Hayati, Juni 2002, hlm. 33-36
ISSN 0854-8587

Efektivitas Polietilena Glikol untuk Mengevaluasi Tanggapan Genotipe Kedelai terhadap Cekaman Kekeringan pada Fase Perkecambahan

Effectiveness of Polyethylene Glycol for Evaluating Response of Soybean at Germination Stage Against Drought Stress

WAHYU WIDORETNO[1‡], EDI GUHARDJA[2], SATRIYAS ILYAS[1], SUDARSONO[1*]

[1]*Jurusan Budi Daya Pertanian, Faperta, Institut Pertanian Bogor, Kampus Darmaga, Bogor 16680*
[2]*Jurusan Biologi, FMIPA, Institut Pertanian Bogor, Bogor 16144*

Diterima 18 Mei 2001/Disetujui 14 November 2001

The objectives of this experiment were to evaluate responses of soybean genotype to drought stress generated by polyethylene glycol (PEG) supplementation at germination stage. Evaluations were conducted using four soybean genotypes (MLG2999, MLG2805, B3731, and MSC8606) and two soybean varieties (Dieng and Kerinci). The results indicated that supplementation of PEG in the germination medium reduced germination responses of the soybean seeds. Drought tolerance soybean exhibited different germination responses than that of drought sensitive one. Soybean genotypes that were drought tolerance showed higher index of seed emmergence at 20% PEG, root length at 10% PEG, seedling dry weight and hypocotyl length at 5% PEG, respectively, than the sensitive one. This result confirmed MLG2805 as drought tolerance, and MSC8606 as drought sensitive representatives soybean genotypes. Index of seed emmergence at 20% PEG and index of hypocotyls length at 5% PEG can be used to select drought resistance soybean at germination stage.

PENDAHULUAN

Cekaman kekeringan merupakan salah satu kendala pada budi daya kedelai. Besarnya penurunan hasil biji akibat cekaman kekeringan bergantung pada fase pertumbuhan dan spesies tanaman. Pada tanaman sayuran, cekaman terjadi pada potensial air berkisar -0.5 MPa. Untuk tanaman pangan dan hijauan ternak, pertumbuhan yang baik masih dapat terjadi pada kondisi potensial air mendekati -1.6 MPa. Cekaman -0.06 MPa pada kedelai dilaporkan telah menghambat proses perkecambahan benih (Heatherly & Russel 1979).

Pengembangan kultivar kedelai toleran cekaman kekeringan melalui pendekatan pemuliaan tanaman merupakan salah satu alternatif prospektif. Upaya tersebut dapat dilakukan jika tersedia sumber genetika dan metode seleksi yang efektif. Metode seleksi untuk cekaman kekeringan yang telah dikembangkan ialah perlakuan kekeringan di lapangan (Sloane *et al.* 1990, Carter & Rufty 1992, Rosario *et al.* 1993, Thomas *et al.* 1996, Sneller & Dombek 1997). Metode tersebut mempunyai kelemahan, antara lain: sulitnya menjaga keseragaman tekanan seleksi yang diberikan dan lamanya waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan seleksi.

Larutan polietilena glikol (PEG) dilaporkan mampu menahan air sehingga menjadi tidak tersedia bagi tanaman (Michel & Kaufmann 1973, El Sharkawi 1993, Dami & Hughes 1997). Besarnya kemampuan larutan PEG untuk menahan air tersebut bergantung pada bobot molekul dan konsentrasinya (Mexal *et al*. 1975), sifatnya yang larut dalam air, tidak toksik terhadap tanaman, dan tidak mudah diserap menjadikan PEG sebagai senyawa yang efektif untuk menirukan kondisi kekeringan (Mullahey *et al.* 1996, Dami & Hughes 1997, Kaur *et al*. 1998).

Dengan larutan PEG, cekaman kekeringan dapat diterapkan secara homogen terhadap populasi tanaman yang diseleksi sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan mengidentifikasi individu yang diseleksi (*false positive*). Metode seleksi yang dikembangkan dengan larutan PEG diduga dapat mengidentifikasi tanggap tanaman kedelai terhadap cekaman kekeringan, baik pada fase perkecambahan ataupun pada fase pertumbuhan yang lain. Tujuan percobaan ini menilai tanggap genotipe kedelai terhadap cekaman kekeringan pada tingkat perkecambahan dan menentukan efektivitas PEG sebagai simulasi cekaman kekeringan.

BAHAN DAN METODE

Bahan Tanaman dan Perlakuan PEG. Percobaan dilakukan dengan rancangan lingkungan acak lengkap faktorial. Faktor pertama ialah empat genotipe kedelai (MLG2999, MLG2805, B3731, dan MSC8606) dan dua

‡ Alamat kini: Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Brawijaya, Jalan Veteran 16, Malang 65145
* Penulis untuk korespondensi, Tel. +62-251-377557, Fax. +62-251-629352, E-mail: pertaipb@bogor.indo.net.id

kultivar unggul (Dieng dan Kerinci). Faktor kedua ialah konsentrasi PEG terdiri atas: 5%, 10%, 15%, dan 20% masing-masing setara dengan potensial air -0.03, -0.19, -0.41, dan -0.67 MPa (Mexal *et al*. 1975). Perlakuan pemberian air steril (PEG 0%) digunakan sebagai pembanding. Setiap kombinasi perlakuan diulang empat kali. Genotipe MLG2999, MLG2805, dan B3731 dilaporkan toleran terhadap cekaman kekeringan. Sebaliknya, genotipe MSC8606 merupakan genotipe kedelai yang sensitive terhadap cekaman kekeringan (Sopandie *et al*. 1996).

Pengujian Perkecambahan. Pengujian perkecambahan dilakukan dengan 25 benih untuk tiap kombinasi perlakuan. Benih dari setiap genotipe kedelai yang diuji dikecambahkan dalam media kertas saring (3M *filter paper*) yang dibasahi dengan larutan PEG atau air steril sesuai perlakuan. Pengecambahan dilakukan dengan metode uji kertas digulung didirikan dalam plastik (UKDdp) dan benih yang dikecambahkan diinkubasikan di dalam alat pengecambah benih (APB) IPB72-1. Daya berkecambah ditentukan pada hari ke-3 dan ke-5, sedangkan potensial tumbuh maksimum ditentukan pada hari ke-5 sesudah pengecambahan. Panjang akar, panjang hipokotil, dan bobot kering kecambah normal ditentukan pada hari ke-5 sesudah pengecambahan.

Pengamatan dan Analisis Data. Pengamatan dilakukan terhadap berbagai peubah perkecambahan yang meliputi: potensial tumbuh maksimum (PTM), daya berkecambah (DB), dan bobot kering kecambah (BKK), serta peubah panjang akar (PA), dan panjang hipokotil (PH). Potensial tumbuh maksimum dihitung berdasarkan persentase seluruh benih yang berkecambah (kecambah normal dan kecambah abnormal) pada hari ke-5 setelah perkecambahan. Daya berkecambah dihitung berdasarkan persentase kecambah normal yang diamati pada hari ke-3 dan ke-5. Bobot kering kecambah ditentukan dengan mengeringkan kecambah normal dalam oven bersuhu 60^{0}C selama 3 x 24 jam. Panjang akar diukur dari pangkal hipokotil sampai dengan ujung akar terpanjang. Panjang hipokotil ditentukan dari poros embrio sampai dengan batas akar. Semua peubah yang diamati ditentukan indeksnya, yaitu nilai relatif peubah pengamatan pada perlakuan PEG tertentu dibandingkan dengan pengamatan pada perlakuan pembanding.

HASIL

Pengaruh Konsentrasi PEG pada Perkecambahan Kedelai. Pemberian larutan PEG pada media perkecambahan nyata berpengaruh negatif terhadap proses perkecambahan benih kedelai. Tanggap peubah perkecambahan ditentukan oleh konsentrasi PEG yang digunakan (Tabel 1). Pengaruh nyata mulai terlihat pada perlakuan 20% PEG untuk peubah potensial tumbuh maksimum (PTM), 15% PEG untuk daya berkecambah (DB), 10% PEG untuk panjang hipokotil (PH), dan 5% untuk peubah bobot kering kecambah (BKK) dan panjang akar (PA). Penurunan berbagai peubah perkecambahan yang diamati bukan karena mutu benih awal yang kurang baik, perlakuan 0% PEG (kontrol) lot benih yang diuji mempunyai DB rata-rata sebesar 96.2% (Tabel 1).

Tanggap Genotipe Kedelai terhadap Simulasi Kekeringan dengan PEG. Masing-masing genotipe kedelai yang diuji mempunyai tanggap yang berbeda pada berbagai konsentrasi PEG yang digunakan (Tabel 2). Pemberian PEG sampai dengan konsentrasi 10% tidak diperoleh perbedaan pada peubah potensial tumbuh maksimum, daya berkecambah, dan panjang akar antara genotipe toleran dan peka terhadap kekeringan. Pada konsentrasi PEG 15%, genotipe MLG2999 dan Kerinci memperlihatkan potensial tumbuh maksimum

Tabel 1. Pengaruh konsentrasi polietilena glikol (PEG) terhadap potensial tumbuh maksimum (PTM), daya berkecambah (DB), bobot kering kecambah (BKK), panjang akar (PA), dan panjang hipokotil (PH) dari kecambah kedelai

PEG (%)	PTM (%)	DB (%)	BKK (g)	Panjang (cm)	
				Akar	Hipokotil
0	98.8a	96.2a	0.6a	13.3a	10.7a
5	99.2a	97.2a	0.5b	13.1a	6.2b
10	98.8a	88.8a	0.3c	11.5b	3.0c
15	89.7a	36.3b	0.1d	7.2c	1.0d
20	40.8b	1.3c	0.0e	0.0d	0.0e

Sebelum dianalisis, data PTM dan DB telah ditransformasi dengan $\sqrt{\arcsin x + 0.5}$ sedangkan untuk BKK, panjang hipokotil dan panjang akar dengan $\sqrt{x + 0.5}$. Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada masing-masing peubah perkecambahan tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan 5%

Tabel 2. Pengaruh perlakuan cekaman kekeringan yang disimulasikan oleh perlakuan polietilena glikol (PEG) terhadap berbagai peubah perkecambahan beberapa genotipe kedelai

Konsentrasi PEG (%)	MLG2805	MLG2999	B3731	MSC8606	Dieng	Kerinci
			Potensial tumbuh maksimum (%)			
0	97a	99a	100a	99a	99a	99a
5	99a	98a	100a	99a	100a	99a
10	100a	98a	100a	99a	98a	98a
15	99a	79a	99a	90a	95a	76a
20	88a	15b	6b	14b	73a	49b
			Daya berkecambah (%)			
0	96a	96a	95a	96a	96a	98a
5	99a	96a	97a	97a	99a	95a
10	97a	96a	96a	84a	71a	89a
15	68b	14b	54b	43b	35b	4b
20	0c	0b	0c	0c	0c	0b
			Bobot kering kecambah (g)			
0	0.5a	0.6a	0.5a	0.6a	0.5a	0.7a
5	0.5a	0.5a	0.5a	0.4b	0.5a	0.5b
10	0.3b	0.3b	0.3b	0.3b	0.2b	0.3c
15	0.2c	0.0c	0.1c	0.1c	0.1c	0.0d
20	0.0d	0.0c	0.0c	0.0c	0.0c	0.0d
			Panjang akar (cm)			
0	12.9a	12.6a	12.8a	14.3a	14.0a	13.2a
5	13.0a	13.2a	12.9a	13.1a	13.3a	12.9a
10	12.7a	12.5a	12.1a	11.0a	10.1ab	10.2a
15	10.3a	5.1b	9.2a	7.0b	7.0b	4.5b
20	0.0b	0.0c	0.0b	0.0c	0.0c	0.0c
			Panjang hipokotil (cm)			
0	12.2a	10.4a	10.0a	10.8a	11.5a	9.1a
5	8.6a	6.4b	5.0b	5.0b	7.2b	5.0b
10	4.0b	3.0c	2.9c	2.7c	3.0c	2.4c
15	1.7c	0.7d	1.1d	1.1d	0.9d	0.6d
20	0.0d	0.0d	0.0e	0.0e	0.0d	0.0d

Sebelum dianalisis, data potensial tumbuh maksimum dan daya berkecambah telah ditransformasi dengan $\sqrt{\arcsin x + 0.5}$ sedangkan untuk bobot kering kecambah, panjang hipokotil dan panjang akar dengan $\sqrt{x + 0.5}$. Angka dalam kolom yang diikuti oleh huruf yang sama pada masing-masing peubah perkecambahan tidak berbeda nyata berdasarkan uji jarak berganda Duncan 5%

lebih rendah (di bawah 80%) dibandingkan dengan genotipe kedelai lainnya. Pemberian PEG 20% menyebabkan benih tidak berkecambah. Perbedaan peubah daya berkecambah dan panjang akar antara genotipe toleran dan peka terlihat pada pemberian PEG 15%. Perbedaan respons antara galur yang toleran dan yang peka untuk peubah bobot kering kecambah dan panjang hipokotil terlihat pada pemberian PEG 5%.

Tanggap perkecambahan genotipe B3731 mengikuti pola genotipe MLG2805 untuk peubah daya berkecambah, bobot kering kecambah, dan panjang akar. Tanggap kedelai kultivar Dieng mengikuti pola genotipe MLG2805 untuk peubah potensi tumbuh maksimum dan bobot kering kecambah, sedangkan tanggap MLG2999 yang mengikuti MLG2805 hanya untuk peubah bobot kering kecambah saja. Tanggap perkecambahan kultivar Kerinci mengikuti pola genotipe MSC8606. Genotipe B3731 dan MLG2999 dilaporkan toleran cekaman kekeringan (Sopandie *et al*. 1996). Penurunan untuk peubah perkecambahan dari kultivar Dieng selalu lebih rendah dibandingkan dengan yang diamati pada kultivar Kerinci. Penelusuran hasil penelitian sebelumnya untuk tanggap kedua kultivar kedelai ini terhadap cekaman kekeringan di lapangan sejauh ini tidak berhasil ditemukan.

Penggunaan PEG untuk Seleksi Kekeringan pada Kedelai. Genotipe kedelai yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai perbedaan dalam ukuran benih, oleh karena itu pengamatan terhadap beberapa peubah perkecambahan tidak bisa langsung digunakan untuk menilai tanggap terhadap cekaman kekeringan. Untuk menghilangkan kelemahan tersebut dilakukan penghitungan indeks terhadap peubah perkecambahan yang diamati.

Penyusunan indeks didasarkan atas perubahan peubah perkecambahan sebagaimana tertera pada Tabel 3. Atas dasar nilai tersebut maka indeks potensial tumbuh maksimum yang diukur pada konsentrasi PEG 20% (indeks PTM), indeks daya berkecambah pada PEG 15% (indeks DB), indeks bobot kering kecambah (indeks BKK) dan indeks panjang hipokotil (indeks PH) pada PEG 5% digunakan sebagai indikator toleransi atau sensitivitas suatu genotipe kedelai terhadap cekaman kekeringan. Semakin tinggi nilai indeks suatu peubah menunjukkan genotipe yang diuji lebih toleran terhadap cekaman kekeringan.

Genotipe kedelai MLG2805 yang dilaporkan toleran cekaman kekeringan memiliki nilai indeks perkecambahan konsisten tertinggi dibandingkan genotipe lainnya, kecuali pada indeks BKK bernilai setingkat dengan kultivar Dieng. Sebaliknya, genotipe MSC8606 yang dilaporkan peka cekaman kekeringan memiliki indeks perkecambahan konsisten terendah dibandingkan genotipe lainnya, kecuali pada indeks DB bernilai lebih tinggi dari genotipe B3731 dan MLG2805 (Tabel 3 dan Tabel 4).

Genotipe MLG2999 yang dilaporkan toleran terhadap cekaman kekeringan mempunyai indeks PTM, indeks DB dan indeks PH yang sama atau lebih rendah dengan genotipe MSC8606, tetapi mempunyai indeks BKK yang lebih tinggi dari MSC8606. Sebaliknya, genotipe B3731 yang juga dilaporkan toleran terhadap cekaman kekeringan mempunyai indeks untuk berbagai peubah perkecambahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan genotipe MSC8606, kecuali pada indeks PTM bernilai lebih rendah dari genotipe MSC8606 (Tabel 3 dan Tabel 4).

Indeks perkecambahan kultivar Dieng konsisten lebih tinggi dibandingkan dengan genotipe MSC8606, kecuali pada indeks DB bernilai lebih rendah dari genotipe MSC8606. Indeks PTM, indeks BKK, dan indeks PH untuk kultivar Dieng mendekati pola indeks pola indeks dari genotipe MLG2805, sedangkan indeks DB untuk kultivar Dieng mendekati pola indeks genotipe MSC8606. Untuk kultivar Kerinci, indeks PTM, indeks BKK, dan indeks PH juga konsisten lebih tinggi dibandingkan indeks genotipe MSC8606, sedangkan indeks DB-nya lebih rendah dari genotipe MSC8606 (Tabel 3 dan Tabel 4).

PEMBAHASAN

Perkecambahan merupakan fase pertumbuhan yang diketahui sensitif terhadap cekaman kekeringan. Agar perkecambahan dapat terjadi dengan baik, benih kedelai harus mampu menyerap air sehingga mencapai bobot 1.5 kali bobot kering benih. Benih kedelai akan menurun daya berkecambahnya jika ditanam di tanah dengan kondisi air tanah kurang dari setengah kapasitas lapang (Raper & Kramer 1987). Heatherly dan Russel (1979) menunjukkan potensi tumbuh maksimum yang tinggi untuk benih kedelai tidak akan tercapai jika potensi air pada media tanahnya kurang dari -0.06 MPa.

Tabel 3. Indeks potensial tumbuh maksimum (PTM) dan indeks daya berkecambah (DB) yang dapat digunakan sebagai peubah untuk menduga tanggap genotipe kedelai terhadap cekaman kekeringan yang disimulasikan dengan polietilena glikol (PEG)

Genotipe kedelai	Indeks PTM* (relatif terhadap PEG 0%)			Indeks DB* (relatif terhadap PEG 0%)		
	PEG 0%	PEG 20%	Penurunan	PEG 0%	PEG 15%	Penurunan
MLG2805	100	90.7	9.3	100	70.8	29.2
MLG2999	100	15.2	84.8	100	14.6	85.4
B3731	100	6.0	94.0	100	56.8	43.2
MSC8606	100	13.6	86.4	100	44.8	55.2
Dieng	100	73.7	26.3	100	36.5	63.5
Kerinci	100	49.5	50.5	100	4.1	95.9

* Indeks PTM dihitung dengan rumus: PTM pada PEG 20% dibagi dengan PTM pada PEG 0% dikalikan 100. Penghitungan dengan cara yang sama digunakan untuk peubah indeks DB

Tabel 4. Indeks bobot kering kecambah (BKK) dan indeks panjang hipokotil (PH) yang dapat digunakan sebagai peubah untuk menduga tanggap genotipe kedelai terhadap cekaman kekeringan yang disimulasikan dengan polietilena glikol (PEG)

Genotipe kedelai	Indeks BKK* (relatif terhadap PEG 0%)			Indeks PH* (relatif terhadap PEG 0%)		
	PEG 0%	PEG 5%	Penurunan	PEG 0%	PEG 5%	Penurunan
MLG2805	100	90.1	99	100	70.8	29.2
MLG2999	100	80.9	19.1	100	61.7	38.3
B3731	100	84.0	16.0	100	50.4	49.6
MSC8606	100	59.8	40.2	100	46.4	53.6
Dieng	100	94.2	5.8	100	62.7	37.3
Kerinci	100	76.5	23.5	100	54.8	45.2

* Indeks BKK dihitung dengan rumus: BKK pada PEG 5% dibagi dengan BKK pada PEG 0% dikalikan 100. Penghitungan dengan cara yang sama digunakan untuk peubah indeks PH

Perkecambahan benih kedelai menurun akibat meningkatnya konsentrasi PEG pada media perkecambahan. Hal ini diduga terjadi akibat terhambatnya proses pembelahan sel, pemanjangan sel, atau keduanya akibat cekaman kekeringan yang disimulasikan dengan PEG. Menurunnya transportasi sukrosa dari kotiledon ke poros embrio pada benih *Cicer arientinum* yang berkecambah juga diamati dalam penelitian sebelumnya (Kaur *et al*. 1998). Pada kedelai panjang hipokotil kecambah lebih sensitif terhadap cekaman kekeringan dibandingkan dengan panjang akar kecambah. Cekaman kekeringan yang disimulasikan dengan PEG juga dilaporkan berpengaruh negatif terhadap panjang dan bobot kering epikotil dan hipokotil kecambah *C. arientinum* (Kaur *et al.* 1998).

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa genotipe kedelai yang toleran dan yang peka cekaman kekeringan mempunyai tanggap yang berbeda terhadap simulasi cekaman kekeringan oleh PEG pada konsentrasi tertentu. Genotipe kedelai yang toleran cekaman kekeringan (MLG2805) mempunyai indeks PTM, indeks DB, indeks BKK, dan indeks PH yang tinggi. Sebaliknya, genotipe kedelai yang peka (MSC8606) mempunyai indeks PTM, indeks DB, indeks BKK, dan indeks PH yang rendah.

Di antara empat indeks perkecambahan yang dapat digunakan untuk menilai respons kedelai terhadap cekaman kekeringan, indeks BKK (PEG 10%) merupakan peubah yang tidak direkomendasikan mengingat pengukuran BKK bersifat destruktif. Indeks DB tidak disarankan untuk digunakan mengingat peubah perkecambahan ini biasanya digunakan untuk mengukur kualitas fisiologi benih dalam media perkecambahan yang optimum. Indeks PTM pada konsentrasi PEG 20% dan indeks PH pada konsentrasi PEG 5% merupakan peubah yang dapat diamati dengan mudah dan dapat digunakan untuk menilai respons kedelai terhadap cekaman kekeringan.

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa PEG dapat menghambat proses perkecambahan kedelai yang ditandai dengan menurunnya potensi tumbuh maksimum, daya berkecambah, bobot kering kecambah, panjang akar, dan panjang hipokotil. Indeks PTM pada 20% PEG dan indeks PH pada 5% PEG dapat digunakan sebagai media seleksi kedelai untuk toleransi terhadap kekeringan di tingkat perkecambahan.

Hasil evaluasi pada benih kedelai tersebut mendukung data yang telah dilaporkan sebelumnya. Pada pengujian benih cabai dan terong, penurunan daya berkecambah dalam media dengan PEG dapat digunakan untuk menduga tanggap genotipe cabai dan terong yang diuji terhadap cekaman kekeringan. Larutan PEG dengan potensial air -0.3 MPa diketahui optimum untuk menentukan tanggap genotipe cabai dan terong terhadap cekaman kekeringan. Dalam kondisi ini, genotipe yang daya berkecambahnya tinggi merupakan genotipe yang toleran, sedangkan yang rendah merupakan genotipe yang peka terhadap cekaman kekeringan (Krishnasamy & Irulappan 1993).

Simulasi cekaman kekeringan menggunakan PEG menjadi alternatif metode untuk menapis genotipe yang toleran kekeringan. Metode ini mampu menapis genotipe kedelai toleran kekeringan dengan cepat, memberikan lingkungan seleksi yang homogen, serta mengevaluasi genotipe kedelai dalam jumlah banyak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagian penelitian ini dibiayai oleh Riset Unggulan Terpadu (RUT) - VIII, Dewan Riset Nasional, Kantor Menteri Negara Riset dan Teknologi, Republik Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Carter TE, Rufty TW. 1992. Soybean plant introduction exhibiting drought and aluminium tolerance. Di dalam: *Proceeding Adaptation of food crops to temperature and water stress. AVRDC*. Taipei, 13-18 Agu 1992. hlm 335-346.

Dami I, Hughes H. 1997. Effects of PEG-induced water stress on *in vitro* hardening of "Valiant" grape. *Plant Cell Tiss Org Cult* 47:97-101.

El-Sharkawi HM. 1993. Temperature effects on the germination of some crop plant seeds under two type of stress. Di dalam: *Proceeding Adaptation of food crops to temperature and water stress. AVRDC*. Taipei, 13-18 Agu 1992. hlm 91-99.

Heatherly CD, Russel WJ. 1979. Effects of soil water potensial of two soils on soybean emergence. *Agron J* 71:980-982.

Kaur S, Gupta AK, Kaur N. 1998. Gibberillic acid and kinetin partially reverse the effect of water stress on germination and seedling growth in chickpea. *Plant Growth Reg* 25:29-33.

Krishnasamy V, Irulappan I. 1993. Germination response to water stress in the seeds of hot papper and eggplant genotypes. Di dalam: *Proceeding Adaptation of food crops to temperature and water stress. AVRDC*. Taipei, 13-18 Agu 1992. hlm 100-105.

Mexal J, Fisher JT, Osteryoung J, Patrick Reid CP. 1975. Oxygen availability in polyethylene glycol solutions and its implications in plant-water relation. *Plant Physiol* 55:20-24.

Michel BE, Kaufmann MR. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiol* 57:914-916.

Mullahey JJ, West SH, Cornell JA. 1996. Effects of simulated drought by polyethylene glycol on bahia grass germination. *Seed Sci Technol* 24:219-224.

Raper CD, Kramer PJ. 1987. Stress physiology. Di dalam: Wilcox JR (ed). *Soybeans: Improvement, Production and Uses*. Ed ke-2. New York: American Society of Agronomy. hlm 589-625.

Rosario DAD, Ocampo EM, Sumague AC, Paje MCM. 1993. Adaptation of vegetable legumes to drought stress. Di dalam: *Proceeding Adaptation of food crops to temperature and water stress. AVRDC*. Taipei, 13-18 Agu 1992. hlm 360-371.

Sloane RJ, Patterson RP, Carter TE. 1990. Field drought tolerance of a soybean plant introduction. *Crop Sci* 30:118-123.

Sneller CH, Dombek D. 1997. Use of irrigation in selection for soybean yield potential under drought. *Crop Sci* 37:1141-1147.

Sopandie D, Hamim, Jusuf M, Heryani N. 1996. Toleransi tanaman kedelai terhadap cekaman air: akumulasi prolin dan asam absisik dan hubungannya dengan potensial osmotik daun dan penyesuaian osmotic. *Bul Agron* 24:6-9.

Thomas H, Dalton SJ, Evans C, Cholton KH, Thomas ID. 1996. Evaluating drought resistance in germplasm of meadow fescue. *Euphytica* 92:401-411.