

Mekanisme Adaptasi Genotipe Baru Kedelai dalam Mendapatkan Hara Fosfor dari Tanah Mineral Masam

Adaptation Mechanisms of Phosphorus Uptake of New Soybean Genotypes in Acid Mineral Soil

Rr. Yudhy Harini Bertham¹ dan Abimanyu Dipo Nusantara^{1*}

¹Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu,
Jalan Raya Kandang Limun Bengkulu, Bengkulu 38122, Indonesia

Diterima 4 November 2010/ Disetujui 3 Maret 2011

ABSTRACT

Phosphate deficiency is one of the main constraints to increase soybean yield in acid mineral soil. An experiment was conducted with an objective to discover scientific base of fertilizer selection based on soybean adaptation mechanism to mitigate P deficiency in acid mineral soils in Bengkulu Province. A factorial experiment was arranged in a randomized complete block design with four replications. The first factor was soybean genotypes, i.e. Slamet and three new soybean genotypes (NSGs) i.e. 19BE, 25EC and 13ED, and second factor was P fertilization dosages (0 and 400 mg P₂O₅ kg⁻¹ soil). Soybean was grown in a greenhouse using double pot system. Research results showed that the NSGs had different mechanism in P uptake from soil with high P absorbing capacity compared to Slamet genotype. NSGs translocated more carbon to root, and decreasing of shoot-root ratio, about 66-70%. NSGs 25EC produce more oxalic and malic acid, and 13ED produce more citric acid to obtain same amount of P absorbed by Slamet variety. Under low P, NSGs developed symbioses with mycorrhizal arbuscular fungus, however, only 19BE which increase microbe population in rhizosfer. Phosphorus fertilization suppressed arbuscular mycorrhizal fungus development (15-100%), alkaline phosphatase activity (20-88%), and microbial C biomass (40-71%) in rhizosphere of new soybean genotypes.

Keywords: acid soil, adaptation mechanism, P acquisition, soybean genotypes

PENDAHULUAN

Tanah mineral masam memiliki luasan terbesar di Indonesia yaitu ± 67% dari total luas tanah Indonesia dan tersebar dari Pulau Sumatera sampai Papua (Subagyo *et al.*, 2000). Mengingat luasan dan sebarannya maka tanah mineral masam memiliki potensi terbesar untuk pengembangan tanaman kedelai. Tanah mineral masam umumnya memiliki pH yang sangat masam hingga agak masam, yaitu sekitar < 5.5, miskin basa dapat ditukar, kompleks jerapan didominasi oleh oksida dan hidroksida Al dan Fe, kapasitas tukar kation (KTK) dan kejenuhan basa (KB) lapisan atas tanah umumnya rendah hingga sedang (Subagyo *et al.*, 2000).

Fraksi liat tanah mineral masam umumnya didominasi oleh mineral tipe 1:1, oksida dan hidroksida Fe dan Al yang aktivitasnya rendah dan kompleks pertukarannya bermuatan positif (Uehara dan Gillman, 1981). Hal tersebut menyebabkan unsur fosfor (P) mudah terfiksasi dan tidak tersedia untuk tanaman. Oleh sebab itu defisiensi P merupakan kendala yang sering terjadi pada tanah mineral masam.

Defisiensi P merupakan salah satu cekaman abiotik yang membatasi peningkatan produktivitas kedelai nasional.

Defisiensi P dilaporkan menurunkan bobot kering dan jumlah polong kedelai sampai 60-70% (El-Azouni, 2008). Defisiensi P dapat terjadi akibat rendahnya kadar P dalam tanah atau tingginya daya jerap tanah terhadap unsur P. Ada dua penyebab rendahnya ketersediaan P dalam tanah yaitu interaksi P anorganik dengan kation (Fe, Al dan Ca) dan immobilisasi menjadi kompleks organik oleh jasad renik. Tingginya daya jerap P oleh tanah membuat > 90% pupuk P yang ditambahkan dengan cepat diubah menjadi bentuk-bentuk tidak tersedia. Pupuk P diproduksi menggunakan bahan bakar yang tidak terbarukan dan mahal harganya, sehingga perakitan genotipe tanaman yang adaptif terhadap kekahatan P diharapkan menjadi solusi yang lebih efisien dan efektif dibandingkan dengan penggunaan pupuk buatan dalam permasalahan kahat P di tanah mineral masam.

Genotipe tanaman yang adaptif umumnya mengembangkan strategi adaptasi yang unik untuk mendapatkan unsur hara tertentu dari dalam tanah sedangkan genotipe yang tidak adaptif umumnya mengandalkan pupuk sebagai sumber hara yang siap tersedia. Strategi adaptasi tersebut umumnya berupa modifikasi arsitektur atau geometri perakaran (Nuruzzaman *et al.*, 2006), translokasi karbon dari tajuk ke akar tanaman (Wang *et al.*, 2008), pelepasan eksudat akar dalam bentuk senyawa organik (Watt dan Evans 2003), aktivitas enzim fosfatase (George *et al.*, 2006), dan simbiosis dengan fungi mikoriza

* Penulis untuk korespondensi. e-mail: yudhyhb@gmail.com

arbuskula (FMA) (Smith dan Read, 2008) atau jasad renik tanah pelarut fosfat. Eksudasi asam organik juga dapat meningkatkan populasi jasad renik di rizosfer, baik bakteri maupun cendawan, yang terlibat dalam penyediaan P untuk tanaman. Inokulasi bakteri pelarut fosfat dengan kerapatan 10^8 sel mL^{-1} dilaporkan dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai genotipe Wilis di tanah Ultisol kahat P (Noor, 2003). Tidak semua spesies tanaman memiliki keempat strategi adaptasi tersebut, setiap spesies tanaman umumnya hanya memiliki satu atau dua strategi saja. Perbedaan strategi tidak hanya terjadi antar spesies tapi dapat terjadi antar genotipe dari spesies tanaman yang sama. Pemahaman mengenai strategi adaptasi tanaman kedelai dalam menghadapi kekahatan P dapat dijadikan acuan penetapan jenis pupuk di tanah mineral masam yang umumnya memiliki masalah kahat P.

Genotipe kedelai unggul baru yang adaptif terhadap kemasaman tinggi dan ketersediaan P rendah telah berhasil dirakit, antara lain genotipe 25EC, 11AB dan genotipe 19BE yang memiliki keragaan baik pada tanah Andosol, Histosol, dan Ultisol (Suryati *et al.*, 2006) dan bobot biji kering per tanaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan genotipe Wilis dan Slamet (Suryati dan Chozin, 2007). Tetapi mekanisme strategi adaptasi mendapatkan P dari genotipe baru tersebut belum dapat dijelaskan dengan baik. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai mekanisme adaptasi tiga genotipe baru kedelai (genotipe 19BE, 15EC dan genotipe 13ED) dalam mendapatkan hara P dari tanah mineral masam dibandingkan dengan genotipe Slamet.

BAHAN DAN METODE

Percobaan pot di rumah kaca Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu dilaksanakan pada bulan Juli sampai dengan Oktober 2009. Contoh tanah yang digunakan berasal dari Desa Tangsi Baru, Kabupaten Bengkulu Tengah, Provinsi Bengkulu. Contoh tanah diambil secara komposit dari kedalaman 0-20 cm, dikeringanginkan dan dihaluskan sampai ukuran ± 2 mm. Karakteristik tanah tersebut disajikan pada Tabel 1.

Percobaan disusun dengan Rancangan Acak Kelompok Lengkap pola faktorial dengan empat ulangan. Faktor pertama ialah empat genotipe kedelai yang terdiri atas genotipe Slamet dan tiga genotipe baru yaitu genotipe 25EC, 19BE, dan genotipe 13ED. Ketiga genotipe baru tersebut merupakan hasil persilangan antara varietas Malabar dan Kipas Putih. Genotipe 25EC, 19BE, dan 13ED merupakan kode hasil persilangan berdasarkan letaknya pada barisan tanaman di lapangan. Faktor kedua ialah pemupukan P yaitu 0 dan 400 mg P_2O_5 kg^{-1} tanah yang menghasilkan kadar P di dalam larutan tanah sebesar 50 mg kg^{-1} . Dosis pupuk tersebut ditentukan berdasarkan hasil penghitungan kapasitas jerapan P dari tanah yang digunakan (Bertham *et al.*, 2009). Selain itu ditambahkan empat pot ganda berisi medium tumbuh saja tanpa tanaman sebagai kontrol sehingga total terdapat 36 satuan percobaan dan setiap satuan percobaan terdiri atas empat pot. Percobaan penanaman kedelai dilaksanakan

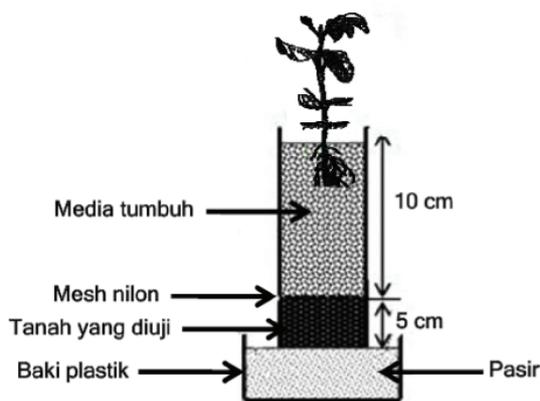
menggunakan sistem pot ganda dan diberi pupuk hara lengkap yang diadopsi dari Nuruzzaman *et al.* (2006) (Gambar 1).

Saat tanaman berumur 35 Hari Setelah Tanam (HST), ikatan kawat pada pipa paralon bagian atas dilepaskan, pipa dibongkar dan tanah dipisahkan dari tanaman. Media dalam pipa paralon bagian atas diambil contoh asam organik untuk kemudian dianalisis dengan HPLC mengacu pada Wang *et al.* (2008). Bagian tajuk tanaman dan akar dipisahkan, bagian akar yang menempel pada saringan nilon dipisahkan dan ditimbang bobot basahanya. Sebagian akar dan bagian tajuk tanaman dikeringkan dalam oven bersuhu 80 °C sampai bobotnya konstan dan kemudian masing-masing ditimbang bobot keringnya. Berdasarkan proporsi bobot basah : bobot kering contoh akar maka dapat diukur bobot kering akar secara keseluruhan. Contoh akar yang tidak dikeringkan digunakan untuk pengamatan kolonisasi

Tabel 1. Karakteristik fisikokimia tanah yang digunakan dalam penelitian

Karakteristik	Kadar/Nilai	Kriteria *
pH H ₂ O	5.70	Agak masam
KCl 1 N	4.70	
C organik (%)	4.14	Tinggi
N total (%)	0.29	Sedang
Nisbah C/N	14.3	Sedang
P tersedia (Bray I, ppm)	8.7	Rendah
Retensi P (%)	67.64	Tinggi
Basa tertukar (NH ₄ Oac 1 N pH 7)		
Ca [cmol(+) kg ⁻¹]	4.32	Rendah
Mg [cmol(+) kg ⁻¹]	5.16	Tinggi
K [cmol(+) kg ⁻¹]	0.46	Sedang
Na [cmol(+) kg ⁻¹]	0.27	Rendah
Kapasitas tukar kation [cmol(+) kg ⁻¹]	22.85	Sedang
Kejenuhan basa (%)	44.70	Sedang
Kejenuhan Al (%)	-	Sangat rendah
Cu (ppm)	1.20	Cukup
Zn (ppm)	14.80	Cukup
Mn (ppm)	92.30	Cukup
Fe (ppm)	66.80	Cukup
Daya hantar listrik (dS m ⁻¹)	100	Sangat tinggi
Sebaran butir		
Pasir (%)	43.10	
Debu (%)	25.30	
Lempung (<i>clay</i>) (%)	31.60	
Tekstur	Geluh berlempung	

Keterangan: Hasil analisis di Balai Penelitian Tanah Bogor *) Ditetapkan berdasarkan kriteria Eviati dan Sulaeman (2009)



Gambar 1. Model pot ganda (diadopsi dari Nuruzzaman *et al.*, 2006)

mikoriza arbuskula menggunakan metode Phillips dan Hayman yang dimodifikasi (Bertham *et al.*, 2009). Untuk mengukur aktivitas enzim *alkaline phosphatase* dan kadar C pada biomassa jasad renik tanah (Saraswati *et al.*, 2007), contoh tanah segar diambil dari pipa paralon bagian bawah setebal 5 mm dari bagian teratasnya yang menempel pada saringan nilon. Serapan P dihitung berdasarkan hasil kali kadar P dengan bobot kering bagian tajuk tanaman. Kadar P diukur dengan metode pewarnaan biru molibdat (Eviati dan Sulaeman, 2009).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Translokasi Karbon ke Akar dan Kadar Hara P

Interaksi genotipe kedelai dan dosis pupuk P berpengaruh nyata terhadap bobot kering (akar, tajuk, dan total), nisbah bobot kering tajuk : akar, dan kadar hara P tanaman kedelai umur 35 HST. Kondisi P rendah berdampak menurunkan pertumbuhan keempat genotipe kedelai yang diuji. Bobot kering tajuk, akar, dan bobot kering total keempat genotipe yang diuji mengalami penurunan 45-76%

dibandingkan pada kondisi kecukupan P (Tabel 2). Bobot kering akar terendah dihasilkan oleh genotipe Slamet, diikuti oleh genotipe 13ED, 25EC dan genotipe 19BE. Kondisi kahat P menyebabkan bobot kering akar genotipe Slamet hanya sekitar 18% dari bobot kering totalnya, sedangkan genotipe 19BE, 25EC, dan genotipe 13ED memiliki proporsi bobot kering akar berturut-turut 34%, 37%, dan 34% dari bobot kering totalnya. Namun demikian penurunan bobot kering akar pada genotipe Slamet dan 13ED lebih besar (71 dan 73%) dibandingkan dengan genotipe 19BE dan 25EC (45 dan 48%). Kondisi kahat P menyebabkan nisbah tajuk: akar genotipe Slamet meningkat 15%, sedangkan pada genotipe 19BE dan 25EC nisbah tersebut masing-masing turun sebesar 66 dan 70%, dan pada genotipe 13ED tidak mengalami perubahan. Serapan P keempat genotipe tersebut ternyata tidak berbeda nyata pada kondisi kahat P (Tabel 2). Data di atas mengindikasikan bahwa pada kondisi kahat P, ketiga genotipe baru perlu lebih mentranslokasikan karbon ke akar untuk menyerap P dalam jumlah yang sama, namun hanya genotipe 19BE dan 25EC yang mengalami penurunan nisbah tajuk : akarnya.

Kondisi kecukupan P (400 mg kg⁻¹) menyebabkan genotipe 19BE menghasilkan bobot kering tajuk tertinggi sedangkan genotipe 13ED menghasilkan bobot kering akar tertinggi. Kedua genotipe tersebut menghasilkan bobot kering total dan serapan P yang tidak berbeda nyata pada kondisi kecukupan P (Tabel 2). Hal tersebut mengindikasikan bahwa genotipe 19BE dan 13ED lebih responsif terhadap pemupukan P dibandingkan genotipe Slamet dan 25EC.

Penurunan bobot kering yang mencapai 70% akibat kondisi kahat P telah dilaporkan sebelumnya oleh El-Azouni (2008), dan penurunan tersebut disebabkan tanaman kedelai mengutamakan translokasi karbon ke akar sehingga akar dapat memperoleh P yang cukup dari medium tumbuh (Watt dan Evans, 2003; Tang *et al.*, 2009). Translokasi karbon ke akar diwujudkan dalam bentuk transformasi morfologi akar dan eksudasi senyawa organik. Karakteristik akar, misalnya panjang, diameter, jumlah rambut, atau bobot kering akar telah dilaporkan berpengaruh nyata terhadap serapan P

Tabel 2. Pengaruh genotipe dan dosis pupuk P terhadap bobot kering tajuk, akar, dan total, nisbah tajuk : akar, kadar P tanaman kedelai umur 35 HST

Genotipe	Dosis pupuk P (mg kg ⁻¹)	Bobot kering (g)			Nisbah tajuk:akar	Serapan P (mg)
		Tajuk	Akar	Total		
Slamet	0	2.61c (-66)	0.58e (-71)	3.19 e (-67)	4.50a (+15)	6.88d (-79)
	400	7.70b	2.01b	9.71c	3.91b	33.46c
19BE	0	2.56c (-72)	1.33c (-45)	3.89d (-66)	1.99c (-47)	6.99d (-86)
	400	9.01a	2.41b	11.42a	3.74b	51.45a
25EC	0	2.03d (-76)	1.18cd (-48)	3.21e (-70)	1.84c (-50)	7.03d (-82)
	400	8.36ab	2.28b	10.63bc	3.69b	39.86bc
13ED	0	2.10d (-72)	1.06d (-73)	3.16e (-72)	2.01c (0)	7.20d (-84)
	400	7.54b	3.87a	11.41a	2.00c	46.03ab

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$. Tanda dalam kurung (+/-) menunjukkan peningkatan atau penurunan (%)

oleh tanaman yang ditumbuhkan pada kondisi kahat P (Krasilnikoff *et al.*, 2003; Gahoonia dan Nielsen, 2004). Namun demikian, hubungan tersebut dipengaruhi oleh jenis tanaman dan bagian akarnya. Sebagai contoh, hasil penelitian Nwoke *et al.* (2008) di rumah kaca menunjukkan panjang akar tanaman kedelai tidak berpengaruh nyata terhadap serapan P pada tanaman kedelai dan sereal namun berpengaruh nyata pada tanaman kacang tunggak.

Eksudasi Asam Organik

Interaksi genotipe kedelai dan dosis pupuk berpengaruh nyata terhadap eksudasi asam oksalat, sitrat dan malat. Setiap genotipe kedelai yang diuji memiliki respon yang berbeda terhadap kondisi kahat P (Tabel 3). Kondisi kahat P menyebabkan genotipe 25EC mengeksudasikan asam oksalat yang tertinggi (1.79 mL L⁻¹), sedangkan genotipe 19BE dan 13ED mengeksudasi asam oksalat dalam jumlah yang kurang lebih sama yaitu 0.78 dan 0.82 mL L⁻¹. Namun demikian, pada kondisi kahat P peningkatan eksudasi asam oksalat, masing-masing 145 dan 290%, hanya terjadi di rhizosfer genotipe 25EC dan 13ED, sebaliknya di rhizosfer genotipe Slamet dan 19BE terjadi penurunan eksudasi asam oksalat sebesar 67 dan 33%. Hal serupa terjadi pada eksudasi asam sitrat dan malat. Pada kondisi kahat P terjadi peningkatan tajam eksudasi asam sitrat pada rhizosfer genotipe 13ED, sebaliknya terjadi penurunan eksudasi asam sitrat (43, 76 dan 2%) pada rhizosfer genotipe Slamet, 19BE, dan genotipe 25EC dibandingkan pada kondisi kecukupan P. Pada kondisi kahat P sekalipun, eksudasi asam malat di rhizosfer genotipe Slamet, 19BE, dan genotipe 25EC tidak berbeda nyata namun jika dibandingkan pada kondisi kecukupan P ternyata terdapat perbedaan pola yang mencolok. Peningkatan eksudasi asam malat (45%) hanya terjadi di rhizosfer genotipe 25EC sedangkan pada genotipe 13ED, Slamet, dan genotipe 19BE justru terjadi penurunan masing-masing sebesar 52, 22, dan 45% dibandingkan pada kondisi kecukupan P. Oleh karena keempat genotipe tersebut memiliki serapan P yang tidak berbeda nyata (Tabel 2), maka

dapat disimpulkan terdapat perbedaan pola produksi asam organik pada genotipe kedelai yang diuji. Genotipe 25EC mengeksudasi asam oksalat dan asam malat, genotipe 13ED mengeksudasi asam sitrat, sedangkan genotipe Slamet dan 19BE tidak menggunakan eksudasi asam organik untuk mendapatkan serapan P yang sama.

Kadar asam organik yang dieksudasi ke rhizosfer kedelai ditentukan oleh jenis asam organik dan genotipe kedelainya. Eksudasi asam malat pada genotipe Slamet dan 19BE lebih tinggi dibandingkan dengan asam oksalat dan sitrat (Tabel 3). Eksudasi asam oksalat pada genotipe 25EC lebih dominan, sedangkan pada genotipe 13ED eksudasi asam sitrat yang lebih dominan. Kadar asam organik yang disajikan pada Tabel 3 merupakan kadar asam organik terkoreksi yaitu setelah dikurangi dengan kadar asam organik pada kontrol (tanpa tanaman dan tanpa pemberian P) sehingga kadar tersebut murni berasal dari eksudasi akar tanaman kedelai.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan tanaman kedelai hanya mengeksudasi asam sitrat (Nwoke *et al.*, 2008) dan malonat (Tang *et al.*, 2009) pada kondisi tanpa pemberian P. Sebaliknya Ohwaki dan Hirata (1992) melaporkan tanaman kedelai tidak mengeksudasikan asam sitrat dan malat pada kondisi kahat P. Asam organik yang dieksudasikan oleh akar berguna untuk mengkelat Al atau Fe untuk kemudian membebaskan P yang terikat (Bolan *et al.*, 1994; Hocking, 2001) dan dengan demikian dapat meningkatkan serapan P pada kondisi kahat P.

Simbiosis dengan Jasad Renik

Interaksi genotipe kedelai dan dosis pupuk P berpengaruh nyata terhadap kolonisasi mikoriza, aktivitas *alkaline phosphatase*, dan kadar C biomassa jasad renik di rizosfer tanaman kedelai. Kondisi kahat P menyebabkan peningkatan kolonisasi FMA, aktivitas *alkaline phosphatase*, dan kadar C biomassa jasad renik tanah (Tabel 4). Genotipe 13ED pada kondisi kahat P memiliki kolonisasi FMA tertinggi pada akar, diikuti oleh genotipe Slamet, 19BE, dan

Tabel 3. Pengaruh genotipe dan dosis pupuk P terhadap produksi asam oksalat, sitrat dan malat pada rizosfer tanaman kedelai umur 35 HST

Genotipe	Dosis pupuk P (mg kg ⁻¹)	Asam oksalat (mL L ⁻¹)	Asam sitrat (mL L ⁻¹)	Asam malat (mL L ⁻¹)
Slamet	0	0.46e (-67)	0.90b (-43)	1.26c (-52)
	400	1.40ab	1.58a	2.64a
19BE	0	0.78d (-33)	0.48c (-76)	1.45bc (-22)
	400	1.16bc	1.97a	1.85abc
25EC	0	1.79a (+145)	0.55c (-2)	1.28c (+45)
	400	0.73d	0.56c	0.88d
13ED	0	0.82cd (+290)	0.96b (+95,900)	0.45e (-77)
	400	0.21f	0.00d	1.94ab

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf α = 5%. Tanda dalam kurung (+/-) menunjukkan peningkatan atau penurunan (%)

genotipe 25EC. Aktivitas *alkaline phosphatase* pada kondisi kahat P mengalami peningkatan tajam khususnya di rhizosfer genotipe Slamet, 25EC, dan genotipe 19BE yaitu mencapai 29, 8, dan 1.9 kali lebih tinggi dibandingkan pada kondisi kecukupan P. Populasi jasad renik tanah, yang tercermin dari kadar C biomassa jasad renik tanah, meningkat tajam khususnya pada rhizosfer genotipe 19BE yaitu mencapai 245% dibandingkan pada kondisi kecukupan P. Oleh karena keempat genotipe kedelai memiliki serapan P yang tidak berbeda nyata (Tabel 2), maka dapat dikatakan bahwa ada perbedaan pola simbiosis dengan jasad renik pada keempat genotipe yang diuji. Ketiga genotipe baru kedelai bersimbiosis dengan FMA, sedangkan genotipe Slamet meningkatkan aktivitas enzim *alkaline phosphatase*. Selain bersimbiosis dengan FMA, genotipe 19BE juga meningkatkan populasi jasad renik di rhizosfernya untuk mendapatkan P dari dalam tanah jika ditumbuhkan dalam tanah berkadar P rendah.

Serapan P dan pembentukan biomassa oleh keempat genotipe kedelai pada penelitian ini tergolong rendah jika tidak ada masukan P dalam bentuk pupuk (Tabel 2) sekalipun kolonisasi FMAnya tergolong tinggi yaitu 65-100% (Tabel 4). Hal tersebut menunjukkan bahwa tanaman kedelai bersimbiosis dengan FMA pada kondisi kahat P namun keuntungan yang diperoleh tidak selalu berbentuk peningkatan biomassa dan serapan P. Tampaknya jumlah P yang diperoleh dari simbiosis dengan FMA belum cukup untuk menghasilkan biomassa yang tinggi. Agar dapat menghasilkan pengaruh simbiosis FMA dengan tanaman inang yang optimal diperlukan kadar P tertentu dan bergantung kepada jenis FMA dan tanaman mitra

simbiosisnya (Smith dan Read, 2008). Sebaliknya kadar P yang terlalu tinggi berpengaruh buruk terhadap kolonisasi FMA pada akar genotipe Slamet, 25EC, dan genotipe 13ED (Tabel 4). Kadar P tersedia yang melebihi 23 mg kg⁻¹ telah dilaporkan dapat menurunkan kolonisasi FMA pada akar tanaman kedelai (Nwoke *et al.*, 2008). Hasil analisis tanah menunjukkan kadar P tersedia setelah dilakukan pemupukan pada penelitian ini ialah sebesar 50 mg kg⁻¹ atau 2 kali lipat lebih dibandingkan pada penelitian Nwoke *et al.* (2008). Pemberian pupuk P yang tinggi ternyata tidak mempengaruhi kolonisasi FMA pada akar kedelai genotipe 19BE (Tabel 4) namun demikian menghasilkan eksudasi asam sitrat yang tergolong tinggi yaitu 1.97 mL L⁻¹ (Tabel 2). Sejauh ini belum ada informasi keterkaitan antara eksudasi asam sitrat dengan kolonisasi FMA pada kondisi P tinggi.

Hifa FMA memproduksi enzim *alkaline phosphatase* spesifik yang terlibat dalam metabolisme P dalam tanah. Aktivitas *alkaline phosphatase* maksimum terjadi ketika infeksi mikoriza masih muda (100% arbuskula) dan kemudian menurun jika arbuskula telah mengalami degenerasi dan pecah. Aktivitas *alkaline phosphatase* dalam tanah dengan demikian merupakan indikasi adanya aktivitas hifa ekstraradikal FMA yang mengeksplorasi tanah untuk mendapatkan P atau keuntungan lainnya. Peningkatan aktivitas fosfatase merupakan gambaran terjadinya mineralisasi P organik oleh jasad renik di rhizosfer (George *et al.*, 2006). Unsur P hasil mineralisasi tersebut kemudian ditangkap oleh hifa FMA dan kemudian ditranslokasikan ke akar tanaman inang untuk mendukung pertumbuhan tanaman inangnya (Smith dan Read, 2008).

Tabel 4. Pengaruh genotipe dan dosis pupuk P terhadap kolonisasi mikoriza arbuskula, aktivitas enzim *alkaline phosphatase*, dan kadar C biomassa jasad renik pada tanah rizosfer tanaman kedelai umur 35 HST

Genotipe	Dosis pupuk P (mg kg ⁻¹)	Kolonisasi mikoriza (%)	Aktivitas <i>alkaline phosphatase</i> tanah (mg g ⁻¹ jam ⁻¹)	Kadar C biomassa jasad renik (mg kg ⁻¹)
Slamet	0	75b	6.01a (29,950)	558.20d (61)
	400	0e	0.02d	346.32e
19BE	0	65c (18)	2.29b (194)	964.25a (245)
	400	55d	0.78c	279.36f
25EC	0	65c	0.36c (800)	769.99b (41)
	400	0e	0.04d	544.92d
13ED	0	100a	2.61b (25)	589.81c (66)
	400	0e	2.09b	355.67a

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$. Angka dalam kurung menunjukkan peningkatan (%)

KESIMPULAN

1. Genotipe baru kedelai 19BE, 25EC, dan genotipe 13ED memiliki mekanisme yang berbeda untuk mendapatkan P pada kondisi kahat P rendah dibandingkan dengan genotipe Slamet sebagai genotipe pembanding, yaitu

translokasi karbon ke akar, eksudasi asam organik, dan simbiosis dengan jasad renik.

2. Genotipe baru kedelai 19BE, 25EC, dan genotipe 13ED mentranslokasikan lebih banyak karbon ke akar untuk meningkatkan pembentukan biomassa akar namun hanya genotipe 19BE dan 25EC yang menurunkan nisbah tajuk: akarnya.

3. Pertanaman pada kondisi kahat P memperlihatkan genotipe 25EC mengeksudasikan asam oksalat dan malat, genotipe 13ED mengeksudasikan asam sitrat, sedangkan genotipe Slamet dan 19BE tidak menggunakan eksudasi asam organik untuk menyerap P dalam jumlah yang sama.
4. Pertanaman pada kondisi kahat P memperlihatkan ketiga genotipe baru kedelai bersimbiosis dengan FMA untuk mendapatkan P dari dalam tanah namun hanya genotipe 19BE yang meningkatkan populasi jasad renik di rhizosfernya. Pemupukan P menekan perkembangan mikoriza arbuskula sampai (15-100%), aktivitas *alkaline phosphatase* (20-88%), dan kadar C biomassa jasad renik tanah (40-71%).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada DP2M Ditjen Dikti Depdiknas yang telah membiayai penelitian ini melalui Hibah Kompetitif Sesuai Prioritas Nasional Batch II dengan Kontrak No. 5014/251.A/J.302/P/2009 tanggal 25 Juli 2009. Penulis juga tak lupa menyampaikan ucapan terima kasih kepada Evi Andriani SP dan Parpen Siregar SP, mahasiswa Program Pascasarjana Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Fakultas Pertanian UNIB, yang telah membantu melaksanakan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Bertham, Y.H., A.D. Nusantara, H. Pujiwati. 2009. Peningkatan Produktivitas Genotipe Baru Kedelai Berbasis Mekanisme Adaptasi Mendapatkan Hara Fosfor Dari Tanah Ultisol. Laporan Penelitian Hibah Kompetitif Sesuai Prioritas Nasional. Lembaga Penelitian Universitas Bengkulu.
- Bolan, N.S., R. Naidu, S. Mahimairaja, S. Baskaran. 1994. Influence of low-molecular-weight organic acids on the solubilization of phosphates. *Biol. Fertil.* 18: 311-319.
- El-Azouni, I.M. 2008. Effect of phosphate solubilizing fungi on growth and nutrient uptake of soybean (*Glycine max* L.) plants. *J. Appl. Sci. Res.* 4:592-598.
- Eviati, Sulaeman. 2009. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, dan Pupuk. Edisi ke 2. Balai Penelitian Tanah, Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian, Balitbangtan, Deptan. Bogor.
- Gahoonia, T.S., N.E. Nielsen. 2004. Root traits as tools for creating phosphorus efficient crop varieties. *Plant Soil* 260:47-57.
- George, T.S., B.L Turner, P.J. Gregory, B.J Cade-Menun, A.E. Richardson. 2006. Depletion of organic phosphorus from oxisols in relation to phosphatase activities in the rhizosphere. *Eur. J. Soil Sci.* 57:47-57.
- Hocking, P.J. 2001. Organic acids exuded from roots in phosphorus uptake and aluminium tolerance of plants in acid soils. *Adv. Agron.* 74:63-97.
- Krasilnikoff, G., T. Gahoonia, N.E. Nielsen. 2003. Variation in phosphorus uptake efficiency by genotypes of cowpea (*Vigna unguiculata*) due to differences in root hair length and induced rhizosphere processes. *Plant Soil* 251:83-91.
- Noor, A. 2003. Pengaruh fosfat alam dan kombinasi bakteri pelarut fosfat dengan pupuk kandang terhadap P tersedia dan pertumbuhan kedelai pada Ultisol. *Bul. Agron.* 31:100-106.
- Nuruzzaman, M., H. Lambers, M.D.A. Bolland, E.J. Veneklaas. 2006. Distribution of carboxylates and acid phosphatase and depletion of different phosphorus fractions in the rhizosphere of a cereal and three grain legumes. *Plant Soil* 281:109-120.
- Nwoke, O.C., J. Diels, R. Abaidoo, G. Nziguheba, R. Merck. 2008. Organic acids in the rhizosphere and root characteristics of soybean (*Glycine max*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) in relation to phosphorus uptake in poor savanna soils. *African J. Biotechnol.* 7:3620-3627.
- Ohwaki, Y., H. Hirata. 1992. Differences in carboxylic acid exudation among P starved leguminous crops in relation to carboxylic acid contents in plant tissues and phospholipid level in roots. *Soil Sci. Plant Nutr.* 38:235-243.
- Saraswati R., E. Husen, R.D.M. Simanungkalit RDM. 2007. Metode Analisis Biologi Tanah. Bogor: Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Balitbangtan, Deptan.
- Smith, F.A., D.J. Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd ed. Elsevier Ltd. New York.
- Subagyo, H., N. Suharta, A.B. Siswanto. 2000. Tanah-tanah pertanian di Indonesia. hal. 21-66. *Dalam* Sumber Daya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.

- Suryati, D., D. Hartini, Sugianto, D. Minarti. 2006. Penampilan lima galur harapan kedelai dan kedua tetuanya di tiga lokasi dengan jenis tanah berbeda. *J. Akta Agrosia* 9:7-11.
- Suryati, D., M. Chozin. 2007. Analisis stabilitas galur-galur harapan kedelai keturunan dari persilangan Malabar dan Kipas Putih. *J. Akta Agrosia Edisi Khusus No. 2*:176-180.
- Tang, C., X.Z. Han, Y.F. Qiao, S.J. Zheng. 2009. Phosphorus deficiency does not enhance proton release by roots of soybean [*Glycine max* (L.) Murr.]. *Environ. Exp. Bot.* 67:228-234.
- Uehara, G., G. Gillman. 1981. *The Mineralogy, Chemistry, and Physics of Tropical Soils With Variable Charge Clays*. Westview Press, Inc. Boulder, Colorado.
- Wang X., C. Tang, C.N. Guppy, W.P.G. Sale. 2008. Phosphorus acquisition characteristics of cotton (*Gossypium hirsutum* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.) and white lupin (*Lupinus albus* L.) under P deficient conditions. *Plant Soil* 312:117-128.
- Watt M., J.R. Evans. 2003. Phosphorus acquisition from soil by white lupin (*Lupinus albus* L.) and soybean (*Glycine max* L.), species with contrasting root development. *Plant Soil* 248:271-283.