

Pengaruh Mikroba Pelarut Fosfat dan Pupuk P terhadap P Tersedia, Aktivitas Fosfatase, P Tanaman dan Hasil Padi Gogo (*Oryza sativa* L.) pada Ultisol

Betty Natalie Fitriatin¹, Anny Yuniarti¹, Oviyanti Mulyani¹,
Feni Siti Fauziah² dan Mohamad Dion Tiara²

¹Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran

²Alumni Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran

Jalan Raya Bandung Sumedang KM. 21 Jatinangor 40600

Korespondensi: fitriatin@yahoo.com

ABSTRACT

Effect of phosphate solubilizing microbe and phosphate fertilizer on available-P, phosphatase activity, plant P and upland rice (*Oryza sativa* L.) yield on Ultisols

Phosphate solubilizing microbe (PSM) is an essential microbes that carry out mobilization of soil phosphorous and hence facilitate its uptake by roots. The green house experiment was done to determine the effect of adding PSM and phosphate (P) fertilizer on available-P, phosphatase activity, PSM population, plant P concentration and upland rice (*Oryza sativa* L.) yield grown on Ultisols. Experiment was set up in Factorial Randomized Block Design consisted of two factor, i.e. variety of PSM inoculant and phosphate fertilizer dosage. Results showed that there were no significant interaction effect between variety of PSM inoculant and phosphate fertilizer dosage on all parameter. However inoculation of mixed inoculant (*Pseudomonas* sp. dan *Penicillium* sp.) could enhance phosphatase activity, shoot P up to 19,23 % and husk dry weight up to 29,03 %. Application of 75 kg ha⁻¹ P₂O₅ could increase available P in soil up to 20,66 % and husk dry weight up to 15,23 % compared with control.

Key words: Phosphate solubilizing microorganisms, Phosphatase, Phosphorous fertilizer, Ultisols.

ABSTRAK

Mikroba pelarut fosfat (MPF) berperan penting dalam mobilisasi fosfor tanah dan selanjutnya memfasilitasi penyerapannya oleh akar tanaman. Penelitian rumah kaca telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh mikroba pelarut fosfat dan pupuk P terhadap P tersedia, aktivitas fosfatase, populasi mikroba pelarut fosfat, dan konsentrasi P tanaman serta hasil tanaman padi gogo (*Oryza sativa* L.) yang ditanam pada Ultisols Jatinangor. Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok pola faktorial yang terdiri atas dua faktor yaitu jenis inokulan MPF dan dosis pupuk fosfat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara isolat mikroba pelarut fosfat dengan dosis pupuk P terhadap semua parameter penelitian. Namun inokulasi campuran *Pseudomonas* sp. dan *Penicillium* sp. mampu meningkatkan aktivitas fosfatase, konsentrasi P tajuk hingga 19,23 % dan bobot gabah kering giling (GKG) padi gogo hingga 29,03 %. Aplikasi 75 kg P₂O₅ ha⁻¹ mampu meningkatkan P tersedia hingga 20,66 % dan bobot GKG hingga 15,23 % dibandingkan kontrol.

Kata kunci: Mikroorganisme pelarut fosfat, Fosfatase, Pupuk fosfat, Ultisol.

PENDAHULUAN

Di Indonesia, budidaya padi gogo dilakukan di lahan kering dengan tanah marjinal seperti Ultisol yang masam. Ketersediaan P di Ultisols rendah karena fiksasi P yang tinggi oleh mineral Al dan Fe (Hardjowigeno, 2003). Efektivitas pemupukan fosfat anorganik pada tanah Ultisol hanya 10 % – 30 %, sehingga 70 % – 90 % pupuk P tetap berada di dalam tanah dan tidak dapat diserap tanaman (Jones, 1982). Berdasarkan penelitian Barus (2005), pemupukan 100 kg P ha⁻¹ berpengaruh terhadap peningkatan hasil panen dibandingkan dengan kontrol tetapi jika dosis pupuk ditingkatkan maka hasil panen akan menurun. Pada dosis 150 kg P ha⁻¹ – 200 kg P ha⁻¹, hanya 5 % P – 20 % P dapat diserap tanaman sehingga menimbulkan residu pupuk fosfat (Isgitani *et al.*, 2005).

Efisiensi pemupukan yang rendah menyebabkan jumlah pupuk P yang diberikan oleh petani semakin meningkat sehingga berpotensi menurunkan produktivitas lahan khususnya pada tanah masam. Peningkatan efisiensi pemupukan P antara lain dapat dilakukan dengan inokulasi pupuk hayati mikroba pelarut fosfat (MPF). Mikroba ini dapat mengefisienkan pupuk P anorganik melalui mekanisme produksi asam organik dan enzim fosfatase (Whitelaw, 2000). Asam organik membentuk khelat dengan kation Al dan Fe sehingga fosfat yang terikat Al dan Fe dilepaskan dan menjadi tersedia dan dapat diserap oleh tanaman (Rao, 1994).

Mikroba pelarut fosfat juga mampu mensekresikan enzim fosfatase yang berperan dalam proses hidrolisis P organik menjadi P anorganik (George, *et al.*, 2002; Vepsalainen & Niemi, 2002; Saparatka, 2003; Zhongqi, *et al.* 2004). Bakteri pelarut fosfat (BPF) yang aktif di dalam tanah antara lain *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*, *Micrococcus*, *Streptomyces*, dan *Flavobacterium* (Whitelaw, 2000). Fungi *Aspergillus* sp. dan *Penicillium* sp. juga berperan aktif dalam melarutkan fosfat dalam tanah. *Penicillium* sp. melarutkan 26 % hingga 40 % Ca₃(PO₄)₂, sedangkan *Aspergillus* sp melarutkan 18 % Ca₃(PO₄)₂ (Chonkar & Rao, 1967 *dalam* Elfiati, 2000).

Aktivitas MPF perlu dimanfaatkan untuk penyediaan fosfat bagi tanaman sehingga hasil tanaman dapat optimal. Inokulasi MPF eksogen diharapkan akan meningkatkan populasi dan aktivitasnya. Populasi MPF di tanah tergantung dari jenis tanah serta sesuai dengan keragaman tanaman yang dibudidayakan. Populasi MPF di rizosfer tanaman padi sekitar 10,08X10⁵ CFU g⁻¹, serta dapat

menyediakan P sebesar 29,41 mg kg⁻¹ untuk tanaman padi (Ponmurugan & Gopi, 2006). Aktivitas dan kepadatan populasi mikroba tanah juga ditentukan oleh perubahan kondisi fisika dan kimia tanah (Spedding *et al.*, 2004), jenis tanaman yang dibudidayakan, nutrisi tanah, pH, kelembaban, bahan organik (Ponmurugan & Gopi, 2006), serta teknik budidaya yang diterapkan (Mehrvarz *et al.*, 2008).

Pada penelitian terdahulu telah diisolasi MPF, bakteri *Pseudomonas* sp. dan *Bacillus subtilis* serta fungi *Aspergillus niger* dan *Penicillium* sp., dari rizosfer tanaman pangan (Fitriatin *et al.*, 2006) dan aktivitas fosfatase MPF tersebut telah dikarakterisasi secara biokimiawi (Fitriatin *et al.*, 2007). Pada penelitian ini, akan diuji kemampuan MPF tersebut untuk mengurangi kebutuhan pupuk P tanaman padi gogo. Penelitian rumah kaca ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh jenis inokulan MPF terhadap ketersediaan P tanah, kandungan fosfatase dan populasi MPF tanah serta kandungan P tanaman padi gogo yang ditanam di Ultisols dengan beberapa dosis pupuk fosfat.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Kabupaten Sumedang dengan ketinggian tempat 752 m dpl dan di laboratorium Biologi dan Bioteknologi Tanah Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran. Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok pola faktorial dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah jenis MPF yang terdiri atas tanpa MPF, *Pseudomonas* sp., *Penicillium* sp., dan campuran *Pseudomonas* sp. dan *Penicillium* sp. Faktor kedua yaitu dosis pupuk P yang terdiri atas tanpa pupuk P, 50 %, 75 % dan 100 % dosis pupuk P rekomendasi. Untuk padi gogo, dosis rekomendasi pemupukan P adalah 100 kg P ha⁻¹ yang pada percobaan ini setara dengan 277,78 kg SP-36 ha⁻¹ atau 1,38 g polibeg⁻¹.

Tanah yang digunakan adalah Ultisol asal Jatinangor (pH 5,11, P total sangat rendah 13,0 mg 100 g⁻¹ dan P tersedia rendah 16,9 mg 100 g⁻¹) yang diambil dari kedalaman 0–20 cm. Pupuk kotoran sapi (50 g polibeg⁻¹) dicampurkan dengan tanah (10 kg per polibeg⁻¹) dan diinkubasikan selama dua minggu. Aplikasi MPF dan pupuk P dilakukan pada saat tanam. MPF diberikan dengan kepadatan 10⁶ CFU ml⁻¹ sebanyak 10 ml tanaman⁻¹. Benih padi gogo kultivar Situ Bagendit ditanam dengan cara tugal sebanyak lima benih di setiap polibeg. Setelah

penjarangan pada 2 minggu setelah tanam, dibiarkan dua tanaman tumbuh selama percobaan.

Percobaan ini terdiri atas dua unit, yaitu satu unit untuk pengamatan pada vegetatif akhir yang meliputi P tersedia, kandungan fosfatase tanah, populasi MPFDi rizosfer dan konsentrasi P tanaman. Satu unit lainnya untuk pengamatan hasil pada fase generatif akhir yaitu bobot gabah kering giling dengan kadar air 12 % –14 %. Data hasil pengamatan pada penelitian ini dianalisis dengan analisis ragam *univariate* pada taraf 5 %. Apabila efek tersebut nyata, maka dilanjutkan dengan uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5 %.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan P Tersedia Tanah

Hasil percobaan menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara isolat MPF dengan dosis pupuk P terhadap P tersedia. Namun demikian, aplikasi inokulasi campuran *Pseudomonas* sp. dan *Penicillium* sp. meningkatkan kandungan P tersedia tanah hingga 8,13 % (Tabel 1). MPF mensekresikan asam-asam organik yang dapat membentuk senyawa kompleks yang sukar larut. Terbentuknya senyawa kompleks ini akan menyebabkan fiksasi P menurun sehingga meningkatkan P-tersedia (Whitelaw, 2000).

Hasil percobaan juga menunjukkan bahwa pemberian 75 kg ha⁻¹ P₂O₅ dapat meningkatkan P tersedia tanah sebesar 21,05 % pada fase vegetatif akhir, sedangkan pemberian 100 kg ha⁻¹ P₂O₅ meningkatkan P tersedia tanah sebesar 20,66 %. Hasil ini sejalan dengan penelitian Fitriatin *et al.* (2008) menunjukkan bahwa pemberian pupuk P serta peningkatan dosis P hingga taraf optimum akan terus meningkatkan ketersediaan P dalam tanah.

Pemberian 75 kg ha⁻¹ P₂O₅ juga lebih meningkatkan P tersedia daripada 100 kg ha⁻¹ P₂O₅. Diduga, transfer P ke dalam larutan tanah masih rendah karena terfiksasi oleh mineral Fe. Dengan demikian, apabila dosis pemupukan meningkat maka akan meninggalkan residu pupuk P yang tidak dapat terserap secara optimal oleh tanaman.

MPF campuran *Pseudomonas* sp. dan *Penicillium* sp. merupakan inokulan yang lebih berpotensi meningkatkan ketersediaan P tanah dibandingkan dengan inokulan BPF tunggal. Fungi telah terbukti lebih mampu bertahan pada pH tanah yang rendah seperti Ultisols dibandingkan bakteri (Rao, 1994) sehingga aktivitasnya dalam melarutkan P melalui produksi asam organik maupun fosfatase juga mungkin lebih baik.

Fosfatase Tanah

Aktivitas fosfatase tanah Ultisols dapat ditingkatkan dengan inokulasi MPF. Pada Tabel 2 terlihat bahwa perlakuan *Pseudomonas* sp. berkontribusi nyata meningkatkan aktivitas fosfatase sebesar 144,72 % dibandingkan dengan kontrol. Bahkan aplikasi *Pseudomonas* sp. bersama dengan *Penicillium* sp. meningkatkan aktivitas fosfatase yang lebih tinggi lagi, yaitu 150 % dibandingkan dengan kontrol. Data tersebut memberikan pemahaman bahwa terjadi sinergisme antara *Pseudomonas* sp. dan *Penicillium* sp. dalam menghasilkan enzim fosfatase. Hal ini dimungkinkan karena sifat tanah Ultisols yang masam sehingga fungi pelarut fosfat lebih mempengaruhi aktivitas fosfatase. Kemasaman sangat mempengaruhi aktivitas fosfatase (Vepsalainen & Niemi, 2002). Hasil penelitian Fitriatin *et al.* (2008) menunjukkan bahwa aktivitas fosfatase fungi lebih dominan aktivitas fosfatasanya pada pH masam.

Tabel 1 . Pengaruh Jenis MPF dan dosis pupuk P P terhadap P-tersedia

Jenis MPF	Pupuk P (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)				Rata-rata
	0	50	75	100	
	----- mg kg ⁻¹ -----				
Tanpa MPF	18,00	20,28	24,19	24,26	21,68 a
<i>Pseudomonas</i> sp	17,83	19,96	24,03	24,14	21,49 a
<i>Penicillium</i> sp	19,33	23,19	24,45	23,52	22,62 ab
<i>Pseudomonas</i> sp + <i>Penicillium</i> sp.	21,78	22,75	24,81	25,08	23,61 b
Rata-rata	19,24 a	21,55 ab	24,37 b	24,25 b	

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5 %.

Tabel 2 . Pengaruh Jenis MPF dan dosis pupuk P terhadap fosfatase tanah

Jenis MPF	Pupuk P (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)				Rata-rata
	0	50	75	100	
	----- µg pNP g ⁻¹ jam ⁻¹ -----				
Tanpa MPF	51,95	86,92	74,49	109,04	80,60 a
<i>Pseudomonas</i> sp	37,68	230,99	240,61	279,73	197,25 b
<i>Penicillium</i> sp.	100,72	189,53	182,64	132,47	151,34 ab
<i>Pseudomonas</i> sp + <i>Penicillium</i> sp.	282,03	227,72	224,04	72,19	201,50 b
Rata-rata	118,09 a	183,79 b	180,45 b	148,36 ab	

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5 %.

Tabel 3. Pengaruh Jenis MPF dan dosis pupuk P terhadap konsentrasi P

Jenis MPF	Pupuk P (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)				Rata-rata
	0	50	75	100	
	----- % -----				
Tanpa MPF	0,19	0,20	0,21	0,24	0,21 a
<i>Pseudomonas</i> sp	0,24	0,24	0,25	0,28	0,25 b
<i>Penicillium</i> sp.	0,25	0,24	0,28	0,27	0,26 c
<i>Pseudomonas</i> sp + <i>Penicillium</i> sp.	0,25	0,25	0,26	0,27	0,26 c
Rata-rata	0,23 a	0,24 a	0,25 b	0,26 c	

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada 5 %.

Pada percobaan ini, populasi MPF di rizosfer tidak dipengaruhi oleh inokulasi MPF maupun dosis pupuk P. Rata-rata populasi MPF adalah $1,65 \times 10^6$ – $1,71 \times 10^6$ CFU g⁻¹ yang tidak berbeda nyata untuk setiap perlakuan. Populasi tertinggi mikroba tanah adalah di rizosfer yang mengandung komponen karbon dan eksudat akar yang berlimpah sehingga dapat digunakan sebagai sumber energi untuk pertumbuhan mikroba tanah (Widawati & Suliasih, 2006). Terlihat bahwa aktivitas fosfatase tidak berkaitan dengan populasi MPF. Aktivitas mikroba di dalam tanah bukan hanya ditentukan oleh ukuran populasi tetapi juga oleh faktor tanah lainnya yang saling berinteraksi (Rao, 1994).

Konsentrasi P Tajuk Tanaman Padi Gogo

Pemberian inokulan *Pseudomonas* sp, *Penicillium* sp, dan inokulan campuran (*Pseudomonas* sp. dan

Penicillium sp.) masing-masing meningkatkan P di tajuk secara signifikan (Tabel 3). Mikroba pelarut fosfat dapat mensubstitusi sebagian atau keseluruhan kebutuhan tanaman akan pupuk P. Bahkan menurut Prihatini *et al.* (1997), inokulan MPF memiliki potensi yang sama dengan pupuk TSP dalam menyediakan P untuk diserap tanaman.

Inokulasi *Penicillium* sp. dan campuran *Pseudomonas* sp. dan *Penicillium* sp. meningkatkan konsentrasi P tajuk sebesar 19,23 %. *Pseudomonas* sp. hanya meningkatkan P tajuk sebesar 16 %. Fakta ini menjelaskan kembali bahwa aktivitas fungi lebih baik pada pH rendah jika dibandingkan dengan bakteri. Sifat mutualisme fungi dapat mengoptimalkan serapan P tanaman sehingga konsentrasi P tanaman meningkat (Mehrvarz *et al.*, 2008). Fungi pelarut fosfat (FPF) dapat meningkatkan konsentrasi P terlarut sebesar 27 % – 47 % di tanah masam (Lestari, 1994). Peningkatan konsentrasi P karena

FPF lebih efektif melepaskan P terfiksasi dalam mineral tanah sehingga serapan P meningkat (El-Azouni, 2008).

Pemberian pupuk P setara P₂O₅ 75 dan 100 kg ha⁻¹ meningkatkan P tajuk (Tabel 3). Tanaman memberikan respons optimal terhadap pemupukan sehingga pemberian pupuk 75 % dan 100 % dosis rekomendasi meningkatkan P tajuk masing-masing 8 % dan 11,54 %.

Fe, Bo, dan Mn sehingga unsur hara menjadi tidak seimbang dan akibatnya akan mengganggu aktivitas akar untuk menyerap unsur hara. Semakin tinggi kandungan har tanah yang dihasilkan dari pemupukan, maka respon tanaman semakin kecil terhadap pemupukan (Barus, 2005).

Tabel 4. Pengaruh jenis MPF dan dosis pupuk P terhadap bobot gabah kering giling

Jenis MPF	Pupuk P (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)				Rata-rata (gr polibeg ⁻¹)
	0	50	75	100	
	----- g polibeg ⁻¹ -----				
Tanpa	24,44	37,63	29,56	27,65	29,82 a
<i>Pseudomonas</i> sp	40,77	33,30	50,83	33,89	39,70 b
<i>Penicillium</i> sp.	46,02	31,97	44,74	21,69	36,11 ab
<i>Pseudomonas</i> sp + <i>Penicillium</i> sp.	33,97	42,08	46,15	45,89	42,02 c
Rata-rata	36,30 b	36,25 b	42,82 c	32,28 a	

Keterangan: Nilai rata-rata yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5 %.

Hasil Tanaman Padi Gogo

Hasil percobaan menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh interaksi yang nyata antara jenis MPF dengan pupuk P terhadap bobot gabah kering giling (GKG). Namun efek mandiri pemberian inokulan campuran *Pseudomonas* sp. dan *Penicillium* sp. mampu meningkatkan bobot GKG sebesar 29,03 % (Tabel 4). Peningkatan ini sejalan dengan efek inokulasi campuran MPF terhadap peningkatan P tersedia tanah.

Bakteri *Pseudomonas* sp. dan fungi *Penicillium* sp. bekerja secara sinergis mengeluarkan enzim fosfatase dalam proses mineralisasi dan imobilisasi untuk mengubah P organik menjadi P anorganik. Kesinergisan tersebut membantu menyediakan P bagi tanaman padi gogo sehingga pengisian bulir-bulir padi dapat meningkat.

Aplikasi pupuk P dengan dosis 75 kg ha⁻¹ P₂O₅ secara mandiri dapat meningkatkan hasil panen padi gogo sebesar 15,23 %. Penambahan dosis pupuk P lebih dari 75 kg ha⁻¹ P₂O₅ tidak meningkatkan hasil tanaman padi gogo, bahkan terjadi penurunan hasil tanaman sebesar 24,61 % pada aplikasi 100 kg P₂O₅ ha⁻¹. Pemupukan P dalam takaran yang tinggi akan menyebabkan kahatnya unsur hara mikro seperti Zn,

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh interaksi yang nyata antara isolat mikroba pelarut fosfat dengan dosis pupuk P terhadap P tersedia, aktivitas fosfatase, populasi mikroba pelarut fosfat, konsentrasi P tanaman, dan hasil panen padi gogo pada Ultisols Jatinangor. Namun inokulasi campuran *Pseudomonas* sp. dan *Penicillium* sp. mampu meningkatkan aktivitas fosfatase dan konsentrasi P tajuk hingga 19,23 % dan bobot GKG padi gogo hingga 29,03 %. Aplikasi 75 kg P₂O₅ ha⁻¹ mampu meningkatkan P tersedia hingga 20,66 % dan bobot GKG hingga 15,23 % dibandingkan kontrol.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kami kepada Ditjen Dikti Departemen Pendidikan Nasional yang telah mendanai penelitian ini melalui program Hibah Bersaing. Terima kasih juga kami sampaikan kepada staf di Laboratorium Biologi dan Bioteknologi Tanah Faperta Unpad serta staf di Laboratorium Penelitian dan Kimia Bahan Alam FMIPA Unpad.

DAFTAR PUSTAKA

- Barus, J. 2005. Respon tanaman padi terhadap pemupukan P pada tingkat status hara P tanah yang berbeda. *Jurnal Akta Agrosia* 8: 52–55.
- El-Azouni, IM. 2008. Effect of phosphate solubilizing fungi on growth and nutrient uptake of soybean (*Glycine max* L.) plants. *Journal of Applied Science Research*. 4: 592–598.
- Elfiati, D dan A Rauf. 2000. Uji pemanfaatan jamur pelarut fosfat untuk peningkatan efisiensi pemupukan P pada Aeric Haplaquox. *Prosiding Kongres Nasional VII HITI*, Bandung. Buku I. Hal. 645–654.
- Fitriatin, BN, R Hindersah dan P.Suryatmana. 2006. Aktivitas Enzim Fosfatase dan Status Hara P Tanah Ultisols pada Pola Tumpangsari Tanaman Pangan dan Jati (*Tectona grandis* L.f.) yang dipengaruhi oleh Pupuk Hayati. *Laporan Penelitian*. Lembaga Penelitian Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Fitriatin, BN., B Joy dan T Subroto, 2007. Karakterisasi Aktivitas Fosfatase Mikroba Tanah dan Daya Katalisisnya terhadap Mineralisasi P Organik. *Laporan Penelitian*. Program Insentif Riset Dasar Kementerian Negara Riset dan Teknologi. Lembaga Penelitian Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Fitriatin, BN, B Joy, and T Subroto, 2008. The influence of organic phosphorous substrate on phosphatase activity of soil microbes. 2008. Paper presented on International Seminar of Chemistry. Bandung, 30–31 October, 2008.
- George, TS, PJ Gregory, M Wood, D Read and RJ Buresh. 2002. Phosphatase activity and organic acids in the rhizosphere of potential agroforestry species and maize. *Soil Biol. Biochem.* 34: 1487–1494.
- Hardjowigeno, S. 2003. Ilmu Tanah. Akademika Pressindo, Jakarta.
- Isgitani, M, S Kabirun dan SA Siradz. 2005. Pengaruh inokulasi bakteri pelarut fosfat terhadap pertumbuhan shorghum pada berbagai kandungan P tanah. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. 5: 48–54.
- Jones, US. 1982. Fertilizer and Soil Fertility. Second edition. Reston Publ. Co. Reston, Virginia.
- Lestari, P. 1994. Pengaruh fungi pelarut fosfat terhadap serapan hara P dan pertumbuhan tanaman jagung. *Skripsi*. Fakultas Pertanian Insistut Pertanian Bogor.
- Mehrvarz, S, MR Chaichi and HA Alikhani. 2008. Effect of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of barely (*Hordeum vulgare* L.). *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 3: 822–828.
- Ponmurugan, P and C Gopi. 2006. Distribution pattern and screening of phosphate solubilizing bacteria isolated from different food and forage crops. *Journal of Agronomy*. 5: 600–604.
- Prihatini, T, S Komriah, A Hamzah dan E Suhaeti. 1997. Penambangan residu P secara biologis di lahan sawah. *Prosiding Penelitian Tanah*. Hal. 89–98.
- Rao, S. 1994. Mikroorganisme Tanah dan Pertumbuhan Tanaman. Ed 2. UI-Press, Jakarta.
- Saparatka, N. 2003. Phosphatase activities (ACP, ALP) in Agroecosystem Soils. *Doctoral thesis*. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala.
- Spedding, TA, C Hamel, GR Mehuys and CA Madramootoo. 2004. Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems. *Soil Biol. Biochem.* 36: 499–512.
- Vepsalainen, M and RM Niemi. 2002. pH optima of enzyme activities in different soils. *Poster presentation in Symposium no. 12*. 17th WCSS, Thailand, 14–21 August 2002.
- Widawati dan Suliasih. 2006. Populasi bakteri pelarut fosfat (BPF) di Cikaniki, Gunung Botol, dan Ciptarasa, serta kemampuannya melarutkan p terikat di media pikovskaya padat. *Biodiversitas*. 7: 109–113.
- Whitelaw. 2000. Growth promotion of plants inoculated with phosphate solubilizing fungi. *Adv. Agron.* 69: 99–151.
- Zhongqi He, SG Timothy and H Wayne. 2004. Enzymatic hydrolysis of organic phosphorus in swine manure and soil. *J. Environ. Qual.* 33: 367–372.