

Produksi dan Fisiologi Kedelai pada Kondisi Cekaman Kekeringan dengan Aplikasi *Bradyrhizobium japonicum* yang Diberi Penginduksi Genistein

Production and Physiological Characters of Soybean Under Drought Stress with the Application of Bradyrhizobium japonicum Induced by Genistein

Yaya Hasanah* dan Nini Rahmawati

Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara
Jl. Prof. A. Sofyan No. 3 Kampus USU Medan 20155, Sumatera Utara, Indonesia

Diterima 2 Januari 2014/Disetujui 6 Juni 2014

ABSTRACT

Mutualism symbiosis between B. japonicum and soybean root is a complex case and managed by molecular signal exchange. Genistein is one of the main isoflavones in soybean root exudates which is responsive to nod gen induction in B. japonicum. Drought stress could give negative effect on the symbiosis. The aim of the research was to study the role of B. japonicum induced by genistein on production and physiological characters of soybean under drought stress. The experiment was conducted in a green house, Faculty of Agriculture, University of Sumatera Utara, using a randomized complete block design with three factors. The first factor was genistein induction, consisted of with and without genistein. The second factor was B. japonicum inoculation consisted of without B. japonicum, isolate 1, isolate 2 and isolate 3. The third factor was soil water content condition, consisted of 40%, 60% and 80% of field capacity. The parameters observed were shoot dry weight, root dry weight, net assimilation rate, dry weight per plant, 50 seeds weight and proline content. The result showed that increasing drought stress conditions decreased shoot dry weight, root dry weight, net assimilation rate, effective nodules number, seeds dry weight per plant and 50 seeds weight. The result showed that as an inducer of B. japonicum in drought stress condition, genistein reduced the effects of water stress on root nodulation of soybean. Proline acts as osmoregulator for increasing tolerance to drought stress in plants.

Keywords: drought, genistein, soybean, root nodulation

ABSTRAK

Simbiosis mutualisme antara B. japonicum dan akar kedelai merupakan hal kompleks dan terkoordinasi yang diatur oleh pertukaran sinyal molekul. Genistein merupakan jenis isoflavon utama pada eksudat akar kedelai yang responsif terhadap induksi gen nod pada B. japonicum. Kondisi cekaman kekeringan dapat berpengaruh negatif terhadap simbiosis tersebut. Tujuan percobaan untuk mengetahui peran B. japonicum yang diberi penginduksi genistein terhadap produksi dan fisiologis kedelai pada kondisi cekaman kekeringan. Percobaan dilakukan di rumah kaca Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara menggunakan Rancangan acak kelompok dengan tiga faktor dan tiga ulangan. Faktor pertama yaitu induksi genistein terdiri atas tanpa dan dengan induksi 50 µM genistein. Faktor kedua yaitu inokulasi B. japonicum terdiri atas tanpa B. japonicum, isolat 1, isolat 2 dan isolat 3. Faktor ketiga yaitu kondisi lengas tanah terdiri atas 40%, 60% dan 80% kapasitas lapang. Peubah yang diamati yaitu bobot kering tajuk, bobot kering akar, laju asimilasi bersih, bobot biji per tanaman, bobot kering 50 biji dan kandungan prolin daun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kondisi cekaman kekeringan menurunkan bobot kering akar, bobot kering tajuk, laju asimilasi bersih, jumlah bintil akar efektif, bobot kering biji per tanaman dan bobot 50 biji. Genistein sebagai penginduksi bagi B. japonicum pada kondisi cekaman kekeringan berperan dalam mereduksi efek cekaman air pada nodulasi bintil akar kedelai. Prolin berperan sebagai osmoregulator dalam meningkatkan toleransi terhadap cekaman kekeringan.

Kata kunci: genistein, kekeringan, kedelai, bintil akar

PENDAHULUAN

Kedelai merupakan legum yang dapat bersimbiose mutualistik dengan bakteri rhizobia. Simbiosis ini terlihat

dari terbentuknya bintil akar yang berisi bakteri Rhizobium yang mampu memfiksasi N₂ dari atmosfer (Morgan *et al.*, 2005). Kondisi lingkungan seperti suhu rendah, salinitas tinggi, pH rendah dan kekeringan dapat berpengaruh negatif terhadap simbiosis antara legum dan rhizobia (Napolés *et al.*, 2009). Cekaman kekeringan merupakan faktor utama yang berpengaruh terhadap simbiosis dan menurunkan

* Penulis untuk korespondensi. e-mail: azkia_khairunnisa@yahoo.co.id

pembentukan bintil akar, mengurangi ukuran bintil akar dan fiksasi N (Serraj and Sinclair, 2003; Streeter, 2003; Tajima *et al.*, 2004; Sinclair *et al.*, 2007).

Simbiosis antara *B. japonicum* dan akar kedelai merupakan hal kompleks, terkoordinasi dan diatur oleh pertukaran sinyal molekuler. Flavonoid, baik dalam eksudat akar maupun yang dilepaskan dari kulit biji saat perkecambahan, bertindak sebagai penginduksi gen spesifik untuk ekspresi nod (*nodulation*) gen dalam rhizobia yang kompatibel (Subramanian *et al.*, 2006; Sugiyama *et al.*, 2008; Brechenmacher *et al.*, 2010). Genistein merupakan jenis isoflavon utama pada eksudat akar kedelai yang sangat penting dalam simbiosis antara legume dengan bakteri *B. japonicum* karena berperan sebagai penginduksi pada beberapa sistem nod gen bakteri (Kosslak *et al.*, 1987; Dolatabadian *et al.*, 2012; Lang *et al.*, 2008). Sebagai hasilnya, bakteri memproduksi lipo-oligosakarida *nod factors* yang mempresisi struktur yang menentukan rentang inang dan spesifikasi asosiasi dan induksi respons tanaman sehingga pembentukan bintil akar menjadi lengkap (Geurts *et al.*, 2005; Napoles, *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2012).

Penambahan genistein terhadap inokulan *Bradyrhizobium* telah terbukti meningkatkan jumlah dan bobot kering bintil akar serta fiksasi N pada kedelai pada suhu rendah (Zhang dan Smith, 1996). Duzan *et al.* (2004) telah mengevaluasi aktivitas biologis nod faktor dari *B. japonicum* yang ditambahkan ke akar kedelai di bawah stress abiotik, melaporkan bahwa penambahan level tinggi nod faktor mampu mengatasi efek pH yang rendah dan stres suhu, tetapi tidak untuk salinitas.

Penelitian peran *B. japonicum* yang diinduksi genistein pada kedelai dalam kondisi cekaman kekeringan belum banyak diteliti. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peran *B. japonicum* yang diinduksi genistein pada produksi dan fisiologi kedelai dalam kondisi cekaman kekeringan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli-Oktober 2011 di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara Medan (USU). Analisis prolin daun dilakukan di Laboratorium Pengujian Litbang Pertanian Cimanggu Bogor. Sebelum penelitian dilakukan perbanyakkan ketiga isolat *B. japonicum* di Laboratorium Biologi Tanah Fakultas Pertanian USU, masing-masing menggunakan media *yeast extract manitol* dalam labu 500 mL yang dikocok 150 rpm pada suhu ruangan selama 48 jam.

Penelitian menggunakan rancangan acak kelompok yang terdiri atas 3 faktor dengan 3 ulangan. Faktor pertama yaitu perlakuan genistein terdiri atas (1) tanpa perlakuan genistein, (2) dengan perlakuan genistein (50 μ M). Faktor kedua yaitu perlakuan *B. japonicum* terdiri atas (1) tanpa *B. japonicum*, (2) *B. japonicum* isolat 1 (3) *B. japonicum* isolat 2, dan (4) *B. japonicum* isolat 3. Faktor ketiga yaitu kondisi lengas tanah terdiri atas (1) 40%, (2) 60%, dan (3) 80% kapasitas lapang (KL). Dengan demikian terdapat 72 satuan percobaan.

Tanah untuk penelitian diambil dari lahan kering Desa Sambirejo, Kecamatan Binjei, Kabupaten Langkat. Sebelum tanam dilakukan pengapuran dengan dolomit 500 kg ha⁻¹ dan diinkubasi selama 3 minggu. Sebanyak 10 kg tanah kering udara dimasukkan ke dalam polibag ukuran 30 cm x 40 cm. Polibag sebelumnya telah dialasi dengan plastik. Kedelai yang digunakan varietas Anjasmoro. Isolat *B. japonicum* yang digunakan merupakan isolat indigenous asal lahan kering Desa Sambirejo, penamaan kode isolat berdasarkan asal isolat di lahan kering. Inokulasi isolat *B. japonicum* dilakukan sesuai dengan perlakuan, dengan cara isolat dicampur dengan benih kedelai sesaat sebelum tanam di tempat teduh pada pagi hari. Isolat bakteri (kerapatan 10⁸ sel mL⁻¹) sebanyak 1 mL polibag⁻¹ juga diberikan kepada tanah dalam polibag. Larutan genistein sebanyak 50 μ M digunakan untuk pre-inkubasi bakteri. Genistein steril ditambahkan ke kultur bakteri *B. japonicum* 24 jam sebelum bakteri diinokulasi pada benih kedelai.

Benih kedelai yang telah dicampur isolat *B. japonicum* sesuai perlakuan ditanam pada polibag sebanyak 2 benih. Penjarangan dilakukan pada 1 minggu setelah tanam (MST) dengan cara menggunting tanaman yang pertumbuhannya kurang baik sehingga terdapat 1 tanaman per polibag. Penetapan kadar air tanah untuk menentukan bobot tanah kering udara yang akan dimasukkan ke dalam polibag dilakukan dengan metode pengeringan (Foth, 2004) sedangkan penetapan kadar air pada kapasitas lapang (KL) dilakukan dengan metode hidrometer Bouyoucos (Foth, 2004). Perlakuan 80% KL dilakukan sejak waktu tanam hingga panen. Pada perlakuan 60% dan 40% KL, pemberian air mula-mula sebanyak 80% KL dilakukan masing-masing sampai 4 MST, setelah itu, tanaman pada polibag disiram dengan volume tertentu sekali sehari untuk mempertahankan kadar air dalam pot hingga mencapai masing-masing perlakuan % KL kembali dengan metode penimbangan. Pemberian pupuk P dan K dengan dosis 150 kg P₂O₅ ha⁻¹ dan 75 kg K₂O ha⁻¹ untuk semua tanaman pada saat tanam. Penyiangan dilakukan secara manual dengan mencabut gulma sesuai dengan kondisi lapangan. Pengendalian serangan hama dan penyakit dilakukan dengan pestisida organik berbahan aktif *Azadirachtin*, Ricin (asam ricin), Polifenol, Alkaloid, Sitral, Eugenol, Annonain, Nikotin, dengan konsentrasi 10 mL L⁻¹ air, dilakukan sore hari pada 4, 6 dan 8 MST. Panen dilakukan setelah kedelai menunjukkan kriteria panen yaitu kulit polong telah berwarna kecoklatan dan batang serta daun telah mengering pada umur 82 hari setelah tanam (HST).

Peubah yang diamati terdiri atas bobot kering tajuk dan akar 6 MST (fase vegetatif akhir), laju asimilasi bersih, jumlah bintil akar efektif, bobot 100 biji kering, bobot biji per tanaman dan kandungan prolin daun. Bobot kering tajuk dan akar merupakan sampel destruktif dengan 3 ulangan sejumlah 1 tanaman setiap perlakuan di luar 3 ulangan yang menjadi tanaman sampel yang tidak didestruktif. Laju asimilasi bersih (LAB) adalah hasil bersih asimilasi (Gardner *et al.*, 1991) dihitung pada 5-6 MST berdasarkan rumus:

$$LAB = \frac{W_2 - W_1}{L_2 - L_1} \times \frac{\ln L_2 - \ln L_1}{T_2 - T_1}$$

Keterangan :

LAB = Laju asimilasi bersih

L₁ = Luas daun pada pengamatan awal (cm²)

L₂ = Luas daun pada pengamatan akhir (cm²)

W₁ = Bobot kering tanaman pada pengamatan awal (g)

W₂ = Bobot kering tanaman pada pengamatan akhir (g)

T₁ = Waktu pada pengamatan awal (hari)

T₂ = Waktu pada pengamatan akhir (hari)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bobot Kering Tajuk dan Akar

Bobot kering tajuk dan akar dipengaruhi oleh interaksi induksi genistein, kondisi lengas tanah dan inokulasi *B. japonicum*. Pemberian genistein (50 µM) pada 80% KL dan tanpa inokulasi *B. japonicum* meningkatkan bobot kering tajuk (159.38%) dibandingkan tanpa induksi genistein dan inokulasi *B. japonicum* pada kondisi lengas tanah 80%. Hal ini mengindikasikan peran genistein dalam meningkatkan bobot kering tajuk pada kadar lengas tanah ideal (80% KL) dan tanpa inokulasi *B. japonicum*. Induksi genistein (50 µM) terlihat berperan meningkatkan toleransi terhadap kekeringan karena pada kondisi lengas tanah 80% dan 60% KL dengan inokulasi *B. japonicum* B3 memberikan bobot kering tajuk yang lebih tinggi dibandingkan tanpa genistein pada kondisi kadar lengas tanah yang sama (Tabel 1).

Interaksi induksi genistein (50 µM) pada 80% KL dan inokulasi *B. japonicum* isolat 3 (0.188 g) meningkatkan bobot kering akar 172.48% dibandingkan tanpa induksi genistein, tanpa inokulasi *B. japonicum* pada 40% KL yang hanya menghasilkan 0.109 g (Tabel 2). Cekaman kekeringan menekan perkembangan tajuk lebih besar dibandingkan perkembangan akar, diduga berkaitan dengan upaya tanaman mempertahankan status air dalam tubuhnya. Sesuai dengan pendapat Hamim *et al.* (1996)

bahwa dalam upaya mempertahankan status air di dalam tubuhnya, tanaman mengurangi kehilangan air melalui daun, sehingga tanaman mengurangi ukuran kanopinya dan tetap mempertahankan perkembangan akarnya sehingga mampu mensuplai air dengan cukup. Cekaman kekeringan menyebabkan tanaman memendek, menekan perkembangan akar dan tajuk kedelai (Hamim *et al.*, 1996; Soepandi *et al.*, 1997). Genistein berperan dalam meningkatkan toleransi terhadap kekeringan, sehingga pertumbuhan tanaman membaik yang diindikasikan dengan peningkatan bobot kering tajuk dan akar (Tabel 1 dan 2). Hal ini sejalan dengan penelitian Sumunar (2003) bahwa induksi isoflavon (*genistein*) meningkatkan toleransi kekeringan pada lahan kering masam dengan adanya peningkatan bobot kering tajuk dan bobot kering akar.

Jumlah Bintil Akar Efektif

Jumlah bintil akar dipengaruhi secara nyata oleh *B. japonicum*, tanpa inokulasi *B. japonicum* jumlah bintil akar yang terbentuk lebih rendah (Tabel 3). Induksi genistein dan kondisi lengas tanah berpengaruh tidak nyata terhadap jumlah bintil akar efektif. Pemberian induksi genistein dengan peningkatan kondisi lengas tanah cenderung meningkatkan jumlah bintil akar efektif. Hal ini mengindikasikan peran genistein dalam mereduksi efek cekaman air pada nodulasi bintil akar kedelai. Napoles (2009) juga melaporkan bahwa genistein sebagai penginduksi bagi *B. japonicum* pada kondisi cekaman kekeringan berperan penting dalam mereduksi efek cekaman air pada nodulasi bintil akar kedelai. Bakteri *B. japonicum* B2 memberikan bintil akar terbanyak (13 bintil) dibandingkan dengan perlakuan *B. japonicum* lainnya (Tabel 3).

Laju Asimilasi Bersih

Laju asimilasi bersih dipengaruhi secara nyata oleh induksi genistein, inokulasi *B. japonicum* dan kondisi lengas

Tabel 1. Bobot kering tajuk kedelai 6 MST karena pengaruh induksi genistein, kondisi lengas tanah dan inokulasi *B. japonicum*

Genistein (µM)	Cekaman kekeringan (% KL)	<i>B. japonicum</i> (B)				Rata-rata
		B0	B1	B2	B3	
.....g.....						
0	40%	1.305jk	1.388ij	1.377ij	1.356ij	1.357
	60%	1.196k	1.551gh	1.253jk	1.657fg	1.414
	80%	1.049l	1.531gh	2.048d	1.546gh	1.543
50	40%	1.763ef	1.720f	1.567gh	1.449hi	1.625
	60%	1.886e	1.797ef	2.473b	2.549b	2.176
	80%	2.721a	2.476b	2.618ab	2.298c	2.528
Rata-rata		1.653	1.744	1.889	1.809	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf berbeda menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf α = 5%. B0 = tanpa inokulasi *B. japonicum*; B1 = inokulasi *B. japonicum* isolat 1; B2 = inokulasi *B. japonicum* isolat 2; B3 = inokulasi *B. japonicum* isolat 3; KL = kapasitas lapang

Tabel 2. Bobot kering akar kedelai 6 MST karena pengaruh induksi genistein, kondisi lengas tanah dan inokulasi *B. japonicum*

Genistein (µM)	Cekaman kekeringan (% KL)	<i>B. japonicum</i> (B)				Rata-rata
		B0	B1	B2	B3	
.....g.....						
0	40%	0.109l	0.135ijk	0.168bc	0.126k	0.135
	60%	0.141hij	0.138hij	0.133jk	0.148fgh	0.140
	80%	0.136ijk	0.144fghi	0.139hij	0.178ab	0.149
50	40%	0.154def	0.127k	0.153efg	0.134ijk	0.142
	60%	0.133jk	0.142hij	0.138hij	0.133jk	0.137
	80%	0.161cde	0.143ghij	0.164cd	0.188a	0.164
Rata-rata		0.139	0.138	0.149	0.151	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf berbeda menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf $\alpha = 5\%$. B0 = tanpa inokulasi *B. japonicum*; B1 = inokulasi *B. japonicum* isolat 1; B2 = inokulasi *B. japonicum* isolat 2; B3 = inokulasi *B. japonicum* isolat 3; KL = kapasitas lapang

tanah. Interaksi antara induksi genistein 50 µM, inokulasi *B. japonicum* isolat 2 pada 60% KL memberikan laju asimilasi bersih tertinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya dan tidak berbeda nyata ketika kadar air ditingkatkan hingga 80% KL (Tabel 4). Secara umum, perlakuan tanpa genistein pada kondisi lengas tanah yang rendah (40% dan 60% KL) dan inokulasi ketiga macam isolat *B. japonicum* menurunkan laju asimilasi bersih. Hal ini mengindikasikan adanya peran genistein bagi kedelai dalam meningkatkan toleransi terhadap kekeringan hingga 60% KL (Tabel 4).

Peningkatan kadar lengas tanah memberikan jaminan semakin membaiknya pertumbuhan kedelai yang diindikasikan dengan peningkatan laju asimilasi bersih, dan keberhasilan proses ini ditunjang oleh induksi genistein.

Bobot Kering Biji per Tanaman

Induksi genistein, inokulasi *B. japonicum* dan kondisi lengas tanah berpengaruh tidak nyata terhadap bobot kering

biji per tanaman. Secara umum, terlihat bahwa induksi genistein dan inokulasi *B. japonicum* pada peningkatan kadar lengas tanah yang lebih besar relatif meningkatkan bobot kering biji per tanaman dibandingkan tanpa induksi genistein, tanpa inokulasi *B. japonicum* pada peningkatan kadar lengas tanah yang sama (Tabel 5). Kondisi ini diduga berkaitan erat dengan fungsi genistein sebagai penginduksi pada simbiosis antara *B. japonicum* dan akar kedelai dan mentoleransi cekaman kekeringan. Efektivitas simbiosis ini berakibat pada peningkatan ketersediaan N yang dibutuhkan tanaman untuk proses pertumbuhan sehingga pembentukan bunga, polong dan biji berlangsung dengan baik. Sadeghipour dan Abbasi (2012); Serraj dan Sinclair (2003) melaporkan bahwa kekeringan menurunkan aktivitas bakteri, walaupun respons tiap spesies bakteri berbeda. Pembentukan bintil akar dan fiksasi N pada kedelai sensitif terhadap kekeringan dan berakibat negatif terhadap hasil kedelai.

Tabel 3. Jumlah bintil akar efektif karena pengaruh induksi genistein, kondisi lengas tanah dan inokulasi *B. japonicum*

Genistein (µM)	Cekaman kekeringan (% KL)	<i>B. japonicum</i> (B)				Rata-rata
		B0	B1	B2	B3	
.....bintil.....						
0	40%	3.33	10.33	11.33	10.11	8.77
	60%	3.67	10.67	11.67	10.67	9.12
	80%	3.67	11.33	12.00	12.00	9.75
50	40%	3.67	12.33	13.33	11.00	10.08
	60%	4.00	11.67	14.00	12.67	10.59
	80%	4.00	13.00	15.67	13.22	11.47
Rata-rata		3.72c	11.56b	13.00a	11.61b	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf berbeda menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf $\alpha = 5\%$. B0 = tanpa inokulasi *B. japonicum*; B1 = inokulasi *B. japonicum* isolat 1; B2 = inokulasi *B. japonicum* isolat 2; B3 = inokulasi *B. japonicum* isolat 3; KL = kapasitas lapang

Tabel 4. Laju asimilasi bersih karena pengaruh induksi genistein, kondisi lengas tanah dan inokulasi *B. japonicum*

Genistein (μ M)	Cekaman kekeringan (% KL)	<i>B. japonicum</i> (B)				Rata-rata
		B0	B1	B2	B3	
.....g cm ⁻² hari ⁻¹						
0	40%	0.00793cd	0.00590de	0.00025g	0.00256efg	0.004
	60%	0.00633de	0.00091g	0.00764cd	0.00002g	0.004
	80%	0.00073g	0.00111fg	0.00474def	0.00245efg	0.002
50	40%	0.00320efg	0.00486def	0.00381efg	0.00248efg	0.004
	60%	0.00145fg	0.00207efg	0.01345a	0.00814bcd	0.006
	80%	0.01252ab	0.00359efg	0.01081abc	0.00261efg	0.007
Rata-rata		0.00536	0.00307	0.00678	0.00304	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf berbeda menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf $\alpha = 5\%$. B0 = tanpa inokulasi *B. japonicum*; B1 = inokulasi *B. japonicum* isolat 1; B2 = inokulasi *B. japonicum* isolat 2; B3 = inokulasi *B. japonicum* isolat 3; KL = kapasitas lapang

Ukuran Biji

Kondisi lengas tanah berpengaruh nyata terhadap ukuran biji yang diekspresikan dengan bobot 50 biji kering. Induksi genistein dan inokulasi *B. japonicum* tidak berpengaruh nyata terhadap ukuran biji. Penurunan kondisi lengas tanah dari 80% hingga 40% nyata menurunkan ukuran biji. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sadeghipour dan Abbasi (2012); Manalavan *et al.* (2009) bahwa bobot 100 biji menurun seiring dengan peningkatan intensitas cekaman kekeringan (penurunan kondisi lengas tanah). Pemberian genistein pada kondisi lengas tanah yang meningkat cenderung meningkatkan bobot 50 biji kering (Tabel 6). Hal ini berkaitan erat dengan peran air dalam fase reproduktif kedelai. Hasil biji kedelai paling sensitif terhadap kekurangan air selama fase reproduktif. Cekaman air mengurangi laju asimilasi bersih, panjang akar, berat kering akar, nisbah akar-tajuk, jumlah akar, tinggi tanaman, berat kering tanaman, jumlah polong dan berat 100 biji (Kiyatno, 1993). Kedelai sangat sensitif terhadap kondisi kekeringan

yang mengakibatkan penurunan hasil dan kualitas biji (Misoumi *et al.*, 2011 dan Shafii *et al.*, 2011), mempercepat mengurangi jumlah polong berisi serta menurunkan hasil biji kedelai (Soepandi *et al.*, 1997).

Kandungan Prolin Daun

Kadar prolin daun cenderung mengalami peningkatan dengan penurunan kondisi lengas tanah yang dialami tanaman kedelai (Tabel 7). Pada kondisi lengas tanah 40% KL, kedelai cenderung meningkatkan kandungan prolin daun sehingga kandungan prolin daun tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan induksi genistein, *B. japonicum* B3 dan kondisi lengas tanah 40% KL yaitu 234.95 ppm.

Peningkatan kandungan prolin daun pada kedelai dengan cekaman kekeringan yang lebih tinggi berkaitan erat dengan peran besar prolin sebagai osmoregulator. Produksi senyawa tersebut secara berlebihan dapat menghasilkan peningkatan toleransi terhadap cekaman kekeringan pada tanaman. Kishor *et al.* (1995) melaporkan bahwa

Tabel 5. Bobot kering biji per tanaman karena pengaruh induksi genistein, kondisi lengas tanah dan inokulasi *B. japonicum*

Genistein (μ M)	Cekaman kekeringan (% KL)	<i>B. japonicum</i> (B)				Rata-rata
		B0	B1	B2	B3	
.....g.....						
0	40 %	2.23	2.68	2.75	2.47	2.53
	60 %	2.65	2.49	2.90	2.56	2.65
	80 %	2.40	2.90	3.13	3.17	2.90
50	40 %	2.42	2.53	2.97	2.86	2.69
	60 %	2.78	2.82	2.58	2.90	2.77
	80 %	2.76	3.67	4.12	3.41	3.49
Rata-rata		2.54	2.85	3.07	2.89	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf berbeda menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf $\alpha = 5\%$. B0 = tanpa inokulasi *B. japonicum*; B1 = inokulasi *B. japonicum* isolat 1; B2 = inokulasi *B. japonicum* isolat 2; B3 = inokulasi *B. japonicum* isolat 3; KL = kapasitas lapang

prolin merupakan salah satu osmolite yang kompatibel dan banyak dipelajari dalam hubungannya dengan osmoregulasi tumbuhan terhadap stres air. Widoretno dan Winarsih (2010) menyatakan bahwa akumulasi prolin dapat digunakan sebagai indikator toleransi kekeringan. Akumulasi protein pada kondisi dehidrasi disebabkan oleh aktivitas biosintesis prolin dan inaktivitas degradasi

prolin. Senyawa osmoprotektan prolin, glisin betain dan osmotikum lainnya dapat digunakan sebagai pembeda tingkat toleransi tanaman terhadap cekaman kekeringan. Tanaman yang mempunyai peningkatan osmotikum yang lebih tinggi diduga lebih toleran dibandingkan tanaman yang peningkatan osmotikunya lebih rendah.

Tabel 6. Bobot 50 biji kering karena pengaruh induksi genistein, kondisi lengas tanah dan inokulasi *B. japonicum*

Genistein (µM)	Cekaman kekeringan (% KL)	<i>B. japonicum</i> (B)				Rata-rata
		B0	B1	B2	B3	
.....g.....						
0	40%	5.02	5.62	5.41	5.15	5.30
	60%	6.15	6.25	6.02	5.82	6.06
	80%	5.23	6.46	6.66	6.17	6.13
50	40%	5.35	5.24	5.53	5.17	5.32
	60%	6.44	6.15	5.56	6.25	6.10
	80%	6.66	6.34	6.44	5.95	6.35
Rata-rata	40%	5.19	5.43	5.47	5.16	5.31b
	60%	6.30	6.20	5.79	6.04	6.08a
	80%	5.95	6.40	6.55	6.06	6.24a
Rata-rata		5.81	6.01	5.94	5.75	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf berbeda menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf $\alpha = 5\%$. B0 = tanpa inokulasi *B. japonicum*; B1 = inokulasi *B. japonicum* isolat 1; B2 = inokulasi *B. japonicum* isolat 2; B3 = inokulasi *B. japonicum* isolat 3; KL = kapasitas lapang

Tabel 7. Kadar prolin daun karena pengaruh induksi genistein, kondisi lengas tanah dan inokulasi *B. japonicum*

Genistein (µM)	Cekaman kekeringan (% KL)	<i>B. japonicum</i> (B)				Rata-rata
		B0	B1	B2	B3	
.....ppm.....						
0	40%	149.11	215.63	214.13	166.47	186.34
	60%	119.43	204.95	142.74	159.68	156.70
	80%	117.41	142.06	118.51	107.62	121.40
50	40%	141.40	201.73	223.41	234.95	200.37
	60%	116.57	185.16	162.51	182.96	161.80
	80%	110.52	132.94	129.18	164.27	134.23
Rata-rata		125.74	180.41	165.08	169.33	

KESIMPULAN

Penurunan kondisi lengas tanah dari 80% KL menjadi 40% KL cenderung menurunkan bobot kering akar, bobot kering tajuk, laju asimilasi bersih, jumlah bintil akar efektif, bobot kering biji per tanaman dan ukuran biji, tetapi kadar prolin daun cenderung meningkat dengan penurunan kondisi lengas tanah. Interaksi induksi genistein, kondisi lengas tanah dan inokulasi *B. japonicum* meningkatkan bobot kering tajuk dan akar. Peningkatan kadar lengas tanah memberikan jaminan semakin membaiknya pertumbuhan kedelai yang

diindikasikan dengan peningkatan laju asimilasi bersih, dan keberhasilan proses ini ditunjang oleh induksi genistein. Perlakuan tanpa genistein pada kondisi lengas tanah yang rendah (40% dan 60% KL) dan inokulasi ketiga macam isolat *B. japonicum* menurunkan laju asimilasi bersih.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan sebagian dari penelitian Hibah Bersaing. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Jenderal Pendidikan

Tinggi yang telah membiayai penelitian ini melalui Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian Hibah Bersaing Tahun Anggaran 2011 Nomor 003/SP2H/PL/E5.2/DITLITABMAS/IV/2011 tanggal 14 April 2011.

DAFTAR PUSTAKA

- Brechenmacher, L., L. Zhentian, L. Marc, F. Seth, S. Masayuki, J.S. Michael, W.S. Lloyd, S. Gary. 2010. Soybean metabolites regulated in root hairs in response to the symbiotic bacterium *Bradyrhizobium japonicum*. *Plant Physiol.* 153:1808-1822.
- Dolatabadian, A., S.A.M.M. Sanavy, F. Ghanati, P.M. Gresshoff. 2012. Morphological and physiological response of soybean treated with the microsymbiont *Bradyrhizobium japonicum* pre-incubated with genistein. *South African J. of Bot.* 79:9-18.
- Duzan, H.M., X. Zhou, A. Souleimanov, D. Smith. 2004. Perception of *Bradyrhizobium japonicum* nod factor by soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] root hairs under abiotic stress conditions. *J. Exp. Bot.* 55:2641-2646.
- Foth, H.D. 2004. *Fundamentals of Soil Science*. J. Willey and Sons. Inc. N.Y.
- Gardner, F.P., R.B. Pearce, R.L. Mitchell. 1991. *Fisiologi Tanaman Budidaya*. Penerjemah: Susilo, H. Jakarta: UI Press.
- Geurts, R., E. Fedorova, T. Bisseling. 2005. Nod factor signaling genes and their function in early stages of *Rhizobium infection*. *Curr. Opin. Plant Biol* 8:346-352.
- Hamim, D. Soepandi, M. Jusuf. 1996. Beberapa karakteristik morfologi dan fisiologi kedelai toleran dan peka terhadap cekaman kekeringan. *Hayati J. Biosci.* 3:30-34.
- Kishor, P.B.K., Z. Hong, G.H. Miao, C.A.A. Hu, P.S. Verma. 1995. Over expression of proline-5-carboxylate synthetase increase proline production and confers osmotolerance in transgenic plants. *Plant Physiol.* 108:1387-1394.
- Kiyatno, 1993. Pengaruh hara kalium atas daya adaptasi tanaman kedelai terhadap stress air pada tanah latosol. Tesis. Pascasarjana Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Kosslak, R.M., R. Bookland, J. Barkei, H.E. Paaren, E.R. Appelbaum. 1987. Induction of *Bradyrhizobium japonicum* common nod genes by isoflavones isolated from *Glycine max*. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 84:7428-7432.
- Lang, K., A. Lindemann, F. Hauser, M. Gottfert. 2008. The genistein stimulon of *Bradyrhizobium japonicum*. *Mol. Genet. Genomics* 279:203-211.
- Lee, H.I., J.H. Lee, K.H. Park, D. Sangurdekar, W.S. Chang. 2012. Effect of soybean coumestrol on *Bradyrhizobium japonicum* nodulation ability, biofilm formation, and transcriptional profile. *Appl. Env. Microbiol.* 78:2896-2903.
- Manalavan, L.P., K.G. Satish, L.S.P. Tran, H.T. Nguyen. 2009. Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. *Plant Cell Physiol.* 50:1260-1276.
- Misoumi, H., F. Darvish, J. Daneshian, G. Normohammadi, D. Habibi, 2011. Effects of water deficit stress on seed yield and antioxidants content in soybean (*Glycine max* L.) cultivars. *Afr. J. Agric. Res.*, 6: 1209-1218.
- Morgan, J., G. Bending G., P. White. 2005. Biological costs and benefits to plant-microbe interactions in the rhizosphere. *J. Exp. Bot.* 56:729-1739.
- Napoles, M.C., E. Guevara, F. Montero, A. Rossi, A. Ferreira. 2009. Role of *Bradyrhizobium japonicum* induced by genistein on soybean stressed by water deficit. *Spanish J. of Agric. Research* 7:665-671.
- Sadeghipour, O., S. Abbasi. 2012. Soybean response to drought and seed inoculation *World Appl. Sci. J.* 17:55-60.
- Serraj, R., T.R. Sinclair. 2003. Effects of drought stress on legume symbiotic nitrogen fixation : Physiological mechanisms. *Indian J. Exp. Biol.* 41:1136-1141.
- Shafii, F., A. Ebadi, K.S. Golloje, A. Eshghi Gharib. 2011. Soybean response to nitrogen fertilizer under water deficit conditions. *Afr. J. Biotechnol.* 10:3112-3120.
- Sinclair, T.R., L.C. Purcell, C.A. King, C.H. Sneller, P. Chen, V. Vadez. 2007. Drought tolerance and yield increase of soybean resulting from improved symbiotic N fixation. *Field Crops Res.* 101:68-71.
- Soepandi, D. Hamim, M. Jusuf, Supijatno. 1997. Toleransi tanaman kedelai terhadap cekaman air: uji lapang beberapa genotipe toleran. *Bul. Agron.* 25:10-14.

- Streeter, J.G. 2003. Effect of drought on nitrogen fixation in soybean root nodules. *Plant Cell Environ.* 26:1199-1204.
- Subramanian, S., G. Stacey, O. Yu. 2006. Endogenous isoflavones are essential for the establishment of symbiosis between soybean and *Bradyrhizobium japonicum*. *Plant J.* 48:261-273.
- Sumunar, A.I. 2003. Kompatibilitas dan daya kompetisi *Rhizobium* yang diberi penginduksi gen nod pada berbagai varietas kedelai di lahan kering masam. *Warta Balitbio* No. 21, April 2003.
- Sugiyama, A., N. Shitan, K. Yazaki. 2008. Signaling from soybean roots to rhizobium, an ATP-binding cassette-type transporter mediates genistein secretion. *Adendum. Plant Signal. Behav.* 3:38-40.
- Tajima, S., M. Nomura, H. Kouchi. 2004. Ureide biosynthesis in legume nodules. *Front Biosci.* 9:374-1381.
- Widoretno, W., L. Winarsih. 2010. Pengaruh stres kekeringan pada fase vegetatif terhadap kandungan prolin, gula total terlarut pada beberapa genotip kedelai [*Glycine max* (L.) Merr.] *J. Ilmu-ilmu Hayati (Life Sciences)* 22:1-7.
- Zhang, F., D. Smith. 1996. Genistein accumulation in soybean [*Glycine max* (L) Merr.] root system under suboptimal root zone temperature. *J. Exp. Bot.* 47:785-792.