

Dampak Inokulasi Ganda Cendawan Mikoriza Arbuskula dan Rhizobium Indigenous pada Tiga Genotipe Kedelai di Tanah Ultisol

Double Inoculation of Indigenous Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizobium Impact on Three Soybean Genotypes in Ultisol

Rr. Yudhy H. Bertham¹ dan E. Inorih²

1Program Studi Ilmu Tanah

2Program Studi Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu

Jln. Raya Kandang Limun Bengkulu 38371A

Yudhi_hb@gmail.com

ABSTRACT

For increasing high productivity of soybean should be found precise combination biofertilizers between Arbuscular mycorrhiza and Rhizobium. The experiment was conducted using block split design, three replications. Three genotypes of soybean, Ceneng, DS1 and Pangrango were inoculated with *Glomus manihotis* + *Rhizobium* sp. TER 2.2 (GimR₁), *Gl. margarita* + *Rhizobium* KLB 5.3 (GlmR₂), *Gigaspora margarita* + *Rhizobium* TER 2.2 (GimR₁), *Gi. Margarita* + *Rhizobium* KLB 5.3. (GimR₂) and inorganic fertilizers as a control (100 kg ha⁻¹ N, 80 kg ha⁻¹ P₂O₅ and 100 kg ha⁻¹ K₂O). All treatments were given green manure with the dosage equivalent to 1 ton ha⁻¹ dry weight. First fertilizer was applied on inoculant treatment 25 kg ha⁻¹N, 20 kg ha⁻¹ P₂O₅ SP36 and 100 kg ha⁻¹ K₂O. The results of this experiment revealed that Ceneng followed by Pangrango and DS1 was the most responsively soybean genotypes for CMA + Rhizobium tested. CMA *Gigaspora margarita* was more superior than *Glomus manihotis* and *Rhizobium* KLB 5.3 was more superior than *Rhizobium* TER 2.2 for increasing soybean growth and yield. Three symbiosis soybean-CMA-Rhizobium were determined by soybean genotype, CMA species and its Rhizobium isolates. Combinations of GlmR₁, GlmR₂, GimR₁ and GimR₂ were potential combinations for increasing soybean growth and yield the same as or more than inorganic fertilizers. Dry season and Fe and Mn ions had negative effects for CMA and Rhizobium combinations in increasing soybean growth and yield compared with inorganic fertilizers.

Key words : soy bean, mikoriza, Rhizobium

ABSTRAK

Untuk menjamin tingginya produksi kedelai yang secara ekonomis dan ekologis menguntungkan perlu ditemukan paket teknologi pupuk hayati berupa kombinasi cendawan mikoriza arbuskular dan Rhizobium. Penelitian dilaksanakan dengan rancangan split blok yang diulang 3 kali menggunakan 3 genotipe kedelai yaitu Ceneng, DS1 dan Pangrango yang diinokulasi dengan salah satu inokulan *Glomus manihotis* + *Rhizobium* sp. TER 2.2 (GlmR₁), *Gl. manihotis* + *Rhizobium* KLB 5.3 (GlmR₂), *Gigaspora margarita* + *Rhizobium* TER 2.2 (GimR₁), *Gi. margarita* + *Rhizobium* KLB 5.3 (GimR₂), dan pupuk buatan sebagai kontrol (100 kg ha⁻¹ N, 80 kg ha⁻¹ P₂O₅, dan 100 kg ha⁻¹ K₂O). Seluruh perlakuan diberi pupuk kandang dengan dosis setara 1 ton ha⁻¹ bahan kering. Pupuk dasar diberikan pada perlakuan inokulan dengan dosis 25 kg ha⁻¹ N, 20 kg ha⁻¹ P₂O₅ SP36, dan 100 kg ha⁻¹ K₂O. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Ceneng, diikuti oleh Pangrango dan DS1, merupakan genotipe kedelai yang paling responsif terhadap pasangan CMA + Rhizobium yang diuji. CMA *Gigaspora margarita* lebih unggul dibandingkan dengan *Glomus manihotis* dan *Rhizobium* KLB 5.3 lebih unggul dibandingkan dengan *Rhizobium* TER 2.2 dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai. Jadi, simbiosis segitiga kedelai-CMA-Rhizobium ditentukan oleh genotipe kedelai, spesies CMA dan isolat Rhizobiumnya. Pasangan GlmR₁, GlmR₂, GimR₁ dan GimR₂ merupakan pasangan-pasangan yang berpotensi memiliki kemampuan meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai menyamai atau melebihi pupuk buatan. Faktor iklim kemarau dan kadar ion Fe dan Mn yang tinggi berdampak negatif terhadap kinerja pasangan CMA dan *Rhizobium* dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai dibandingkan dengan pupuk buatan

Kata kunci : Kedelai, mikoriza, Rhizobium

PENDAHULUAN

Sebagai tanaman yang banyak mengandung protein, kedelai memerlukan banyak unsur-unsur hara, terutama N dan P untuk pertumbuhannya. Untuk memenuhi unsur-unsur tersebut diperlukan pupuk buatan yang pembuatannya banyak memerlukan energi dalam bentuk bahan bakar minyak (BBM). Meningkatnya harga BBM belakangan ini tentu berdampak kepada harga pupuk yang dirasakan semakin mahal oleh masyarakat. Tingginya harga pupuk akan menjadikan petani kedelai untuk beralih kepada komoditas lain yang tidak memerlukan pupuk dalam jumlah tinggi. Hal tersebut berakibat kepada semakin turunnya produksi kedelai secara nasional. Impor kedelai memang menyelesaikan masalah kebutuhan kedelai dalam jangka pendek akan tetapi tidak bijaksana jika dibiarkan terus. Perlu diupayakan beberapa alternatif untuk memulihkan produksi kedelai nasional diantaranya dengan meningkatkan produktivitas kedelai di tanah mineral masam menggunakan pupuk alternatif berupa pupuk hayati misalnya dalam bentuk inokulan jasad renik tanah misalnya *Rhizobium*, CMA, dan lain sebagainya.

Inokulasi ganda *Rhizobium* dan CMA dilaporkan dapat meningkatkan jumlah bintil akar dan dan biomassa tanaman (Zhao *et al.*, 1997), pertumbuhan dan hasil tanaman (Lin *et al.*, 1993; Das *et al.*, 1997; Purwaningsih, 2001), karena meningkatkan penyerapan P, pembentukan bintil akar, dan penambahan nitrogen (Bertham *et al.*, 2006). Masalahnya ialah ada kompatibilitas spesifik antara spesies *Rhizobium* dengan spesies CMA. Para peneliti melaporkan tanggapan netral ataupun negatif dari koinokulasi *Rhizobium* dan CMA (Daniels-Hylton dan Ahmad 1994; Blilou *et al.*, 1999).

Beberapa kajian memperlihatkan adanya persaingan mendapatkan karbon antara tanaman, mikoriza, dan bakteri dalam sistem penambahan nitrogen simbiotik (Reinhard *et al.*, 1992; Michelsen dan Sprent 1994) ataupun persaingan mendapatkan unsur hara (Bethlenfalvay, 1992) dan kompatibilitas selektif diantara simbiosion-

simbiosion renik dari asosiasi legum (Azcon *et al.*, 1991). Oleh sebab itu diperlukan kehati-hatian dalam memasangkan *Rhizobium* dan CMA untuk memacu pertumbuhan dan hasil kedelai.

Sampai saat ini belum pernah ditemukan pasangan rizobia dan CMA untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai yang spesifik lokasi Bengkulu. Penemuan pasangan kedua simbiosion tersebut, dengan demikian, sangat penting artinya untuk menjamin diperolehnya kepastian pertumbuhan dan hasil kedelai.

METODE PENELITIAN

Percobaan dilaksanakan di desa Kandang Limun, Kodya Bengkulu, menggunakan Rancangan Petak Teralur (*Split Block*) yang diulang tiga kali. Sebagai petak utama ialah varietas yang terdiri atas Pangrango, Ceneng, dan DS1 (hasil persilangan Malabar dengan Kipas Putih). Sebagai anak petak ialah perlakuan inokulasi ganda CMA dan *Rhizobium* yaitu GlmR1 = *Glomus manihotis* + *Rhizobium* KLR 5.3, GlmR2 = *Glomus manihotis* + *Rhizobium* TER 2.2, GimR1 = *Gigaspora margarita* + *Rhizobium* KLR 5.3, GimR2 = *Gigaspora margarita* + *Rhizobium* TER 2.2, Kontrol = pupuk dosis rekomendasi tanpa inokulan. *Rhizobium* yang digunakan merupakan hasil seleksi yang dilakukan dalam penelitian ini. Rancangan tersebut dipilih supaya tidak ada pengaruh silang antar varietas dan antar inokulan dan mengutamakan interaksi varietas dengan inokulan.

Contoh tanah diambil dari lokasi penelitian untuk kemudian dilakukan analisis tanah pendahuluan. Tanah dibersihkan dari rerumputan yang tumbuh kemudian diolah sebagaimana biasa dilakukan untuk budidaya kedelai. Pada lahan tersebut kemudian disiapkan tiga blok yang masing-masing berukuran kurang lebih 1,5 m x 1,5 m yang berisi 25 tanaman kedelai dengan jarak tanam 35 cm x 35 cm. Secara keseluruhan diperlukan lahan seluas kurang lebih 102 m². Pupuk dasar diberikan dengan takaran 25 kg ha⁻¹

N dalam bentuk Urea, 20 kg ha⁻¹ P₂O₅ dalam bentuk SP36, dan 100 kg ha⁻¹ K₂O dalam bentuk KCl pada semua perlakuan inokulasi CMA dan isolat *Rhizobium*. Pupuk Urea diberikan secara terpisah yaitu separuh takaran pada saat tanam dan sisanya pada saat tanaman berumur 1 bulan setelah tanam. Pupuk SP36 dan KCl diberikan sekaligus pada saat tanam. Pada perlakuan pupuk dosis rekomendasi diberikan pupuk dengan takaran 100 kg ha⁻¹ N dalam bentuk Urea, 80 kg ha⁻¹ P₂O₅ dalam bentuk SP36, dan 100 kg ha⁻¹ K₂O dalam bentuk KCl. Seluruh perlakuan diberi pupuk kandang dengan dosis setara 1 ton ha⁻¹ bahan kering.

Benih kedelai ditanam pada lubang tanam hasil penugalan dengan kedalaman 2,5 cm, setiap lubang diberi 3 benih kedelai yang telah diinokulasi dengan *Rhizobium* sesuai perlakuan dan 2,5 g inokulum CMA. Inokulasi *Rhizobium* dilakukan berdasarkan metode dua tahap. Pada tahap pertama biji diselaputi dengan gum arabicum 40%, dan pada tahap ke dua, bubuk inokulan ditaburkan pada biji yang sudah berperekat selanjutnya dituangkan ke atas kertas yang bersih dan dibiarkan mengering di tempat terbuka dan tidak terkena cahaya langsung matahari. Inokulan CMA diberikan berupa campuran akar-akar terinfeksi dan spora dengan bahan pembawa zeolit. Pada umur 2 minggu setelah tanam dilakukan penjarangan dengan menyisakan satu tanaman kedelai yang pertumbuhannya terbaik. Pemeliharaan tanaman kedelai dilakukan dengan cara menyiram air setiap hari. Penanggulangan hama dan penyakit tanaman dilakukan dengan pestisida Curacron 2 mL L⁻¹ pertumbuhan gulma diatasi secara mekanis dengan cara mencabut setiap gulma yang tumbuh dan kemudian ditanam ke dalam tanah.

Percobaan diakhiri jika kedelai telah mencapai akhir fase generatif yang ditunjukkan dengan menguningnya daun dan polong. Pengamatan dilakukan dua kali yaitu pada fase vegetatif dan fase generatif. Pada fase vegetatif diamati bobot kering berangkasan, persen infeksi akar, serapan hara P. Kadar hara

P ditetapkan dengan metoda pewarnaan biru molibden. Serapan hara ditentukan berdasarkan hasil kali antara konsentrasi hara dengan bobot kering tajuk tanaman. Persen kolonisasi akar ditentukan dengan metoda Phillips dan Hayman (1970) yang dimodifikasi. Pada prinsipnya metoda tersebut dilakukan dengan cara sebagai berikut. Akar terlebih dulu dipotong-potong sepanjang kurang lebih 1 cm, pigmentasi akar dihilangkan dengan perendaman dalam KOH 10% kemudian dimasamkan dalam HCl 2% dan akhirnya diwarnai dengan *tryphan blue*. Sisa-sisa pewarnaan dihilangkan dengan cara mencuci akar dengan larutan *destaining* (campuran *glycerine*, asam laktat, air dengan nisbah 2 : 2 : 1). Akar kemudian diamati dibawah mikroskop dan dihitung persentase akar yang terkolonisasi berdasarkan keberadaan struktur CMA pada setiap potong akar. Pada fase generatif diamati komponen produksi kedelai yang meliputi jumlah polong berisi, jumlah biji pertanaman, bobot total biji per tanaman dan produksi.

Data yang diperoleh dianalisis secara statistik menggunakan uji F dan perbedaan antar perlakuan diuji dengan Uji Jarak Berganda Duncan (DMRT). Hubungan antar peubah dianalisis dengan korelasi regresi. Uji normalitas galat dan penentuan transformasi dilakukan dengan metoda Box-Cox menggunakan piranti lunak Minitab v14.2, analisis keragaman dan korelasi dilakukan dengan piranti lunak CoStat v6.311.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bobot kering tajuk varietas kedelai dipengaruhi oleh varietas, inokulan dan interaksi keduanya (Tabel 1). Varietas Ceneng menghasilkan bobot kering tajuk yang tertinggi diikuti oleh varietas DS1 dan Pangrango. Inokulan GlmR1 dan GlmR2 menghasilkan bobot kering tajuk yang berbeda tidak nyata dengan Kontrol, sedangkan inokulan GimR2 menghasilkan pengaruh yang lebih rendah dibandingkan dengan Kontrol.

Serapan hara P oleh tanaman kedelai dipengaruhi oleh varietas, inokulan dan interaksi keduanya (Tabel 2). Kedelai varietas Ceneng menyerap hara P lebih banyak daripada varietas DS1 dan Pangrango. Hara P asal pupuk buatan diserap lebih banyak oleh tanaman kedelai daripada yang berasal dari inokulan. Keempat diinokulan yang diuji memiliki kemampuan

yang setara ditinjau dari serapan hara P sekalipun masih lebih rendah dibandingkan dengan pupuk buatan. Hara P asal pupuk buatan selalu diserap paling tinggi oleh ketiga varietas kedelai dibandingkan dengan hara asal inokulan. Varietas DS1 menyerap P paling banyak dibandingkan dengan kedua varietas lainnya.

Tabel 1. Pengaruh varietas dan inokulan terhadap bobot kering tajuk (g) tanaman kedelai

Inokulan	Varietas						Rerata Inokulan
	Pangrango		Ceneng		DS1		
GlmR ₁	3,15 a	B	3,86 f	A	2,63 l	C	3,22 p
GlmR ₂	2,71 a	F	2,90 gh	DE	3,28 k	D	2,96 pq
GimR ₁	2,53 a	H	3,25 fg	G	2,08 l	H	2,62 q
GimR ₂	1,48 b	K	2,40 h	J	2,18 l	J	2,02 r
Kontrol	2,79 a	N	3,14 g	M	3,65 k	M	3,19 pq
Rerata Varietas	2,53 Z		3,11 X		2,76 Y		
p	Var = 0,0034		Inok = 0,0055		VxI = 0,0453		KK = 17,03%
Transformasi							

Keterangan : Rerata sekolom didampingi huruf kecil berbeda atau rerata sebaris didampingi huruf besar berbeda menunjukkan berbeda nyata berdasarkan Uji Duncan pada taraf kepercayaan 95%

Tabel 2. Pengaruh varietas dan inokulan terhadap serapan hara P tanaman kedelai

Inokulan	Varietas						Rerata Inokulan
	Pangrango		Ceneng		DS1		
GlmR ₁	8,49 b	B	9,79 g	A	7,06 m	C	8,74 q
GlmR ₂	7,73 b	E	8,19 h	E	9,57 l	D	8,50 q
GimR ₁	8,45 b	H	10,89 fg	G	6,88 m	I	8,44 q
GimR ₂	5,29 c	K	8,35 h	J	7,82 m	J	7,15 q
Kontrol	10,85 a	N	11,72 f	N	14,03 k	M	12,20 p
Rerata Varietas	8,17 Y		9,79 Xx		2,76 Y		
p	Var = 0,0162		Inok = 0,0101		VxI = 0,0453		KK = 17,03%

Keterangan : Rerata sekolom didampingi huruf kecil berbeda atau rerata sebaris didampingi huruf besar berbeda menunjukkan berbeda nyata berdasarkan Uji Duncan pada taraf kepercayaan 95%

Jumlah polong kedelai dipengaruhi oleh inokulan dan interaksi inokulan dan varietas (Tabel 3). Inokulan GimR₁ dan GimR₂ menghasilkan jumlah polong yang setara dengan yang dihasilkan oleh pupuk buatan. Pengaruh Glomus lebih rendah dibandingkan dengan pengaruh Gigaspora sedangkan R₁ menghasilkan pengaruh yang relatif sama dengan R₂. Varietas Pangrango akan menghasilkan jumlah polong tertinggi

jika diinokulasi dengan inokulan GimR₁ atau diberi pupuk buatan. Varietas Ceneng akan menghasilkan jumlah polong tertinggi, bahkan melebihi yang dihasilkan oleh pupuk buatan, jika diinokulasi dengan GimR₂. Varietas DS1 akan menghasilkan jumlah polong yang sama dengan yang dihasilkan oleh pupuk buatan jika diinokulasi dengan GimR₁.

Tabel 3. Pengaruh varietas dan inokulan terhadap jumlah polong kedelai

Inokulan	Varietas			Rerata Inokulan
	Pangrango	Ceneng	DS1	
GlmR ₁	19 c	34 g	25 l	26 q
GlmR ₂	27 b	26 h	19 m	24 q
GimR ₁	43 a	36 g	38 k	39 p
GimR ₂	25 b	49 f	22 lm	32 pq
Kontrol	35 a	35 g	43 k	38 p
Rerata Varietas	30	36	29	
p	Var = 0,2798	Inok = 0,0475	VxI = 0,0341	KK = 15,05%

Keterangan : Rerata sekelom didampingi huruf kecil berbeda atau rerata sebaris didampingi huruf besar berbeda menunjukkan berbeda nyata berdasarkan Uji Duncan pada taraf kepercayaan 95%

Tabel 4. Pengaruh varietas dan inokulan terhadap jumlah biji per tanaman

Inokulan	Varietas			Rerata Inokulan
	Pangrango	Ceneng	DS1	
GlmR ₁	26	70	35	44 pq
GlmR ₂	26	50	25	33 q
GimR ₁	53	51	38	52 pq
GimR ₂	40	79	37	47 pq
Kontrol	49	62	60	57 p
Rerata Varietas	39	36	29	
p	Var = 0,0874	Inok = 0,1864	VxI = 0,0341	KK = 7,88%

Keterangan : Rerata sekelom didampingi huruf kecil berbeda atau rerata sebaris didampingi huruf besar berbeda menunjukkan berbeda nyata berdasarkan Uji Duncan pada taraf kepercayaan 95%

Varietas kedelai, inokulan, dan interaksi keduanya berpengaruh tidak nyata terhadap jumlah biji per tanaman (Tabel 4). Sekalipun secara statistik tidak ada perbedaan yang nyata, namun varietas Ceneng cenderung memiliki jumlah biji per tanaman yang tertinggi dibandingkan dengan Pangrango dan DS1.

Varietas dan interaksi varietas dan inokulan berpengaruh nyata terhadap bobot total biji (Tabel 5). Varietas Ceneng menghasilkan bobot total biji yang nyata lebih tinggi dibandingkan Pangrango dan Ceneng. Varietas Pangrango menghasilkan bobot total biji tertinggi jika diinokulasi dengan GimR₁, varietas Ceneng dengan GimR₂ dan DS1 dengan GImR₁.

Bobot 100 biji dipengaruhi oleh varietas, inokulan dan interaksi keduanya (Tabel 6). Ketiga varietas kedelai memiliki bobot 100 biji yang berbeda nyata satu dengan lainnya. Varietas Ceneng memiliki bobot 100 biji tertinggi dibandingkan dengan Ceneng dan DS1. Inokulan GimR₂ menghasilkan bobot 100 biji tertinggi dibandingkan dengan ketiga inokulan lainnya dan kontrol. Varietas Pangrango akan menghasilkan biji dengan bobot 100 biji yang tertinggi jika diinokulasi dengan GimR₁, Ceneng dengan GimR₂, dan DS1 dengan GimR₂. *Gigaspora margarita* tampaknya merupakan CMA yang kompatibel dengan ketiga varietas kedelai dalam menghasilkan biji dengan bobot 100 biji yang tinggi.

Tabel 5. Pengaruh varietas dan inokulan terhadap bobot total biji

Inokulan	Varietas			Rerata Inokulan
	Pangrango	Ceneng	DS1	
GImR ₁	1,69 B	4,53 A	4,04 A	3,42 q
GImR ₂	3,10 E	5,72 D	1,98 E	3,60 pq
GimR ₁	5,63 G	4,94 G	2,64 H	4,40 pq
GimR ₂	3,00 K	7,14 J	3,91 K	4,68 p
Kontrol	2,38 N	5,96 M	2,00 N	3,45 q
Rerata Varietas	3,16 Y	5,66 X	2,91 Y	
p	Var = 0,0251	Inok = 0,0670	VxI = 0,0012	KK = 21,34%

Keterangan : Rerata sekolom didampingi huruf kecil sama atau rerata sebaris didampingi huruf besar sama menunjukkan berbeda tidak nyata berdasarkan Uji Duncan pada taraf kepercayaan 95%

Tabel 6. Pengaruh varietas dan inokulan terhadap bobot 100 biji

Inokulan	Varietas			Rerata Inokulan
	Pangrango	Ceneng	DS1	
GImR ₁	10,99 d B	13,17 h A	8,90 n C	11,02 r
GImR ₂	12,98 c D	13,37 h D	10,58 m E	12,31 q
GimR ₁	16,25 a G	15,50 g H	6,62 o I	12,79 q
GimR ₂	11,60 d L	17,47 f J	15,27 k K	14,78 p
Kontrol	13,83 b M	12,17 i N	11,87 l N	12,62 q
Rerata Varietas	2,53 Y	14,33 X	10,65 Z	
p	Var = 0,0002	Inok = 0,0002	VxI = 0,0000	KK = 5,49%

Keterangan : Rerata sekolom didampingi huruf kecil sama atau rerata sebaris didampingi huruf besar sama menunjukkan berbeda tidak nyata berdasarkan Uji Duncan pada taraf kepercayaan 95%

Tabel 7. Pengaruh varietas dan inokulan terhadap jumlah bintil akar efektif

Inokulan	Varietas			Rerata Inokulan
	Pangrango	Ceneng	DS1	
GlmR ₁	7 A	8 A	8 A	8 q
GlmR ₂	7 E	15 D	16 D	13 p
GimR ₁	11 G	12 G	9 G	11 pq
GimR ₂	9 J	11 J	9 J	9 pq
Kontrol	10 M	14 M	12 M	12 p
Rerata Varietas	9 Y	12 X	11 XY	
p	Var = 0,0306	Inok = 0,1484	VxI = 0,0316	KK = 9,08%

Keterangan : Rerata sekolom didampingi huruf kecil sama atau rerata sebaris didampingi huruf besar sama menunjukkan berbeda tidak nyata berdasarkan Uji Duncan pada taraf kepercayaan 95%

Tabel 8. Pengaruh varietas dan inokulan terhadap persen kolonisasi akar oleh CMA

Inokulan	Varietas			Rerata Inokulan
	Pangrango	Ceneng	DS1	
GlmR ₁	86,67 a	63,33 g	63,33 l	71,11 p
GlmR ₂	66,67 c	50,00 i	76,67 k	64,44 p
GimR ₁	43,33 e	53,33 h	33,33 n	43,33 q
GimR ₂	70,00 b	63,33 g	56,67 m	63,33 p
Kontrol	46,67 d	70,00 f	63,33 l	60,00 p
Rerata Varietas	627	60,00	58,67	
p	Var = 0,3086	Inok = 0,0111	VxI = 0,0191	KK = 19,69%

Keterangan : Rerata sekolom didampingi huruf kecil sama atau rerata sebaris didampingi huruf besar sama menunjukkan berbeda tidak nyata berdasarkan Uji Duncan pada taraf kepercayaan 95%

Varietas kedelai dan interaksi varietas dan inokulan berpengaruh nyata terhadap jumlah bintil akar efektif (Tabel 7). Varietas Ceneng dan DS1 memiliki jumlah bintil akar efektif yang sama banyaknya namun lebih tinggi banyak daripada varietas Pangrango. Jumlah bintil akar efektif yang dibentuk oleh ketiga varietas tersebut akan berbeda jika ketiga varietas kedelai tersebut diinokulasi dengan inokulan GlmR₂. Inokulan tersebut menghasilkan bintil akar tertinggi pada varietas Ceneng dan DS1.

Kolonisasi akar oleh CMA dipengaruhi oleh inokulan dan interaksi inokulan dan varietas (Tabel 8). Secara rata-rata, hanya inokulan GimR₁ yang menghasilkan persen kolonisasi akar terendah. Inokulan lainnya menghasilkan persen inokulan yang sama tingginya dengan yang dihasilkan oleh pupuk buatan.

Pada varietas Pangrango hanya inokulan GlmR₁ yang menghasilkan persen kolonisasi akar tertinggi yang berbeda nyata dengan ketiga inokulan lainnya dan pupuk buatan. Pada varietas Ceneng inokulan GlmR₁ dan GimR₂ menghasilkan persen kolonisasi akar yang tertinggi dan keduanya berbeda tidak nyata namun berbeda nyata dengan dua inokulan lainnya dan pupuk buatan. Pada varietas DS1 hanya inokulan GlmR₂ yang menghasilkan persen kolonisasi akar tertinggi yang berbeda nyata dengan keempat perlakuan lainnya. Inokulan GimR1 selalu menghasilkan persen kolonisasi terendah pada ketiga varietas kedelai yang diuji dan berbeda nyata dengan ketiga inokulan lainnya dan kontrol.

Membbaiknya pertumbuhan tanaman, yang diindikasikan dengan meningkatnya bobot kering tajuk, dan meningkatnya hasil tanaman yang diindikasikan dengan meningkatnya jumlah polong, jumlah biji per tanaman, bobot total biji, ataupun bobot 100 biji umumnya dikaitkan dengan membaiknya kadar dan serapan hara sebagai akibat perlakuan inokulasi jasad renik ataupun pemupukan. Namun demikian bobot kering tajuk dalam penelitian ini berkorelasi negatif dengan kadar P ($r = -0,76$). Bobot kering yang tinggi ternyata tidak diimbangi dengan kadar hara yang tinggi, hal tersebut mengindikasikan terjadinya efek pengenceran hara (Marschner, 1995). Sebagai akibatnya jumlah hara yang ada dalam jaringan tanaman belum dapat mendukung peningkatan hasil tanaman yang terindikasikan oleh rendahnya korelasi antara komponen hasil tanaman dengan kadar hara dan serapan P di tajuk tanaman.

Hasil penelitian di atas berbeda dengan yang telah dilaporkan oleh Bertham *et al.* (2006) yang menggunakan *Gl. manihotis*, *Gi. margarita*, kedelai varietas Pangrango dan Ceneng dan mutan-mutan *Bradyrhizobium* asal Bengkulu. Kombinasi CMA dan *Bradyrhizobium* pada penelitian tersebut mampu meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai melampaui yang dihasilkan oleh pupuk buatan, baik di lahan monokultur maupun agroforestri Kayu Bawang (*Scorodocarpus borneensis*). Selain perbedaan rizobia yang digunakan, faktor musim kemarau merupakan suatu hal yang paling menentukan rendahnya respon tiga genotipe kedelai terhadap inokulan yang diuji.

Kolonisasi akar merupakan parameter yang paling mudah diamati untuk menilai pengaruh inokulasi CMA terhadap pertumbuhan tanaman. Kadar P dan serapan P merupakan parameter pertumbuhan yang seringkali dihubungkan dengan persen kolonisasi akar. Persen kolonisasi akar oleh *Gi. margarita* berkorelasi positif dengan kadar P tajuk ($r = 0,80$), jumlah biji ($r = 0,27$), bobot total biji ($r = 0,22$), dan bobot 100 biji ($r = 0,46$) namun tidak berkorelasi dengan serapan P. Ada indikasi bahwa karbon hasil

fotosintesis pada fase vegetatif tidak sepenuhnya dapat digunakan oleh tanaman untuk membangun biomasnya. Sebagian karbon harus dialirkan ke mitra simbiosisnya yaitu *Gi. margarita* dan *Rhizobium*. Aliran karbon tersebut tampaknya cukup bermakna sehingga berdampak negatif negatif yang ditunjukkan oleh korelasi negatif antara persen kolonisasi akar dengan bobot kering bintil ($r = -0,51$), dan jumlah polong ($r = -0,30$). Kolonisasi akar oleh *Gl. manihotis* berkorelasi positif dengan serapan P ($r = 0,25$). Sekalipun kolonisasi akar tidak berkorelasi negatif dengan bobot kering tajuk, yang mengindikasikan tidak adanya dampak negatif kolonisasi terhadap aliran karbon hasil fotosintesis, namun demikian kolonisasi akar ternyata berkorelasi negatif dengan jumlah polong ($r = -0,64$), jumlah biji ($r = -0,59$), bobot total biji ($r = -0,96$), dan bobot 100 biji ($r = -0,43$). Hal tersebut menunjukkan bahwa perkembangan hifa ataupun struktur dakhil CMA lainnya terjadi lebih intensif setelah fase vegetatif tanaman kedelai. Pada fase generatif masih terjadi aliran karbon ke mitra simbiosisnya dan sebagian lain untuk pembentukan komponen hasil. Sebagai hasilnya muncul dampak negatif kolonisasi akar oleh *Gl. manihotis* terhadap komponen hasil tanaman.

Ditinjau dari aspek pertumbuhan dan hasil kedelai kolonisasi akar oleh CMA *Gi. margarita* memberikan hasil yang lebih positif dibandingkan dengan kolonisasi akar oleh *Gl. manihotis*. Hasil-hasil penelitian sebelumnya menginformasikan adanya perbedaan perilaku setiap genus CMA pada tanaman yang berbeda. Nogueira dan Cardoso (2006) melaporkan terjadinya peningkatan kadar P jaringan tanaman jeruk kawista (*Citrus limonia*) setelah diinokulasi dengan *Gl. intraradices*. Tawaraya *et al.* (2006) melaporkan kolonisasi *Gi. margarita* dan *Gl. etunicatum* meningkatkan serapan P dan pertumbuhan tanaman *Allium cepa*, perkembangan hifa eksternal kedua CMA tersebut meningkatkan pelarutan fosfor fraksi tidak tersedia dalam tanah. Bertham (2002) melaporkan lebih tingginya respon tanaman kedelai terhadap *Gigaspora* daripada *Glomus*.

Dalam penelitian ini, rerata kadar P tajuk akibat inokulasi *Gi. margarita* (0,34%) juga relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kadar P tajuk akibat inokulasi *Gl. manihotis* (0,28%). CMA *Gi. margarita* pada umumnya menghasilkan aktivitas fosfatase yang lebih tinggi pada akar tanaman kedelai dibandingkan dengan *Gl. intraradices* sehingga peningkatan kadar P tajuk juga lebih tinggi oleh *Gi. margarita* (Khalil et al., 1994).

Simbiosis CMA dengan tanaman inang memang tidak selalu bersifat mutualistik. CMA dilaporkan dapat menurunkan pertumbuhan dan serapan hara N dan P rumput invasif *Cynodon dactylon* (Tiunov dan Scheu 2005). Inokulasi CMA isolat campuran *Gl. mosseae*, *Scutellospora callospora*, dan *Acaulospora laevis*, sekalipun meningkatkan tinggi, bobot kering, konsentrasi dan serapan P bibit kelapa sawit namun berpengaruh tidak nyata terhadap panjang akar spesifik (nisbah panjang akar dengan bobot keringnya (Rini, 2004).

Rerata kolonisasi akar oleh *Gi. margarita* (53%) memang relatif lebih rendah dibandingkan dengan kolonisasi akar oleh *Gl. manihotis* (68%) yang dikenal sebagai CMA yang sangat agresif mengkolonisasi berbagai akar tanaman tropika yang tumbuh pada tanah-tanah mineral masam (Dodd et al., 1990; Sieverding, 1991). Namun demikian agresivitas kolonisasi tidak selalu berkorelasi dengan kecepatan perkembangan hifa di dalam akar. Bertham (2003) melaporkan lebih tingginya pembentukan hifa intraradikal *Gi. margarita* dibandingkan *Gl. manihotis* pada kultur cawan petri dan tabung reaksi menggunakan tanaman inang *Pueraria javanica*. Temuan tersebut mendukung hipotesis dampak negatif *Gl. manihotis* terhadap komponen hasil tanaman yang telah diuraikan di atas.

Jumlah bintil akar merupakan indikator keberhasilan inokulan *Rhizobium* yang sering digunakan untuk menilai pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai. Jumlah bintil akar efektif sebagai akibat inokulasi R1 (mutan KLR 5.3) berkorelasi positif dengan kadar P tajuk ($r = 0,81$) dan serapan P ($r = 0,47$),

jumlah polong ($r = 0,75$), jumlah biji ($r = 0,71$), dan bobot 100 biji ($r = 0,63$), akan tetapi berkorelasi negatif dengan persen kolonisasi akar ($r = -0,61$). Jumlah bintil akar efektif sebagai akibat inokulasi R2 (TER 2.2) berkorelasi positif dengan bobot kering tajuk ($r = 0,65$), serapan P ($r = 0,62$), dan kolonisasi akar ($r = 0,50$), namun berkorelasi negatif dengan kadar P tajuk ($r = -0,50$) dan tidak berkorelasi dengan komponen hasil tanaman kedelai. *Rhizobium* KLR 5.3 dan TER 2.2 berpengaruh sama baiknya terhadap pertumbuhan kedelai. Namun demikian mutan KLR 5.3 berpengaruh positif terhadap terhadap komponen hasil tanaman kedelai sedangkan mutan TER 2.2 tidak berpengaruh terhadap komponen hasil tanaman kedelai.

Perbedaan kinerja antar isolat atau mutan rizobia pada percobaan laboratorium dengan pada kondisi lapangan telah dilaporkan oleh para peneliti (Bertham, 2006; Elfiati, 2003; Gemel dan Roughley, 1993; Wood et al., 1988). Isolat rizobia yang tahan kemasaman, tahan Al tinggi, dan tahan hidup terhadap media mengandung senyawa anti-biotika di media YMA akan berubah sifat dan perilakunya ketika dicoba di lapangan. Pada kondisi lapangan, isolat rizobia akan dihadapkan dengan kondisi lingkungan yang fluktuatif yang tidak semuanya mendukung kinerjanya.

Tanah yang digunakan untuk percobaan memang mengandung Al dalam konsentrasi rendah, akan tetapi kadar ion logam seperti Fe dan Mn yang lebih tinggi. Konsentrasi tinggi ion logam dilaporkan berpengaruh buruk terhadap asosiasi bakteri bintil akar dengan tanaman legum (Reddel, 1993). Isolat-isolat rizobia yang diperoleh melalui penelitian ini di masa mendatang perlu diuji terlebih dulu kemampuannya beradaptasi dengan kadar Fe dan Mn yang tinggi serta fluktuasi kondisi lingkungan. Salah satu kondisi yang harus digunakan sebagai alat uji adalah kadar lengas rendah dan suhu tinggi. Hal ini mengingat musim penelitian ini dilaksanakan pada musim kemarau, dan penyiraman yang tidak teratur akan berdampak buruk terhadap proses pembintilan. Resistensi terhadap konsentrasi ion

logam yang tinggi sesungguhnya dapat dideteksi berdasarkan resisten bakteri terhadap senyawa antibiotika. Hipotesis tersebut telah diajukan oleh Baker-Austin *et al.* (2006) setelah menelaah berbagai hasil penelitian resistensi berbagai jenis bakteri yang menginfeksi tubuh manusia. Hipotesis demikian perlu diuji pada bakteri penambat nitrogen ataupun bakteri lainnya yang bersimbiosis dengan tanaman.

KESIMPULAN

Ceneng, diikuti oleh Pangrango dan DS1, merupakan genotipe kedelai yang paling responsif terhadap pasangan CMA + *Rhizobium* yang diuji. CMA *Gigaspora margarita* lebih unggul dibandingkan dengan *Glomus* manihotis dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai. Ada perbedaan kemampuan isolat *rizobia* yang diuji dimana *Rhizobium* KLR 5.3 lebih unggul dibandingkan dengan *Rhizobium* TER 2.2. Simbiosis segitiga kedelai-CMA-*Rhizobium* ditentukan oleh genotipe kedelai, spesies CMA dan isolat *Rhizobiumnya*. Pasangan GlmR₁, GlmR₂, GimR₁ dan GimR₂ merupakan pasangan-pasangan yang berpotensi memiliki kemampuan meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai menyamai atau melebihi pupuk buatan. Faktor iklim kemarau dan kadar ion Fe dan Mn yang tinggi berdampak negatif terhadap kinerja pasangan CMA dan *Rhizobium* dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai dibandingkan dengan pupuk buatan

DAFTAR PUSTAKA

- Azcon R, R. Rubio and J.M. Barea. 1991. Selective interactions between different species of mycorrhizal fungi and *Rhizobium meliloti* strains, and their effects on growth, N₂ fixation (15N) and nutrition of *Medicago sativa* L. *New Phytol.* 117: 339-404
- Baker-Austin C, M.S. Wright, R. Stepanauskas, and J.V. McArthur. 2006. Co-selection of antibiotics and metal resistance. *Trends in Microbiol.* 14(4):176-182
- Bertham, Y.H, C. Kusmana, Y. Setiadi, I. Mansur dan D. Sopandie. 2006. Pemanfaatan CMA dan *Bradyrhizobium* untuk meningkatkan produktivitas kedelai pada sistem agroforestri berbasis Kayu Bawang (*Scorodocarpus borneensis*) pada Ultisol. *Akta Agrosia* 9(1):36-41
- Bertham, Y.H. 2002. Ketergantungan terhadap MVA dan serapan hara fosfor tiga galur tanaman kedelai [*Glycine maxima* (L)] pada tanah seri Kandanglimun Bengkulu. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia* 4(1):49-55
- Bertham, Y.H. 2003. Tehnik pemurnian biakan monoxenic CMA dengan metode cawan petri dan tabung reaksi. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia* 5(1):18-26
- Bertham, Y.H. 2006. Pemanfaatan CMA dan *Bradyrhizobium* Dalam Meningkatkan Produktivitas Kedelai Pada Sistem Agroforestri Kayu Bawang (*Scorodocarpus Borneensis*, *Burm.F*) di Ultisol. *Dissertasi Sekolah Pascasarjana, IPB, Bogor.*
- Bethlenfalvay, G.J. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in nitrogen-fixing legumes: problems and prospects. *Methods in Microbiol.* 24: 375-389
- Blilou, I, J.A. Ocampo, and J.M. Garcia-Garrido. 1999. Resistance of pea roots to endomycorrhizal fungus or *Rhizobium* correlates with enhanced levels of endogenous salicylic acid. *J. Exp. Bot.* 67: 1078-1712
- Daniels-Hylton K.D.M, and M.H. Ahmad. 1994. Inoculation response in kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi and rhizobia in non-sterilized soil. *Biol. Fertil. Soils* 18: 95-98.
- Das, P.K., P.N. Sahoo and M.K Jena. 1997. Effect of VA-mycorrhiza and *Rhizobium* inoculation on nutrient uptake, growth attributes and yield of green gram (*Vigna radiata* L.). *Environm. Ecol.* 15: 830-833.

- Dodd, J.C., I. Arias, I. Koomen and D.S. Hayman. 1990. The management of populations of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in acid-infertile soils of a savanna ecosystem. *Plant Soil* 122:229-240
- Elfati, D. 2003. Penggunaan *Rhizobium* dan Mikroba Pelarut Fosfat Pada Tanah Mineral Masam Dalam Memperbaiki Pertumbuhan Bibit Sengon. Dissertasi Sekolah Pasca Sarjana, IPB, Bogor.
- Gemel, L.G., and R.J. Roughley. 1993. Field evaluation in acid soil of strains of *Rhizobium leguminosarum* *bv. trifolii* selected for their tolerance of sensitivity to acid soil factors in agar medium. *Soil Biol. Biochem.* 25(10):1447-1452
- Khalil, S., T.E. Loynachan and M.A. Tabatai. 1994. Mycorrhizal dependency and nutrient uptake by improved and unimproved corn and soybean cultivars. *Agron. J.* 86:949-958.
- Lin, X.G., W.Y. Hao, Y.Q. Shi, and T.H. Wu. 1993. Response of white clover to *Rhizobium*-VA mycorrhiza dual inoculation. *Grassland of China* 3: 20-25.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd ed. Academic Press, New York.
- Michelsen, A., and J. Sprent. 1994. The influence of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi on the nitrogen fixation of nursery grown Ethiopian Acacias estimated by the N natural abundance method. *Plant Soil* 160: 249-257.
- Nogueira, M.A., and E.J.B.N Cardoso. 2006. Plant growth and phosphorus uptake in mycorrhizal rangpur lime seedlings under different levels of phosphorus. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 41(1):93-99.
- Purwaningsih, S. 2001. Pengaruh mikroba tanah terhadap pertumbuhan dan hasil panen kedelai (*Glycine max L.*). *Berita Biologi* 5: 373-378
- Philips, J.M., and D.S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assement of infection. *Trans Br. Mycol. Soc.* 55(1): 158-161
- Reddell, P. 1993. Soil constraints of the growth of nitrogen fixing trees in tropical environments. Dalam Subba Rao NS, Barrueco CR, eds. *Symbioses in Nitrogen Fixing Trees*. Int. Sci. Publ., New York.
- Reinhard, S., P. Martin P, and H. Marschner. 1992. Interactions in the tripartite symbiosis of pea (*Pisum sativum L.*), *Glomus* and *Rhizobium* under nonlimiting phosphorus supply. *Plant Physiol.* 141: 7-11.
- Rini, M.V. 2004. Influence of arbuscular mycorrhiza infection on growth, P uptake and root morphology of oil palm seedlings (*Elaeis guineensis Jacq.*). *J. Tanah Trop.* 18:145-154
- Sieverding, E. 1991. Vesicular Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropica Agroeco-systems. GTZ, Eschborn, Republic of Germany.
- Tawaraya, K., M. Naito, and T. Wagatsuma. 2006. Solubilization of insoluble inorganic phosphate by hyphal exudates of arbuscular mycorrhizal fungi. *J. Pl. Nutr.* 29(4):657-665.
- Tiunov, A.V., and S. Scheu. 2005. Arbuscular mycorrhiza and Collembola interact in affecting community composition of saprotrophic microfungi. *Oecologia* 142(4):636-642.

- Wood, M., J.E. Cooper, and A.J Holding. 1988. Response of Lotus rhizobia to acidity and aluminium in liquid culture and in soil. *Plant Soil* 107:227-231
- Zhao, B., A. Trouvelot, S. Gianinazzi, and V. Gianinazzi-Pearson. 1997. Influence of two legume species on hyphal production and activity of two arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 7: 179-185.