Apabila kebutuhan karbon (C) tidak tercukupi, fungi tersebut akan menghasilkan racun yang dapat menggagalkan penetasan telur nematoda. *Meloidogyn javanica* (penyebab bengkok akar), sedangkan bila kebutuhan C tercukupi akan bersifat parasit pada telur atau larva nematoda tersebut. Fungi *Zygomycetes* (*Mucorales*) sebagian besar berperan sebagai pengurai amylum, protein, lemak, dan hanya sebagian kecil yang mampu mengurai selulosa dan kitin. Inokulan perombak bahan organik telah tersedia secara komersial dengan berbagai nama, seperti EM-4, Starbio, M-Dec, Stardek, dan Orgadek.

## 7. Jenis Mikroba Penyubur Tanah Lainnya

- **Azotobacter SP** berfungsi untuk melindungi atau menyelimuti hormon tumbuhan dan juga berfungsi sebagai mikroba penambat N (nitrogen) dari udara bebas.
- **Azoospirillum SR** berfungsi sebagai penambat N (nitrogen) dari udara bebas untuk diserap oleh tanaman.
- **Selulolitik** Menghasilkan enzim selulose yang berguna dalam proses pembusukan bahan organik.
- **Rill kroba Pelarut Fosfat** berfungsi untuk melarutkan fosfat yang terikat dalam mineral Hat tanah menjadi senyawa yang mudah diserap oleh tanaman, selain itu dapat membantu proses dekomposisi.
- **Pseudomonas sp** dapat menghasilkan enzim pengurai yang disebut lignin berfungsi juga untuk memecah mata rantai dari zat-zat kimia yang tidak dapat terurai oleh mikroba lainnya.
- **Nitrosococcus** merupakan bakteri yang memiliki metabolisme berbasis oksigen. Berperan dalam proses penambahan kesuburan tanah (membentuk humus).
- **Nitrosomonas** merupakan sebuah bakteri berbentuk batang yang terdiri dari genus chemoautotrophic. berperan dalam proses nitrifikasi menghasilkan ion nitrat yang dibutuhkan tanaman

## PENUTUP

Mikroorganisme adalah organisme yang berukuran sangat kecil sehingga tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Mikroorganisme dapat disebut mikroba atau jasad renik. Tanah yang subur mengandung lebih dari 100 juta mikroorganisme per gram tanah. Secara umum, aktivitas mikroorganisme dalam suatu profil tanah sangat ditentukan oleh ketersediaan substrat energi dan unsur hara anorganik.

Disamping itu pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme ditentukan oleh sifat fisik dan kimia tanah. Sifat fisik tanah meliputi: Temperatur, tekanan osmotik, tegangan permukaan, radiasi, kekentalan (*viscosity*), fenomena adsorpsi. Sedangkan sifat kimia tanah yang berpengaruh meliputi: Air, pH, kualitas dan kuantitas hara organik dan anorganik, udara, senyawa pendorong dan penghambat pertumbuhan, oksidasi dan reduksi.

Pemanfaatan mikroorganisme menawarkan teknik-teknik yang memungkinkan untuk memantapkan agregat tanah, meningkatkan serapan unsur hara, mengendalikan

patogen dalam tanah dan mempercepat pelapukan limbah organik padat tanpa menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan.

Mikroorganisme penyubur tanah yang sering digunakan dalam bidang pertanian antara lain adalah: bakteri fiksasi nitrogen, mikroba pelarut fosfat, mikoriza, bakteri pereduksi sulfat, rizobakteri penghasil zat pemacu tumbuh, mikroba perombak bahan organik, dan jenis mikroba penyubur tanah lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. 2nd Ed. John Wiley and Sons. New York. 467 p.
- Banik, S. and B.K. Dey. 1982. Available phosphate content of an alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphate-solubilizing micro-organisms. *Plant and Soil* 69: 353-364.
- Baylis, G.T.S. 1975. The magnoloid mycorrhiza and mycotrophy in root systems deived from it. p. 373-389. In: F.E.Sanders, B.Mosse, and P.B. Tinker (Eds.), *Endomycorrhizas*. Academic Press, London.
- Eriksson, KEL, R.A. Blanchette, and P. Ander. 1989. Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components. Springer-Verlag Heildeberg. New York.
- James, E. and F.L. Olivares. 1997. Infection and colonization of sugarcane and other graminaceous plants by endophytic diazotrophicus. *Plant Science*. 17:77-119.
- Kristensen, E., M. Holmer, and N. Bussarawit. 1991. Benthic metabolism and sulfate reduction in a south-east Asian mangrove swamp. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 73:93-103.
- Ladha, J.K. and P.M. Reddy. 1995. Extension of nitrogen fixation to rice: necessity and possibilities. *GeoJournal*. 35:363-372.
- Lankinen, P. 2004. Ligninolytic enzymes of the basidiomycetous fungi *Agaricus bisporus* and *Phlebia radiata* on lignocellulose-containing media. Academic Dissertation in Microbiology. <http://www.u.arizona.edu/~leam/lankinen.pdf>. [10 Desember 2005].
- Miles, C.O., M.E. diMena, S.W.L. Jacobs, I. Garthwaite, G.A. Lane, R.A. Prestidge, S.L. Marshal, H.H. Wilkinson, C.L. Schardl, O.J.P. Ball, and C.M.Latch. 1998. Endophytic fungi in indigineous Australian grasses associated with toxicity to livestock. *Appl. Environ. Microbiol.* 64:601-606.
- Olivares, F.L., V.L.D. Baldani, V.M. Reis, J.I. Baldani, and J. Dobereiner. 1996. Occurrence of the endophytic diazotrophs *Herbaspirillum* spp. In roots, stems and leaves predominantly of Gramineae. *Biology Fertility Soils*, 21: 197-200.
- Sherman, R.E., T.J. Fahey, and R.W. Howarth. 1998. Soil-plant interactions in a neotropical mangrove forest:iron, phosphorus, and sulfur dynamics. *Oecologia* 115:553-563.
- Simanungkalit, R.D.M. 1997. Effectiveness of 10 species of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi isolated from West Java and Lampung on maize and soybean, p. 267-274. In: U.A. Jenie (Ed.). *Proc. Indonesian Biotechnology Conference, Vol. II* . The Indonesian Biotechnology Consortium, IUC Biotechnology IPB, Bogor.
- Strobel, G.A., E. Ford, J.Y. Li, J. Sears, R.S. Sidhu, and W.M. Hess. 1999. *Seimatoantlerium tepuiense* gen. Nov., a unique epiphytic fungus producing taxol from the Venezuelan Guyana. *Syst. Appl. Microbiol.* 22:426-433.



Tien, T.M., M.H. Gaskin, and D.H. Hubell. 1979. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). *Appl. Environ. Microbiol.* 37:1016-1024.