

PEMULIAAN TANAMAN KEDELAI TOLERAN TERHADAP CEKAMAN KEKERINGAN

Suhartina dan Heru Kuswantoro¹

ABSTRAK

Alih fungsi lahan pertanian produktif dan perubahan iklim global menyebabkan menurunnya produksi kedelai (*Glycine max* Merr.) di Indonesia. Perluasan areal tanam kedelai untuk mengatasi hal tersebut pada umumnya mengarah pada lahan-lahan suboptimal, di antaranya adalah lahan kering. Oleh karena itu, perakitan varietas unggul kedelai toleran kekeringan menjadi salah satu faktor penentu keberhasilan perluasan areal tanam di lahan tersebut. Dalam perakitan varietas kedelai toleran kekeringan, mekanisme toleransi kedelai terhadap cekaman kekeringan memegang peranan penting, karena berhubungan dengan karakter-karakter yang mendukung toleransi tersebut. Pada umumnya karakter yang berhubungan langsung dengan toleransi kekeringan adalah karakter fisiologi dan morfologi. Namun, dalam pemuliaan kedelai, hasil biji merupakan karakter yang paling penting. Dengan demikian, perakitan varietas unggul kedelai toleran kekeringan sebaiknya dilakukan dengan menggabungkan karakter fisiologi, morfologi, dan agronomi; karena ketiga karakter tersebut pada umumnya tidak bertautan secara genetik. Dengan penggabungan ketiga karakter tersebut penurunan hasil akibat cekaman kekeringan dapat ditekan.

Kata kunci: *Glycine max*, kedelai, kekeringan, fisiologi, morfologi, agronomi

ABSTRACT

Soybean breeding genotype for drought tolerance. The shifting of productive agricultural land area and the changes of global climate lead decreasing of soybean (*Glycine max* Merr.) production in Indonesia. Expanding soybean area to solve that problem, usually, move to suboptimal lands such as dryland. Hence, developing of soybean superior variety that tolerant to drought is the one of determinant factors of the area expanding accomplishment. In developing of soybean superior variety tolerant to drought, soybean tolerance mechanism to drought has an important role, because it relates to charac-

ters that support the tolerance. Usually, the characters that associate directly to drought tolerance are physiological and morphological characters. However, in soybean breeding, seed yield is the most important character. Therefore, developing of soybean superior variety that tolerant to drought should be conducted by combining physiological, morphological and agronomical characters; because these three characters usually are not genetically linkage. By combining these three characters, decreasing yield due to drought stress can be repressed.

Keywords: *Glycine max*, soybean, drought, physiology, morphology, agronomy

PENDAHULUAN

Kedelai (*Glycine max* Merr.) merupakan komoditas tanaman pangan yang bernilai ekonomis penting, karena perannya sebagai pemenuh kebutuhan gizi yang terjangkau masyarakat luas. Sampai saat ini pemenuhan kebutuhan kedelai masih harus dilakukan dengan impor dari berbagai negara. Untuk membatasi impor kedelai atau ketergantungan pada negara lain, perlu dilakukan perluasan areal tanam. Namun demikian, perluasan areal tanam kearah lahan optimal sulit dilakukan karena terjadinya alih fungsi lahan, di mana areal pertanian bahkan beralih fungsi menjadi areal non pertanian. Oleh karena itu, perluasan areal penanaman diarahkan pada lahan-lahan suboptimal, di antaranya adalah lahan kering. Hingga saat ini belum tersedia varietas kedelai yang toleran terhadap kekeringan. Untuk mendukung keberhasilan perluasan areal tanam ini, penyediaan varietas kedelai toleran terhadap kekeringan harus dilakukan.

Tanaman kedelai sangat sensitif terhadap pengaruh cekaman kekeringan, terutama pada fase pembungaan, pembentukan biji, dan masa pengisian polong (Ismail dan Effendi 1993; Fagi dan Tangkuman 1993). Secara genetik varietas kedelai mempunyai kemampuan yang berbeda untuk bertahan pada lingkungan tercekam kekeringan. Hasil penelitian Mederski dan Jeffer (1973) menunjukkan bahwa pengaruh cekaman

¹ Peneliti Pemuliaan Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian, Kotak Pos 66 Malang 65101, Telp. (0341) 801468, e-mail: balitkabi@litbang.deptan.go.id

kekeringan terhadap hasil panen kedelai tergantung dari varietas dan saling tindak dengan tingkat cekaman. Peneliti lain mengatakan bahwa hubungan tersebut juga dipengaruhi oleh saat terjadinya cekaman kekeringan (Doss *et al.* 1974). Kekurangan air yang terjadi selama periode vegetatif pada tanaman kedelai menyebabkan daun-daun dan diameter batang mengecil, tanaman menjadi pendek, dan berat tanaman menjadi ringan (Kasno dan Jusuf 1994; Ismail dan Effendi 1993; Pandey *et al.* 1984). Sebetulnya kekurangan air pada setiap periode pertumbuhan berpengaruh terhadap penurunan hasil, namun yang paling besar pengaruhnya pada saat periode kritis tanaman yaitu fase pembungaan, pembentukan biji, dan masa pengisian polong.

Besarnya kerugian hasil kedelai akibat cekaman kekeringan ditentukan oleh varietas, lamanya cekaman, dan stadia tumbuh. Di lapang, cekaman kekeringan selama fase generatif menurunkan hasil kedelai dari 34% (Suhartina dan Arsyad 2005). Pada penelitian lain penurunan hasil kedelai mencapai 46% dibanding dengan hasil tanaman yang mendapat pengairan optimal selama pertumbuhan (Suhartina dan Nur, 2005). Sedangkan di rumah kaca, cekaman kekeringan sebesar 40% dan 70% dari lensa tanah selama fase generatif, menurunkan hasil biji masing-masing sebesar 40% dan 21% dibanding 100% lensa tanah tersedia (Suhartina *et al.* 2002). Soegijatni dan Suyamto (2000) melaporkan bahwa tanaman kedelai yang tercekam kekeringan selama periode pengisian polong menyebabkan penurunan hasil sebesar 55% dibanding dengan hasil tanaman yang mendapat pengairan optimal selama pertumbuhan sampai panen.

Ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan dan penghindaran terhadap kondisi kering merupakan usaha tanaman untuk mempertahankan tingkat hasil pada keterbatasan air. Menurut Day (1981), penghindaran dari kekeringan berhubungan dengan masalah penyerapan dan kehilangan air.

Berdasarkan hal-hal tersebut di atas, turunnya produksi yang dicapai merupakan indikasi kuat adanya pengaruh cekaman kekeringan terhadap pertumbuhan dan produksi kedelai. Tersedianya varietas kedelai toleran cekaman kekeringan yang dapat memberikan hasil biji tinggi merupakan

komponen esensial dalam mengatasi produksi kedelai akibat cekaman kekeringan.

KEBUTUHAN AIR DAN PERIODE KRITIS TANAMAN KEDELAI

Semua proses yang terjadi pada tanaman dipengaruhi secara langsung atau tidak langsung oleh ketersediaan air, baik dalam tanah maupun dalam tanaman. Ketersediaan air tanah selama pertumbuhan sangat menentukan daya hasil kedelai. Selama pertumbuhannya, tanaman kedelai memerlukan curah hujan sekitar 450 mm (Zandstra 1982). Kekeringan pada saat pembungaan dan pengisian polong sering terjadi pada kondisi curah hujan yang tinggi tetapi tidak merata sehingga mengakibatkan hasil rendah (Baharsjah dkk. 1993). Curah hujan yang cukup selama pertumbuhan dan agak kurang menjelang pematangan biji menjadi penentu bagi peningkatan hasil kedelai. Kedelai dengan periode pertumbuhan 3–4 bulan membutuhkan air 300–350 mm, atau 75–100 mm/bulan, atau 2,5–3,3 mm/hari (Kung *dalam* Fagi dan Tangkuman 1993). Kandungan air tanah optimum adalah 0,3–0,5 atm.

Tanaman akan mengalami cekaman kekeringan apabila laju transmisi air tanah lapisan akar tidak dapat mengimbangi laju transpirasi. Bila 60% air di lapisan perakaran sudah terpakai, tanaman akan menunjukkan gejala kekeringan. Ketersediaan air yang tidak mencukupi selama pertumbuhan tanaman menyebabkan terganggunya pertumbuhan tanaman dan lebih lanjut berakibat rendahnya produksi (Fagi dan Tangkuman 1993).

Pada dasarnya tanaman kedelai tahan terhadap kekeringan, kecuali pada periode-periode ter-

Tabel 1. Kebutuhan air pada tanaman kedelai umur sedang (85 hari) pada setiap periode pertumbuhan.

Stadia tumbuh	Periode tumbuh (hari)	Kebutuhan air ET (mm/periode)
Pertumbuhan awal	15	53–62
Vegetatif awal	15	53–62
Pembungaan hingga pengisian polong	35	124–143
Kematangan biji	20	70–83

Sumber: Fagi dan Tangkuman 1993.

tentu. Kemampuan tanaman kedelai untuk menyerap air dan menghadapi tekanan kekeringan (stres air) berbeda pada tiap-tiap periode pertumbuhan. Konsumsi air harian pada fase pertumbuhan kedelai selengkapnya diperlihatkan pada Tabel 1.

Periode kritis tanaman kedelai terhadap cekaman kekeringan terjadi pada fase pembungaan, pembentukan polong, dan pengisian biji, khususnya pada akhir periode pembungaan dan awal perkembangan polong. Kekeringan yang terjadi pada periode ini sangat menurunkan hasil (Pasaribu dan Sunarlim 1986). Untuk pengisian polong yang normal dan hasil biji tinggi, kandungan air tanah selama periode pembentukan hasil (polong) tidak boleh kurang dari 50% kadar air tersedia (Doorenbos dan Kassam 1979).

CEKAMAN KEKERINGAN DAN MEKANISME KETAHANAN TANAMAN

Di bidang pertanian, cekaman kekeringan didefinisikan sebagai kondisi di mana air tanah tidak cukup untuk mendukung pertumbuhan maksimum suatu tanaman (Khandakar 1992). Cekaman kekeringan mengubah keseimbangan air seluler dan secara nyata membatasi pertumbuhan dan hasil (Morgan 1984). Cekaman kekeringan pada suatu fase tumbuh terjadi apabila kebutuhan air tanaman melebihi air yang tersedia (Blum 1986).

Levitt (1980) membedakan dua cara, bagaimana tanaman dapat tumbuh dan bertahan pada habitat kering yaitu:

1. Lolos dari kekeringan (*escape drought*). Kemampuan tanaman mengatur plastisitas atau menyelesaikan daur hidupnya sebelum mengalami kekeringan. Menurut Kasno dan Jusuf (1994), tanaman berumur genjah dengan pengaturan waktu tanaman yang tepat akan terhindar dan terlepas (lolos) dari cekaman kekeringan.
2. Ketahanan terhadap kekeringan (*actual drought resistance*). Ketahanan terhadap kekeringan ini disebabkan oleh adanya mekanisme yaitu:
 - a) Mekanisme penghindaran (*avoidance*). Kemampuan tumbuhan untuk memelihara potensial air pada jenjang yang tetap tinggi

dengan menyerap air dan meneruskannya ke pucuk, atau kemampuan untuk mengurangi kelebihan air sampai sekecil-kecilnya dengan menutup stomata dan meningkatkan permeabilitas kutikula.

- b) Mekanisme toleransi (*drought tolerance*) yaitu kemampuan nisbi tanaman untuk mempertahankan agar status air/turgor yang menurun, terjadinya kerusakan tubuh minimal hingga fungsi hidup masih berjalan.

Akibat cekaman kekeringan pada kedelai, daun menjadi cepat menua yang ditandai dengan menurunnya kandungan N dan klorofil daun. Kedua komponen ini penting untuk proses asimilasi, sehingga apabila jumlahnya berkurang akan berdampak terhadap hasil akhir asimilasi, yang pada gilirannya akan berpengaruh terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman (Egli and Crafts-Brandner 1996).

Cekaman kekeringan yang terjadi selama fase pembungaan menyebabkan peningkatan kerontokan bunga. Apabila kekeringan berlanjut ke fase pembentukan dan pengisian polong akan mengakibatkan penurunan hasil sebagai akibat dari penurunan jumlah polong per tanaman karena polong banyak yang rontok (Whigham dan Minor 1978), meningkatnya polong hampa dan pertumbuhan tanaman yang kerdil (Thalen *et al.* 2003). Cekaman yang terjadi pada kedua fase tersebut juga menyebabkan ketidak-sempurnaan pengisian polong, sehingga biji kedelai menjadi lebih kecil dan bobot kering biji turun (Momen *et al.* 1979).

Kedelai toleran terhadap kekeringan mempunyai jumlah daun lebar yang lebih sedikit, masa akar dan volume akar lebih banyak dan penurunan pertumbuhan relatif akar lebih rendah bila dihadapkan pada kondisi tingkat cekaman kekeringan yang sama dengan kedelai yang lebih peka terhadap cekaman kekeringan (Hudak dan Patterson 1995). Lebih jauh, akar yang mengalami cekaman air, akan membentuk ABA lebih banyak dan diangkut melalui *xylem* menuju daun untuk menutup stomata, yaitu dengan cara menghambat pompa proton yang kerjanya tergantung pada ATP dan membrane plasma sel penjaga.

KRITERIA SELEKSI TIDAK LANGSUNG DAN SELEKSI LANGSUNG

Kriteria seleksi terhadap cekaman kekeringan adalah (i) seleksi tidak langsung berdasarkan karakter fisiologis dan morfologis yang mungkin berkorelasi dengan toleransi terhadap cekaman kekeringan, dan (ii) seleksi langsung berdasarkan karakter agronomis (Khandakar 1992). Kriteria berdasarkan karakter morfologis dan fisiologis saat terjadi cekaman kekeringan dinilai lebih efektif dan efisien untuk melakukan penilaian (Swindale and Bidinger 1981).

Kriteria Seleksi Tidak Langsung Berdasarkan Karakter Fisiologis dan Morfologis

Seleksi dengan menggunakan karakter fisiologis dan morfologis yang berkorelasi dengan keadaan kekeringan dapat membantu pengembangan genotipe kedelai yang unggul dan toleran terhadap cekaman kekeringan (Frederick *et al.* 1990 dan Khandakar 1992). Pada padi gogo, Soemartono (1985) menyatakan bahwa sifat toleran kekeringan yang dimiliki oleh genotipe selalu berkaitan erat dengan perubahan-perubahan fisiologis dan morfologis sebagai cara adaptasi pada kondisi kekeringan, sehingga suatu genotipe tersebut dapat dikatakan tahan. Beberapa sifat fisiologis dan morfologis yang berhubungan dengan toleransi terhadap kekeringan, diantaranya adalah potensial osmotik tanaman, kandungan air relatif daun (KARD) dan luas daun (LD).

Potensial osmotik tanaman merupakan salah satu mekanisme tanaman terhadap cekaman kekeringan. Dalam hubungannya dengan potensial air, terdapat dua mekanisme ketahanan yaitu ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan dengan mempertahankan potensial air yang tinggi dalam jaringan dan ketahanan tanaman dengan potensial air jaringan yang rendah. Penggunaan potensial osmotik jaringan sebagai kriteria seleksi dapat dilakukan pada seleksi *in vitro*, fase perkecambahan, dan fase vegetatif tanaman.

Seleksi *in vitro* terhadap cekaman kekeringan banyak dilakukan menggunakan PEG (*polyethylene glycol*), karena senyawa ini memiliki berat molekul yang sangat tinggi sehingga dapat menurunkan potensial air media. Tanaman yang berasal dari variasi somaklonal, sering meng-

gunakan teknik ini. Besarnya penurunan potensial air tergantung pada konsentrasi dan berat molekul PEG. Keadaan seperti ini dapat dimanfaatkan untuk melakukan simulasi penurunan potensial air yang mencerminkan cekaman kekeringan bagi tanaman. Penggunaan PEG sebagai media seleksi tidak membahayakan tanaman karena mempunyai berat molekul lebih besar dari 4.000, sehingga kerusakan atau kematian tanaman pada simulasi menggunakan senyawa PEG diyakini sebagai efek kekeringan, bukan efek langsung dari senyawa PEG karena senyawa tersebut tidak diserap oleh tanaman (Yunita 2009). Penurunan potensial air media akibat penambahan PEG diduga merupakan penyebab pengaruh negatif PEG terhadap pembentukan embrio somatik (Widoretno *et al.* 2003). Lebih jauh disebutkan bahwa genotipe kedelai yang toleran terhadap kekeringan dapat berkembang dan membentuk embrio somatik dalam media dengan konsentrasi PEG lebih tinggi. Di samping itu kesesuaian antara hasil seleksi menggunakan PEG dengan seleksi di lapang menunjukkan bahwa PEG dapat digunakan sebagai media selektif dalam seleksi *in vitro* kedelai terhadap cekaman kekeringan. Keunggulan lain dari seleksi *in vitro* ini yaitu keragaman lingkungan dapat diminimalkan dengan pengaturan hara media dan keseragaman aplikasi cekaman, serta dapat dilakukan untuk seleksi dalam populasi yang besar (Hassanein 2010), bahkan sampai jutaan genotipe apabila dikombinasikan dengan iradiasi (Husni *et al.* 2006). Seleksi ini juga efektif secara genetik di mana embrio somatik yang tahan terhadap cekaman kekeringan memiliki perbedaan secara genetik dari embrio somatik yang peka terhadap kekeringan yang ditunjukkan dengan adanya perbedaan pada pola pita DNA berdasarkan RAPD (Matheka *et al.* 2008; Yadav *et al.* 2006).

Potensial osmotik sebagai kriteria seleksi pada fase perkecambahan juga dilakukan dengan menggunakan PEG. Mirip dengan seleksi *in vitro*, seleksi pada fase perkecambahan juga menurunkan potensial air media. Pengaruh dari potensial air pada perkecambahan di antaranya adalah adanya perubahan pada karakter persentase perkecambahan (Kostukorva *et al.* 2008; Sadeghi *et al.* 2011) waktu perkecambahan, indeks perkecambahan, vigor biji, konduktifitas elektrik biji (Sadeghi *et al.* 2011). Sedangkan pada seleksi dalam fase vegetatif tanaman, pengaruh potensial

osmotik dapat diamati pada nisbah tajuk akar (Farid 2003; Hamim *et al.* 1996) serta potensial air daun dan kandungan prolin (Hamim *et al.* 1996).

Kandungan Air Relatif Daun (KARD)

Daya elak terhadap kekeringan adalah kemampuan tanaman untuk tidak kehilangan banyak air (Levitt 1980; William dan Joseph 1976). Kandungan air relatif daun yang tinggi merupakan salah satu mekanisme tanaman dengan kemampuan mengelak dari kekeringan (hindar kering). Kandungan air relatif daun merupakan salah satu pengukuran status air tanaman sebagai konsekuensi fisiologis kekurangan air selular. Pengukuran kandungan relatif air juga sekaligus pengukuran terhadap penyesuai-

an osmotik, di mana penyesuaian osmotik merupakan mekanisme penting dalam konservasi air selular pada saat terjadi cekaman kekeringan. Penyesuaian osmotik didefinisikan sebagai akumulasi aktif senyawa-senyawa yang terjadi di dalam tanaman sebagai respon terhadap peningkatan kekurangan air. Penyesuaian osmotik dipertimbangkan sebagai pengukuran status air yang baik karena juga mengukur turgor sel pada saat potensial air menurun. Penyesuaian osmotik ditunjukkan dengan mempertahankan penghantaran stomata dan fotosintesis pada potensial air yang rendah, penundaan senesens dan kematian, pengurangan gugurnya bunga, peningkatan pertumbuhan akar, dan ekstraksi air dari tanah seiring dengan peningkatan kekurangan air (Turner *et al.* 2001).

Tabel 2. Kandungan air relatif daun (KARD) 22 genotipe kedelai. KP Muneng, MK 2003.

No	Genotipe	KARD (%) umur 72 HST		
		Kondisi tanah		
		Optimal	Kekeringan	Rerata
1	D2623-22	77,9 abc	64,9 defgh	71,4
2	D3465-42-1	78,2 abc	63,1 efgh	70,7
3	W3898-14-3	76,1 bc	66,6 defgh	71,3
4	W3465-27-2	78,4 abc	68,6 def	73,5
5	W3578/TGX 1448-5	71,5 cd	62,4 efgh	66,9
6	W3578/TGX 1448-9	76,9 bc	66,5 defgh	71,7
7	W3578/TGX 1448-10	77,7 abc	65,6 defgh	71,7
8	K3911-66/D3623-5-4	77,4 abc	67,8 defgh	72,6
9	D3578-3/K3911-66-1	76,6 bc	60,6 gh	68,6
10	D3578-3/K3911-66-2	78,2 abc	68,2 defg	73,2
11	D3578-3/K3911-66-3	80,4 ab	63,4 efgh	71,9
12	D3578-3/3072-11	78,9 abc	60,3 h	69,6
13	D3578-3/3072-15	77,3 abc	64,3 defgh	70,8
14	KP/2805-1	80,5 ab	61,4 fgh	71,0
15	KP/3474-1	79,3 ab	62,9 efgh	71,1
16	MLG 2805	79,0 abc	68,4 def	63,8
17	K3911-66	80,7 ab	69,3 de	75,0
18	D3577-27	81,6 ab	66,2 defgh	73,9
19	D3623-27	79,4 ab	65,1 defgh	72,3
20	Wilis	85,0 a	60,9 fgh	72,9
21	Tidar	81,4 ab	60,1 h	70,7
22	DV/MLG 2984-6	78,6 abc	65,3 defgh	72,0
	Rata-rata	78,7 r	64,6 s	*

Kondisi optimal = lahan dalam kondisi kapasitas lapang selama pertumbuhan, Kondisi kekeringan = pengairan dilakukan mulai tanam sampai fase berbunga 50%, setelah itu tanaman tidak diairi sampai panen.

Sumber: Suhartina dkk. (2004)

Kandungan air relatif daun (KARD) yang diamati pada kondisi optimal lebih tinggi daripada kondisi kekeringan, di mana pada kondisi optimal mencapai rerata 78,7% sedangkan pada kondisi kekeringan mencapai rerata 64,6% (Tabel 2). Pada kondisi kekeringan KARD terendah ditunjukkan oleh varietas Tidar, Wilis dan D3578-3/3072-11, tertinggi ditunjukkan oleh galur K3911-66, W3465-27-2, dan MLG 2805. Hal ini mengindikasikan bahwa galur K3911-66 lebih tahan kekeringan daripada varietas Wilis dan Tidar dengan penurunan KARD yang relatif rendah.

Luas Daun (LD)

Luas daun merupakan faktor penentu ketahanan terhadap kekeringan karena besarnya daun menahan laju transpirasi akan menentukan besarnya air yang dibutuhkan tanaman

selama pertumbuhan (Suardi 1988). Tabel 3 menunjukkan bahwa kandungan lengas tanah berpengaruh nyata terhadap luas daun pada fase R3 dan R5. Ini terjadi karena rendahnya kadar air tanah akan menekan perluasan daun tanaman (Abdullah 1988). Pengurangan luasan daun tanaman akibat cekaman kekeringan pada awalnya disebabkan oleh berkurangnya pertumbuhan sel terutama dalam hal pembesaran sel epidermis daun (Begg 1980). Pengurangan luas daun ini selanjutnya menyebabkan berkurangnya kehilangan air melalui transpirasi dan menurunnya pertumbuhan tanaman.

Genotipe memegang peranan penting dalam responnya terhadap kekeringan. Seperti terlihat pada Tabel 3, di mana fase R3 dan R5 memberikan keragaan perbedaan respon genotipe kedelai terhadap kekeringan. Untuk pemilihan genotipe

Tabel 3. Luas daun dari 15 genotipe kedelai pada fase R3, R5, dan R7. Rumah Plastik Balitkabi, MK II 2001.

No. Lengas tanah/Genotipe (G)	Luas daun (cm ²) pada fase		
	R3	R5	R7
Kand. Lengas tersedia (%)			
1 100% LT	1909,8 a	2103,9 a	1467,0
2 70% LT	1699,8 b	1987,8 a	1310,1
3 40% LT	1656,2 b	1627,4 b	1044,3
DMRT	*	*	tn
Genotipe			
1 Davros/MLG 2984-VI-6	1802,1 b	1915,4 bcd	1229,3
2 Davros/MLG 2984-VI-9	1756,6 b	1890,9 bcd	1384,3
3 Davros/MLG 3072-VI-6	1657,9 bc	1879,2 bcd	1249,5
4 Kipas Putih/MLG 3474-VI-1	1341,5 d	1815,8 cd	1156,7
5 Lokon/MLG 3072-VI-2	1582,0 bc	1806,5 cd	1391,9
6 Lokon/MLG 2805-VI-2	1689,8 bc	2006,4 abc	1181,8
7 Kipas Putih/MLG 2805-VI-1	2158,8 a	2229,1 a	1559,9
8 Lokon/MLG 3474-VI-2	1473,7 cd	1687,0 de	1213,5
9 Davros/MLG 2984-VI-2	1614,8 bc	1917,3 bcd	1483,1
10 MLG 3072	2204,8 a	2130,6 ab	1476,4
11 MLG 3474	2138,8 a	1975,6 abc	909,3
12 MLG 2805	1832,1 b	2117,9 ab	1267,4
13 MLG 2984	1624,4 bc	1523,2 e	1185,2
14 Tidar	1736,5 bc	1867,7 bcd	1149,0
15 Wilis	1705,3 bc	1832,9 cd	1270,2
Rerata	1755,3	1275,4	1276,8
DMRT	*	*	tn

Angka sekolom yang didampingi huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 5% (*) menurut uji DMRT, tn = tidak berbeda nyata.

Sumber: (Suhartina 2002).

toleran kekeringan dapat diduga dengan besarnya luas daun yang dimiliki oleh galur tersebut yang konsisten tinggi selama periode tanaman tersebut mengalami cekaman kekeringan. Dengan demikian tanaman yang mampu mempertahankan besarnya luas daun pada kondisi kering ataupun mengalami penurunan luas daun yang relatif sedikit pada kondisi kering adalah genotipe yang relatif toleran terhadap kekeringan, sehingga tanaman tersebut mampu mempertahankan produksinya tetap tinggi pada kondisi kering. Genotipe yang konsisten memiliki luas daun terbesar pada ketiga fase pertumbuhan (R3, R5, dan R7) adalah Kipas Putih/MLG 2805-VI-1. Oleh karena itu genotipe ini secara fisiologis tahan terhadap kekeringan karena dapat mempertahankan luas daunnya pada kondisi cekaman kekeringan yang berbeda. Dengan tetap tingginya

luas daun pada kondisi kekeringan, fungsi fotosintesis masih dapat berjalan dengan baik. Namun pada genotipe yang tidak mampu mempertahankan luas daunnya, fungsi fotosintesis akan terganggu karena cekaman kekeringan pada kedelai mengakibatkan daun menjadi cepat menua yang ditandai dengan menurunnya kandungan N dan klorofil daun (Egli dan Crafts-Brandner 1996).

Karakteristik morfologis yang lebih kecil biasanya ditunjukkan oleh tanaman yang mengalami kekeringan daripada tanaman yang tumbuh pada kondisi optimal dengan tujuan untuk membatasi penggunaan air atau memelihara suplai air dalam mengimbangi transpirasi. Pemeliharaan suplai air dilakukan dengan jalan: (i) perubahan pola dan kerapatan perakaran; tanaman yang memiliki proporsi dan biomas akar

Tabel 4. Keragaan volume akar 20 genotipe kedelai pada kondisi optimal dan kekeringan. Rumah kaca Balitkabi, MK 2007.

No Galur	Volume akar		
	Kondisi optimal	Kondisi kekeringan	Rerata
1 DV/2984-330-1-16	27,0	38,0	32,5
2 ARG/GCP-333-4-12	29,0	22,0	25,5
3 Aochi/Wil-62-61	37,0	28,0	32,5
4 ARG/GCP-335-6-30	24,0	33,0	28,5
5 DV/2984-413-11-2	28,0	28,0	28,0
6 SV-7-1011-1-1	31,0	20,0	25,5
7 LK/3474-403-2-14	37,0	35,0	36,0
8 D3578-3/3072-15-70	30,0	27,0	28,5
9 LK/2805-385-10-4	23,0	38,0	30,5
10 Aochi/Wil-60-76	31,0	28,0	29,5
11 ARG/GCP-334-5-19	29,0	5,0	17,0
12 SV-7-1012-2-6	31,0	30,0	30,5
13 Grobogan	21,0	22,0	21,5
14 Lokon-983-73	4,0	12,0	8,0
15 MLG 2805-962-69	26,0	36,0	31,0
16 MLG 2984-999-68	24,0	28,0	26,0
17 MLG 3072-994-67	26,0	43,0	34,5
18 MLG 3474-991-66	32,0	55,0	43,5
19 Tidar	32,0	31,0	31,5
20 Wilis	45,0	29,0	37,0
Rata-rata	28,4	29,4	28,9
Lingkungan (L)		tn	
Galur (G)		tn	
L x G		**	

** : berbeda sangat nyata pada p=0,01, tn: tidak nyata.

Sumber: Suhartina (2007).

yang besar dengan perakaran yang dalam biasanya tahan terhadap kekeringan (Fischer dan Turner 1978), (ii) pengantaran hidrolik tanaman, di mana pembatasan aliran air terutama terjadi di akar (Kramer, 1977). Hudak dan Patterson (1996) meneliti pola distribusi akar kedelai toleran dan peka kekeringan, dan melaporkan bahwa galur toleran kekeringan PI-416937 memiliki sistem perakaran lateral yang lebih besar daripada galur Forest yang peka kekeringan. Percabangan akar dan akar rambut galur PI-416937 juga lebih banyak, sehingga lebih efisien dalam penyerapan air yang ketersediaannya terbatas.

Hasil penelitian Suhartina (2007), menunjukkan bahwa volume akar galur-galur toleran kekeringan pada kondisi kekeringan lebih tinggi daripada volume akar varietas pembanding Wilis dan Tidar (Tabel 4). Pada penelitian tersebut tidak terdapat beda nyata antara kondisi optimal dengan kekeringan. Hal ini diduga terjadi karena singkatnya waktu perlakuan cekaman kekeringan dari R2 ke R5, sehingga tanaman belum mampu menunjukkan perbedaan, baik antargalur maupun antarlingkungan tumbuh. Namun demikian terlihat adanya kecenderungan peningkatan volume akar pada kondisi kekeringan.

Seleksi Langsung Berdasarkan Karakter Agronomis

Seleksi langsung berdasarkan karakter agronomis seperti hasil biji merupakan cara seleksi yang banyak digunakan dalam memilih kedelai toleran kekeringan, karena seleksinya langsung untuk memperoleh galur yang memiliki hasil biji yang relatif tinggi pada kondisi tercekam kekeringan. Dalam seleksi berdasarkan karakter agronomis dapat dilakukan dengan mengukur indeks toleransi cekaman (ITC) yang disarankan oleh Fernandez (1993), atau indeks adaptasi (IA) dan sebaran indeks toleransi dan daya hasil yang disarankan oleh Howeler (1991).

Toleransi tanaman yang diukur berdasarkan indeks toleransi cekaman (ITC) memberikan hasil yang mirip dengan toleransi yang diukur berdasarkan indeks adaptasi (IA). Hasil tertinggi berdasarkan ITC dan IA adalah varietas Tidar, MLG 3072 dan Kipas Putih/MLG 2805-VI-1 (Tabel 5) dengan kriteria toleran (T). Kemiripan hasil yang diperoleh disebabkan kedua pengukuran tersebut (ITC dan IA) menggunakan rumus dengan penyebut yang sama, meskipun berbeda pembilang. Sedangkan pada cekaman berat (Tabel

Tabel 5. Toleransi kekeringan 15 genotipe kedelai pada kondisi cekaman sedang (70% lengas tersedia) berdasarkan beberapa kriteria seleksi.

No.	Genotipe (G)	Hasil biji (g/tanaman)			Seleksi berdasarkan				
		HP	HC	Rata-rata	ITC	Krit Tol	IA	Krit Tol	KH(%)
1	Davros/MLG 2984-VI-6	15,31	12,06	13,69	0,90	AT	1,14	AT	21,2
2	Davros/MLG 2984-VI-9	12,94	9,63	11,29	0,61	R	0,77	R	25,6
3	Davros/MLG 3072-VI-6	12,95	11,33	12,14	0,72	AT	0,91	AT	12,5
4	Kipas Putih/MLG 3474-VI-1	13,74	11,66	12,70	0,79	AT	1,00	AT	15,1
5	Lokon/MLG 3072-VI-2	13,52	10,65	12,09	0,7	AT	0,89	AT	21,2
6	Lokon/MLG 2805-VI-2	13,88	10,98	12,43	0,74	AT	0,94	AT	20,9
7	Kipas Putih/MLG 2805-VI-1	15,72	12,82	14,27	0,99	T	1,25	T	18,4
8	Lokon/MLG 3474-VI-2	14,27	10,74	12,51	0,75	AT	0,95	AT	24,7
9	Davros/MLG 2984-VI-2	13,44	10,22	11,83	0,67	AT	0,85	AT	24,0
10	MLG 3072	14,59	12,3	13,45	0,93	T	1,18	T	15,7
11	MLG 3474	14,08	10,71	12,40	0,74	AT	0,94	AT	23,9
12	MLG 2805	14,67	11,93	13,30	0,85	AT	1,08	AT	18,7
13	MLG 2984	11,91	9,93	10,92	0,58	R	0,73	R	16,6
14	Tidar	17,27	11,96	14,62	1,03	T	1,30	T	30,7
15	Wilis	15,52	12,08	13,80	0,91	AT	1,16	AT	22,2
	Rerata	14,31	11,27	12,79	0,79		1,01		1,01

HP=hasil pada kondisi optimal (100% LT), HC=hasil pada kondisi cekaman (70% LT), ITC=Indeks Toleransi Cekaman, IA=Indeks Adaptasi, KH=kehilangan hasil.

Sumber: Suhartina 2001.

Tabel 6. Toleransi kekeringan 15 genotipe kedelai pada kondisi cekaman berat (40% lengas tersedia) berdasarkan beberapa kriteria seleksi.

No. Genotipe (G)	Hasil biji (g/tanaman)			Seleksi berdasarkan				
	HP	HC	Rata-rata	ITC	Krit Tol	IA	Krit Tol	KH(%)
1 Davros/MLG 2984-VI-6	15,31	9,28	12,30	0,69	T	1,18	T	39,4
2 Davros/MLG 2984-VI-9	12,94	8,26	10,60	0,52	AT	0,89	AT	36,2
3 Davros/MLG 3072-VI-6	12,95	8,18	10,57	0,52	AT	0,88	AT	36,8
4 Kipas Putih/MLG 3474-VI-1	13,74	8,53	11,14	0,57	AT	0,98	AT	37,9
5 Lokon/MLG 3072-VI-2	13,52	7,40	10,46	0,49	R	0,83	R	45,3
6 Lokon/MLG 2805-VI-2	13,88	8,17	11,03	0,55	AT	0,94	AT	41,1
7 Kipas Putih/MLG 2805-VI-1	15,72	8,98	12,35	0,69	T	1,17	T	42,9
8 Lokon/MLG 3474-VI-2	14,27	7,91	11,09	0,55	AT	0,94	AT	44,6
9 Davros/MLG 2984-VI-2	13,44	8,74	11,09	0,57	AT	0,98	AT	35,0
10 MLG 3072	14,59	8,39	11,49	0,63	AT	1,08	AT	42,5
11 MLG 3474	14,08	8,11	11,10	0,56	AT	0,95	AT	42,4
12 MLG 2805	14,67	8,83	11,75	0,63	AT	1,08	AT	39,8
13 MLG 2984	11,91	7,78	9,85	0,45	R	0,77	R	34,7
14 Tidar	17,27	8,60	12,94	0,73	T	1,25	T	50,2
15 Wilis	15,52	8,84	12,18	0,77	T	1,14	T	43,0
Rerata	14,31	8,40	11,36	0,6		1,00		41,3

HP=hasil pada kondisi optimal (100% LT), HC=hasil pada kondisi cekaman (40% LT), ITC=indeks toleransi cekaman, IA=indeks adaptasi, Krit tol=kriteria toleransi, KH=kehilangan hasil.

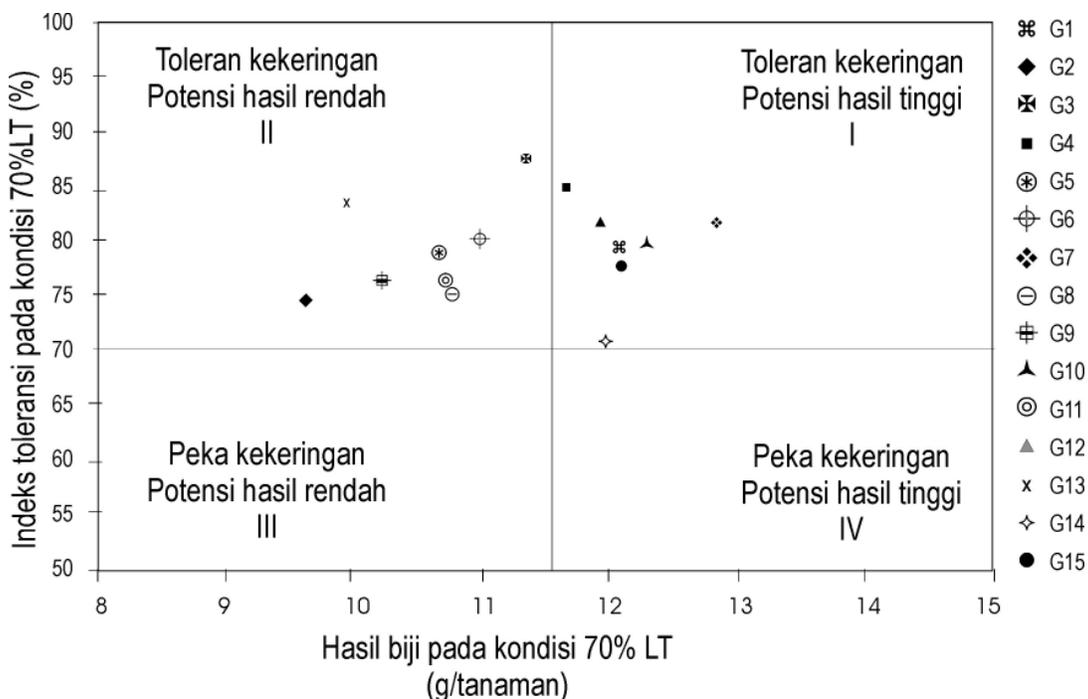
Sumber: Suhartina 2001.

6), varietas Tidar, Wilis, Davros/MLG 2984-VI-6, dan Kipas Putih/MLG 2805-VI-1 menunjukkan ITC dan IA tinggi dengan kriteria toleran (T). Dari uraian tersebut diperoleh bahwa pada kondisi cekaman sedang dan berat terdapat dua genotipe yang terpilih yaitu Kipas Putih/MLG 2805-VI-1 dan varietas Tidar. Kipas Putih/MLG 2805-VI-1 menunjukkan hasil dan toleransi yang sama dengan varietas pembandingan toleran kekeringan (Tidar).

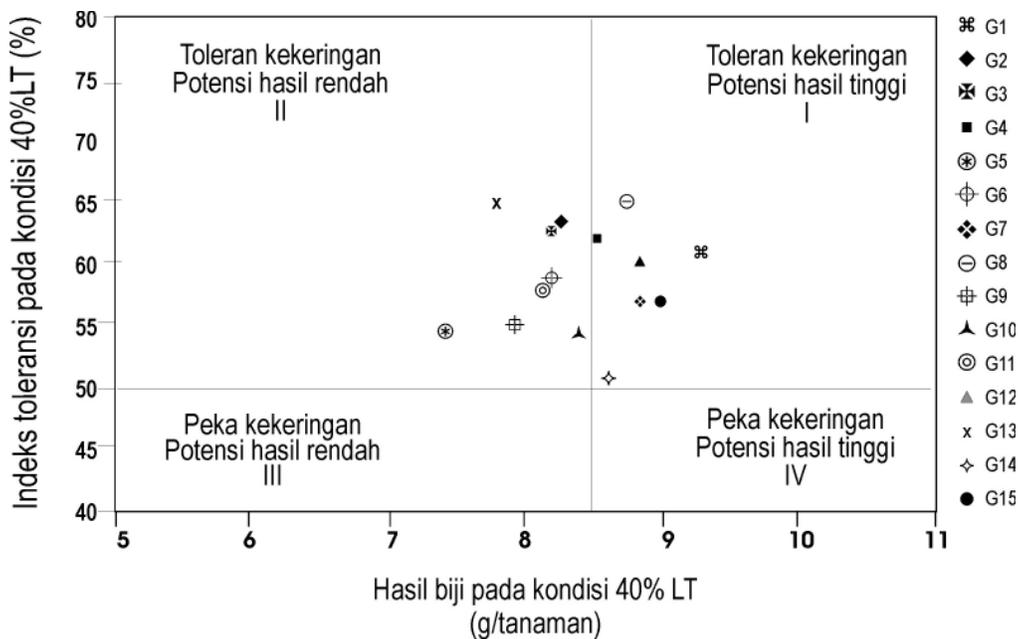
Pemilihan genotipe toleran juga dapat dilakukan menggunakan diagram tebar indeks toleransi (it) dengan hasil biji pada kondisi cekaman seperti yang disajikan pada Gambar 1 dan 2. Indeks toleransi yang digunakan dalam diagram tebar ini mengacu pada indeks toleransi yang disarankan oleh Khandakar (1991) yaitu hasil pada kondisi cekaman dibagi hasil pada kondisi optimal. Dengan penggabungan semacam itu, It dapat digunakan untuk mengukur toleransi tanaman terhadap cekaman kekeringan untuk menilai seluruh genotipe yang diuji. Pemilihan genotipe yang toleran dengan diagram tebar ini akan menggambarkan penurunan hasil yang rendah berdasarkan It dan hasil yang tinggi pada kondisi

cekaman. Pada kondisi cekaman sedang (70% LT) apabila penurunan hasil ditetapkan 30% (Gambar 1), maka garis horizontal yang membagi It berada pada angka 0,7. Apabila pada kondisi ini ditetapkan bahwa hasil biji terendah yang masuk dalam kriteria tahan adalah 11,5 g/tanaman, maka terdapat tujuh genotipe yang termasuk dalam kelompok toleran, yaitu genotipe maka genotipe yang terpilih pada kuadran I adalah Kipas Putih/MLG 2805-VI-1 (G7), MLG 3072 (G10), Davros/MLG 2984-VI-6 (G1), MLG 2805 (G12), dan Kipas Putih/MLG 3474-VI-1 (G4), dan varietas pembandingan Wilis (G15) dan Tidar (G14) dengan nilai indeks toleransi berturut-turut 81,64%; 79,66%; 79,40%; 81,74%; 84,86%; 77,83%; dan 70,56%. Pada kondisi cekaman berat (40% LT), penilaian toleransi juga dilakukan dengan mengubah batas toleransi agar tetap terpilih genotipe toleran, karena apabila batas toleransi sama maka dimungkinkan tidak akan terpilih genotipe toleran sama sekali. Pada Gambar 2, batas seleksi adalah 50% penurunan hasil dan hasil pada kondisi cekaman 8,5 g/tanaman.

Berdasarkan ITC dan IA pada kondisi cekaman kekeringan sedang (Tabel 5) dan berat (Tabel 6),



Gambar 1. Sebaran indeks toleransi dan daya hasil pada kondisi cekaman sedang (70% lengas tersedia) (Suhartina, 2001).



Gambar 2. Sebaran indeks toleransi dan daya hasil pada kondisi cekaman berat (40% lengas tersedia) (Suhartina, 2001).

kemunculan genotipe yang sama pada kedua kondisi cekaman menunjukkan bahwa genotipe-genotipe memiliki toleransi terhadap cekaman kekeringan dari sedang sampai berat. Kondisi semacam ini juga dapat dilihat pada diagram tebar It dan hasil pada kondisi cekaman. Pada kondisi cekaman sedang, genotipe terpilih adalah Kipas Putih/MLG 2805-VI-1 (G7), MLG 3072 (G10), Davros/MLG 2984-VI-6 (G1), MLG 2805 (G12), dan Kipas Putih/MLG 3474-VI-1 (G4), dan varietas pembanding Wilis (G15) dan Tidar (G14), sedangkan pada kondisi cekaman berat genotipe terpilih adalah genotipe Davros/MLG 2984-VI-6 (G1), Kipas Putih/MLG 2805-VI-1 (G7), MLG 2805 (G12), Davros/MLG 2984-VI-2 (G9), dan varietas pembanding Wilis (G15) dan Tidar (G14) dengan nilai indeks toleransi berturut-turut 61,27%; 57,27%; 60,37%; 65,43%; 57,27%; dan 50,99%. Pada kedua kondisi cekaman tersebut terdapat lima genotipe yang konsisten berada pada kuadran I yaitu genotipe Davros/MLG 2984-VI-6 (G1), Kipas Putih/MLG 2805-VI-1 (G7), MLG 2805 (G12), dan varietas pembanding Wilis (G15) dan Tidar (G14). Oleh karena itu ke lima genotipe tersebut merupakan genotipe yang toleran terhadap kekeringan pada 70–40% lengas tersedia.

KESIMPULAN

Pemuliaan tanaman kedelai toleran terhadap cekaman kekeringan dapat dilakukan berdasarkan karakter fisiologi, morfologi dan agronomi. Karakter fisiologi dan morfologi tidak selalu berkorelasi dengan karakter agronomi, karena genotipe kedelai yang memiliki toleransi berdasarkan kedua karakter tersebut belum tentu memiliki potensi hasil yang tinggi. Di lain pihak, pemuliaan kedelai terutama diarahkan untuk memperoleh varietas unggul kedelai dengan hasil tinggi. Oleh karena itu, ketiga karakter tersebut perlu digabungkan dalam suatu program pemuliaan kedelai untuk toleransi terhadap kekeringan, sehingga penurunan hasil akibat cekaman kekeringan menjadi lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, S. 1988. Pengaruh Pemberian Kalium pada Beberapa Tingkat Kekeringan terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai. Tesis S2 Fak Pascasarjana. IPB. *Tidak dipublikasikan*.

- Baharsjah, J.S., Didi Suardi, dan Irsal Las. 1993. Hubungan iklim dengan pertumbuhan kedelai. hlm. 87–102 *dalam* Kedelai. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.
- Begg, J.E. 1980. Morphological adaptation of leaves to water stress. P. 33–42. *In* Adaptation of Plant to Water and High Temperature Stress. N.C. Turner and P.J. Kramer (ed.). John Wiley & Sons. New York - Singapore.
- Carter, T.E, Jr. 1989. Breeding for drought tolerance in soybean-where do we stand? *In* A.J. Pascale (Eds.). World Soybean Res Conf IV. 5–9 March 1989. Buenos Aires Argentina. ACTAS Proc.
- Doorenbos, J. and A.H. Kassam. 1979. Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper. Vol 33.
- Egli, D.B. and S.J. Grafts-Brander. 1996. p.595–623. *In* E. Zamski and A.A. Schaffer (Ed). Photoassimilate distribution in plants and crops: Source-sink relationships. Marcel Decker. New York.
- Fagi, A.M. dan Tangkuman, F. 1993. Pengelolaan air untuk pertanaman kedelai. Hlm 135–157. *dalam* Kedelai. Kedelai. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.
- Farid, M.B. 2003. Ketahanan kedelai terhadap kekeringan dengan menggunakan Polyethelene glycol (PEG). *J. Agrivigor* 3:155–164.
- Fernandez, G.C.J. 1993. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. P. 257–270. *In*. Kuo. C.G. (Eds.). Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Proc. of an Inter. Symp. Taiwan. 13–18 August 1992. AVRDC.
- Fischer, R.A. and N.C. Turner. 1978. Plant Productivity in the Arid and Semiarid Zones. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 29:277–317.
- Frederick, J.R., J.T. Woolley, J.D. Hesketh, and D.B. Peters. 1990. Water deficit development in old and new soybean cultivars. *Agron. J.* 82:76–81.
- Hamim, D. Sopandie dan M. Jusuf. 1996. Beberapa karakteristik morfologi dan fisiologi kedelai toleran dan peka cekaman kekeringan. *Hayati* 3:30–34.
- Hassanein, A.M.A. 2010. Establishment of efficient in vitro method for drought tolerance evaluation in *Pelargonium*. *J of Hort & Ornamental Plants* 2:8–15.
- Hoogenboom, G., M.G. Huck, and C.M. Peterson. 1987. Root Growth Rate of Soybean as Affected by Drought Stress. *Agron. J.* 79:607–614.
- Howeler, R.H. 1991. Identifying plants adaptable to low pH conditions. R.J. Wright *et al.* (Eds). Plant-Soil Interaction at Low pH. Kluwer Acad Publ. p. 885–904.

- Hudak, C.M. and R.P. Patterson. 1996. Root Distribution and Soil Moisture Depletion Pattern of a Drought-Resistant Soybean Plant Introduction. *Agron. J.* 88(3):478–485.
- Husni, A., M. Kosmiatin, dan I. Mariska. 2006. Peningkatan toleransi kedelai Sindoro terhadap kekeringan melalui seleksi *in vitro*. *Bul. Agron.* 34:25–31.
- Ismail, I.G. dan Effendi. S. 1993. Pertanaman kedelai pada lahan kering. hlm. 103–120. *Dalam* Kedelai. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.
- Khandakar, A.L. 1992. Breeding for Environmental Stress Tolerance (Drought, Waterlogging, Salinity, Short-Days and Low Temperature). p. 207–221. *In* Proc of the IJO/BJRI Training Course on "Specialized Techniques in Jute and Kenaf Breeding".
- Kasno, A dan M. Jusuf. 1994. Evaluasi Plasma Nutfah Kedelai untuk Daya Adaptasi terhadap Kekeringan. *J Ilmu Pertanian Indonesia.* Hlm. 12–15.
- Kasno, A., Novita, N., dan J. Purnomo. 1998. Parameter seleksi kacang tanah pada cara tanam tunggal dan tumpang sari dengan jagung. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan.* 17(1):68–75.
- Kosturkova, G. R., Todorova. G. Sakthivelu, M. K. Akitha Devi. P. Giridhar. T. Rajasekaran. G. A. Ravishankar. 2008. Response of Bulgarian and Indian soybean genotypes to drought and water deficiency in field and laboratory conditions. *Gen. Appl. Plant Physiology* 34:239–250.
- Kramer, P.J. 1977. *Plant and Soil Water Relationship.* (Ed. TMH) Mc. Graw. Hill. Publ. Co. London.
- Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stress. Vol. II. Water, Radiation, Salt, and other Stresses. Acad Press. New York. 607 p.
- Matheka, J.M., E. Magiri. A.O. Rasha and J. Machuka. 2008. *In vitro* selection and characterization of drought tolerant somaclones of tropical maize (*Zea mays* L.). *Biotechnology* 7:641–650.
- Mederski, H.J., D.L. Jeffers, and D.B. Peters. 1973. Water and Water Relation. *In* Soybean Improvement Production and Uses. Agronomy Series 16. Am. Soc. Agron.
- Momen, N.N., R.E. Carlson, R.H. Shaw, and O. Arjmand. 1979. Moisture-stress effects on yield components of two soybean cultivar. *Agron. J* 71(1):86–90.
- Nalampang, A.J. Mahisarakul, S. Koemeechai, and A. Chotiyawongse. 1989. Selection of drought tolerant soybean lines. *In* A.J. Pascale (Eds.). World Soybean Research Conference IV. 5–9 March 1989. Buenos Aires Argentina. ACTAS Proc.
- Pandey, R.K., W.A.T. Herrera, A.N. Villegas, and J.W. Pendleton. 1984. Drought Response of Grain Legume Under Irrigation Gradient III: Plant Growth. *Agron. J* 76:557–560.
- Sadeghi, H., F. Khazaei. L. Yari and S. Sheidaei. 2011. Effect of seed osmopriming on seed germination behavior and vigor of soybean (*Glycine max* L.). *ARPN J of Agric and Biol Sci* 6:39–43.
- Suardi. 1988. Pemilihan Varietas padi Tahan kekeringan. *Jurnal Litbang Pertanian.* Badan Litbang Pertanian Bogor. 7(1):1–9.
- Soegijatni Slamet dan Suyamto. 2000. Uji daya hasil pendahuluan kedelai toleran kekeringan. Laporan Teknik Hasil Penelitian. Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Malang.
- Soemartono. 1985. Kajian Gaya Cabut sebagai Metode Penyaringan Ketahanan terhadap Kekeringan dan Genetika Perakaran Padi Lahan Kering. Disertasi Doktor Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. *Tidak Dipublikasikan.*
- Suhartina. 2001. Evaluasi Sifat Tahan terhadap Kekeringan dan Daya Hasil Tinggi Beberapa Galur Kedelai Generasi F7. Tesis S2 Fakultas Pascasarjana UGM. Yogyakarta. *Tidak dipublikasikan.*
- Suhartina, Sri Kuntjiyati H, dan Tohari. 2002. Toleransi beberapa galur F7 kedelai terhadap cekaman kekeringan pada fase generatif. Hlm. 335–438 *Dalam* Pros Seminar Nasional: Teknologi Inovatif Tanaman kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Puslitbang Tanaman Pangan.
- Suhartina dan Suyamto. 2005. Evaluasi galur kedelai untuk toleran kekeringan dan berbiji besar. Laporan Akhir Tahun: Hasil Penelitian Komponen Teknologi Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian Tahun 2004. Buku II. Balitkabi. Malang.
- Suhartina, D.M. Arsyad, dan Suyamto. 2004. Evaluasi galur-galur harapan kedelai toleran kekeringan fase reproduktif. Hlm 133–144. *Dalam* Kinerja Penelitian Mendukung Agribisnis Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Puslitbang Tanaman Pangan. Bogor.
- Suhartina dan Darman M. Arsyad. 2005. Toleransi galur dan varietas kedelai terhadap cekaman kekeringan. Lokakarya dan Seminar Nasional: Peningkatan Produksi Kacang-kacangan dan Umbi-umbian Mendukung Kemandirian Pangan. Puslitbang Tanaman Pangan.
- Suhartina dan A. Nur. 2005. Evaluasi galur-galur harapan kedelai hitam toleran terhadap kekeringan. Laporan Akhir Tahun: Hasil Penelitian Komponen Teknologi Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian Tahun 2005.
- Suhartina, Mussalamah, dan Abdullah Taufiq. 2007. Laporan Akhir Tahun 2007. ROPP B-3. Perakitan

- Varietas Kedelai Toleran Kekeringan Fase Reproduksi. Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. *Tidak dipublikasikan*.
- Specht, J.E. and G.L. Graef. 1989. Dual assessment of drought tolerance and irrigation responsiveness in soybean cultivars. *In* A.J. Pascale (Eds.). World Soybean Reserach Conference IV. 5–9 March 1989. Buenos Aires Argentina. ACTAS Proc.
- Swindale, L.D. and F.R. Bidinger. 1981. Introduction: The human consequences of drought and crop research priorities for their alleviation. (L.G. Paleg and D.Asपाल Eds.). *In* The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants. Acad Press. New York.
- Thelen, Kurt., Mark Bernard, Michael Staton, Doug Buhler, Chad Lee, Chris DiFonzo. 2003. Effect Irrigation Schedulling on Soybean Growth and Yield. <http://www.ianr.unl.edu/pubs/fieldcrops>.
- Turner, N.C., G.C. Wright, and K.H.M. Siddique. 2001. Adaptation of grain legumes (pulses) to water limited environments. *Adv. Agron.* 71: 193–23.
- Whigham, D.K. and Minor. H.C. 1978. Agronomic characteristics and environmental stress. P. 77–118. *In* A.G. Norman (Eds.). Soybean. Physiology, Agronomy, and Utilization. Acad Press. New York.
- Widoretno, W., R. Megia, dan Sudarsono. 2003. Reaksi embrio somatic kedelai terhadap polietilena glikol dan penggunaannya untuk seleksi *in vitro* terhadap cekaman kekeringan. *Hayati* 10:134–139.
- William, C.N. and Joseph. 1976. Climate, Soil, and Crop Production in the Humid Tropics. Rev. Ed. 29–50. Oxford Univ. Press. Kuala Lumpur.
- Zandstra, H.G. 1982. Effect of Soil Moisture and Texture on Growth of upland Crops Wetland Rice. Inst. Los Banos. Philippines. p. 43–45.
- Yadav, P.V., P. Suprasanna, K.U. Gopalrao and B.V. Anant. 2006. Molecular profiling using RAPD technique of salt and drought tolerant regenerants of sugarcane. *Sugar Tech.* 8:63–68
- Yunita. R. 2009. Pemanfaatan variasi somaklonal dan seleksi *in vitro* dalam perakitan tanaman toleran cekaman abiotik. *J Litbang Pertanian* 28:142–148.
-