

# Beberapa Karakteristik Morfologi dan Fisiologi Kedelai Toleran dan Peka terhadap Cekaman Kekeringan

## (Some Morphological and Physiological Characteristics of Tolerant and Sensitive Soybean to Drought Stress)

HAMIM<sup>1</sup>, DIDY SOPANDIE<sup>2</sup>, DAN MUHAMMAD JUSUF<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Biologi FMIPA IPB, Jl. Raya Pajajaran Bogor 16144

<sup>2</sup>Jurusan Budi Daya Pertanian Faperta IPB, Jl. Raya Pajajaran Bogor 16144

Diterima 1 Mei 1996/Disetujui 31 Mei 1996

Changes in morphological and physiological characteristics of soybeans (*Glycine mar* L.) were analysed in response to drought stress. Fifteen drought-tolerant genotypes and 3 drought-sensitive genotypes were subjected to drought condition by regulating water supply in greenhouse. The morphological and physiological responses were identified by measuring root length, shoot and root dry-weight, root to shoot ratio, leaf osmotic-potential, and free-proline content in the leaf. Most of the tolerant genotypes had root-systems longer and weightier than the sensitive genotypes under drought condition. The drought stress tended to cause leaf osmotic-potential of some tolerant genotypes decreased, and proline accumulation increased slightly.

### PENDAHULUAN

Indonesia memiliki lahan kering yang cukup luas dibandingkan dengan lahan berpengairan dan cukup potensi bagi pengembangan tanaman palawija seperti kedelai. Namun, kendala kekurangan air terutama pada musim kemarau sering menyebabkan terjadinya cekaman kekeringan yang mengakibatkan rendahnya produksi kedelai. Oleh karena itu, perhatian ke arah pengembangan plasma nutfah kedelai yang toleran terhadap cekaman kekeringan sangatlah diperlukan.

Seleksi terhadap galur kedelai yang telah ada merupakan salah satu langkah yang baik untuk mengetahui kedelai yang tahan terhadap cekaman kekeringan. Akan tetapi, kedelai yang toleran terhadap kekeringan belum tentu memiliki sifat unggul lain yang diharapkan sehingga diperlukan langkah-langkah untuk perbaikan genetika lebih lanjut sesuai dengan yang diinginkan.

Untuk mendukung program pemuliaan tersebut diperlukan informasi yang mendasar mengenai ciri morfologi dan fisiologi yang berkaitan dengan ketahanan terhadap cekaman kekeringan sehingga proses seleksi dapat berjalan secara efisien dan efektif. Selain itu pengetahuan tersebut juga sangat bermanfaat dalam membantu menentukan strategi pengembangan kedelai yang toleran terhadap cekaman kekeringan pada masa yang akan datang.

Telah banyak dipelajari berbagai respons morfologi dan fisiologi tanaman yang berkaitan dengan mekanisme ketahanan terhadap kekeringan. Turner (1979) menyatakan bahwa toleransi tanaman terhadap cekaman kekeringan dapat melalui

beberapa mekanisme, yaitu: (i) melepaskan diri dari cekaman kekeringan (drought escape), (ii) bertahan terhadap kekeringan dengan tetap mempertahankan potensi air yang tinggi dalam jaringan (Levitt, 1972 dan Arnon, 1975) atau yang biasa dikenal sebagai mekanisme menghindar dari kekeringan (*drought avoidance*) (Jones et al., 1981), dan (iii) bertahan terhadap kekeringan dengan potensi air jaringan yang rendah. Menurut Kasper et al. (1984) peningkatan panjang dan volume akar merupakan respons morfologi yang penting dalam beradaptasi terhadap cekaman kekeringan. Respons lainnya ialah peningkatan akumulasi zat-zat terlarut (Morgan, 1984), kemampuan akumulasi prolina pada daun (Yamada dan Fukutoku, 1983), dan peningkatan kadar ABA daun (Bray, 1988).

Percobaan ini bertujuan untuk mempelajari karakter dari beberapa galur kedelai yang toleran dan peka terhadap cekaman kekeringan dalam hal bobot kering tajuk, panjang dan bobot kering akar, potensi osmosis daun, dan kandungan prolina bebas dalam daun.

Dari percobaan ini diharapkan dapat diperoleh informasi tentang beberapa karakter morfologi dan fisiologi yang menunjang sifat toleransi tanaman terhadap cekaman kekeringan.

### BAHAN DAN METODE

Sumber Galur

Kedelai yang digunakan berjumlah 18 galur yang terdiri atas 15 galur toleran (Mlg 3474,3236,3110,2984,2805,2591,3318, 2685,3072,2883,3267,2999,2965,3173 dan 2502) dan 3 galur peka (Mlg 3273,2510, dan 3541) terhadap cekaman kekeringan

hasil seleksi lapangan di Muneng, Probolinggo (Jusuf *et al.*, 1993).

**Penanaman.** Kedelai ditanam di dalam ember plastik berkapasitas 10 l sebagai percobaan rumah kaca. Media yang digunakan ialah campuran tanah dan pasir dengan perbandingan 2:1. Perlakuan cekaman kekeringan yang diberikan terdiri atas dua taraf yaitu P0 (kontrol): tanaman disiram setiap hari, dan P1 (kering): tanaman disiram setiap 10 hari. Penyiraman dilakukan hingga mencapai kapasitas lapang. Rancangan yang digunakan ialah rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan, masing-masing ulangan terdiri atas dua pot tanaman. Tanaman dipupuk dengan 0.5 g Urea, 1.0 g TSP, dan 1.0 g KCl per pot dan diberi *Rhizogen* sebagai sumber inokulum bakteri *Rhizobium*.

**Pengamatan.** Sifat-sifat yang diamati ialah bobot kering tajuk, bobot kering dan panjang akar, potensi osmosis daun, dan kandungan prolina bebas daun.

Potensi osmosis dan kandungan prolina bebas ditentukan pada umur 50 hari setelah tanam (HST), saat tanaman mengalami perubahan dari fase vegetatif ke fase reproduktif. Pengamatan akar dan tajuk dilakukan pada umur 67 HST, karena berdasarkan percobaan Mitchell dan Russell (1971) diketahui bahwa setelah 67 hari terjadi perbedaan total bobot akar yang nyata pada kedelai, walaupun pada awal perkembangannya seragam.

Potensi osmosis ditentukan dengan Osmometer model 3W2 berdasarkan metode pembekuan (Salisbury dan Ross, 1992). Analisis prolina dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-FIS (Bates, 1973).

**Analisis Statistik.** Data hasil pengamatan dianalisis dengan menggunakan sidik ragam yang dilanjutkan dengan uji beda nyata terkecil (BNT).

## HASIL

**Bobot Kering.** Perlakuan cekaman kekeringan yang diberikan menyebabkan penurunan bobot kering tajuk dan bobot kering total tanaman yang cukup besar baik pada galur toleran maupun galur peka (Tabel 1). Walaupun beberapa galur toleran mengalami penurunan bobot kering tajuk yang relatif lebih kecil daripada galur peka, tetapi beberapa galur toleran lainnya (Mlg 3110 dan 3318) mengalami penurunan bobot kering tajuk yang lebih besar dari galur peka. Hanya galur Mlg 2685, 2999, dan 2965 yang tidak mengalami penurunan bobot kering tajuk dan bobot kering total yang nyata setelah mendapat perlakuan cekaman kekeringan. Perlakuan cekaman kekeringan yang diberikan dengan menunda penyiraman selama 10 hari dinilai cukup efektif dalam percobaan toleransi kekeringan pada kedelai di rumah kaca.

**Panjang dan Bobot Kering Akar.** Galur toleran umumnya mempunyai sistem perakaran yang lebih panjang daripada galur peka setelah mendapat cekaman kekeringan. Sembilan dari 15 galur toleran tidak mengalami penurunan panjang akar yang nyata (hingga 40% nilai) setelah mendapat cekaman kekeringan, bahkan galur Mlg 2984, 2591, 3318, 2882, 2999 dan 2502 mempunyai akar yang lebih panjang daripada kontrolnya (Tabel 2).

Sebagian besar galur kedelai mengalami penurunan bobot kering akar akibat cekaman kekeringan. Galur-galur peka meng-

alami penurunan rata-rata bobot kering akar yang lebih besar daripada galur-galur toleran (Tabel 2). Galur toleran yang tidak mengalami penurunan panjang akar umumnya mengalami penurunan bobot kering akar yang nyata, kecuali galur Mlg 2805 dan 2999 yang tidak mengalami penurunan baik panjang akar maupun bobot kering akarnya.

Tabel 1. Bobot kering tajuk dan bobot kering total dari galur kedelai toleran dan peka terhadap cekaman kekeringan pada perlakuan kontrol (P0) dan cekaman kekeringan (P1)

Nomor Galur	Bobot Kering Tajuk			Bobot Kering Total		
	P0 (g)	P1 (g)	Kontrol (%)	P0 (g)	P1(g)	Kontrol (%)
<b>Toleran</b>						
Mlg 3474	10.70	2.71	25.33**	13.64	3.83	28.06**
Mlg 3236	10.30	2.59	25.15**	11.86	3.02	25.48**
Mlg 3110	6.39	1.02	15.96**	0.829	2.42	33.47**
Mlg 2984	7.31	2.20	30.10**	8.45	2.44	28.86**
Mlg 2805	7.80	3.40	43.60*	9.00	4.31	47.96**
Mlg 2591	9.44	2.86	30.30**	10.61	3.35	31.62**
Mlg 3318	9.30	1.56	16.77**	9.92	1.89	19.07**
Mlg 2685	5.85	3.34	57.09	6.67	4.12	61.78
Mlg 3072	6.37	2.92	45.84*	7.59	3.87	50.99*
Mlg 2883	7.59	3.41	44.93*	8.70	3.79	43.49**
Mlg 3267	6.24	2.01	32.21**	6.94	2.48	35.77**
Mlg 2999	6.63	3.57	53.85	7.51	4.31	57.32
Mlg 2965	3.63	2.31	63.64	3.98	2.62	65.78
Mlg 3173	6.40	3.01	47.03*	7.24	3.79	52.39*
Mlg 2502	8.24	2.12	25.73**	9.36	2.46	26.26**
<b>Peka</b>						
Mlg 3474	10.46	2.68	25.62**	12.38	3.04	24.57**
Mlg 3474	8.62	2.20	25.53**	8.90	2.48	27.81**
Mlg 3474	9.24	9.24	26.08**	10.53	2.93	27.84**

\* Berbeda nyata pada taraf 5% BNT,

\*\* Berbeda nyata pada taraf 1% BNT

**Perubahan Potensi Osmosis.** Secara umum baik pada galur toleran maupun galur peka, tanaman mengalami penurunan potensi osmosis akibat kekeringan, kecuali beberapa galur mengalami sedikit peningkatan. Galur toleran Mlg 2984, 2805, 3318 dan galur peka Mlg 3273 mengalami penurunan potensi osmosis yang nyata akibat cekaman kekeringan. Galur 2984, 2805 dan 2999 mengalami penurunan potensi osmosis yang sangat tajam (Tabel 4).

**Nisbah Bobot Kering antara Akar dan Tajuk.** Sebagian besar galur toleransi mengalami peningkatan nisbah akar/tajuk akibat cekaman kekeringan, kecuali galur Mlg 2984 dan 2883 (Tabel 3). Peningkatan nisbah akar/tajuk yang besar terjadi pada galur toleran Mlg 2805, 3072, 3267, dan 3173 setelah mendapat cekaman kekeringan. Nilai rasio akar/tajuk terbesar dimiliki galur Mlg 3474 pada perlakuan cekaman kekeringan.

**Kandungan Prolina.** Secara umum perlakuan kekeringan menyebabkan kandungan prolina mengalami peningkatan, namun hanya galur Mlg 3474 dan Mlg 2805 yang memiliki kandungan prolina sangat tinggi saat mendapat cekaman kekeringan (masing-masing lebih dari 3 kali dan 7 kali nilai kontrolnya). Lima galur toleran lainnya (Mlg 2984, 3110, 2502, 3236, dan 2999) dan galur peka Mlg 3273 memiliki kandungan lebih dari dua kali nilai kontrolnya (Tabel 3).

Tabel 2. Panjang akar dan bobot kering akar galur kedelai yang toleran dan peka terhadap cekaman kekeringan pada perlakuan kontrol (P0) dan cekaman kekeringan (P1)

Jenis Galur	Panjang Akar			Bobot Kering Akar		
	P0 (g)	P1 (g)	% Kontrol	P0 (g)	P1 (g)	% Kontrol
<b>Toleran</b>						
Mlg 3474	72.75	68.92	94.74	2.971	1.125	37.87*
Mlg 3236	65.27	65.08	99.71	1.561	0.433	27.74*
Mlg 3110	74.83	54.07	72.26*	0.829	0.398	48.01*
Mlg 2984	62.67	75.00	119.67	1.136	0.243	21.39*
Mlg 2805	61.37	59.83	97.49	1.196	0.909	76.00
Mlg 2591	59.67	60.37	101.17	1.169	0.493	42.17*
Mlg 3318	55.20	57.67	104.47	1.619	0.325	20.07*
Mlg 2685	70.50	58.58	83.09*	0.818	0.781	95.48
Mlg 3072	70.83	50.50	71.39*	1.216	0.954	78.45
Mlg 2883	69.67	75.33	108.12	1.112	0.378	33.99*
Mlg 3267	55.50	45.00	81.08*	0.699	0.466	66.67
Mlg 2999	42.00	57.25	136.31	0.876	0.737	84.13
Mlg 2965	60.17	50.58	84.06*	0.351	0.305	86.69
Mlg 3173	60.83	47.17	77.54*	0.842	0.779	92.52
Mlg 2502	67.17	69.25	103.10	1.121	0.338	30.15*
<b>Peka</b>						
Mlg 3474	60.33	42.33	70.16*	1.916	0.363	18.94*
Mlg 3474	64.33	44.60	69.33*	1.278	0.279	33.66*
Mlg 3474	71.67	56.17	78.37*	1.289	0.523	40.57*

\* = Penurunannya nyata pada taraf 40% BNT

## PEMBAHASAN

Secara umum cekaman kekeringan mempunyai pengaruh menekan pertumbuhan tanaman kedelai baik tajuk maupun akar sehingga menyebabkan penurunan bobot kering total tanaman (Tabel 1). Walaupun demikian cekaman kekeringan menekan perkembangan tajuk jauh lebih besar daripada perkembangan akar kedelai (Tabel 1 dan 2). Hal ini diduga berhubungan dengan upaya tanaman dalam mempertahankan status air di dalam tubuhnya yaitu dengan mengurangi kehilangan air melalui daun, sehingga tanaman mengurangi ukuran kanopinya, dan tetap mempertahankan perkembangan akarnya sehingga mampu mensuplai air dengan cukup.

Perbedaan perakaran antara galur kedelai yang toleran dan yang peka menunjukkan bahwa sistem perakaran mempunyai arti yang penting bagi kedelai dalam beradaptasi terhadap cekaman

kekeringan. Pada Tabel 2 terlihat bahwa galur kedelai yang peka mengalami penurunan baik panjang akar maupun bobot kering akar, sedangkan galur toleran sebagian besar tidak mengalami penurunan panjang akar yang nyata, bahkan galur Mlg 2984, 2591, 3318, 2883, 2999, dan 2502 mempunyai akar lebih panjang daripada kontrolnya. Walaupun mengalami penurunan panjang akar, galur toleran tidak mengalami penurunan bobot kering yang nyata, kecuali Mlg 3110. Sistem perakaran yang baik pada galur toleran memungkinkan tanaman menyerap air dengan lebih efektif, sehingga dapat beradaptasi terhadap cekaman kekeringan.

Tabel 3. Nisbah bobot kering antara akar dan tajuk dari galur toleran dan peka pada perlakuan kontrol (P0) dan perlakuan cekaman kekeringan (P1)

Jenis Galur	Nisbah Bobot Kering		Perubahan (% Kontrol)	Keterangan
	P0	P1		
<b>Toleran</b>				
Mlg 3474	0.378	0.712	188	Meningkat
Mlg 3236	0.179	0.201	112	Meningkat
Mlg 3110	0.149	0.245	164	Meningkat
Mlg 2984	0.184	0.141	77	Menurun
Mlg 2805	0.181	0.410	227	Meningkat
Mlg 2591	0.141	0.208	148	Meningkat
Mlg 3318	0.242	0.262	109	Meningkat
Mlg 2685	0.171	0.305	178	Meningkat
Mlg 3072	0.236	0.486	206	Meningkat
Mlg 2883	0.172	0.125	72	Menurun
Mlg 3267	0.126	0.300	238	Meningkat
Mlg 2999	0.152	0.286	188	Meningkat
Mlg 2965	0.122	0.152	124	Meningkat
Mlg 3173	0.152	0.349	230	Meningkat
Mlg 2502	0.157	0.205	131	Meningkat
<b>Peka</b>				
Mlg 3474	0.230	0.156	67	Menurun
Mlg 3474	0.225	0.146	65	Menurun
Mlg 3474	0.162	0.277	171	Meningkat

Menurut Jones *et al.* (1981) salah satu upaya tanaman dalam mempertahankan diri pada lingkungan tumbuh yang kering ialah dengan meningkatkan volume dan panjang akar. Telah diketahui pula bahwa keragaman genetik kedelai mempengaruhi kemampuannya menghindari dari kekeringan dengan meningkatkan kedalaman dan volume perakaran (Burch *et al.*, 1978). Galur Mlg 2805 dan 2999 diketahui memiliki sistem perakaran yang panjang dan banyak.

Penurunan potensi osmosis merupakan respons tanaman yang baik untuk bertahan terhadap cekaman kekeringan. Respons tersebut terkait dengan kemampuan tanaman dalam mengakumulasi senyawa-senyawa terlarut untuk penyesuaian potensi osmosis sehingga sel-sel tanaman tetap dapat mempertahankan turgiditasnya. Hal ini karena banyak proses fisiologi dan bio-

kimia dalam tumbuhan yang sangat peka terhadap perubahan tekanan turgor (Townley-Smith dan Hurd, 1979).

Tabel 4. Nilai potensi osmosis dan kandungan prolina daun dari galur-galur kedelai yang tahan dan peka terhadap cekaman kekeringan pada perlakuan kontrol (P0) dan cekaman kekeringan (P1)

No. Galur	Potensi Osmosis			Kandungan Prolina		
	P0 (bar)	P1 (bar)	Penurunan	P0 ( $\mu\text{mol}$ /g)	P1 ( $\mu\text{mol}$ /g)	Kontrol (%)
<b>Toleran</b>						
Mlg 3474	-14.80	-17.11	-2.31	3.84	11.54	300.76
Mlg 3236	-14.94	-13.97	0.97	1.71	3.50	204.68
Mlg 3110	-13.48	-12.35	1.13	1.86	4.83	259.29
Mlg 2984	-13.34	-23.45	-10.11**	1.27	3.63	285.98
Mlg 2805	-13.55	-22.25	-8.70**	2.75	20.21	733.99**
Mlg 2591	-12.49	-15.73	-3.24	2.07	3.25	156.98
Mlg 3318	-13.00	-17.48	-4.49*	2.37	3.38	142.86
Mlg 2685	-14.94	-17.76	-2.82	1.97	3.16	160.45
Mlg 3072	-14.85	-17.35	-2.50	1.72	1.78	103.61
Mlg 2883	-15.13	-14.25	0.87	1.65	2.27	137.67
Mlg 3267	-12.77	-11.80	0.97	2.14	2.13	99.49
Mlg 2999	-12.61	-19.52	-6.91**	1.88	3.77	200.69
Mlg 2965	-13.41	-14.29	-0.88	2.19	3.37	154.10
Mlg 3173	-14.76	-18.64	-3.88	2.20	2.82	128.26
Mlg 2502	-14.48	-13.80	0.68	1.59	3.57	225.24
<b>Peka</b>						
Mlg 3474	-12.54	-17.62	-5.08*	3.56	9.56	268.20
Mlg 3474	-13.65	-14.20	-0.55	2.22	2.17	97.97
Mlg 3474	-12.49	-13.18	-0.69	3.26	4.77	146.41

\* Berbeda nyata pada taraf 5% BNT,

\*\* Berbeda nyata pada taraf 1% BNT

Galur-galur Mlg 2805, 2984 dan 2999 mengalami penurunan potensi osmosis yang sangat tajam. Diduga galur-galur tersebut memiliki kemampuan dalam penyesuaian osmosis yang baik sebagai mekanisme ketahanan terhadap cekaman kekeringan. Telah banyak diketahui bahwa penyesuaian osmosis dapat terjadi pada tanaman yang mengalami cekaman kekeringan atau kadar garam tinggi (Morgan, 1984; Good dan Zaplachinski, 1994). Proses tersebut juga telah diketahui terjadi pada jagung, kapas, gandum, dan kedelai selama mendapat cekaman kekeringan (Morgan, 1984).

Dalam proses penyesuaian osmosis, senyawa-senyawa terlarut yang biasa diakumulasi adalah gula, asam amino, asam organik, prolina dan glisinbetaina (Hanson dan Hitz, 1982 dan Jones dan Turner, 1978). Good dan Zaplachinski (1994) juga menyatakan bahwa akumulasi asam amino merupakan suatu proses aktif yang berhubungan dengan stres kekeringan, dan prolina merupakan asam amino yang paling aktif diakumulasi.

Secara umum kandungan prolina mengalami peningkatan akibat cekaman kekeringan. Hal ini berkaitan dengan peran yang besar dari prolina sebagai osmoprotektan, sehingga produksi

senyawa tersebut secara berlebihan dapat menghasilkan peningkatan toleransi terhadap cekaman kekeringan pada tanaman (Kishor, *et al.*, 1995). Namun dari galur-galur yang digunakan hanya galur Mlg 2805 dan Mlg 3474 (dari kelompok toleran) yang mengalami peningkatan kandungan prolina yang tinggi saat mendapat cekaman kekeringan, galur-galur lainnya hanya mengalami peningkatan yang tidak terlalu besar (Tabel 3). Diduga hal tersebut disebabkan adanya senyawa lain yang ikut berperan dalam mengatur potensi osmosis tanaman, seperti senyawa gula dan asam-asam organik.

Berdasarkan klasifikasi Turner (1979) dapat dikatakan bahwa galur kedelai toleran yang digunakan umumnya memiliki sifat toleransi dengan tipe menghindar dari cekaman kekeringan (*drought avoidance*). Hal ini ditunjukkan dengan peran yang besar dari akar tanaman dalam menunjang sifat toleransi (Tabel 2). Selain itu, lebih jauh dapat dilihat bahwa galur toleran secara umum mengalami peningkatan rasio bobot kering akar/tajuk, kecuali Mlg 2984 dan 2883 (Tabel 4). Peningkatan rasio akar/tajuk diketahui sebagai indikasi dari tipe toleransi menghindar dari cekaman kekeringan (Sullivan dan Ross, 1979; Jones *et al.*, 1981). Berdasarkan penurunan nilai potensi osmosis dan peningkatan kandungan prolina, hanya galur Mlg 2984, 2805, 3318, 2999, dan 3474 yang memiliki tipe toleransi melalui pengaturan tekanan osmosis.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan penghargaan kami sampaikan kepada Pemerintah Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Riset Unggulan Terpadu I. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Saudara Theresia Retno Untari, Kosasih, Supardi, dan Eko Riyanto yang telah memberikan bantuan dalam analisis kimia di Laboratorium Jurusan Biologi FMIPA dan Rumah Kaca PAU Bioteknologi IPB.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arnon, I. 1975. Physiological Principals of Dryland Crop Production. pp.3-145. In U.S. Gupta (Ed.) *Physiological Aspects of Dryland Farming*. New Delhi: Oxford Press.
- Bates, L.S. 1973. Rapid Determination of Free Proline for Water-Stress Studies. *Plant Soil* 39:205-207.
- Bray, E.A. 1988. Drought- and ABA-Induced Changes in Polypeptide and mRNA Accumulation in Tomato Leaves. *Plant Physiol.* 88:1210-1214.
- Burch, G.J., R.C.G. Smith, and W.K. Mason. 1978. Agronomic and Physiological Responses of Soybeans and Sorghum Crops to Water Deficits. II. Crop Evaporation, Soil Water Depletion and Root Distribution. *Aust. J. Plant Physiol.* 5:169-177.
- Good, A.G. and S.T. Zaplachinski. 1994. The Effect of Drought Stress on Free Amino Acid Accumulation and Protein Synthesis in *Brassica napus*. *Physiol. Plant.* 90:9-14.
- Hanson, A.D. and W.D. Hitz. 1982. Metabolic Responses of Mesophytes to Plant Water Deficits. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 33:163-203.

- Jones, M.M. and N.C. Turner. 1978. Osmotic Adjustment in Leaves of Sorghum in Response to Water Deficits. *Plant Physiol.* 62:122-126.
- \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, and C.B. Osmond. 1981. Mechanisms of Drought Resistance. pp.15-53. In Paleg, L.G. and D. Aspinall (Eds.). *The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants*. New York: Academic Press.
- Jusuf, M., A. Kasno, D. Sopandic, E.D.J. Supena, U. Widyastuti, Miftahudin, Hamim dan Supijatno. 1993. *Evaluasi Plasmanutfeh Kedelai untuk Lahan Kering atau Ber-pH Rendah serta Berkualitas Nutrisi Baik*. Bogor: FMIPA, IPB.
- Kasper, T.C., H.M. Taylor and R.C. Shibles. 1984. TapRoot Elongation Rates of Soybean Cultivars in The Glasshouse and Their Relation to Field Rooting Depth. *Crop Sci.* 24:916-920.
- Kishor, P.B.K., Z. Hong, G.H. Miao, C.A.A. Hu, and P.S. Verma. 1995. Overexpression of  $\Delta^1$ -Pyrroline-5-Carboxylate Synthetase Increases Prolina Production and Confers Osmotolerance in Transgenic Plants. *Plant Physiol.* 108: 1387- 394.
- Levitt, J. 1972. *Responses of Plant to Environmental Stresses*. New York:Academic Press.
- Morgan, J.M. 1984. Osmoregulation and Water Stress in Higher Plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 35:299-319.
- Mitchell, R.L. and W.J. Russell. 1971. Root Development and Rooting Patterns of Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] Evaluated under Field Conditions. *Agron. J.* 63:315-316.
- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1992. *Plant Physiology* (4th. Ed.). California:Wadsworth Publishing Company.
- Sullivan, C.Y. and W.M. Ross. 1979. Selecting for Drought and Heat Resistance in Grain Sorghum. pp.264-281. In H. Mussell and R.C. Staples. *Stress Physiology in Crop Plants*. New York: John Wiley & Sons.
- Townley-Smith, T.F. and E.A. Hurd. 1979. Testing and Selecting for Drought Resistance in Wheat. pp.344-372. In H. Mussell and R.C. Staples. *Stress Physiology in Crop Plants*. New York:John Wiley & Sons.
- Turner, N.C. 1979. Drought Resistance and Adaptation to Water Deficits in Crop Plants. pp.343-372. In H. Mussell and R.C. Staples (Eds.). *Stress Physiology in Crop Plants*. New York:Wiley-Interscience.
- Yamada, Y. and Y. Fokutoku. 1983. Effect of Water Stress on Soybean Metabolism. pp. 373-382. In S. Shanmugan-Sundaran and E. W. Sulzberger (eds.). *Soybean in Tropical and Subtropical Cropping Systems*. Proc. Symp. Tsukuba, Jepang.