

**Respon Pertumbuhan Tanaman Kedelai terhadap *Bradyrhizobium japonicum*
Toleran Masam dan Pemberian Pupuk di Tanah Masam**

***Growth Response of Soybean to Acid Tolerant Bradyrhizobium japonicum
and Fertilizers Application in Acid Soil***

Triadiati*, Nisa Rachmania Mubarik, dan Yoan Ramasita

*Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor
(Bogor Agricultural University), Jl. Agathis, Kampus IPB Darmaga, Bogor, 16680, Indonesia

Diterima 11 Juli 2012 /Disetujui 25 Februari 2013

ABSTRACT

The use of acid tolerant rhizobacteria such as *Bradyrhizobium japonicum* is one effort for increasing soybean productivity in acid soil. *B. japonicum* is a N-fixing bacteria that can promote soybean growth through symbiosis with the host plants. The objective of this study was to investigate the growth and production of soybean var. Wilis inoculated by *B. japonicum* and NPK inorganic fertilizer application in acid soil. Two isolates of *B. japonicum* that were BJ 11(19) and BJ 11(wt) were used as inoculant for soybean. BJ 11(19) was resulted by transposons mutagenesis, whereas BJ 11(wt) is a wild type of bacteria. Both isolates of *B. japonicum* were acid tolerant. Soybean was inoculated with BJ 11(19) and BJ 11(wt) combined with compost and nitrogen fertilizer (with two rates). The field experiment was conducted at Cikabayan, Darmaga, in a randomized complete block design with 12 treatments and 3 replicates. The results showed that application of the acid tolerant *B. japonicum* BJ 11(wt), compost, and nitrogen fertilizer (10 g m^{-2}) increased the plant height, dry weight of shoots and roots, nodule number, dry weight of nodules, nitrogenase activity, number of pod and seed, seed weight, and nitrogen content of seeds in acid soil.

Keywords: acid soil, acid tolerant rhizobia, *Bradyrhizobium japonicum*, compost, nitrogen fertilizer

ABSTRAK

Penggunaan rhizobakteri tahan masam seperti *Bradyrhizobium japonicum* merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan produksi kedelai di tanah masam. *B. japonicum* dapat bersimbiosis dengan tanaman kedelai dan menambat nitrogen bebas. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur pertumbuhan dan produksi kedelai varietas Wilis yang diinokulasi dengan *B. japonicum* dan pemberian pupuk di tanah masam. Penelitian ini menggunakan bakteri *B. japonicum* BJ 11(19) hasil mutagenesis transposon dan BJ 11(wt) tipe liar yang toleran terhadap asam. Perlakuan yang diberikan pada kedelai ialah pemberian inokulan BJ 11(19), BJ 11(wt) yang masing-masing dikombinasikan dengan pemberian kompos dan pupuk N (50 dan 100% dosis). Percobaan lapang dilakukan di Cikabayan, Darmaga, Bogor menggunakan rancangan kelompok lengkap teracak dengan 15 perlakuan dan 3 ulangan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pemberian inokulan *B. japonicum* toleran asam BJ 11(wt), kompos dan pupuk N (10 g m^{-2}) secara bersama-sama dapat meningkatkan tinggi tanaman, bobot kering akar dan tajuk, jumlah nodul, bobot kering nodul, aktivitas nitrogenase, jumlah polong dan biji per tanaman maupun per satuan luas, bobot biji per tanaman maupun per satuan luas, kandungan N biji yang ditanam di tanah masam pH 4.7.

Kata kunci: *Bradyrhizobium japonicum*, kompos, pupuk nitrogen, rhizobium tahan masam, tanah masam

PENDAHULUAN

Kedelai (*Glycine max* L.) adalah salah satu komoditas utama kacang-kacangan yang dibutuhkan di Indonesia karena merupakan sumber protein nabati penting untuk diversifikasi pangan dalam mendukung ketahanan pangan nasional. Produksi kedelai secara nasional pada tahun 2010 sebesar 908.11 ribu ton biji kering dan menurun sebanyak

6.81% dibandingkan tahun 2009. Sementara kebutuhan nasional kedelai mencapai 1.7 juta ton per tahun. Akibatnya kekurangan harus dipenuhi lewat impor. Konsumsi kedelai yang terus meningkat ini mengharuskan diadakannya perluasan areal tanam di lahan yang kurang produktif dan peningkatan produksi (BPS, 2011).

Terdapat beberapa kendala dalam produksi kedelai di Indonesia. Kendala yang dihadapi adalah pemanfaatan lahan marjinal untuk budidaya kedelai. Salah satu lahan marjinal yang sangat potensial di Indonesia ialah lahan masam dengan kandungan aluminium (Al) tinggi. Lahan

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

marjinal yang memiliki luasan cukup besar di Indonesia ialah tanah podsolik merah kuning yang memiliki pH rendah (4.2-5.0), kelarutan Al yang tinggi dan rendahnya unsur hara. Aluminium bersifat racun bagi tanaman karena dapat merusak perakaran dan menghambat pertumbuhan bintil akar (Widodo, 2008). Peningkatan produksi kedelai di lahan masam memerlukan strategi dan pemahaman teknik budidaya, penyediaan rhizobium yang sesuai untuk budidaya kedelai di lahan marjinal.

Ketersediaan nitrogen (N) yang cukup di dalam tanah merupakan salah satu kunci keberhasilan usaha meningkatkan produksi kedelai di lahan masam. Tanaman kedelai pada umumnya mengambil nitrogen (N₂) dari udara melalui fiksasi N secara simbiosis dengan bakteri *Bradyrhizobium japonicum*, sehingga dapat memacu pertumbuhan dan produksi kedelai. Dalam keadaan yang menguntungkan simbiosis ini mampu memenuhi kebutuhan N tanaman inangnya sebesar 74-90% dari total kebutuhan N tanaman (Sutoyo, 1992). Secara umum, *B. japonicum* bersifat toleran pada pH 4.0-4.5 dibandingkan dengan rhizobakteria lainnya. Inokulasi *B. japonicum* pada tanaman kedelai dapat menodulasi tanaman kedelai yang ditanam pada lahan dengan kondisi asam dan Al tinggi, sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan kedelai. Inokulan *B. japonicum* yang digunakan untuk memacu produksi kedelai antara lain BJ 11(19) dan BJ 11(wt) (Monasari, 2007). Pertumbuhan tanaman kedelai tidak hanya mengandalkan penambatan N₂ udara oleh *B. japonicum*, tetapi juga diperlukan pemupukan N, P dan K (Mulyadi, 2012). Pemberian *B. japonicum* dan pupuk kimia ini diharapkan lebih mampu memacu produksi kedelai di lahan masam.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur respon pertumbuhan dan produksi kedelai varietas Wilis (agak tahan kondisi lahan masam) yang diinokulasi dengan *B. japonicum* dan pemberian pupuk kimia di tanah masam.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan mulai bulan Januari sampai dengan Juni 2009 di Kebun Percobaan Cikabayan, University Farm IPB, Laboratorium Mikrobiologi dan Laboratorium Fisiologi Tumbuhan Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), IPB, Bogor.

Bahan yang digunakan adalah isolat *B. japonicum* BJ 11(19) (isolat hasil mutagenesis transposon) dan *B. japonicum* BJ 11(wt) (isolat tipe liar koleksi Lab. Mikrobiologi, Departemen Biologi FMIPA, IPB), dan benih kedelai varietas Wilis (diperoleh dari Balai Penelitian Biologi dan Genetika Molekuler, Bogor). Gambut yang mengandung inokulan sebagai pembawa BJ 11(wt) dan BJ 11(19) dikemas di Pusat Penelitian Bioteknologi Perkebunan Bogor. Pupuk dan kompos digunakan sebagai perlakuan, sedangkan pupuk SP36 dan KCl sebagai pupuk dasar. Oleh karena itu, takaran pupuk urea untuk setiap petak berbeda bergantung perlakuannya, sedangkan takaran pupuk SP36, KCl dan kompos adalah sama untuk semua petak. Kompos yang digunakan berasal dari jerami padi dengan kualitas

sesuai dengan SNI 19-7030-2004. Media tanam yang digunakan adalah tanah masam yang berasal dari Jasinga dengan sifat-sifat kimia tercantum pada Tabel 1 yang telah ditanami kedelai pada satu musim tanam sebelumnya dan tanpa pengapuran. Ukuran petak percobaan adalah 1 m² untuk setiap perlakuan. Petak percobaan dibuat menyerupai kolam sedalam 50 cm yang dasarnya diberi alas plastik terpal kemudian diisi dengan tanah masam dengan ketebalan tanah ± 50 cm.

Percobaan disusun dalam rancangan kelompok lengkap teracak dengan 13 perlakuan yang masing-masing diulang 6 kali, yaitu

Kontrol (tanpa pupuk N, kompos dan *B. japonicum*)

Pupuk N (50%)

Pupuk N (100%)

Kompos + pupuk N (50%)

Kompos + pupuk N (100%)

BJ 11(19) + pupuk N (50%)

BJ 11(19) + pupuk N (100%)

BJ 11(19) + kompos + pupuk N (50%)

BJ 11(19) + kompos + pupuk N (100%)

BJ 11(wt) + pupuk N (50%)

BJ 11(wt) + pupuk N (100%)

BJ 11(wt) + kompos + pupuk N (50%)

BJ 11(wt) + kompos + pupuk N (100%)

Sebanyak tiga ulangan digunakan untuk pengamatan pertumbuhan, sedangkan tiga ulangan lainnya digunakan untuk pengamatan produksi kedelai. Pupuk urea diberikan dua kali yaitu pada saat tanam dan 2 minggu setelah tanam (MST). Pupuk urea yang diberikan pada tiap petak percobaan untuk perlakuan N setengah dosis (50%) sebanyak 5 g m⁻² dan untuk perlakuan N dosis penuh (100%) sebanyak 10 g m⁻² dibagi dua kali aplikasi pada satu musim tanam. Pupuk SP36 dan KCl berturut-turut sebanyak 20 g m⁻² dan 10 g m⁻² diberikan pada saat tanam. Kompos yang digunakan sebanyak 1 kg m⁻² diaplikasikan pada saat tanam dengan cara dicampur merata dengan tanah masam. Benih kedelai dilumuri dengan inokulan BJ 11(19) atau BJ 11(wt) sesaat sebelum benih ditanam dengan dosis 0.5 kg gambut untuk 10 kg benih kedelai. Kedelai ditanam dengan jarak tanam 20 cm x 40 cm dengan 2 tanaman per lubang tanam. Lubang tanam pada petak percobaan sebanyak 8 lubang. Pemeliharaan tanaman dilakukan dengan menyiram dan membersihkan gulma setiap hari. Pengendalian hama penyakit dilakukan bila ada gejala serangan.

Tabel 1. Sifat kimia tanah masam asal Jasinga, Jawa Barat yang digunakan sebagai media tanam di Bogor (Januari-Juni 2009)

pH		C	N	P	K	Ca	Al _{dt}
H ₂ O	KCl	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)
4.7	4	2.74	0.2	0.26	0.08	0.23	18.09

Pengamatan pertumbuhan dilakukan terhadap 1) tinggi tanaman pada 30 hari setelah tanam (HST), 60 HST, dan 90 HST, 2) bobot kering tajuk, bobot kering akar, jumlah bintil akar, bobot kering bintil akar, dan aktivitas nitrogenase diamati pada 3 sampel tanaman yang dipanen pada 45 HST. Pengamatan produksi dilakukan terhadap jumlah polong per tanaman, jumlah biji per tanaman, bobot biji per meter persegi, bobot 100 biji, serta kadar N biji yang diukur menggunakan metode Kjeldahl dan diamati ketika tanaman dipanen pada 90 HST. Aktivitas nitrogenase diukur dengan menggunakan metode ARA (*Acetylene Reduction Assay*) di Laboratorium Bioteknologi Tanah, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB. Data dianalisis dengan analisis ragam dan dilakukan uji lanjutan dengan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada $\alpha = 5\%$.

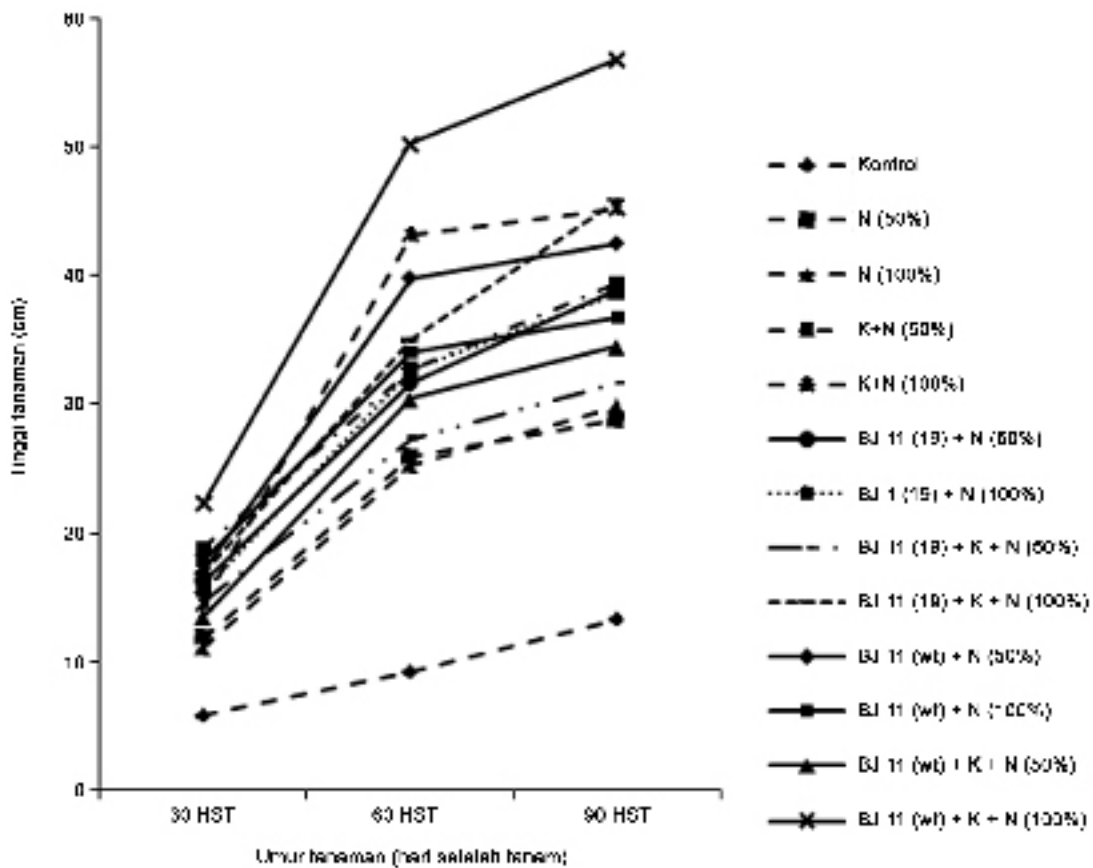
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemberian inokulan *B. japonicum*, kompos dan pupuk nitrogen dapat mempengaruhi pertumbuhan vegetatif dan generatif kedelai di tanah masam dengan pH 4.7 dan kadar Al_{dd} 18.09 ppm (Tabel 1). Beberapa galur Rhizobium mulai terhambat pertumbuhannya pada pH tanah < 5.5 dan tidak dapat tumbuh pada pH < 4.5 (Broos *et al.*, 2005). Tinggi tanaman (Gambar 1), bobot kering tajuk, bobot kering akar, jumlah bintil, bobot kering bintil, dan aktivitas nitrogenase (Tabel 2) dipengaruhi oleh pemberian inokulan *B. japonicum*,

kompos, dan pupuk N. Perlakuan BJ 11(wt) + kompos + pupuk N (100%) memberikan respon pertumbuhan dan produksi kedelai nyata lebih baik dibandingkan perlakuan lain. Tanaman kedelai yang memperoleh perlakuan BJ 11(wt) + kompos + pupuk N (100%) tumbuh paling tinggi pada pengamatan 30, 60, dan 90 HST (Gambar 1). Hal ini menunjukkan bahwa terjadi simbiosis antara *B. japonicum* toleran kondisi lahan masam dengan tanaman kedelai yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman kedelai varietas Wilis. Hal yang sama juga dicapai pada tanaman kedelai varietas Slamet yang diinokulasi dengan *B. japonicum* BJ 11(wt) dan BJ11(19) yang tumbuh lebih tinggi bila dibandingkan dengan tanpa inokulasi (Situmorang *et al.*, 2009).

Bobot kering tajuk maupun akar cenderung nyata paling tinggi pada perlakuan BJ 11(wt) + kompos + pupuk N (100%) sekaligus nyata lebih tinggi dari perlakuan BJ 11(19) + kompos + pupuk N (100%). Hal tersebut menunjukkan adanya kemungkinan bahwa *B. japonicum* BJ 11(wt) dapat melakukan fiksasi N_2 lebih baik dibandingkan BJ 11(19) di tanah masam. *B. japonicum* BJ 11(wt) merupakan rhizobakteri tipe liar, sehingga lebih mudah beradaptasi di tanah masam Jasinga. Hasil ini mendukung penelitian Situmorang *et al.* (2009) pada kedelai varietas Slamet.

Pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai tidak semata-mata dipengaruhi oleh *B. japonicum* tetapi juga dipengaruhi oleh adanya penambahan kompos maupun pupuk N. Tanaman kontrol tidak menghasilkan bintil



Gambar 1. Tinggi tanaman kedelai varietas Wilis yang diberi perlakuan *B. japonicum*, kompos, dan pupuk N pada 30 HST, 60 HST, dan 90 HST. Keterangan: K: kompos, N (100%): pupuk N dosis 100%, N (50%): pupuk N dosis 50%

akar maupun biji (Tabel 2 dan 3). Dalam hal ini, kompos berperan memperbaiki sifat fisik tanah yang menyebabkan pertumbuhan akar menjadi lebih baik sehingga unsur hara mudah diserap oleh akar. Aplikasi kompos pada penelitian ini tidak disertai dengan pengapuran. Aplikasi kompos dapat meningkatkan pH tanah dan mampu meningkatkan kandungan unsur hara tersedia dalam tanah (Zarea *et al.*, 2011) dan mengikat Al di tanah masam (Willert dan Stehouwer 2003). Kompos di dalam tanah akan mengalami dekomposisi dan hasil dekomposisi akan menghasilkan asam organik yang dapat mengikat Al (Wahyudin 2006; Manna *et al.*, 2007). Bahan organik yang terkandung dalam kompos merupakan sumber karbon untuk pertumbuhan mikroba sehingga aktivitas mikroba akan meningkat dan berdampak positif terhadap proses mineralisasi unsur hara sehingga ketersediaan unsur hara bagi tanaman meningkat. Penambahan bahan organik pada penanaman kedelai dapat meningkatkan populasi rhizobakteri di rhizosfer tanaman kedelai (Grossman *et al.*, 2011). Rhizobakteri yang dapat hidup di tanah masam dengan kandungan Al tinggi dapat menghasilkan asam organik yang dapat mengkelat Al (Li *et al.*, 2012). Penelitian pendahuluan menunjukkan bahwa kompos yang digunakan pada penelitian ini mengandung bakteri pelarut fosfat (*Pseudomonas* sp.). Hal ini ditunjukkan dari hasil jumlah bintil akar dan bobot kering bintil akar tertinggi pada perlakuan BJ 11(wt) + kompos + pupuk N (100%) (Tabel 2). Bakteri pelarut fosfat yang terdapat di kompos dapat meningkatkan P tersedia dalam tanah (Bougnom *et al.*, 2010). Keadaan ini menguntungkan untuk P tersedia dalam tanah yang rendah, seperti yang digunakan pada penelitian ini (Tabel 1). Aplikasi P sebesar

400 mg kg⁻¹ pada tanah dengan pH 5.7 dianggap cukup untuk meningkatkan bobot kering tajuk dan akar tanaman kedelai (Bertham dan Nusantara 2011). Fosfat diperlukan oleh tanaman sebagai sumber ATP untuk metabolisme sel yang dapat digunakan untuk pertumbuhan akar serta meningkatkan jumlah bintil akar (Schulze *et al.*, 2011). Peningkatan jumlah bintil akar akan berpengaruh pada peningkatan fiksasi N₂ oleh *B. japonicum* pada bintil akar, sehingga serapan N pada tanaman kedelai juga meningkat. Jumlah bintil akar pada perlakuan pemberian BJ 11(wt) dan BJ 11 (19) dengan penambahan pupuk N maupun kompos lebih tinggi bila dibandingkan dengan penelitian Indrasumunar *et al.* (2011) yang menginokulasi kedelai dengan *B. japonicum* CB1809 tahanan masam pada percobaan pot di tanah pH 4.2. Keberhasilan BJ 11(wt) dan BJ 11 (19) membentuk bintil akar yang tinggi menunjukkan bahwa kedua isolat *B. japonicum* ini lebih adaptif di tanah masam.

B. japonicum BJ 11(wt) dan BJ 11(19) yang digunakan pada penelitian ini dapat menghasilkan auksin. Jumlah bintil akar pada akar kedelai, selain dipengaruhi oleh kalsium (Indrasumunar *et al.*, 2012a) dan Ptersedia (Yugi dan Riyanto, 2011) juga dipengaruhi juga oleh auksin (Grunewald *et al.*, 2009; Indrasumunar *et al.*, 2012b). Auksin yang dihasilkan oleh *B. japonicum* BJ 11(wt) dan BJ 11(19) berturut-turut sebesar 3.28 dan 2.67 ppm (Mahagiani 2010). Jumlah bintil akar tertinggi pada penelitian ini dijumpai pada perlakuan BJ 11(wt) + kompos + pupuk N (100%). Jumlah bintil pada perlakuan tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh auksin yang dihasilkan oleh *B. japonicum* BJ 11(wt). Jumlah bintil akar kedelai akan meningkat pada tanaman kedelai yang diberi Rhizobium dan IAA (Ningsih dan Anas 2004). Auksin

Tabel 2. Pengaruh inokulan *B. japonicum*, kompos, dan pupuk N terhadap bobot kering tajuk, bobot kering akar, jumlah bintil, bobot basah dan kering bintil total dan aktivitas nitrogenase pada tanaman kedelai

Perlakuan	Bobot kering tajuk (g tanaman ⁻¹)	Bobot kering akar (g tanaman ⁻¹)	Jumlah bintil per tanaman	Bobot kering bintil (mg tanaman ⁻¹)	Aktivitas nitrogenase (μmol jam ⁻¹ bintil ⁻¹ tanaman ⁻¹)
Kontrol	0.6g	1.3bcd	0e	0d	0.00d
Pupuk N (50%)	12.8bcd	1.9abc	49bcd	130c	0.09b
Pupuk N (100%)	6.6cde	1.2bcd	1d	50c	0.001c
Kompos + pupuk N (50%)	5.2de	1.3bcd	102ab	180bc	0.34a
Kompos + pupuk N (100%)	11.1bcd	1.7bcd	83abc	130c	0.28a
BJ 11 (19) + pupuk N (50%)	9.8bcd	1.3bcd	54bcd	90c	0.30a
BJ 11 (19) + pupuk N (100%)	15.3abc	2.2ab	54bcd	190bc	0.09b
BJ 11 (19) + kompos + pupuk N (50%)	3.2e	0.7d	17cd	40c	0.17b
BJ 11 (19) + kompos + pupuk N (100%)	10.5bcd	1.4bcd	41bcd	60c	0.13b
BJ 11 (wt) + pupuk N (50%)	7.0cde	1.1cd	32bcd	150bc	0.41a
BJ 11 (wt) + pupuk N (100%)	6.3def	1.0cd	56bcd	180bc	0.10b
BJ 11 (wt) + kompos + pupuk N (50%)	9.3bcd	1.9abc	90abc	350a	0.05b
BJ 11 (wt) + kompos + pupuk N (100%)	18.6a	2.8a	143a	310ab	0.12b

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf α = 5%

endogen dan eksogen akan meningkatkan respon akar terhadap rhizobia dengan cara meningkatkan pembelahan dan diferensiasi sel akar saat proses pembentukan bintil akar (Grunewald *et al.*, 2009). Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Pii *et al.* (2007) dengan menginokulasi galur *Sinorhizobium meliloti* penghasil IAA pada *Medicago truncatula* yang dapat meningkatkan jumlah bintil akar. Selain itu, kompetisi antara *B. japonicum* BJ 11(wt) dan BJ 11(19) dengan bradyrhizobia indigenus menentukan juga jumlah bintil akar yang terbentuk (Appunu dan Dhar, 2006).

Bobot kering bintil akar total paling tinggi pada perlakuan BJ 11(wt) + kompos + pupuk N 50% (350 mg per tanaman). Jumlah bintil akar pada perlakuan BJ 11(wt) + kompos + pupuk N 100% tidak berbeda nyata dengan perlakuan lainnya, kecuali dengan perlakuan pupuk N (50%) dan pupuk N (100%). Bobot kering bintil akar tidak selalu dipengaruhi oleh jumlah bintil akar (Endarini *et al.*, 1995). Appunu dan Dhar (2006) melaporkan bahwa semakin banyak jumlah bintil akar, maka aktivitas nitrogenase semakin tinggi. Akan tetapi, jumlah bintil akar yang tinggi dari penelitian ini tidak disertai dengan tingginya aktivitas nitrogenase (Tabel 2). Aktivitas nitrogenase dipengaruhi oleh ketersediaan air di media tanam, ureida (King dan Purcell, 2005) atau asparagin di bintil akar dan asam amino dari daun (Lima dan Sodek, 2003). Selain itu, nitrit oksida hasil reaksi perubahan nitrat menjadi nitrit oleh nitrat reduktase (Camacho *et al.*, 2003) dapat menurunkan aktivitas nitrogenase (Leach *et al.*, 2010).

Aktivitas nitrogenase cenderung lebih tinggi pada perlakuan BJ 11(wt) + pupuk N (50%) dan BJ 11(19) + pupuk N (50%) maupun perlakuan kompos dosis pupuk N 50% dan 100% (Tabel 2). Hal ini menunjukkan bahwa

aktivitas nitrogenase meningkat bila pupuk N yang diberikan setengah dosis (50%, 5 g m⁻²) baik ditambah rhizobium maupun tidak. Di sisi lain, pemberian *B. japonicum* pada tanaman kedelai dapat meningkatkan aktivitas nitrogenase bila dibandingkan dengan tanpa pemberian *B. japonicum* (Habibah, 2008).

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Van Heerden *et al.* (2007) bahwa jumlah bintil akar tidak berkaitan secara langsung dengan aktivitas nitrogenase. Jumlah bintil akar pada akar kedelai dipengaruhi kadar ammonium dan oksigen dalam tanah. Kadar ammonium yang rendah dan kadar oksigen yang tinggi dalam tanah akan menghambat pembentukan bintil akar. Di sisi lain, hasil penelitian Appunu dan Dhar (2006) menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah bintil akar, maka aktivitas nitrogenase semakin tinggi. Jumlah bintil akar dari penelitian ini cenderung lebih banyak pada perlakuan BJ 11(wt) + pupuk N (100%) tetapi tidak disertai dengan tingginya aktivitas nitrogenase. Perbedaan hasil ini kemungkinan disebabkan oleh bintil akar yang digunakan untuk pengukuran bobot kering dan aktivitas nitrogenase. Bintil akar pada penelitian ini diambil dari tanaman yang berumur 45 HST, sedangkan pada penelitian Appunu dan Dhar (2006) menggunakan bintil akar berumur 35 HST. Umur bintil akar kedelai yang ditanam di tanah normal untuk pengukuran aktivitas nitrogenase dapat berkisar antara 35-42 HST (Zablotowics dan Reddy, 2007). Ketidaksesuaian umur bintil akar untuk pengukuran aktivitas nitrogenase kemungkinan berkaitan dengan kadar N biji. Oleh karena itu, aktivitas nitrogenase yang tinggi pada penelitian ini tidak disertai dengan tingginya kadar N biji. Akan tetapi, pengukuran aktivitas nitrogenase masih menunjukkan nilai optimum hingga akhir pertumbuhan vegetatif (45 HST). Van

Tabel 3. Pengaruh inokulan *B. japonicum*, kompos, dan pupuk N terhadap jumlah polong, jumlah biji, bobot biji, bobot 100 biji, dan kadar nitrogen biji pada tanaman kedelai

Perlakuan	Jumlah polong isi per tanaman	Jumlah biji per tanaman	Bobot biji (g tanaman ⁻¹)	Bobot biji (g m ⁻²)	Bobot 100 biji (g)	Kadar N biji (%)
Kontrol	0.3c	0.0c	0.0c	0.0d	0.0c	0.0e
Pupuk N (50%)	13.3b	21.6b	1.1b	18.0c	8.2b	0.14a
Pupuk N (100%)	13.3b	21.2b	1.0b	16.7c	8.7ab	0.11abc
Kompos + pupuk N (50%)	21.4b	38.3b	2.6b	42.3b	8.8ab	0.08bcd
Kompos + pupuk N (100%)	40.3a	80.3a	5.8a	92.8a	9.2a	0.07bcd
BJ 11 (19) + pupuk N (50%)	20.9b	41.7b	2.3b	36.7b	8.6ab	0.12ab
BJ 11 (19) + pupuk N (100%)	24.1b	44.6b	2.5b	40.4b	8.4ab	0.05d
BJ 11 (19) + kompos + pupuk N (50%)	15.9b	28.9b	1.7b	27.1b	8.5ab	0.11abc
BJ 11 (19) + kompos + pupuk N (100%)	44.9a	81.2a	5.1a	82.2a	8.6ab	0.07bcd
BJ 11 (wt) + pupuk N (50%)	23.3b	40.4b	2.6b	42.2b	8.5ab	0.09bcd
BJ 11 (wt) + pupuk N (100%)	22.2b	33.1b	2.3b	36.4b	8.8ab	0.05d
BJ 11 (wt) + kompos + pupuk N (50%)	15.4b	28.9b	1.7b	27.4b	8.7ab	0.05d
BJ 11 (wt) + kompos + pupuk N (100%)	50.3a	91.8a	6.4a	102.6a	8.6ab	0.09bcd

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf $\alpha = 5\%$

Heerden *et al.* (2007) juga melakukan pengukuran aktivitas nitrogenase pada 45 HST.

Selain dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif kedelai, *B. japonicum* juga mampu meningkatkan produksi kedelai seperti jumlah polong, jumlah biji per tanaman, bobot biji per tanaman, bobot biji per meter persegi, bobot 100 biji, dan kadar N biji. Jumlah polong, jumlah biji per tanaman, bobot biji per tanaman, dan bobot biji per meter persegi paling tinggi terdapat pada perlakuan BJ 11(wt) + pupuk N (100%) (Tabel 3). Inokulasi *Rhizobium* efektif mempengaruhi pembentukan polong tanaman kedelai. Polong yang telah terbentuk selanjutnya akan diisi oleh fotosintat sehingga terbentuklah biji. Jumlah biji sangat ditentukan oleh jumlah dan ukuran polong, sehingga semakin banyak polong maka jumlah biji yang ada semakin banyak pula (Harun dan Ammar, 2001). Penambahan kompos dan pupuk N (100%) bertujuan untuk memenuhi kebutuhan N yang tinggi pada pengisian polong sehingga suplai N dapat mencukupi untuk pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai varietas Wilis. Tanaman kedelai tanpa pemupukan N tidak mampu menghasilkan biji yang maksimum. Penelitian dengan menggunakan varietas Slamet yang ditanam pada musim tanam sebelumnya menghasilkan bobot biji per meter persegi yang lebih besar, yaitu 12 g pada perlakuan *B. japonicum* 11(wt) + kompos dan *B. japonicum* 11(19) + kompos (Mubarik *et al.*, 2011). Hal ini menunjukkan bahwa kedelai varietas Wilis tidak terlalu tahan di tanah masam dibandingkan varietas Slamet sehingga pertumbuhan dan produksi kedelai varietas Wilis lebih rendah dibandingkan dengan varietas Slamet.

Bobot biji per meter persegi pada penelitian ini (102.6 g) pada BJ 11(wt) + kompos + pupuk N (100%) lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian oleh Harun dan Ammar (2001) yang melakukan inokulasi kedelai Wilis dengan *Bradyrhizobium* galur Hup⁺ (3.45 g) yang ditanam di tanah Ultisol pH 5.1 di rumah kaca. Hal ini menunjukkan bahwa BJ 11(wt) mampu meningkatkan bobot biji kedelai dibandingkan galur *Bradyrhizobium* lain di tanah masam. Bobot 100 biji pada semua kombinasi perlakuan adalah sama. Penambahan kompos dan pupuk N 50% lebih nyata meningkatkan ukuran biji (8.2 g pada perlakuan pupuk N 50% menjadi 9.2 g pada perlakuan kompos + pupuk N 100%). Hal ini menunjukkan bahwa kompos dan pupuk N dosis 100% dapat meningkatkan bobot 100 biji di tanah masam. Ukuran biji yang tidak seragam menyebabkan bahwa peningkatan jumlah biji dan bobot biji tidak selalu diikuti dengan peningkatan jumlah bobot 100 biji.

Bobot biji kedelai Wilis per tanaman dari perlakuan BJ 11(wt) + kompos + pupuk N (50%) dan BJ 11(19) + kompos + pupuk N (50%) masing-masing sebesar 1.7 g (Tabel 3). Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemberian *B. japonicum* dan pupuk N setengah dosis dapat memberikan bobot biji per tanaman cenderung lebih tinggi dibanding perlakuan pupuk N 100%. Hasil dari penelitian ini lebih tinggi dibanding penelitian yang dilakukan oleh Ghulamahdi *et al.* (2006) yang menanam kedelai var. Wilis pada tanah

netral dengan sistem budidaya jenuh air dan kering (1.63 g per tanaman).

Tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah masam dengan kadar N rendah (0.2%) dan belum memenuhi syarat untuk pertumbuhan optimal kedelai (Harjowigeno, 2003), sehingga pemberian pupuk N masih diperlukan untuk memenuhi kebutuhan N pada kedelai sampai batas yang tidak mengganggu fiksasi N₂ oleh *B. japonicum*. Selain itu, aplikasi BJ 11(wt) atau BJ 11(19), kompos dan pupuk N 50% pada kedelai di tanah masam dapat menurunkan penggunaan pupuk N sebesar 50%. Bila BJ 11(wt) atau BJ 11(19), kompos dan pupuk N 100% diaplikasikan di tanah masam, maka dapat meningkatkan produksi kedelai hingga 600% dibandingkan dengan perlakuan pupuk N 100%.

KESIMPULAN

Pemberian sekaligus inokulan *B. japonicum* BJ 11(wt), kompos, dan pupuk N 10 g m⁻² dapat meningkatkan tinggi tanaman, bobot kering tajuk maupun akar, jumlah bintil, bobot kering bintil total, dan aktivitas nitrogenase kedelai Wilis yang ditanam di tanah masam dibandingkan bila tanaman kedelai hanya dipupuk N saja. Selain itu juga dapat meningkatkan jumlah polong, jumlah biji, bobot biji per tanaman per meter persegi, serta bobot 100 biji.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Riset Terapan Kementerian Negara Riset dan Teknologi tahun 2009.

DAFTAR PUSTAKA

- Appunu, C., B. Dhar. 2006. Symbiotic effectiveness of acid-tolerant *Bradyrhizobium* strains with soybean in low pH soil. *Afr. J. Biotechnol.* 5:842-845.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2011. Produksi padi, jagung, dan kedelai (angka sementara tahun 2010 dan angka ramalan I tahun 2011). *Berita Resmi Statistik* 14:1-9.
- Bertham Y.H., A.D. Nusantara. 2011. Mekanisme adaptasi genotipe baru kedelai dalam mendapatkan hara fosfor dari tanah mineral asam. *J. Agron. Indonesia* 39:24-30.
- Broos, K., H. Beyens, E. Smolders. 2005. Survival of rhizobia in soil is sensitive to elevated zinc in the absence of the host plant. *Soil Biol. Biochem.* 37: 573-579.
- Bougnom, B.P., B.A. Knapp, D. Elhottova, A. Koubova, F.X. Etoa, H. Insam. 2010. Designer compost with biomass ashes for ameliorating acid tropical soils: Effects on the soil microbiota. *Appl. Soil Ecol.* 45:319-324.

- Camacho, M., A. Burgos, M.A. Chamber-Perez. 2003. Nitrogen fixation in transposon mutants from *Bradyrhizobium japonicum* USDA110 impaired in nitrate reductase. *Plant Physiol.* 160:377-386.
- Endarini, T., A.T. Wahyudi, Tedja-Imas. 1995. Seleksi galur *Bradyrhizobium japonicum* indigenous toleran media asam-aluminium. *HAYATI J. Biosci.* 2:74-79.
- Ghulamahdi, M., S.A. Aziz, M. Melati, N. Dewi, S.A. Rais. 2006. Aktivitas nitrogenase, serapan hara dan pertumbuhan dua varietas kedelai pada kondisi jenuh air dan kering. *Bul. Agron.* 34:32-38.
- Grossman, J.M., M.E. Schipanski, T. Sooksanguan, S. Seehaver, L.E. Drinkwater. 2011. Diversity of rhizobia in soybean [*Glycine max* (Vinton)] nodules varies under organic and conventional management. *Appl. Soil Ecol.* 50:14-20.
- Grunewald, W., G. van Noorden, G.V. Isterdael, T. Beeckman, G. Gheysen, U. Mathesius. 2009. Manipulation of auxin transport in plant roots during *Rhizobium* symbiosis and nematode parasitism. *Plant Cell* 21:2553-2562.
- Habibah, H. 2008. Efektivitas inokulan *Bradyrhizobium japonicum* toleran asam-aluminium terhadap pertumbuhan kedelai kultivar Slamet. Tesis. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Harun, M.U., M. Ammar. 2001. Respon kedelai (*Glycine max*) terhadap *Bradyrhizobium japonicum* strain Hup⁺ pada tanah masam. *J. Pertanian Indonesia* 3:111-115.
- Harjowigeno, S. 2003. Ilmu Tanah. Akademika Pressindo, Jakarta.
- Indrasumunar, A., N.W. Menzies. P.J. Dart. 2012a. Calcium affects the competitiveness of acid-sensitive and acid-tolerant strains of *Bradyrhizobium japonicum* in nodulating and fixing nitrogen with two soybean cultivars in acid soil. *Soil Biol. Biochem.* 46:115-122.
- Indrasumunar, A., N.W. Menzies, P.J. Dart. 2012b. Laboratory pre-screening of *Bradyrhizobium japonicum* for low pH, Al, and Mn tolerance can be used to predict their survival in acid soils. *Soil Biol. Biochem.* 48:135-141.
- Indrasumunar, A., P.J. Dart, N.W. Menzies. 2011. Symbiotic effectiveness of *Bradyrhizobium japonicum* in acid soil can be predicted from their sensitivity to acid soil stress in acidic agar media. *Soil Biol. Biochem.* 43: 2046-2052.
- King, C.A., L.C. Purcell. 2005. Inhibition of N₂ fixation in soybean is associated with elevated ureides and amino acid. *Plant Physiol.* 137:1389-1396.
- Leach, J., M. Keyster, M. Du Plessis, N. Ludidi. 2010. Nitric oxide synthase activity is required for development of functional nodules in soybean. *Plant Physiol.* 167:1584-1591.
- Li, Y., T. Yang, P. Zhang, A. Zou, X. Peng, L. Wang, R. Yang, J. Qi, Y. Yang. 2012. Differential responses of the diazotrophic community to aluminum-tolerant and aluminum-sensitive genotypes in acidic soil. *Eur. J. Soil Biol.* 53:76-85.
- Lima, J.D., L. Sodek. 2003. N-stress alters aspartate and asparagines levels of xylem sap in soybean. *Plant Sci.* 165:649-656.
- Mahagiani, I. 2010. *Bradyrhizobium japonicum* toleran asam aluminium penghasil asam indol asetat dan telaah simbiosisnya dengan beberapa varietas tanaman kedelai. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Manna, M.C., A. Swarup, R.H. Wanjari, B. Mishra, D.K. Shahi. 2007. Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields. *Soil Till. Res.* 94:397-409.
- Monasari, D. 2007. Konstruksi mutan *Bradyrhizobium japonicum* kedelai toleran asam-aluminium untuk meningkatkan efektivitas simbiotik melalui mutagenesis transposon. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Mubarik, N.R., T. Imas, Triadiati, A.T. Wahyudi, Suharyanto, H. Widiastuti. 2011. The use of acid-aluminium tolerant *Bradyrhizobium japonicum* formula for soybean grown on field acid soil. *World Acad. Sci. Eng. Tech.* 77:879-882.
- Mulyadi, A. 2012. Pengaruh pemberian legin, pupuk NPK (15:15:15) dan urea pada tanah gambut terhadap kandungan N, P total pucuk dan bintil akar kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.). *Kaunia* 8:21-29.
- Ningsih, R.D., I. Anas. 2004. Tanggap tanaman kedelai terhadap inokulasi *Rhizobium* dan asam indol asetat (IAA) pada Ultisol Darmaga. *Bul. Agron.* 32:25-32.
- Pii, Y., M. Crimi., G. Cremonese, A. Spina, T. Pandolfini. 2007. Auxin and nitric oxide control indeterminate nodule formation. *BMC Plant. Biol.* 7:21.

- Schulze, J., M.A.N. Mohamed, G. Carlsson, J.J. Drevon. 2011. Phosphorus deficiency decreases nitrogenase activity but increases proton flux in N_2 -fixing *Medicago truncatula*. Plant Physiol. Biochem. 49: 458-460.
- Situmorang, A.R.F., N.R. Mubarik, Triadiati. 2009. The use of acid-aluminum tolerant *Bradyrhizobium japonicum* inoculants for soybean grown on acid soils. HAYATI J. Biosci. 16:157-160.
- Sutoyo. 1992. Respon berbagai kultivar kedelai terhadap inokulasi *B. japonicum* dilacak dengan ^{15}N . Tesis. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Van Heerden, P.D.R., M. De Beer, D.J. Mellet, H.S. Maphike, W. Foit. 2007. Growth media effects on shoot physiology, nodule numbers and symbiotic nitrogen fixation in soybean. S. Afr. J. Bot. 73:600-605.
- Wahyudin, U.M. 2006. Pengaruh pemberian kapur dan kompos sisa tanaman terhadap aluminium dapat ditukar dan produksi tanaman kedelai pada tanah *Vertic Hapludult* dari Gajrug, Banten. Bul. Agron. 34:141-147.
- Widodo, I.P. 2008. Uji adaptasi galur harapan kedelai terhadap cekaman pH rendah dan aluminium di Jasinga. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Willert, F.J., R.C. Stehouwer. 2003. Compost, limestone, and gypsum effect on calcium and aluminium transport in acidic minespoil. Soil Sci. Soc. Am. J. 67:778-786.
- Yugi A. R., A. Riyanto. 2011. Upaya mendapatkan genotipe kedelai efisien unsur hara pada lahan rendah P. J. Agroland. 18:1-7.
- Zablotowics, R.M., K.N. Reddy. 2007. Nitrogenase activity, nitrogen content, and yield responses to glyphosate in glyphosate-resistant soybean. Crop Prot. 26:370-376.
- Zarea, M.J., N. Karimi, E.M. Goltapeh, A. Ghalavand. 2011. Effect of cropping systems and arbuscular mycorrhizal fungi on soil microbial activity and root nodule nitrogenase. Saudi Soc. Agric. Sci. 10:109-120.