

# Peranan Mikroba Pelarut Fosfat Terhadap Pertumbuhan Tanaman

Deni Elfiati

Jurusan Kehutanan  
Fakultas Pertanian  
Universitas Sumatera Utara

## PENDAHULUAN

Fosfor (P) termasuk unsur hara makro yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman, namun kandungannya di dalam tanaman lebih rendah dibanding nitrogen (N), kalium (K), dan kalsium (Ca). Tanaman menyerap P dari tanah dalam bentuk ion fosfat, terutama  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  dan  $\text{HPO}_4^{2-}$  yang terdapat dalam larutan tanah. Ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  lebih banyak dijumpai pada tanah yang lebih masam, sedangkan pada pH yang lebih tinggi (lebih besar dari 7) bentuk  $\text{HPO}_4^{2-}$  lebih dominan. Disamping ion-ion tersebut, tanaman dapat menyerap P dalam bentuk asam nukleat, fitin dan fosfohumat (Havlin *et al.*, 1999).

Mendekatnya suatu unsur hara dari larutan tanah ke permukaan akar dapat terjadi melalui salah satu dari tiga proses, yaitu : (1) intersepsi akar (*root interception*), atau dengan pertukaran kontak (*contact exchange*); (2) difusi ion-ion dalam larutan tanah, dan (3) gerakan ion-ion oleh gerakan massa (*mass movement*) atau aliran massa (*mass flow*) larutan tanah (Nyakpa *et al.*, 1988).

Pergerakan ion fosfat pada umumnya disebabkan oleh proses difusi, tetapi jika kandungan P larutan tanah cukup tinggi, maka proses aliran massa dapat berperan dalam transportasi tersebut. Ion yang sudah berada di permukaan akar akan menuju rongga luar akar (*outer space*) melalui proses difusi sederhana, jerapan pertukaran, dan kegiatan bahan pembawa (*carrier*). Selanjutnya ion memasuki rongga dalam akar (*inter space*) dengan melibatkan energi metabolisme, yang dikenal sebagai serapan aktif (Nyakpa *et al.*, 1988).

Pada tanah masam, P bersenyawa dalam bentuk-bentuk Al-P, Fe-P dan *Occluded-P*, sedangkan pada tanah bereaksi basa, pada umumnya P bersenyawa sebagai Ca-P. Adanya pengikatan-pengikatan P tersebut menyebabkan pupuk P yang diberikan menjadi tidak efisien, sehingga perlu diberikan dalam takaran yang tinggi. Menurut Jones (1982) tanaman memanfaatkan P hanya sebesar 10-30% dari pupuk P yang diberikan, berarti 70-90% pupuk P tetap berada di dalam tanah.

Kekurangefisienan penggunaan pupuk P ini dapat diatasi dengan berbagai cara, salah satu diantaranya dengan memanfaatkan mikroba pelarut P sebagai pupuk hayati. Penggunaan mikroba pelarut P sebagai pupuk hayati mempunyai keunggulan antara lain hemat energi, tidak mencemari lingkungan, mampu membantu meningkatkan kelarutan P yang terjerap, menghalangi terjerapnya P pupuk oleh unsur-unsur penjerap dan mengurangi toksisitas  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  dan  $\text{Mn}^{2+}$  terhadap tanaman pada tanah masam. Pada jenis-jenis tertentu, mikroba ini dapat memacu pertumbuhan tanaman karena menghasilkan zat pengatur tumbuh, serta menahan penetrasi patogen akar karena sifat mikroba yang cepat mengkolonisasi akar dan menghasilkan senyawa antibiotik.

Pupuk hayati ini layak digunakan sebagai alternatif untuk mengefisienkan pupuk P, mengingat bahan ini merupakan sumber daya alam yang dengan mudah dapat diperbaharui (*renewable*), dan dapat diintroduksi ke daerah-daerah baru.

### **PERANAN P DALAM TANAMAN**

Fosfat yang diserap tanaman tidak direduksi, melainkan berada di dalam senyawa-senyawa organik dan anorganik dalam bentuk teroksidasi. Fosfor anorganik banyak terdapat di dalam cairan sel sebagai komponen sistem penyangga tanaman. Dalam bentuk organik, P terdapat sebagai : (1) fosfolipid, yang merupakan komponen membran sitoplasma dan kloroplas; (2) fitin, yang merupakan simpanan fosfat dalam biji; (3) gula fosfat, yang merupakan senyawa antara dalam berbagai proses metabolisme tanaman; (4) nukleoprotein, komponen utama DNA dan RNA inti sel; (5) ATP, ADP, AMP, dan senyawa sejenis, sebagai senyawa berenergi tinggi untuk metabolisme; (6) NAD dan NADP, merupakan koenzim penting dalam proses reduksi dan oksidasi; dan (7) FAD dan berbagai senyawa lain, yang berfungsi sebagai pelengkap enzim tanaman (Salisbury dan Ross, 1995).

Adenosin trifosfat (ATP) terbentuk melalui proses fosforilasi oksidatif pada asimilasi fosfat oleh tumbuhan. Fosfor yang diasimilasi menjadi ATP dengan cepat segera ditransfer melalui reaksi metabolik berikutnya menjadi berbagai macam bentuk fosfat dalam tanaman, diantaranya gula fosfat, fosfolipid, dan nukleotida.

Asam deoksiribonukleat (DNA) yang tersusun dari basa purin dan pirimidin, gula pentosa dan fosfat, berfungsi sebagai pembawa informasi genetik, sedangkan RNA sebagai penterjemah informasi dan keterlibatan lain dalam sintesis protein. NAD, NADP, dan FAD berlaku sebagai reduktan dalam sintesis senyawa-senyawa organik tumbuhan. Fosfor juga merupakan penyusun fitin, yaitu bentuk utama P yang tersimpan dalam biji. Substansi ini merupakan garam kalsium dan magnesium inositol asam heksafosfat, sedangkan fosfolipid merupakan bahan yang berperananan penting dalam mengatur permeabilitas membran sel dan pengangkutan ion (Salisbury dan Ross, 1995).

Soepardi (1983) mengemukakan peranan P antara lain penting untuk perumbuhan sel, pembentukan akar halus dan rambut akar, memperkuat jerami agar tanaman tidak mudah rebah, memperbaiki kualitas tanaman, pembentukan bunga, buah dan biji serta memperkuat daya tahan terhadap penyakit.

Melihat uraian di atas, maka kekurangan P pada tanaman akan mengakibatkan berbagai hambatan metabolisme, diantaranya dalam proses sintesis protein, yang menyebabkan terjadinya akumulasi karbohidrat dan ikatan-ikatan nitrogen. Kekurangan P tanaman dapat dimati secara visual, yaitu daun-daun yang tua akan berwarna keunguan atau kemerahan karena terbentuknya pigmen antisianin. Pigmen ini terbentuk karena akumulasi gula di dalam daun sebagai akibat terhambatnya sintesis protein. Gejala lain adalah nekrosis (kematian jaringan) pada pinggir atau helai dan tangkai daun, diikuti melemahnya batang dan akar tanaman.

### **SENYAWA P DI DALAM TANAH**

Fosfor di dalam tanah dapat dibedakan dalam dua bentuk, yaitu P-organik dan P-anorganik. Kandungannya sangat bervariasi tergantung pada jenis tanah, tetapi pada umumnya rendah.

## P-organik

Fosfor organik di dalam tanah terdapat sekitar 50% dari P total tanah dan bervariasi sekitar 15-80% pada kebanyakan tanah. Bentuk-bentuk fosfat ini berasal dari sisa tanaman, hewan dan mikroba. Di sini terdapat sebagai senyawa ester dari asam ortofosfat, yaitu inositol, fosfolipid, asam nukleat, nukleotida, dan gula fosfat. Tiga senyawa yang disebutkan pertama amat dominan di dalam tanah. Diperkirakan proporsi senyawa ini dalam total P organik adalah inositol fosfat 10-30%, fosfolipid 1-5% dan asam nukleat 0.2-2.5% (Havlin *et al.*, 1999).

Inositol fosfat dapat mempunyai satu sampai enam atom P setiap unitnya, dan senyawa ini dapat ditemukan dalam tanah atau organisme hidup yang dibentuk secara enzimatik. Asam nukleat sebagai DNA dan RNA menyusun 1-10% P-organik total (Havlin *et al.*, 1999). Sel-sel mikroba sangat kaya dengan asam nukleat. Jika organisme tersebut mati, maka asam nukleatnya siap untuk dimineralisasi (Alexander, 1978).

Ketersediaan P-organik bagi tanaman sangat tergantung pada aktivitas mikroba untuk memineralisasikannya. Namun seringkali hasil mineralisasi ini segera bersenyawa dengan bagian-bagian anorganik untuk membentuk senyawa yang relatif sukar larut. Enzim fosfatase berperan utama dalam melepaskan P dari ikatan P-organik. Enzim ini banyak dihasilkan oleh mikroba tanah, terutama yang bersifat heterotrof. Aktivitas fosfatase dalam tanah meningkat dengan meningkatnya C-organik, tetapi juga dipengaruhi oleh pH, kelembaban, temperatur dan faktor lainnya. Dalam kebanyakan tanah total P-organik sangat berkorelasi dengan C-organik tanah, sehingga mineralisasi P meningkat dengan meningkatnya total C-organik. Semakin tinggi C-organik dan semakin rendah P-organik semakin meningkat immobilisasi P. Fosfat anorganik dapat diimmobilisasi menjadi P-organik oleh mikroba dengan jumlah yang bervariasi antara 25-100% (Havlin *et al.*, 1999).

## P-anorganik

Bentuk P-anorganik dapat dibedakan menjadi : (1) P aktif yang meliputi Ca-P, Al-P, Fe-P dan (2) P tidak aktif, yang meliputi *occluded-P*, *reductant-P*, dan mineral P primer (Sanchez, 1992). Fosfor anorganik di dalam tanah pada umumnya berasal dari mineral fluor apatit. Dalam proses hancuran iklim dihasilkan berbagai mineral P sekunder seperti hidroksi apatit, karbonat apatit, klor apatit dan lain-lain sesuai dengan lingkungannya. Selain itu, ion-ion fosfat dengan mudah dapat bereaksi dengan ion  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , dan  $\text{Ca}^{2+}$ , ataupun terjerap pada permukaan oksida-oksida hidrat besi, aluminium dan liat.

Pada tanah masam, kelarutan Al dan Fe menjadi tinggi. Dengan demikian, ion fosfat ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) akan segera terikat membentuk senyawa P yang kurang tersedia bagi tanaman. Mula-mula senyawa ini bersifat koloidal, lambat laun menjadi kristal *varisit*  $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dan *strengit*  $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Nyakpa *et al.*, 1988; Havlin *et al.*, 1999). Bila pH tanah dinaikkan, maka P akan berubah menjadi tersedia kembali. Pada pH di atas netral, P juga kurang tersedia bagi tanaman karena diikat oleh Ca menjadi senyawa yang kurang tersedia. Unsur tersebut akan tersedia kembali bila pH diturunkan. Jadi ketersediaan P sangat dipengaruhi oleh pH tanah. Peneliti yang berbeda-beda mengemukakan pendapat yang berlainan tentang kisaran pH tanah yang mendukung ketersediaan P paling tinggi, yaitu 6.5-7.0 (Olsen *et al.*, 1962), 6.0-6.5 (Lindsay, 1979) dan 5.5-7.0 (Havlin *et al.*, 1999).

Ketersediaan P sebagai mineral tanah digambarkan secara terinci oleh Lindsay et al. (1989), tetapi pengendapan P dalam bentuk tersebut dianggap kurang penting dibanding fenomena adsorpsi pada permukaan seskuioksida, terutama dalam menggambarkan retensi P dari pupuk yang diberikan ke dalam tanah. Adsorpsi terjadi pada permukaan oksida-oksida hidrat besi, aluminium dan liat. Kemampuan adsorpsi tersebut bergantung pada kadar liat, Fe dan Al terlarut, C-organik, dan CaCO<sub>3</sub>. Pada tanah-tanah tropika basah, adsorpsi P terutama terjadi oleh adanya Fe dan Al terlarut, sedangkan pada tanah-tanah berkapur atau tanah yang dikapur berat, adsorpsi P dilakukan oleh Ca (Sanchez, 1992). Adanya pengikatan P ini menyebabkan pemberian pupuk P menjadi tidak efisien.

### **MIKROBA TANAH PELARUT P**

Umumnya di dalam tanah ditemukan mikroba pelarut P an organik sekitar 10<sup>4</sup>-10<sup>6</sup> per gram tanah dan sebagian besar berada pada daerah perakaran. Penelitian dan pemanfaatan mikroba pelarut P sudah mulai dilakukan sejak tahun 1930-an (Waksman dan Starkey, 1931; Gerretsen, 1948). Negara yang mula-mula memproduksi mikroba ini sebagai pupuk hayati adalah Rusia (bekas negara Uni Sovyet) pada tahun 1947. Inokulan pelarut P ini cukup luas dimanfaatkan di negara-negara Eropa Timur dengan nama dagang fosfobakterin. Produk ini dilaporkan terdiri dari kaolin yang membawa 7 juta spora bakteri *Bacillus megaterium* varietas *phosphaticum* setiap gramnya. Selanjutnya dikemukakan bahwa fosfobakterin memberikan hasil yang paling baik pada tanah-tanah netral sampai basa dengan kandungan bahan organik tinggi, seperti pada tanah-tanah *Chernozem* (Smith et al., 1961).

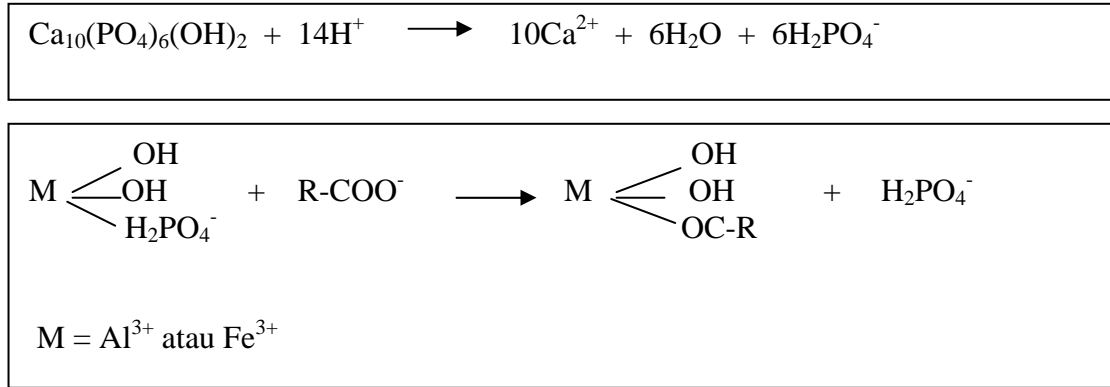
Penelitian jasad renik pelarut P juga banyak dilakukan di India, Kanada, dan Mesir dengan tujuan untuk melarutkan endapan-endapan Ca-fosfat (Sen dan Paul, 1957; Kundu dan Gaur, 1980; Subba Rao, 1977; 1982). Pemanfaatan jamur tanah yang lebih dominan pada pH rendah juga memperoleh perhatian peneliti tersebut. Das (1963) melaporkan bahwa beberapa *Aspergillus* sp dan *Penicillium* sp mampu melarutkan Al-P dan Fe-P. Jenis jamur yang lain adalah *Sclerotium* dan *Fusarium* (Alexander, 1978). Bakteri yang sering dilaporkan dapat melarutkan P antara lain adalah anggota-anggota genus *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Bacterium*, *Citrobacter*, dan *Enterobacter* (Alexander, 1978; Buntan, 1992; Premono, 1994; Illmer et al., 1995).

### **Mekanisme pelarutan senyawa P**

Fosfor relatif tidak mudah tercuci, tetapi karena pengaruh lingkungan maka statusnya dapat berubah dari P yang tersedia bagi tanaman menjadi tidak tersedia, yaitu dalam bentuk Ca-P, Mg-P, Al-P, Fe-P atau *Occluded-P*.

Dalam aktivitasnya, mikroba pelarut P akan menghasilkan asam-asam organik diantaranya ialah asam sitrat, glutamat, suksinat, laktat, oksalat, glioksalat, malat, fumarat, tartarat dan  $\alpha$ -ketobutirat (Alexander, 1978; Subba Rao, 1994; Illmer et al., 1995; Beaucamp dan Hume, 1997). Meningkatnya asam-asam organik tersebut biasanya diikuti dengan penurunan pH, sehingga mengakibatkan terjadinya pelarutan P yang terikat oleh Ca. Penurunan pH juga dapat disebabkan terbebasnya asam sulfat dan nitrat pada oksidasi kemoautotrofik sulfur dan amonium, berturut-turut oleh bakteri *Thiobacillus* dan *Nitrosomonas* (Alexander, 1978). Reaksi pelarutan P oleh penurunan

pH dan terdapatnya gugus karboksilat, secara sederhana dapat digambarkan sebagai berikut:



Asam organik mampu meningkatkan ketersediaan P di dalam tanah melalui beberapa mekanisme, diantaranya adalah : (1) anion organik bersaing dengan ortofosfat pada permukaan tapak jerapan koloid yang bermuatan positif (Nagarajah *et al.*, 1970 dalam Premono, 1994); (2) pelepasan ortofosfat dari ikatan logam-P melalui pembentukan kompleks logam organik (Beaucamp dan Hume, 1997); dan (3) modifikasi muatan permukaan tapak jerapan oleh ligan organik (Havlin *et al.*, 1999).

Asam sitrat dan oksalat digolongkan sangat efektif dalam menurunkan retensi P dari kaolinit dan gipsit, sedangkan asam malonat, tartarat, dan malat berefektivitas sedang, serta asam asetat dan suksinat digolongkan kurang efektif (Nagarajah *et al.*, 1970 dalam Premono, 1994). Pada tanah vulkanik yang kaya aloan, asam-asam organik (benzoat, p-OH benzoat, salisilat dan ptalat) tidak mampu menurunkan retensi P. Ear *et al.* (1979) meneliti pengaruh asam organik (sitrat, tartarat dan asetat) pada gel Al dan Fe terhadap jerapan P. Hasilnya menunjukkan bahwa tanpa anion organik, maka Fe menjerap P dalam jumlah yang sangat banyak. Asam sitrat menjerap Fe jauh lebih banyak dibanding tartarat, demikian pula dalam hal mengurangi P terjerap. Tetapi jumlah Al yang diikat kedua asam tersebut tidak berbeda. Asam asetat tidak efektif dalam menurunkan retensi, karena asetat kurang kuat dalam membentuk kompleks dengan Al maupun Fe.

Disamping meningkatkan P tersedia, beberapa asam organik berbobot molekul rendah ini juga dilaporkan dapat mengurangi daya racun Al yang dapat dipertukarkan (Al-dd) pada tanaman kapas (Hue *et al.*, 1986). Peneliti tersebut menggolongkan kemampuan detoksifikasi asam organik terhadap Al-dd dalam tiga kelompok, yaitu kuat (sitrat, oksalat, tartarat); sedang (malat, malonat dan salisilat); dan lemah (suksinat, laktat, asetat dan ptalat). Hasil penelitian Premono *et al.* (1992) menunjukkan bahwa mikroba pelarut fosfat secara nyata mampu mengurangi Fe, Mn dan Cu yang terserap oleh tanaman jagung yang ditanam pada tanah masam, sehingga berada pada tingkat kandungan yang normal.

Terdapatnya asam-asam organik sitrat, oksalat, malat, tartarat, dan malonat di dalam tanah sangat penting artinya dalam mengurangi pengikatan P oleh unsur penjerapnya dan mengurangi daya racun aluminium pada tanah masam.

Mikroba menghasilkan asam-asam organik tersebut melalui proses katabolisme glukosa dan siklus asam trikarboksilat (TCA), yang merupakan kelanjutan dari reaksi glikolisis. Asam-asam ini merupakan substrat untuk proses anabolisme dalam sintesis asam amino dan makromolekul lain (Dawes dan Sutherland, 1976).

### **POTENSI MIKROBA MELARUTKAN P**

Sen dan Paul (1957) menggunakan fosfobakterin galur fosfo 24, *Bacillus substilis*, *Bacterium mycoides*, dan *B. mesentericus* untuk melarutkan P organik (glisero fosfat, lesitin, tepung tulang) dan P anorganik (Ca-P, Fe-P) yang dilakukan secara in vitro. Hasilnya menunjukkan bahwa bakteri tersebut mampu melarutkan  $\text{FePO}_4$ ,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , gliserofosfat, lesitin, dan tepung tulang berturut-turut sebanyak 2-7, 3-9, 3-13, 5-21, dan 14%. Banik (1982) memanfaatkan *Bacillus* sp dan dua galur *Bacillus firmus*, hasil percobaannya menunjukkan bahwa ketiga bakteri tersebut masing-masing hanya mampu melarutkan berturut-turut 0.3, 0.9, dan 0.3% dari senyawa  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  yang diberikan, dan tidak mampu melarutkan  $\text{AlPO}_4$  dan  $\text{FePO}_4$ .

Sundara Rao dan Sinha (1962) mengidentifikasi beberapa mikroba pelarut P dari lapisan perakaran tanaman gandum. Mikroba tersebut adalah *Bacillus megaterium*, *Bacillus* sp, *Escherechia freundii*, dan *E. intermedia*. Supadi (1991) juga mendapatkan anggota-anggota *Escherechia* yang dapat melarutkan P dari lapisan perakaran tanaman jagung. Bakteri-bakteri tersebut meningkatkan P tersedia sebanyak 0.8-3.7 ppm pada tanah non steril dan 0.1-3.6 ppm pada tanah steril.

Premono *et al.* (1991) yang menggunakan *Pseudomonas putida*, *Citrobacter intermedium* dan *Serratia mesenteroides*, mendapatkan bahwa bakteri tersebut mampu meningkatkan P larut yang ada dalam medium  $\text{AlPO}_4$  dan batuan fosfat sebanyak 6-19 kali lipat, tetapi tidak mampu melarutkan  $\text{FePO}_4$ . Selanjutnya hasil penelitian Premono (1994) menunjukkan bahwa *Pseudomonas fluorescens* dan *P. putida* mampu meningkatkan P terekstrak pada tanah masam sampai 50%, sedangkan pada tanah bereaksi basa *P. putida* mampu meningkatkan P yang tekstrak sebesar 10%. Penelitian Buntan (1992) memperlihatkan bahwa bakteri pelarut P (*Pseudomonas putida* dan *Enterobacter gergoviae*) mampu meningkatkan kelarutan P pada tanah Ultisol. Hasil penelitian Setiawati (1998) menunjukkan bahwa *Pseudomonas fluorescens* yang digunakannya mampu meningkatkan kelarutan P dari fosfat alam dari 16.4 ppm menjadi 59.9 ppm, meningkatkan kelarutan P dari  $\text{AlPO}_4$  dari 28.5 ppm menjadi 30.6 ppm dan meningkatkan P tersedia tanah dari 17.7 ppm menjadi 34.8 ppm.

Penelitian dengan jamur sebagai mikroba pelarut P juga telah banyak dilakukan, jenis jamur yang paling banyak diteliti adalah *Aspergillus* sp dan *Penicillium* sp. Kelompok *Penicillium* sp mampu melarutkan 26-40%  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ , sedangkan *Aspergillus* sp melarutkan 18% (Chonkar dan Subba Rao, 1967). Asam sitrat yang dihasilkan oleh *Aspergillus awamori* berperan dalam pelarutan Ca-P. *Aspergillus fumigatus* dan *Aspergillus candidus* yang diteliti oleh Banik (1982) menunjukkan kemampuan yang jauh melebihi fosfobakterin dalam melarutkan  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{AlPO}_4$  dan  $\text{FePO}_4$ , sedangkan *Aspergillus niger* yang diteliti oleh Anas *et al.* (1993) dan Lestari (1994) sangat baik dalam meningkatkan P larut dari media batuan fosfat, yakni lebih dari 10 kali lipat. *Aspergillus ficum* yang diteliti oleh Premono (1994) mampu meningkatkan ketersediaan P pada tanah sebesar 25%, dan mampu melarutkan bentuk-bentuk Ca-P dan Fe-P. Hasil penelitian Maningsih dan Anas (1996) menunjukkan jamur *Aspergillus niger* dapat

meningkatkan kelarutan P dari  $AlPO_4$  sebesar 135% dan dapat meningkatkan P larut pada tanah Ultisol sebesar 30.4% dibandingkan kontrol. Indikasi tersebut menunjukkan bahwa kemampuan jamur yang mempunyai spektrum lebar dalam melarutkan beberapa bentuk senyawa P yang ada di dalam tanah.

### **PENGARUH MIKROBA PELARUT P TERHADAP TANAMAN**

Beberapa tanaman yang pernah digunakan sebagai bahan percobaan untuk menguji pengaruh mikroba pelarut P antara lain adalah: gandum, bit gula, kubis, tomat, barlei, jagung, kentang, padi, kedelai, kacang panjang, dan tebu. Ahmad dan Jha (1982) mencoba *B. megaterium* dan *B. circulans* pada tanaman kedelai. *B. megaterium* mampu meningkatkan serapan P tanaman kedelai, sedangkan ke dua bakteri tersebut dapat meningkatkan produksi kedelai berturut-turut sebanyak 7 dan 10% jika digunakan pupuk TSP, serta meningkatkan 34 dan 18% jika digunakan batuan fosfat.

Kundu dan Gaur (1980), pada tanaman gandum, mengkombinasikan bakteri pelarut P (*B. polymixa* dan *P. striata*) dengan bakteri penambat  $N_2$  udara (*Azotobacter chroococcum*). Ternyata bakteri pelarut P dapat menstimulir pertumbuhan *A. chroococcum*, tetapi bakteri penambat N tidak mempengaruhi pertumbuhan bakteri pelarut P. Kombinasi ketiga inokulan tersebut mampu meningkatkan hasil gandum dua sampai lima kali lipat.

Pada tanaman jagung, *Citrobacter intermedium* dan *Pseudomonas putida* (Premono *et al.*, 1991) mampu meningkatkan serapan P tanaman dan bobot kering tanaman sampai 30%. Pada percobaan yang lain (Buntan, 1992; Premono dan Widayastuti, 1993), *P. putida* mampu meningkatkan bobot kering tanaman jagung sampai 20%, dan mikroba ini stabil sampai lebih dari 4 bulan pada media pembawa zeolit, tanpa kehilangan kemampuan genetisnya dalam melarutkan batuan fosfat. Inokulasi dengan *Enterobacter gergoviae* (Buntan, 1992) pada tanaman jagung dapat meningkatkan bobot kering tanaman jagung sebesar 29%, sedangkan Lestari (1994) yang menguji *Aspergillus niger*, menunjukkan bahwa mikroba tersebut sangat baik dalam memperbaiki penampilan pertumbuhan tanaman jagung sampai 8 minggu pertama.

Pada tanaman tebu penggunaan bakteri pelarut P (*P. putida* dan *P. fluorescens*) dapat meningkatkan bobot kering tanaman sebesar 5-40% dan meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk P asal TSP sebanyak 60-135% (Premono, 1994). Penelitian Setiawati (1998) pada tanaman tembakau, dengan menginokulasikan bakteri pelarut P dapat meningkatkan serapan P dan bobot kering tanaman.

Pal (1998) melaporkan bahwa bakteri pelarut P (*Bacillus* sp.) pada tanah yang dipupuk dengan batuan fosfat dapat meningkatkan jumlah dan bobot kering bintil akar serta hasil biji tanaman pada beberapa tanaman yang toleran masam (jagung, bayam, dan kacang panjang). Menurut Dubey (1997) inokulasi dengan *P. striata* dengan penambahan superfosfat maupun batuan fosfat dapat meningkatkan pembentukan bintil dan serapan N pada tanaman kedelai dan bakteri ini dapat dikokulturkan dengan *Bradyrhizobium japonicum* tanpa efek yang merugikan.

Beberapa peneliti mengemukakan bahwa efektifnya bakteri pelarut P tidak hanya disebabkan oleh kemampuannya dalam meningkatkan ketersediaan P tetapi juga disebabkan karena kemampuannya dalam menghasilkan zat pengatur tumbuh, terutama oleh mikroba yang hidup pada permukaan akar seperti *Pseudomonas fluorescens*, *P. putida* dan *P. striata*. Mikroba-mikroba tersebut dapat menghasilkan zat pengatur tumbuh

seperti asam indol asetat (IAA) dan asam giberelin (GA3) (Arshad dan Frankenberger, 1993; Patten dan Glick, 1996).

Beberapa bakteri pelarut fosfat juga dapat berperan sebagai biokontrol yang dapat meningkatkan kesehatan akar dan pertumbuhan tanaman melalui proteksinya terhadap penyakit. Strain tertentu dari *Pseudomonas* sp dapat mencegah tanaman dari patogen fungi yang berasal dari tanah dan potensial sebagai agen biokontrol untuk digunakan secara komersial di rumah kaca maupun di lapangan (Arshad dan Frankenberger, 1993). *Pseudomonas fluorescens* dapat mengontrol perkembangan penyakit *dumping-off* dari tebu. Kemampuan bakteri ini terutama karena menghasilkan 2,4-diacetylphloroglucinol, suatu metabolit sekunder yang dapat menghalangi *dumping-off Phytium ultium* (Frenton *et al.*, 1992). Di samping itu bakteri *P. fluorescens* ini juga dapat mengontrol perkembangan jamur *Sclerotium roefsii* pada tanaman kacang-kacangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, N and K.K Jha. 1982. Effect of phosphate solubilizer on dry matter yield of and phosphorus uptake by soybean. J. Indian Soc. Soil Sci. 30: 105-106.
- Alexander, M. 1978. Introduction to Soil Microbiology. 2<sup>nd</sup> ed. Willey Eastern Limited. New Delhi.
- Anas, I., E. Premono dan R. Widyastuti. 1993. Peningkatan efisiensi pemupukan P dengan menggunakan mikroorganisme pelarut P. Pusat Antar Universitas IPB. Bogor.
- Arshad, M and W.T. Frankenberger. 1993. Microbial production of plant growth regulators. In. F.B. Metting (ed). Soil Microbial Ecology. Marcel Dekker, Inc. New York, Basel, Hongkong. p 307-347.
- Banik, S. 1982. Available phosphate content of an alluvial soils as influenced by inoculation of some isolated phosphate-solubilizing mikroorganism. Plant Soil 60: 353-364.
- Beauchamp, E.G and D.J. Hume. 1997. Agricultural soil manipulation: The use of bacteria, manuring and plowing. In J.D. van Elsas., J.T. Trevors and E.M.H. Wellington (eds). Modern Soil Microbiology. Marcel Dekker, New York. p 643-664.
- Buntan, A. 1992. Efektifitas bakteri pelarut fosfat dalam kompos terhadap peningkatan serapan P dan efisiensi pemupukan P pada tanaman jagung. Tesis. Program Pascasarjana IPB. Bogor.
- Chonkar, P.K. and N.S. Subba Rao. 1967. Phosphate solubilizing by fungi associated with legume root nodules. Canadian J. Microbiol. 13: 749-752.

- Das, A.C. 1963. Utilization of insoluble phosphate by soil fungi. J. Indian Soc. Soil. Sci. 11: 203-207.
- Dawes, I.W and I.W. Sutherland. 1976. Microbial Physiology. John Wiley And Sons. New York. Toronto.
- Dubey, S.K. 1997. Co-inoculation of phosphorus bacteria with *Bradyrhizobium japonicum* to increase phosphate availability to rainfed soybean on Vertisol. J. Indian Soc. Soil Sci. 45: 506-509.
- Fenton, A.M., P.M. Stephens., J. Crowley., M.O. Callaghan and F. O’Gara. 1992. Exploitation of genes involved 2,4-diacetylphloroglucinol biosynthesis to confer a new biocontrol capability to a *Pseudomonas* strain. Appl. Environ. Microbiol. 58: 3873-3878.
- Geretsen, F.C. 1948. The Influence of microorganism on the phosphorus uptake by the plant. Plant Soil 1:51-81.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton., S.L. Tisdale., and W.L. Nelson. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. Sixth ed. Prentice Hall, New Jersey.
- Illmer, P., A. Barbato and F. Schinner. 1995. Solubilizing of hardly soluble  $AlPO_4$  with P-solubilizing microorganism. Soil Biol. Biochem. 27:265-270.
- Jones, U.S. 1982. Fertilizers and Soil Fertility. 2<sup>nd</sup> ed. Reston Publ. Co. Reston Virginia.
- Kundu, B.S and A.C. Gaur. 1980. Establishment of nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria in rhizosphere and their effect on yield and nutrient uptake of wheat crop. Plant Soil 57: 223-230.
- Lestari, P. 1994. Pengaruh fungi pelarut fosfat terhadap serapan hara P dan pertumbuhan tanaman jagung. Skripsi. Fakultas Pertanian IPB. Bogor.
- Lindsay, W.L. 1979. Chemical Equilibria in Soils. Wiley Interscience. New York.
- Maningsih, G. dan I. Anas. 1996. Peranan *Aspergillus niger* dan bahan organik dalam transformasi P anorganik tanah. Dalam Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk. Badan Litbang Pertanian. Puslittanak. 14: 31-36.
- Nyakpa, M.Y., M.A. Pulung., A.G. Amrah., A. Munawar., G.B. Hong dan Nurhajati Hakim. 1988. Kesuburan Tanah. BKS/PTN/USAID University of Kentucky WUAE Project.
- Olse, S.R., W.D. Kemper and R.D. Jackson. 1962. Phosphate difusion to plant growth. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 26: 222-227.

- Pal, S.S. 1998. Interaction of an acid tolerant strain of phosphate solubilizing bacteria with a few acid tolerant crops. *Plant Soil*. 198: 169-177.
- Patten, C.L and B.R. Glick. 1996. Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic acid. *Can. J. Microbiol* 42:207-220.
- Premono, E.M. 1994. Jasad renik pelarut fosfat, pengaruhnya terhadap P tanah dan efisiensi pemupukan P tanaman tebu. Disertasi. Program Pascasarjana IPB.
- Premono, E.M., R. Widyastuti dan I. Anas. 1991. Pengaruh bakteri pelarut fosfat terhadap senyawa P sukar larut, ketersediaan P tanah dan pertumbuhan jagung pada tanah masam. Makalah PIT Permi. 2-3 Desember 1991. Bogor.
- Premono, E.M., R. Widyastuti dan I. Anas. 1992. Pengaruh bakteri pelarut P terhadap serapan kation unsur mikro tanaman jagung pada tanah masam. Makalah PIT Permi. 31 Juli-1 Agustus 1992. Bandung.
- Premono, E.M dan R. Widyastuti. 1993. Stabilitas *Pseudomonas putida* dalam beberapa bahan pembawa dan peranannya sebagai pupuk hayati. Kongres nasional IV Perhimpunan Mikrobiologi Indonesian. 2-4 Desember 1993. Surabaya.
- Salisbury, F.B dan C.W. Ross. 1995. Fisiologi Tumbuhan. Terjemahan D.R.Lukman dan Sumaryono. Penerbit ITB. Bandung.
- Sanchez, P.A. 1992. Sifat dan Pengelolaan Tanah Tropika. Terjemahan Amir Hamzah. Penerbit ITB. Bandung.
- Setiawati, T.C. 1998. Efektifitas mikroba pelarut P dalam meningkatkan ketersediaan P dan pertumbuhan tembakau Besuki Na-Oogst (*Nicotiana tabacum* L.). Tesis. Program Pascasarjana. IPB. Bogor.
- Soepardi, G. 1983. Sifat dan Ciri Tanah. IPB. Bogor.
- Subba Rao, N.S. 1994. Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman. Edisi ke dua. Terjemahan Herawati Susilo. UI Press.
- Smith, J.H., F.E. Allison and D.A. Soulides. 1961. Evaluation of phosphobacterin as soil inoculant. *Soil Sci. Soc. Proc.* 25: 109-111.
- Sundara Rao, W.C.B. and M.K. Sinha. 1962. Phosphate dissolving microorganism in the soil and rhizosphere. *Indian J. Sci.* 23: 272-278.
- Supadi, T.H. 1991. Bakteri pelarut fosfat asal beberapa jenis tanah dan efeknya terhadap pertumbuhan jagung (*Zea mays* L.). Disertasi. Universitas Pajajaran. Bandung.
- Waksman, S.A and R.C. Starkey. 1931. *The Soil and the Microbe*. John Wiley & Sons. Inc. New York.