

Respons Fisiologi Beberapa Genotipe Kedelai yang Bersimbiosis dengan MVA terhadap Berbagai Tingkat Cekaman Kekeringan

The Physiological Response of Soybean Genotypes to VAM Inoculation on Selected Drought Stress Levels

HAPSOH^{1*}, SUDIRMAN YAHYA¹, TEUKU MUHAMMAD HANAFIAH OELIM²,
BAMBANG SAPTA PURWOKO¹

¹Departemen Budi Daya Pertanian, Faperta, Institut Pertanian Bogor, Kampus Darmaga, Bogor 16680

²Departemen Budi Daya Pertanian, Faperta, Universitas Sumatera Utara, Jalan Prof. A. Sofyan No. 3 Kampus USU, Medan 20155

Diterima 15 Juni 2004/Disetujui 16 Mei 2006

Present research was aimed to study physiological changes of soybean which were inoculated with vesicular arbuscular mycorrhizal fungi (VAM). *Glomus etunicatum* was exposed to moderate and severe drought condition. Symbiotic association with VAM improved adaptability as it was shown by the increasing leaf proline content. The MLG 3474 and Sindoro are the more tolerant genotypes while the responses of plant to VAM on improving the adaptability to drought were larger on Lokon.

Key words: Soybean, mycorrhiza, drought, proline

PENDAHULUAN

Suatu respons fisiologi yang cukup penting ialah kemampuan tanaman mempertahankan tekanan turgor dengan menurunkan potensial osmotik sebagai mekanisme toleransi terhadap cekaman kekeringan (Hamim *et al.* 1996). Banyak proses fisiologi dan biokimia dalam tumbuhan yang sangat dipengaruhi oleh perubahan tekanan turgor. Menurut Hale dan Orcutt (1987) faktor yang dapat membantu mempertahankan turgor ialah penurunan potensial osmotik dan kemampuan mengakumulasi senyawa-senyawa terlarut.

Dalam proses penyesuaian osmosis, senyawa-senyawa terlarut yang biasa diakumulasi ialah gula dan asam amino terutama prolina (Girousse *et al.* 1996). Secara umum kadar prolina daun mengalami peningkatan akibat cekaman kekeringan (Hamim *et al.* 1996; Sopandie *et al.* 1996). Hal ini berkaitan dengan peran yang besar dari prolina sebagai osmoregulator, sehingga produksi senyawa tersebut secara berlebihan dapat menghasilkan peningkatan toleransi terhadap cekaman kekeringan pada tanaman (Kishor *et al.* 1995; Marjorie *et al.* 2002).

Penggunaan mikoriza vesikular arbuskular (MVA) mempunyai sejumlah pengaruh yang menguntungkan bagi tanaman yang dapat bersimbiosis. Mikoriza vesikular arbuskular yang menginfeksi sistem perakaran tanaman inang akan memproduksi jalinan hifa secara intensif sehingga tanaman bermikoriza akan mampu meningkatkan kapasitasnya dalam menyerap unsur hara dan air (Sieverding 1991; Song 2005; Turk *et al.* 2006). Ruiz-Lozano *et al.* (1995) menjelaskan

tanaman bermikoriza lebih tahan kekeringan karena tanaman tersebut dapat memperbaiki potensial air daun dan turgor, memelihara membukanya stomata, dan mengurangi transpirasi serta meningkatkan sistem perakaran. Penelitian bertujuan untuk mempelajari perubahan fisiologi kedelai toleran dan peka kekeringan yang mengalami cekaman kekeringan, bila bersimbiosis dengan MVA.

BAHAN DAN METODE

Percobaan menggunakan tanah ultisol asal Kebun Percobaan Universitas Sumatera Utara (USU) Tambunan A, Langkat, Sumatera Utara. Penetapan kadar air tanah dengan metode pengeringan (oven), sedangkan penetapan kadar air pada kapasitas lapang (KL) dilakukan dengan metode Bouyoucos (Foth 1984). Benih kedelai hasil evaluasi ulang toleran kekeringan, yaitu genotipe Sindoro (G_1) dan MLG 3474 (G_2) dan peka kekeringan genotipe Lokon (G_3) (Hapsah 2003). Inokulum MVA yang digunakan ialah *Glomus etunicatum* yang serasi dengan kedelai (Hapsah 2003).

Percobaan dilaksanakan secara faktorial dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap, tiga faktor perlakuan dan lima ulangan. Faktor pertama ialah genotipe kedelai (G) terdiri atas tiga genotipe kedelai (G_1 - G_3). Faktor kedua ialah perlakuan mikoriza vesikular arbuskular (M) terdiri atas M_0 (tanpa mikoriza) dan M_1 (*G. etunicatum*). Faktor ketiga ialah tingkat cekaman kekeringan (C), terdiri atas C_1 (tanaman disiram setiap hari dengan air 80% KL, umur 28 hari), C_2 (3 hari tidak disiram, umur 28 hari), C_3 (tanaman disiram setiap hari dengan air 80% KL, umur 31 hari), C_4 (6 hari tidak disiram, umur 31 hari), C_5 (tanaman disiram setiap hari dengan air 80% KL, umur 34 hari) dan C_6 (9 hari tidak disiram, umur 34 hari).

*Alamat kini: Departemen Budi Daya Pertanian, Faperta, Universitas Sumatera Utara, Jalan Prof. A. Sofyan No. 3 Kampus USU, Medan 20155

*Penulis untuk korespondensi, Tel. +62-61-8213236,
Fax. +62-61-8211924, E-mail: hap_soh@yahoo.co.id

Pada waktu tanam sampai tanaman berumur 25 hari untuk semua perlakuan tanaman ditumbuhkan dengan pemberian air 80% KL. Perlakuan C₁, C₃, dan C₅ disiram dengan air setiap hari 80% KL, untuk perlakuan C₂ (cekaman ringan), C₄ (cekaman sedang), dan C₆ (cekaman berat), mulai tanaman berumur 25 hari tidak dilakukan penyiraman lagi sampai umur tanaman yang telah ditentukan. Penelitian ini menggunakan tiga ulangan untuk respons fisiologi dan dua ulangan untuk pengamatan derajat infeksi. Data pengamatan derajat infeksi MVA dan respons fisiologi terlebih dahulu diuji homogenitas dan kenormalan ragam dengan uji Bartlett's (Montgomery 1991). Respons fisiologi mencakup kadar N, P, prolina, dan kadar air relatif (KAR) daun. Jika data derajat infeksi MVA, kadar N, P, dan KAR daun uji F berbeda nyata, maka dilanjutkan dengan uji jarak berganda Duncan ($P < 0.05$). Data kadar prolina daun ditransformasi dengan Log 10, karena dari hasil uji data tidak homogen, maka dilanjutkan pengujian dengan Kruskal-Wallis (Montgomery 1991).

Penanaman pada kultur pot dengan volume dua liter yang diisi 1.5 kg bobot tanah kering mutlak dengan kandungan air 19%. Inokulan MVA ialah akar dengan derajat infeksi $\geq 70\%$ dipotong halus, dicampur dengan tanah tempat tumbuh akar tersebut. Sebanyak 50 g inokulan MVA diinokulasikan ke dalam polibag yang telah dipersiapkan sesuai perlakuan mikoriza dengan cara disebar rata pada kedalaman lima cm dari permukaan tanah. Setiap pot dipelihara satu tanaman. Sehari sebelum tanam dilakukan pemupukan, yaitu sebanyak 1.52 g urea/pot, 0.22 g rock fosfat/pot, dan 1.05 g KCl/pot.

Pengamatan meliputi: derajat infeksi MVA (Phillips & Hayman 1970), kadar N, P dianalisis dengan metode destruksi basah (Munsoon & Nelson 1990), KAR daun (Slatyer & Barrs 1965), dan prolina daun (Bates *et al.* 1973). Derajat infeksi ialah banyaknya akar kedelai yang diinfeksi oleh cendawan MVA. Kriteria terinfeksi bila ditemukan vesikula dan atau hifa pada potongan akar yang diperiksa. Potongan akar diperiksa dengan teknik pewarnaan metode Phillips dan Hayman (1970), sebagai berikut: (i) akar tanaman dengan diameter < 2 mm dicuci dengan hati-hati; (ii) akar dipotong dengan ukuran ± 1 cm, kemudian dimasukkan ke dalam botol, dan diisi dengan larutan KOH 10%, direndam selama dua hari; (iii) akar dicuci dengan air minimal tiga kali; (iv) botol yang berisi akar diisi dengan HCl 2%, direndam selama satu hari; (v) pewarnaan akar dilakukan dengan larutan *destaining* yang mengandung *trypan blue* 0.05% selama satu hari; (vi) *destaining* dengan larutan campuran gliserol, asam laktat, akuades dengan nisbah 2:2:1 (v/v/v) selama 1/2-1 hari; (vii) akar sebanyak 10 potong, diletakkan di kaca preparat, ditutup dengan kaca penutup, kemudian diamati menggunakan mikroskop. Perhitungan persentase infeksi MVA ialah jumlah potongan akar yang diperiksa yang mengandung vesikula dan atau hifa MVA dibagi 10 dan dikalikan 100%.

Penetapan kadar nitrogen berdasarkan metode Kejdhal (Munsoon & Nelson 1990) dan penetapan kadar fosfor berdasarkan metode spektrofotometri (Munsoon & Nelson 1990).

Penetapan KAR daun metode Slatyer dan Barrs (1965) sebagai berikut: sembilan buah contoh daun ukuran 1 cm²

ditimbang bobot segarnya, kemudian direndam selama 4 jam. Selanjutnya, ditimbang bobot turgid daun, dan terakhir dikeringkan dengan oven selama 24 jam pada suhu 70 °C, dan ditimbang bobot keringnya.

$$\text{KAR} = \frac{\text{Bobot segar} - \text{bobot kering}}{\text{Bobot turgid} - \text{bobot kering}} \times 100\%$$

Kadar prolina bebas dianalisis berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Bates *et al.* (1973), dengan menggunakan Beckman DB-G spektrofotometer. Contoh daun yang dipakai adalah daun yang berkembang sempurna. Untuk menentukan kadar prolina dalam contoh digunakan prolina murni sebagai standar. Asam-ninhidrin disiapkan sebagai pereaksi dengan menghangatkan 1.2% ninhidrin dalam 30 ml asam asetat glasial dan 20 ml asam fosfat 6 mol dengan cara dipanaskan sampai larut, kemudian didinginkan dan disimpan pada suhu 4 °C. Pereaksi ini stabil selama 24 jam.

Prolina dari kira-kira 0.5 g bobot basah bahan tanaman (daun) diekstrak dengan 10 ml asam sulfosalisilik 3%, dan difiltrasi dengan dua lembar filter *Whatman* 42. Sebanyak 2 ml filtrat direaksikan dengan 2 ml pereaksi asam-ninhidrin dan 2 ml asam asetat glasial pada tabung reaksi selama satu jam pada suhu 100 °C, kemudian proses reaksi diakhiri dalam *ice-bath*. Campuran ini selanjutnya diekstraksi dengan 4 ml toluena, dikocok dengan kuat menggunakan *test-tube stirrer* selama 15-20 detik. Kromofor yang terkandung dihangatkan pada suhu kamar, kemudian absorbansi diukur pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 520 nm. Blanko yang digunakan ialah toluena. Konsentrasi prolina ($\mu\text{mol/g}$) ditentukan dari kurva standar dan dihitung berdasarkan bobot segar (Bates *et al.* 1973), yaitu:

$$\frac{[(\mu\text{g prolina/ml} \times \text{ml toluena})/115.5 \mu\text{g}/\mu\text{mol}]}{(\text{g sampel})/5} = \frac{\mu\text{mol prolina/g bobot basah bahan}}{\text{g sampel}/5}$$

HASIL

Derajat Infeksi MVA. Perbedaan tanggap derajat infeksi MVA terhadap cekaman kekeringan terjadi di antara genotipe yang diuji. Derajat infeksi nyata meningkat pada cekaman sedang (C4) pada genotipe Lokon tanpa mikoriza dan pada cekaman kekeringan berat (C6) menurun (Tabel 1). Pada cekaman kekeringan berat, bila tanaman bersimbiosis dengan MVA maka derajat infeksi MVA meningkat. Peningkatan derajat infeksi lebih tinggi pada genotipe MLG 3474 (275.09%) dibandingkan dengan genotipe Lokon (250.11%) dan genotipe Sindoro (159.93%) (Tabel 1).

Respons Fisiologi. Hasil penelitian menunjukkan genotipe Sindoro, MLG 3474, dan Lokon yang bersimbiosis dengan MVA atau tidak, pada cekaman kekeringan ringan (C2) sampai berat (C6) mempunyai KAR daun yang lebih rendah dibandingkan dengan tanaman pada kondisi kapasitas lapang (Tabel 2). Pada cekaman kekeringan berat, genotipe Sindoro dan MLG 3474 yang bersimbiosis dengan MVA mempunyai KAR daun yang lebih kecil, sedangkan pada genotipe Lokon mempunyai KAR daun lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang tidak bersimbiosis dengan MVA. Ini berarti

pada genotipe toleran (Sindoro dan MLG 3474), simbiosis dengan MVA tidak meningkatkan penyerapan air (terjadi penurunan sebesar 14.26% untuk genotipe Sindoro dan 12.76% untuk genotipe MLG 3474). Pada genotipe peka (Lokon) peranan MVA dalam meningkatkan kemampuan adaptasi tanaman terhadap cekaman kekeringan melalui perubahan potensial air lebih besar dibandingkan dengan genotipe toleran yang ditunjukkan oleh peningkatan KAR daun pada cekaman kekeringan berat (3.91%) (Tabel 2).

Cekaman kekeringan sedang sampai berat menurunkan kadar N daun pada ketiga genotipe Sindoro, MLG 3474, dan Lokon (Tabel 3). Terdapat kecenderungan tanaman yang bersimbiosis dengan MVA mempunyai kadar N daun lebih tinggi pada cekaman kekeringan ringan sampai berat pada ketiga genotipe. Pada cekaman kekeringan berat kadar N daun meningkat lebih tinggi pada genotipe Lokon (21.91%) dibandingkan dengan genotipe Sindoro (14.55%) dan genotipe MLG 3474 (8.25%) (Tabel 3).

Cekaman kekeringan ringan sampai berat menurunkan kadar P daun lebih besar pada genotipe Sindoro dan MLG 3474 dibandingkan dengan genotipe Lokon. Pada cekaman kekeringan berat, kadar P daun menurun sebesar 47.27%

(Sindoro), 19.51% (MLG 3474), dan 18.18% (Lokon). Tetapi bila bersimbiosis dengan MVA, pengaruh cekaman kekeringan pada ketiga genotipe menyebabkan kadar P menurun sebesar 28.57% (Sindoro), 16.28% (Lokon) dan meningkat 16.28% (MLG 3474). Peranan MVA terlihat pada kondisi cekaman kekeringan yang meningkatkan kadar P daun lebih tinggi pada genotipe Sindoro (33.33%) dan MLG 3474 (47.06%) dibandingkan dengan genotipe Lokon (28.57%) (Tabel 4).

Genotipe Sindoro, MLG 3474, dan Lokon mengalami cekaman kekeringan ringan sampai berat nyata menunjukkan peningkatan kadar prolina daun. Pada cekaman kekeringan berat tanpa mikoriza genotipe MLG 3474 mengalami peningkatan kadar prolina paling tinggi (2638.27%) dibandingkan dengan genotipe Sindoro (1339.41%) dan genotipe Lokon (325.63%) (Tabel 5). Kadar prolina daun semakin meningkat bila tanaman kedelai bersimbiosis dengan MVA untuk ketiga genotipe. Genotipe Sindoro meningkat sebesar 2475.27%, diikuti MLG 3474 sebesar 4234.94%, dan Lokon sebesar 4043.09%. Peningkatan kadar prolina daun pada kekeringan berat lebih besar pada genotipe Lokon, yaitu 172.04% dibandingkan dengan genotipe MLG 3474 hanya sebesar 81.07% dan genotipe Sindoro sebesar 61.70% (Tabel 5).

Tabel 1. Derajat infeksi MVA pada beberapa genotipe kedelai dengan pemberian MVA dan cekaman kekeringan

Genotipe	MVA	Cekaman kekeringan					
		Disiram setiap hari 80% KL, umur 28 hari (C ₁)	Tiga hari tidak disiram, umur 28 hari (C ₂)	Disiram setiap hari 80% KL, umur 31 hari (C ₃)	Enam hari tidak disiram, umur 31 hari (C ₄)	Disiram setiap hari 80% KL, umur 34 hari (C ₅)	Sembilan hari tidak disiram, umur 34 hari (C ₆)
.....%							
Sindoro (G ₁)	Tanpa MVA	33.33	36.67 (10.00) ⁺	26.67	26.67 (0.00)	36.67	16.67 (54.55)
	<i>G. etunicatum</i>	76.67	83.33 (8.70) ⁺	90.00	46.67 (48.15)	63.33	43.33 (31.58)
		[130.03] ⁺	[127.24] ⁺	[237.46] ⁺	[74.99] ⁺	[72.7] ⁺	[159.93] ⁺
MLG 3474 (G ₂)	Tanpa MVA	40.00	26.67 (33.33)	20.00	23.33 (16.67) ⁺	20.00	13.33 (33.33)
	<i>G. etunicatum</i>	80.00	80.00 (0.00)	80.00	73.33 (8.33)	46.67	50.00 (7.14) ⁺
		[100] ⁺	[199.96] ⁺	[300] ⁺	[214.32] ⁺	[133.35] ⁺	[275.09] ⁺
Lokon (G ₃)	Tanpa MVA	13.33	26.67 (100.00) ⁺	13.33	36.67 (175.00) ⁺	23.33	13.33 (42.86)
	<i>G. etunicatum</i>	53.33	96.67 (81.25) ⁺	76.67	70.00 (8.70)	76.67	46.67 (39.13)
		[300.08] ⁺	[262.47] ⁺	[475.17] ⁺	[90.89] ⁺	[228.63] ⁺	[250.11] ⁺

Angka dalam () ialah % penurunan atau peningkatan derajat infeksi (bila diikuti +) bila dibandingkan dengan masing-masing derajat infeksi pada kontrol yang disiram setiap hari 80% KL (C₁, C₃, C₅), keterangan ini berlaku untuk Tabel 2 s/d 5 untuk respons yang berbeda. Angka dalam [] ialah % penurunan atau peningkatan derajat infeksi (bila diikuti +) bila dibandingkan dengan masing-masing derajat infeksi pada genotipe yang di inokulasi MVA, keterangan ini berlaku untuk Tabel 2 s/d 5 untuk respons yang berbeda

Tabel 2. Kadar air relatif daun beberapa genotipe kedelai dengan pemberian MVA dan cekaman kekeringan

Genotipe	MVA	Cekaman kekeringan					
		Disiram setiap hari 80% KL, umur 28 hari (C ₁)	Tiga hari tidak disiram, umur 28 hari (C ₂)	Disiram setiap hari 80% KL, umur 31 hari (C ₃)	Enam hari tidak disiram, umur 31 hari (C ₄)	Disiram setiap hari 80% KL, umur 34 hari (C ₅)	Sembilan hari tidak disiram, umur 34 hari (C ₆)
.....%							
Sindoro (G ₁)	Tanpa MVA	77.51bc	54.99fghijk (29.06)	80.09b	56.17fghi (29.87)	79.20b	55.69fghi (29.69)
	<i>G. etunicatum</i>	84.40ab	50.18ijk (40.55)	82.04b	63.65defg (22.41)	84.46ab	47.75jk (43.47)
		[8.89] ⁺	[8.75]	[2.43] ⁺	[13.32] ⁺	[6.64] ⁺	[14.26]
MLG 3474 (G ₂)	Tanpa MVA	93.83a	60.39fghi (35.64)	79.00b	63.02defgh (20.22)	62.41efgh	50.17ijk (19.61)
	<i>G. etunicatum</i>	77.58bc	60.32fghi (22.25)	76.98bc	64.80defg (15.82)	66.34cdef	43.76k (34.03)
		[17.32]	[0.01]	[2.56]	[2.82] ⁺	[6.30] ⁺	[12.78]
Lokon (G ₃)	Tanpa MVA	73.81bcde	61.31fghi (16.94)	74.38bcd	59.27fghij (20.31)	80.33b	50.95hijk (36.58)
	<i>G. etunicatum</i>	77.88bc	64.34defg (17.38)	80.21b	61.23fghi (23.66)	63.85defg	52.94ghijk (17.09)
		[5.51] ⁺	[4.94] ⁺	[7.84] ⁺	[3.31] ⁺	[20.52]	[3.91] ⁺

Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama, tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan 5%

Tabel 3. Kadar N daun beberapa genotipe kedelai dengan pemberian MVA dan cekaman kekeringan

Genotipe	MVA	Cekaman kekeringan					
		Disiram setiap hari 80% KL, umur 28 hari (C ₁)	Tiga hari tidak disiram, umur 28 hari (C ₂)	Disiram setiap hari 80% KL, umur 31 hari (C ₃)	Enam hari tidak disiram, umur 31 hari (C ₄)	Disiram setiap hari 80% KL, umur 34 hari (C ₅)	Sembilan hari tidak disiram, umur 34 hari (C ₆)
	%.....					
Sindoro (G ₁)	Tanpa MVA	6.59	7.02 (6.53) ⁺	7.26	6.74 (7.23)	7.44	5.91 (20.56)
	<i>G. etunicatum</i>	7.19 [9.10] ⁺	7.49 (4.24) ⁺ [6.70] ⁺	7.32 [0.83] ⁺	6.98 (4.71) [3.56] ⁺	7.73 [3.90] ⁺	6.77 (12.43) [14.55] ⁺
MLG 3474 (G ₂)	Tanpa MVA	7.36	7.33 (0.48)	7.73	6.75 (12.62)	7.56	6.67 (11.77)
	<i>G. etunicatum</i>	8.12 [10.33] ⁺	8.45 (4.06) ⁺ [15.28] ⁺	7.96 [2.98] ⁺	7.52 (5.53) [11.41] ⁺	8.16 [7.94] ⁺	7.22 (11.58) [8.25] ⁺
Lokon (G ₃)	Tanpa MVA	6.66	7.16 (7.59) ⁺	7.16	6.79 (5.17)	6.07	6.07 (0.00)
	<i>G. etunicatum</i>	7.99 [19.97] ⁺	7.97 (0.19) [11.31] ⁺	7.71 [7.68] ⁺	7.24 (6.10) [6.63] ⁺	7.32 [20.59] ⁺	7.40 (+1.09) [21.91] ⁺

Tabel 4. Kadar P daun beberapa genotipe kedelai dengan pemberian MVA dan cekaman kekeringan

Genotipe	MVA	Cekaman kekeringan					
		Disiram setiap hari 80% KL, umur 28 hari (C ₁)	tiga hari tidak disiram, umur 28 hari (C ₂)	Disiram setiap hari 80% KL, umur 31 hari (C ₃)	Enam hari tidak disiram, umur 31 hari (C ₄)	Disiram setiap hari 80% KL, umur 34 hari (C ₅)	Sembilan hari tidak disiram, umur 34 hari (C ₆)
	%.....					
Sindoro (G ₁)	Tanpa MVA	0.22	0.16 (27.91)	0.23	0.17 (26.67)	0.28	0.15 (47.27)
	<i>G. etunicatum</i>	0.24 [9.09] ⁺	0.23 (2.13) [43.75] ⁺	0.29 [26.09] ⁺	0.19 (36.21) [11.76] ⁺	0.28 [0.00]	0.20 (28.57) [33.33] ⁺
MLG 3474 (G ₂)	Tanpa MVA	0.21	0.17 (21.43)	0.21	0.18 (12.20)	0.21	0.17 (19.51)
	<i>G. etunicatum</i>	0.24 [14.29] ⁺	0.24 (2.13) ⁺ [41.18] ⁺	0.25 [19.05] ⁺	0.24 (4.00) [33.33] ⁺	0.22 [4.76] ⁺	0.25 (16.28) ⁺ [47.06] ⁺
Lokon (G ₃)	Tanpa MVA	0.17	0.15 (9.09)	0.20	0.16 (17.95)	0.17	0.14 (18.18)
	<i>G. etunicatum</i>	0.19 [11.76] ⁺	0.21 (13.51) ⁺ [40.00] ⁺	0.23 [15] ⁺	0.19 (17.39) [18.75] ⁺	0.22 [29.41] ⁺	0.18 (16.28) [28.57] ⁺

Tabel 5. Kadar prolina daun beberapa genotipe kedelai dengan pemberian MVA dan cekaman kekeringan

Genotipe	MVA	Cekaman kekeringan					
		Disiram setiap hari 80% KL, umur 28 hari (C ₁)	Tiga hari tidak disiram, umur 28 hari (C ₂)	Disiram setiap hari 80% KL, umur 31 hari (C ₃)	Enam hari tidak disiram, umur 31 hari (C ₄)	Disiram setiap hari 80% KL, umur 34 hari (C ₅)	Sembilan hari tidak disiram, umur 34 hari (C ₆)
	µmol/g.....					
Sindoro (G ₁)	Tanpa MVA	9.11	16.82 (84.58) ⁺	6.02	10.75 (78.49) ⁺	2.55	36.71 (1339.41) ⁺
	<i>G. etunicatum</i>	7.15 [21.51]	8.31 (16.22) ⁺ [50.59]	2.74 [54.49]	54.17 (1880.44) ⁺ [403.91] ⁺	2.31 [9.41]	59.36 (2475.27) ⁺ [61.70] ⁺
MLG 3474 (G ₂)	Tanpa MVA	6.45	19.22 (198.22) ⁺	3.46	33.15 (859.33) ⁺	2.37	64.76 (2638.27) ⁺
	<i>G. etunicatum</i>	2.50 [61.24]	10.60 (324.00) ⁺ [44.85]	3.31 [4.34]	52.71 (1492.45) ⁺ [+59.00] ⁺	2.71 [14.35] ⁺	117.26 (4234.94) ⁺ [81.07] ⁺
Lokon (G ₃)	Tanpa MVA	8.75	21.75 (148.51) ⁺	5.33	17.39 (226.48) ⁺	9.72	41.35 (325.63) ⁺
	<i>G. etunicatum</i>	4.99 [42.97]	23.07 (362.69) ⁺ [6.07] ⁺	2.32 [56.47]	59.29 (2455.60) ⁺ [240.94] ⁺	2.72 [72.02]	112.49 (4043.09) ⁺ [172.04] ⁺

Tidak diberi notasi beda, karena mengikuti uji Kruskal-Wallis. Dari hasil uji data, tidak homogen maka dilanjutkan dengan uji Kruskal-Wallis (Montgomery 1991)

PEMBAHASAN

Secara umum adaptasi tanaman terhadap cekaman kekeringan dicirikan dengan meningkatnya kadar prolina daun, baik genotipe toleran maupun genotipe peka (Tabel 5). Jones *et al.* (1981) menjelaskan mekanisme seperti ini dikenal sebagai toleransi tanaman terhadap cekaman kekeringan dengan akumulasi senyawa terlarut, dalam hal ini akumulasi kadar prolina daun. Peningkatan kadar prolina pada tanaman sebagai pengatur osmotik yang melibatkan akumulasi senyawa terlarut. Peningkatan ini cukup untuk menurunkan potensial osmotik guna mempertahankan turgor tetap positif mengikuti

rendahnya potensial air jaringan. Potensial air jaringan dalam hal ini ditunjukkan oleh kadar air relatif daun yang rendah (Tabel 2). Akumulasi prolina pada tanaman kedelai sebagai pengatur osmotik atau osmoregulator juga dikemukakan Sopandie *et al.* (1996) dan Hamim *et al.* (1996).

Namun demikian masing-masing genotipe kedelai menunjukkan tanggapan yang berbeda terhadap cekaman kekeringan. Genotipe MLG 3474 lebih tanggap dibandingkan dengan genotipe Sindoro dan Lokon, ditunjukkan oleh peningkatan kadar prolina paling tinggi, yaitu 2638.27% (Tabel 5), dan KAR daun menurun paling sedikit, yaitu 19.61% (Tabel 2). Hal yang sama dilaporkan Yi-Zhi dan Tian (2000).

Subramanian dan Charest (1995) juga mengemukakan akumulasi prolina dan asam amino lain seperti alanina, asparagina, glutamina, dan glisina meningkat lebih tinggi pada genotipe toleran dibandingkan dengan genotipe peka.

Mekanisme adaptasi tanaman terhadap cekaman kekeringan bila bersimbiosis dengan MVA tetap dicirikan dengan peningkatan kadar prolina daun untuk ketiga genotipe. Semula diduga bahwa dengan semakin meningkatnya kemampuan penyerapan air pada tanaman yang diberi MVA, akan semakin mengurangi pengaruh cekaman kekeringan. Dengan demikian akan mengurangi kadar prolina yang terakumulasi. Dugaan tersebut tidak sepenuhnya terbukti, karena pemberian MVA lebih meningkatkan lagi kadar prolina daun. Hal ini mengindikasikan bahwa pemberian MVA memperkuat mekanisme osmoregulasi dalam meningkatkan kemampuan adaptasi tanaman dengan semakin meningkatnya cekaman kekeringan. Hal yang sama dikemukakan Ruiz-Lozano *et al.* (1995) dan Azcon *et al.* (1996) yang mengatakan tanaman yang bersimbiosis dengan MVA mengakumulasi senyawa terlarut prolina. Menurut Dharmarajan dan Mahadevan (1995) dan Azcon *et al.* (1996) akumulasi prolina tersebut disebabkan aktivitas glutamat sintetase, glutamin sintetase, dan nitrat reduktase yang semakin meningkat berperan dalam sintesis prolina dari glutamat. Selain itu, akumulasi prolina oleh tanaman bermikoriza, juga diduga disebabkan meningkatnya aktivitas enzim dehidrogenase, fosfatase, dan nitrogenase di daerah perakaran (Rao & Tak 2001). Enzim-enzim ini berperan dalam sintesis prolina dari glutamat pada tanaman yang bersimbiosis dengan mikrob tanah (Yoshiba *et al.* 1997).

Simbiosis dengan MVA menyebabkan terjadinya peningkatan kadar prolina daun lebih tinggi pada genotipe Lokon dibandingkan dengan genotipe MLG 3474 dan Sindoro (Tabel 5). Peningkatan kadar prolina lebih tinggi pada genotipe Lokon diduga karena aktivitas enzim dehidrogenase dan nitrogenase meningkat lebih tinggi serta hifa eksternal lebih efektif dalam penyerapan air. Ini ditunjukkan KAR daun (Tabel 2) pada genotipe Lokon meningkat sedangkan pada genotipe MLG 3474 dan Sindoro menurun. Kadar N daun (Tabel 3) meningkat lebih tinggi pada genotipe Lokon dibandingkan dengan peningkatan kadar N daun genotipe Sindoro dan MLG 3474. Peningkatan kadar prolina yang lebih tinggi pada genotipe MLG 3474 dibandingkan dengan genotipe Sindoro diduga disebabkan aktivitas enzim fosfatase yang lebih tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya kadar P daun lebih tinggi (Tabel 4) dibandingkan dengan genotipe Sindoro. Vosatka *et al.* (1999) menjelaskan MVA meningkatkan aktivitas alkalina fosfatase, suatu enzim yang berkenaan dengan transfer P. Selain itu KAR daun (Tabel 2) menurun lebih sedikit pada genotipe MLG 3474 dibandingkan dengan genotipe Sindoro.

Secara umum kemampuan adaptasi tanaman kedelai yang bersimbiosis dengan MVA terhadap cekaman kekeringan dicapai melalui mekanisme toleransi osmoregulasi dengan akumulasi prolina daun. Peranan MVA dalam meningkatkan kemampuan adaptasi lebih besar pada genotipe peka (Lokon)

dibandingkan dengan genotipe toleran (MLG 3474 dan Sindoro), ditunjukkan oleh peningkatan akumulasi prolina dan KAR daun.

DAFTAR PUSTAKA

- Azcon R, Gomez M, Tobar R. 1996. Physiological and nutritional responses by *Lactuca sativa* L. to nitrogen sources and mycorrhizal fungi under drought conditions. *Biol Fertil Soils* 22:156-161.
- Bates LS, Waldren RP, Teare ID. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil* 39:205-207.
- Dharmarajan S, Mahadevan A. 1995. Enzymatic studies of vesicular-arbuscular mycorrhizae and their hosts. *Biotrop Spec Publ* 56:75-90.
- Foth HD. 1984. *Fundamentals of Soil Science*. New York: J Willey Sons.
- Girousse C, Bourmoville R, Bonnemain JL. 1996. Water deficit-induced changes in concentrations in proline and some other amino acids in the phloem sap of alfalfa. *Plant Physiol* 111:109-113.
- Hale MG, Orcutt DM. 1987. *The Physiology of Plants Under Stress*. New York: J Willey Sons.
- Hamim, Sopandie D, Jusuf M. 1996. Beberapa karakteristik morfologi dan fisiologi kedelai toleran dan peka terhadap cekaman kekeringan. *Hayati* 1:30-34.
- Hapsah. 2003. Kompatibilitas MVA dan beberapa genotipe kedelai pada berbagai tingkat cekaman kekeringan tanah ultisol: tanggap morfofisiologi dan hasil [Disertasi]. Bogor: Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Jones MM, Turner MC, Osmond CB. 1981. Mechanisms of drought resistance. Di dalam: Paleg LG, Aspinall D (ed). *The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants*. New York: Academic Pr. hlm 15-53.
- Kishor PBK, Hong Z, Miao GH, Hu CAA, Verma PS. 1995. Overexpression of pyroline-5-carboxylate synthetase increase proline production and confers osmotolerance in transgenic plants. *Plant Physiol* 108:1387-1394.
- Marjorie J, Raymond, Smirnop N. 2002. Proline metabolism and transport in maize seedlings at low water potential. *Ann Bot* 89:813-823.
- Montgomery DC. 1991. *Design and Analysis of Experiments*. Ed ke-3. New York: J Willey Sons.
- Munsoon RD, Nelson WL. 1990. Principles and practices in plant analysis. Di dalam: Westerman RL (ed). *Soil Testing and Plant Analysis*. Ed ke-3. Wisconsin: Soil Sci Soc of America Inc Madison. hlm 359-388.
- Phillips JM, Hayman DS. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assesment of infection. *Trans British Mycol Soc* 55:158-160.
- Rao AV, Tak R. 2001. Influence of mycorrhizal fungi on the growth of different tree species and their nutrient uptake in gypsum mine spoil in India. *Appl Soil Ecol* 17:279-284.
- Ruiz-Lozano JM, Azcon R, Gomez M. 1995. Effects of arbuscular-mycorrhizal *Glomus* species on drought tolerance: Physiological and nutritional plant responses. *Appl Env Microbiol* 61:456-460.
- Sieverding E. 1991. *Vesicular Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystem*. Eschborn: Deutsche GTZ GmbH.
- Slatyer RO, Barrs HD. 1965. Modification to the relative turgidity technique with notes on significance as an index of the internal water status of leaves. *Arid Zone Res* 25:331-342.
- Song H. 2005. Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. *Electronic J Biol* 1:44-48.
- Sopandie D, Hamim, Jusuf M, Heryani N. 1996. Toleransi tanaman kedelai terhadap cekaman air: akumulasi prolina dan asam absisik dan hubungannya dengan potensial osmotik daun dan penyesuaian osmotik. *Bul Agron* 24:9-14.

- Subramanian KS, Charest C. 1995. Influence of arbuscular mycorrhizae on the metabolism of maize under drought stress. *Mycorrhiza* 5:273-278.
- Turk MA, Assaf TA, Hameed KM, Al Tawaha AM. 2006. Significance of mycorrhizae. *World J Agric Sci* 2:16-20.
- Vosatka M, Batkhuugyin E, Albrechtova J. 1999. Response of three arbuscular mycorrhizal fungi to simulated acid rain and aluminium stress. *Biol Plant* 42:289-296.
- Yi-Zhi Z, Tian L. 2000. Changes of proline levels and abscisic acid content in tolerant/sensitive cultivars of soybean under osmotic conditions. *Soybean Gen News* 27:1-4.
- Yoshida Y, Kiyosue T, Nakashima K, Yamaguchi-Shinozaki K, Shinozaki K. 1997. Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. *Plant Cell Physiol* 38:1095-1102.