

**Ketersediaan Fosfor pada Tanah Andisol untuk Jagung (*Zea mays* L.)
oleh Inokulum Bakteri Pelarut Fosfat**

***Phosphorus Availability on Andisols for Maize (*Zea mays* L.)
by Phosphate Solubilizing Bacteria Inoculant***

Tamad^{1*}, Azwar Ma'as², Bostang Radjagukguk², Eko Hanudin², dan Jaka Widada²

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto
Jl. dr. Soeparno Karangwangkal, Purwokerto 53123, Indonesia

²Program Pascasarjana, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
Jl. Flora Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia

Diterima 8 November 2012/Disetujui 4 April 2013

ABSTRACT

Andisols has relatively low phosphorus availability due to its adsorption by allophane. Phosphate solubilizing bacteria (PSB) increases the availability of P via release of adsorbed-P. The aims of this research were to determine: 1) anorganic-P solubilization, 2) organic-P mineralization, 3) blocking of Andisols adsorption site, and 4) effective PSB inoculant. The research was arranged in completely randomized design, with PSB inoculant as treatment. Variables observed were soluble-P, mineralize-P, adsorbed-P, pH, total acidity, PSB population, phosphatase and phytase activity, relative surface charge, and maize's growth component. The result showed that PSB inoculation increased soluble-P from 30 to between 150 and 195 ppm P, increased mineralize-P from 23.7 to between 63.6 and 91.7 ppm P, and decreased P-adsorption from 95 to between 36 and 13%. PSB inoculation decreased the Andisols pH, increased the total acidity, PSB population, the phosphatase and phytase activity, and PSB had relatively high of relative surface charge (69%). The PSB inoculation increased maize P absorption in the range of 70 and 75 mg P plant⁻¹, and increased relative agronomic effectiveness (RAE) between 145 and 150%. Liquid and solid PSB inoculant had no different effect in increasing maize growth.

Keywords: Andisol, P release, phosphate solubilizing bacteria, phosphatase, phytase

ABSTRAK

Andisol adalah salah satu tanah dengan ketersediaan fosfor rendah karena P dijerap oleh alofan. Bakteri pelarut fosfat (BPF) mampu meningkatkan ketersediaan P Andisol melalui pelepasan P-terjerap. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan: 1) pelarutan P-anorganik, 2) mineralisasi P-organik, 3) pemblokiran loka jerapan Andisol, dan 4) mengembangkan inokulum BPF. Penelitian disusun dalam rancangan acak lengkap dengan inokulum BPF sebagai perlakuan. Variabel pengamatan meliputi P-terlarut, P-termineral, P-terjerap, pH, kemasaman total, populasi BPF, aktivitas fosfatase dan fitase, muatan permukaan relatif, dan komponen pertumbuhan jagung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa inokulasi BPF meningkatkan P-terlarut dari 30 menjadi antara 150 dan 195 ppm P, meningkatkan mineralisasi P dari 23.7 menjadi antara 63.6 dan 91.7 ppm P, dan menurunkan P-terjerap dari 95 menjadi antara 36 dan 13%. BPF menurunkan pH Andisol, meningkatkan kemasaman total, populasi BPF, aktivitas fosfatase dan fitase, dan mempunyai muatan permukaan relatif tinggi (69%). Inokulasi BPF meningkatkan serapan P jagung antara 70 dan 75 mg P tanaman⁻¹, dan meningkatkan RAE menjadi antara 145 dan 150%. Inokulum BPF padat dan cair tidak berbeda pengaruhnya dalam meningkatkan pertumbuhan jagung.

Kata kunci: Andisol, pelepasan P, bakteri pelarut fosfat, fosfatase, fitase

PENDAHULUAN

Jenis tanah Andisol di Indonesia cukup luas, ± 5.4 juta ha dan mengandung > 50% alofan yang berdaya jerap tinggi terhadap fosfat yaitu berkisar 300-2,500 mg P kg⁻¹ tanah. Alofan (SiO₂.Al₂O₃.nH₂O) memiliki luas permukaan

100-800 m² g⁻¹, KTK 5-350 cmol kg⁻¹, dengan rasio Si/Al antara 0.5 dan 1.0. Alofan dengan nisbah Si/Al sekitar 0.5 sangat reaktif terhadap fosfat (Fiantis *et al.*, 2005; Pizarra *et al.*, 2008; Elsheikh *et al.*, 2009). Pemberian pupuk P yang tinggi pada Andisol tidak menjamin ketersediaan P yang tinggi pula bagi tanaman, karena efisiensinya yang rendah yaitu 10-20% (Hawkes *et al.*, 2007).

Kekurangan P pada tanaman dapat diamati secara visual, yaitu daun tua berwarna keunguan atau kemerahan

* Penulis untuk korespondensi. e-mail: tamad_1965@yahoo.com

karena terbentuk pigmen antosianin. Pigmen antosianin terbentuk karena terjadi akumulasi gula dalam daun akibat terhambatnya sintesis protein. Gejala lain kekurangan P adalah matinya jaringan pada tepi helai daun, tangkai daun, dan batang dan akar menjadi lemah (Havlin *et al.*, 2005).

Kelompok bakteri yang mampu melepaskan P-terjerap adalah bakteri pelarut fosfat (BPF). BPF menghasilkan asam organik, antara lain sitrat, malat, oksalat, dan asetat, yang berfungsi sebagai pengkatalis, pengkelat, dan mengkomplek agen penjerap P (Arcand dan Schneider, 2006). Selain itu, sel BPF atraktif terhadap nano molekul karena mempunyai muatan permukaan negatif/positif, dan berafinitas biologi (Urgel dan Ramos, 2004). BPF juga menyekresikan fosfatase, dan fitase yang dapat memineralkan P-organik dan menghasilkan fosfat (Mehrvarz dan Chaichi, 2008). Penelitian ini bertujuan menentukan peningkatan ketersediaan P akibat pelepasan P-terjerap Andisol oleh inokulum BPF, melalui pelarutan P-anorganik, mineralisasi P-organik dan pemblokkan loka jerapan, dan mengembangkan inokulum BPF.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilakukan di Laboratorium Tanah dan rumah kaca, Fakultas Pertanian dan Laboratorium Riset Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto. Percobaan dilakukan mulai Januari 2010 sampai Agustus 2011. BPF yang digunakan adalah isolat 1 (*Pseudomonas trivialis*), isolat 5 (*P. putida*), dan isolat 9 (*P. fluorescens*) koleksi Laboratorium Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman (Tamad *et al.*, 2011). Media pembawa inokulum BPF cair adalah 20% (v) molase steril dan 5 g L⁻¹ ekstrak kedelai. Media pembawa inokulum BPF padat ialah campuran (100 mesh) steril 20% abu sekam, 20% dedak padi, 20% onggok tapioka, 3% asam asetat, 2% CuSO₄. 5H₂O, 5% zeolit, dan 30 % H₂O (Tamad dan Maryanto, 2010).

Uji Pelarutan P-anorganik oleh BPF

Satu mL atau g inokulum BPF (10⁸ UPK mL⁻¹ atau g⁻¹) diinokulasikan pada 100 g Andisol steril dengan sumber P sebanyak 2.5 g (1,000 ppm P) batuan fosfat (BF) (3.55% P) lalu diinkubasi dua minggu (2 MI). Percobaan disusun dalam rancangan acak lengkap, BPF sebagai perlakuan dengan tiga ulangan. Perlakuan BPF dengan taraf: tanpa inokulasi (K), media pembawa cair (C₀), inokulum cair tunggal (C₁), inokulum cair dua isolat (C₂), inokulum cair tiga isolat (C₃), media pembawa padat (P₀), inokulum padat tunggal (P₁), inokulum padat dua isolat (P₂), dan inokulum padat tiga isolat (P₃). Peubah yang diamati adalah P-terlarut, efisiensi pelarutan P, pH, kemasaman total, dan populasi BPF.

Uji Mineralisasi P-organik oleh BPF

Satu mL atau g inokulum BPF (10⁸ UPK mL⁻¹ atau g⁻¹) diinokulasikan pada 100 g Andisol steril dengan sumber P 17.4 ton kompos ha⁻¹ (1%) lalu diinkubasikan dua minggu

(2 MI). Perlakuan sama dengan uji pelarutan P-anorganik. Peubah yang diamati adalah P-termineralisasi, efisiensi mineralisasi, aktivitas fosfatase dan fitase, dan populasi BPF.

Uji Pemblokkan Loka Jerapan Andisol oleh BPF

Pemblokkan loka jerapan Andisol oleh BPF diuji pada 100 g Andisol steril. Perlakuan sama dengan uji pelarutan P-anorganik (10 ml atau g BPF; populasi 10⁸ UPK mL⁻¹ atau g⁻¹), 2.5 (CA₁), 5.0 (CA₂), dan 10 (CA₃) mM asam sitrat (10 mL) (Elsheikh *et al.*, 2009). Biakan ditambah dengan 60 mL larutan 10 mM KCl 1,000 ppm P (KH₂PO₄), kemudian diinkubasikan dua minggu (2 MI). Peubah yang diamati adalah jerapan P, muatan permukaan sel relatif (Bennett *et al.*, 2006), dan populasi BPF.

Uji Inokulum BPF In Vivo

Kemampuan BPF dalam melepaskan P diuji pada tanah Andisol (BJI = 0.87 g cm⁻³) dengan bobot 10 kg pada tanaman jagung. Percobaan disusun dalam rancangan acak lengkap, BPF sebagai perlakuan dengan tiga ulangan. Perlakuan BPF dengan taraf: tanpa inokulasi BPF (I₁), inokulasi media pembawa padat (I₂), media pembawa cair (I₃), inokulum BPF padat tiga isolat (I₄), dan inokulum BPF cair tiga isolat (I₅) sejumlah 20 mL atau 20 g (10⁸ UPK mL⁻¹ atau g⁻¹) inokulum BPF (dari 5 mL inokulum BPF L⁻¹ pembawa atau 5 g inokulum BPF kg⁻¹ pembawa) atau setara 17.4 kg atau L inokulum BPF ha⁻¹.

Pupuk P yang digunakan ialah BF Ajibarang (16.2% P₂O₅) dengan dosis setara 400 kg P₂O₅ ha⁻¹, urea setara 200 kg N ha⁻¹, KCl setara 200 kg K₂O ha⁻¹, dan bahan organik 1% (17.4 ton ha⁻¹). BF diberikan satu minggu setelah tanam (MST), urea dan KCl diberikan pada 1 dan 4 MST, dan bahan organik (BO) diberikan saat tanam. Inokulum BPF diberikan satu minggu sebelum tanam. Jagung ditumbuhkan sampai fase *tasseling*. Variabel yang diamati meliputi 1) bobot tajuk dan akar kering (oven 70°C selama 72 jam), 2) kadar dan serapan P, 3) *relative agronomic effectiveness* (RAE) dan 4) *agronomy efficiency* (AE) = (hasil perlakuan – hasil kontrol)/(dosis hara).

Analisis Data

Data percobaan dianalisis ragam (ANOVA). Hasil analisis ragam yang berpengaruh nyata dan sangat nyata dilanjutkan uji nilai tengah *Duncans Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0.05$). Keterkaitan antar peubah diuji dengan korelasi dan regresi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelarutan P-Anorganik oleh BPF

Fosfor larut air dari Andisol tanpa inokulasi BPF adalah 31 ppm P (Tabel 1). Pemberian media pembawa cair dan padat BPF pada Andisol menghasilkan P larut masing-

Tabel 1. Pengaruh inokulum BPF inkubasi 2 minggu terhadap P-larut, efektivitas pelarutan P, populasi BF, pH dan kemasaman total Andisol

Perlakuan	P-larut air (ppm)	Efektivitas (%)	Populasi BPF (log UPK mL ⁻¹)	pH tanah	Kemasaman total (me/100 g)
Kontrol	31.06f	100.00f	0.00d	5.20a	0.19c
BPF cair-0	33.78f	108.76f	0.00d	4.94b	0.15c
BPF cair-1	152.11d	489.73d	12.98c	4.74c	1.97b
BPF cair-2	147.66d	475.40d	13.90b	4.75c	2.20a
BPF cair-3	166.25c	535.25c	14.21a	4.78c	1.88b
BPF padat-0	41.09e	132.29e	0.00d	4.79c	0.11c
BPF padat-1	188.99a	608.47a	13.04c	4.74c	2.43a
BPF padat-2	194.61a	626.56a	12.95c	4.70c	1.90b
BPF padat-3	178.84b	575.79b	13.49bc	4.77c	2.38a

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$; Angka 0, 1, 2, 3 yang mengikuti perlakuan menunjukkan jumlah isolat BPF

masing sebanyak 34 dan 41 ppm P. Inokulasi Andisol dengan BPF meningkatkan P larut sebanyak 148-195 ppm P. P-larut pada Andisol pengaruh BPF berkorelasi positif dengan kemasaman total (0.72), populasi BPF (0.58), sebaliknya berkorelasi negatif dengan pH Andisol (-0.40). Hubungan antara P-larut (ppm P) = $66.88 + 3.40$ kemasaman total (me 100 g⁻¹) + 7.31 populasi BF (log CFU mL⁻¹) - 3.50 pH ($R^2 = 0.58$). Inokulum BPF dengan tiga isolat relatif lebih efektif melarutkan P dari BF pada Andisol. BPF mampu melarutkan P, karena menurut Victoria *et al.* (2009) BPF menghasilkan asam organik, antara lain sitrat, malat dan asetat. Asam organik tersebut menurunkan pH, sebagai penunjak ligan (anion) dengan fosfat, dan sebagai pengkelat agen penjerap fosfat (Chen *et al.*, 2006; Lacobazzi *et al.*, 2009). Asam organik dihasilkan oleh BPF dari glukosa sebagai metabolit primer yang digunakan untuk kelangsungan hidup sel

(Rodriguez *et al.*, 2006). Inokulum konsorsium dari isolat BPF menghasilkan asam organik lebih beragam, sehingga lebih efektif melarutkan P (Lacobazzi *et al.*, 2009).

Mineralisasi P-Organik oleh BPF

P-organik termineralisasi dari Andisol pada kontrol sebesar 23.7 ppm P (Tabel 2). Inokulasi BPF meningkatkan mineralisasi P-organik menjadi 63.6-91.7 ppm P. Indikator kemampuan BPF dalam memineralsasi P-organik adalah aktivitas fosfatase 22-30 mg fosfat L⁻¹ jam⁻¹ dan fitase 22-43 mg fosfat L⁻¹ jam⁻¹ yang tergolong tinggi (Aseri *et al.*, 2009; Hosseinkhani *et al.*, 2009). Mineralisasi P-organik pada Andisol berkorelasi positif dengan populasi BPF (0.88), aktivitas fosfatase (0.69), dan fitase (0.52). Pengaruh P-organik termineralisasi oleh BPF pada Andisol adalah P larut

Tabel 2. Pengaruh inokulum BPF inkubasi 2 minggu terhadap mineralisasi P-organik (PPO), efektivitas mineralisasi, populasi BPF, dan aktivitas fosfatase (Afo) dan fitase (Afi)

Perlakuan	PPO larut air (ppm P)	Efektivitas (%)	Populasi BPF (log UPK mL ⁻¹)	Afo (mg fosfat L ⁻¹ jam ⁻¹)	Afi (mg fosfat L ⁻¹ jam ⁻¹)
Kontrol	23.67e	100.00e	0.00d	0.2d	0.2f
BPF cair-0	23.85e	100.76e	0.00d	0.4d	0.3f
BPF cair-1	73.89c	312.17c	12.98c	24.9ab	26.8c
BPF cair-2	63.60d	268.69d	13.90b	23.3b	33.0a
BPF cair-3	79.67b	336.59b	14.21a	24.0ab	30.9b
BPF padat-0	23.67e	100.00e	0.00d	0.3d	0.6f
BPF padat-1	75.53c	319.10c	13.04c	21.5c	25.5cd
BPF padat-2	78.26bc	330.63bc	12.95c	23.3b	24.7d
BPF padat-3	91.69a	387.37a	13.49bc	30.0a	22.1e

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$; Angka 0, 1, 2, 3 yang mengikuti perlakuan menunjukkan jumlah isolat BPF

(ppm P) = 23.71+1.31 populasi BF (log CFU mL⁻¹) + 1.04 fosfatase (mg fosfat L⁻¹ jam⁻¹) + 1.04 fitase (mg fosfat L⁻¹ jam⁻¹) (R² = 0.99). BPF menyekresikan fosfatase dan fitase. Fosfatase menghidrolisis fosfor organik menjadi asam orto fosfat, sedangkan fitase menghidrolisis asam fitat, glukosa 6-fosfat dan gliserol 1-fosfat menjadi inositol dan asam orto fosfat (Muleta, 2007; Aseri *et al.*, 2009). BPF tiga isolat paling efektif memineralsasi P-organik. Inokulasi 10⁸ UPK BPF mL⁻¹ meningkatkan populasi BPF menjadi 10¹³⁻¹⁴ UPK mL⁻¹. Tingkah laku mikroba yang tergantung populasi dikenal dengan *quorum sensing* (QS). Bakteri pada populasi yang tinggi mengekspresikan kemampuannya, termasuk BPF dalam melarutkan P (DeAngelis, 2006).

Jerapan P dari Andisol oleh Pengaruh BPF

Andisol menjerap P sebesar 95% dari dosis P (sangat tinggi). BPF mempengaruhi fosfor yang terjerap oleh Andisol yaitu menurun sebesar 13-36% (rendah), dan asam sitrat mempengaruhi jerapan P oleh Andisol yaitu menurun sebesar 46-40% (sedang) (Tabel 3). Fosfor terjerap oleh Andisol berkorelasi (r) negatif dengan populasi BPF (-0.61), muatan permukaan relatif kation (-0.43), dan anion (-0.54). Hubungan P terjerap oleh Andisol adalah P-terjerap (ppm P) = 941.22-41.17 populasi BF (log CFU mL⁻¹)-1.25 r/e Anion (%) - 1.35 r/e Kation; (R² = 0.44). Dinding sel bakteri gram negatif mengandung fosfat dan karboksilat (sumber muatan sel) (Skvarla *et al.*, 2002), dan luas permukaan antara 30 dan 973 mm² 10⁻⁶ sel (Elsheikh *et al.*, 2009). Muatan permukaan relatif sel akan berikatan dengan muatan mineral liat tanah,

sehingga menurunkan daya jerap mineral liat terhadap fosfat (Herzberg dan Elimelech, 2008). Selain itu, anion asam organik yang dihasilkan BPF mampu memblokir loka jerapan tanah (Borggaard *et al.*, 2005). Afinitas anion asam organik terhadap loka jerapan (log K_{Al-L}) adalah sitrat (8.65) > oksalat (6.1) >> asetat (1.51) > format (1.36) (Pizarra *et al.*, 2008).

Uji Inokulum BPF In Vivo

Tanaman jagung pada Andisol kontrol umur 8 MST terlihat kerdil, daun berwarna keunguan dan belum memasuki fase *tasseling*. Inokulasi BPF meningkatkan bobot tajuk dan akar, kadar dan serapan P sampai kisaran normal, dan keefisienan P tanaman jagung (Tabel 4). Inokulasi BPF meningkatkan serapan P tanaman jagung sebesar 70-75 mg P tanaman⁻¹, kadar P menjadi 0.28%, dan meningkatkan RAE menjadi 145-150% (tinggi > 90) (Zapata dan Roy, 2008). BPF meningkatkan ketersediaan P melalui 1) pengasaman trikalsium fosfat menjadi H₂PO₄⁻ dan HPO₄²⁻, 2) kelat dan pertukaran ligan fosfat oleh anion asam organik terhadap Al, Fe, dan Ca, 3) mengisi loka jerapan koloid tanah oleh asam organik (Arcand dan Schneider, 2006), dan 4) mineralisasi P-organik oleh fosfatase, dan fitase menghasilkan fosfat (Muleta, 2007). Selain itu, akar tanaman jagung menghasilkan oksalat sebesar 3.15-5.93 mg g⁻¹ bobot akar kering (Nursyamsi, 2009), demikian juga akar tanaman kedelai pada kondisi kahat P menghasilkan oksalat, malat, dan sitrat untuk menyerap P dari tanah (Bertham dan Nusantara, 2011).

Tabel 3. Pengaruh inokulum BPF inkubasi 2 minggu terhadap jerapan P, populasi BPF Andisol, dan muatan permukaan relatif (r/e) BPF

Perlakuan	Jerapan P (%)	Populasi BPF (log UPK mL ⁻¹)	r/e Anion (%)	r/e Kation (%)
Kontrol	94.79a	0.00e	-	-
BPF cair-0	94.63a	0.00e	-	-
BPF cair-1	35.52c	16.42c	28.55a	21.21d
BPF cair-2	35.87c	15.95cd	23.61ab	35.26bc
BPF cair-3	25.80d	14.60d	26.38a	34.16bc
BPF padat-0	94.29a	0.00e	-	-
BPF padat-1	24.03d	14.64d	26.12a	48.35a
BPF padat-2	15.20e	16.53c	20.57b	29.77c
BPF padat-3	13.43e	17.03a	26.92a	41.75b
2.5 mM asam sitrat	46.12b	0.00e	-	-
5 mM asam sitrat	46.12b	0.00e	-	-
10 mM asam sitrat	40.82b	0.00e	-	-

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT pada taraf α = 5%; Angka 0, 1, 2, 3 yang mengikuti perlakuan menunjukkan jumlah isolat BPF; r/e = muatan permukaan sel relatif; - = tidak diamati

Tabel 4. Pengaruh inokulum BPF terhadap komponen pengamatan jagung saat fase *tasseling* (8 MST) pada Andisol

Perlakuan	Bobot kering tajuk (g tanaman ⁻¹)	Bobot kering akar (g tanaman ⁻¹)	Kadar P tajuk (% P)	Serapan P tajuk (mg P tanaman ⁻¹)	RAE (%)	AE (g g ⁻¹)
Tanpa BPF	55.79b	12.31b	0.261b	145.61b	100.00ab	0.00d
MP padat	53.25b	11.07b	0.265b	141.11b	94.45a	15.40c
MP cair	57.48b	14.76b	0.264b	151.75b	106.08b	16.56c
Inokulum padat	77.71a	20.94a	0.277a	215.26a	144.86c	122.20b
Inokulum cair	78.96a	22.87a	0.278a	219.51a	149.53c	134.92a

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$; MP = media pembawa; RAE = *relative agronomic effectiveness*; AE = *agronomy efficiency*

KESIMPULAN

Inokulasi BPF meningkatkan P larut pada Andisol dari 30 menjadi 150-195 ppm P. BPF efektif memineralisasi P-organik pada Andisol dari 23.7 menjadi 63.6-91.7 ppm P. BPF efektif memblok loka jerapan Andisol, sehingga menurunkan jerapan P dari 95 menjadi 36-13%. BPF menurunkan pH Andisol, meningkatkan kemasaman total, populasi BPF, aktivitas fofatase dan fitase, dan mempunyai muatan permukaan relatif tinggi (69%). Inokulasi BPF pada Andisol meningkatkan komponen pertumbuhan jagung, kadar P sampai kisaran normal, serapan P sebesar 70-75 mg P tanaman⁻¹, dan meningkatkan RAE menjadi 145-150%. Inokulum BPF padat dan cair tidak berbeda pengaruhnya terhadap peningkatan pertumbuhan tanaman jagung pada Andisol.

DAFTAR PUSTAKA

Arcand, M.M., K.D. Schneider. 2006. Plant and microbial based to improve the agronomic effectiveness of phosphate rock: A Review. *An. Acad. Bras. Cienc.* 78:791-807.

Aseri, G.K., N. Jain, J.C. Tarafdar. 2009. Hydrolysis of phosphate forms by phosphatases and phytase producing fungi of arid and semi arid soils of India. *American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 5:546-570.

Bennett, P.C., A.S. Engel, J.A. Roberts. 2006. Counting and imaging bacteria on mineral surfaces: Methods of investigating microbial-mineral interactions. *The Clay Mineral Society* 14:37-78.

Bertham, Rr.Y.H., A.D., Nusantara. 2011. Mekanisme adaptasi genotipe baru kedelai dalam mendapatkan hara fosfor dari tanah mineral masam. *J. Agron. Indonesia* 39:24-30.

Borggaard, O.K., B. Roben-Lange, A.L. Gimsing, B.W. Strahel. 2005. Influence of humic substance on phosphate adsorption by aluminium and iron oxides. *Geoderma* 27:270-279.

Chen, Y.P., P.D. Rekha, A.B. Arun, F.T. Shen, W.A. Lai, C.C. Young. 2006. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Appl. Soil Ecol.* 34:33-41.

DeAngelis, K.M. 2006. Microbial community ecology and bacterial quorum sensing as control points in rhizosphere nitrogen cycling. Disertasi. University of California. Berkeley.

Elsheikh, M.A., N. Matsue, T. Henmi. 2009. Effect of Si/Al ratio allophane on competitive adsorption of phosphate and oxalate. *Int. J. Soil Sci.* 4:1-13.

Fiantis, D., N. Hakim, E. Van Ranst. 2005. Properties and utilization of Andisols in Indonesia. *J. Integrated Field Sci.* 2:29-37.

Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, W.L. Nelson. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers, An Introduction to Nutrient Management.* 7th ed. Pearson Education, Inc., New Jersey.

Hawkes, C.V., K.M. DeAngelis, M.K. Firestone. 2007. Root Interactions with Soil Microbial Communities and Processes. p. 1-30. *In* Cordon, Z.G., J.L. Whitbeck. (Eds.). *The Rhizosphere: An Ecological Perspective.* Academic Press, New York.

Herzberg, M., M. Elimelech. 2008. Physiology and genetic traits of reverse osmosis membrane biofilms: a case study with *Pseudomonas aeruginosa*. *ISME J.* 2: 180-194.

Hosseinkhani, B., G. Emtiazi, I. Nahvi. 2009. Analysis of phytase producing bacteria (*Pseudomonas* sp.) from poultry faeces and optimization of this enzyme production. *Afr. J. Biotechnol.* 8:4229-4232.

Lacobazzi, V., V. Infantino, P. Convertini, A. Voza, G. Agrimi, F. Palmieri. 2009. Transcription of the mitochondrial citrate carrier gene: Identification of a silencer and its binding protein ZNF224. *Biochem. Biophysic Res. Comm.* 386:186-191.

- Mehrvarz, S., M.R. Chaichi. 2008. Effect of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus chemical fertilizer on forage and grain quality of barley (*Hordeum vulgare* L.). American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 3:855-860.
- Muleta, D. 2007. Microbial input in coffee (*Coffea arabica* L.) production systems, Soutwestern Ethiopia: Implications for promotion of biofertilizers and biocontrol agents. Disertasi. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Nursyamsi, D. 2009. Pengaruh kalium dan varietas jagung terhadap eksudat asam organik dari akar, serapan N, P, dan K tanaman dan produksi brangkasan jagung (*Zea mays* L.). J. Agron. Indonesia 37:107-114.
- Pizarra, C, J.D. Fabris, J.W. Stucki, V.K. Garg, G. Galindo. 2008. Ammonium oxalate and citrate-ascorbate as selective chemical agent for the mineralogical analysis of clay fractions of an Ultisol and Andisols from southern Chile. J. Chil. Chem. Soc. 53:1581-1584.
- Rodriguez, H., R. Fraga, T. Gonzalez, Y. Bashan. 2006. Genetic of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growth-promoting bacteria. Plant Soil 287:15-21.
- Skvarla, J., D. Kupka, L. Turcaniova. 2002. A complementary study of hydrophobicity and surface charge of *Thiobacillus ferrooxidans*, the effect of ionic surfactans. Acta Montanistica Slovaca Rocnik 7:85-88.
- Tamad, J. Maryanto. 2010. Media pembawa alternatif inokulan mikrobial pelarut fosfat berbasis limbah pertanian. Agrin 14:167-176.
- Tamad, B. Radjaguguk, E. Hanudin, J. Widada. 2011. Seleksi isolat bakteri pelarut fosfat untuk mengembangkan inokulum efektif. Biosfera 28:94-103.
- Urgel, M.E., J.L. Ramos. 2004. Cell density-dependent gene contributes to efficient seed colonization by *Pseudomonas putida* KT2440. Appl. Environ. Microbiol. 70:5190-5198.
- Victoria, D.E., L.L. Reyes, A.D.L.C. Benitez. 2009. Use of 16S rRNA gene for characterization of phosphate solubilizing bacteria associated with corn. Rev. Fitotec. Mex. 32:31-37.
- Zapata, F., R.N. Roy. 2008. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. FAO and Plant Nutrition Bulletin 13. FAO of UN, Rome.