

SKRINING UNTUK TOLERANSI TERHADAP STRES KEKERINGAN PADA 36 VARIETAS KEDELAI PADA FASE PERKECAMBAHAN

Wahyu Widoretno

Jurusan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran Malang

ABSTRACT

Water stress due to drought is the most significant abiotic factor limiting crop growth and development. Drought stress inhibit germination and seedling growth, and extent of inhibition in germination under drought stress condition is varying in varieties. The previous research result showed that the differences in germination response under drought stress can be used as early test for screening to drought tolerance in plants. The objectives of this experiment were to evaluate the germination response of 36 soybean varieties under drought stress simulated by polyethylene glycol (PEG), to know the drought-stress tolerance level of 36 soybean varieties based on germination response in medium containing PEG, and to identify drought tolerant varieties. Soybean seeds were germinated in sand medium containing several PEG (6000) at concentration 0%, 15% and 20% which equivalent to 0, -0,41 and -0,67 MPa during 5 days. Germination responses were observed by calculating vigor index, germination percentage, lateral root number and measuring hypocotyl and root length and seedling dry weight. The level of drought stress tolerance of soybean varieties were evaluated based on index of reduction and drought sensitivity on germination variables in stress and non-stress conditions. The research result showed that drought stress on germination media simulated by PEG decreased vigor index, germination percentage, lateral root number, hypocotyl and root lengths and dry weight of seedling. The inhibition of germination increased with reduction of water potential. The water potential -0,41 MPa inhibited vigor index and hypocotyls length in all tested varieties, but inhibited germination percentage, lateral root number and dry weight of seedling in some varieties. However, decreasing of water potential -0,67 MPa inhibited almost germination variables in all varieties, except root length. Each tested soybean variety showed differences of germination response to drought stress. Varieties of Dieng, Tidar and Sibayak showed less inhibition than others, but Anjasmoro, Burangrang, Galunggung, Kipas Putih and Tambora showed more inhibition in seedling growth. Based on index of reduction and drought sensitivity on germination variables, Dieng and Tidar were identified as tolerant varieties, while sixteen varieties as medium tolerant and seventeen varieties as sensitive ones.

Key words: drought stress, germination, polyethylene glycol, soybean, water potential

PENGANTAR

Kedelai merupakan sumber protein nabati yang murah dan digunakan sebagai bahan utama berbagai jenis makanan. Saat ini produksi kedelai belum dapat memenuhi kebutuhan Nasional. Produksi kedelai pada tahun 2009 berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) mencapai 974.510 ton biji kering. Walaupun meningkat sebanyak 198,80 ribu ton (25,63 persen) dibandingkan tahun 2008 namun berdasarkan angka ramalan BPS, produksi kedelai tahun 2010 ini diperkirakan sebesar 905.020 ton, turun 69.500 ton (7,13%) dibandingkan dengan tahun 2009 lalu. Penurunan produksi diperkirakan terjadi karena penurunan luas panen seluas 44,35 ribu hektar (6,14%), sedangkan produktivitas diperkirakan mengalami kenaikan sebesar 0,19 kuintal/hektar (1,41%) (BPS, 2010). Saat ini sekitar 50% kebutuhan kedelai Nasional berasal dari kedelai impor. Perkiraan penurunan produksi kedelai ini sangat berkebalikan dengan target swasembada kedelai pada tahun 2014. Salah satu kendala dalam peningkatan produktivitas kedelai di Indonesia adalah stres kekeringan.

Kedelai umumnya ditanam di lahan kering atau setelah tanaman pangan utama di akhir musim penghujan sehingga ketersediaan air seringkali menjadi kendala.

Upaya yang dilakukan untuk mengatasi masalah stres kekeringan dalam budi daya kedelai adalah dengan menyediakan varietas kedelai yang toleran terhadap cekaman kekeringan melalui pendekatan pemuliaan tanaman. Walaupun stres kekeringan merupakan salah satu faktor pembatas produksi kedelai, tetapi varietas kedelai yang toleran kekeringan tidak banyak yang telah dilepaskan. Sekitar 1000 nomor seleksi plasma nutfah kedelai di Indonesia, ada sekitar 62 varietas yang telah dibudidayakan petani (Suhartina, 2005). Namun demikian dari jumlah tersebut belum ada informasi mengenai tingkat toleransinya terhadap stres kekeringan.

Strategi untuk menskrining varietas yang toleran terhadap stres kekeringan sangat sulit diterapkan di lapangan karena sulit memberikan tekanan stres yang homogen dan memerlukan waktu yang lama. Teknik *ex vitro* menggunakan polietilena glikol (PEG) merupakan metode yang sangat efektif untuk mempelajari pengaruh stres air

pada perkecambahan dan pertumbuhan kecambah (Kim dkk., 2001; Van den Berg dan Zeng, 2006; Radhouane, 2007) dan merupakan metode yang sederhana dan murah untuk menskrining sejumlah besar plasma nutfah dalam periode waktu yang singkat dan akurat (Levitt, 1980; Kim dkk., 2001; Kulkarni dan Despande, 2007; Guóth dkk., 2008). Menurut Muller dan Whitsitt (1966) dan Mullahey dkk. (1996), polietilena glikol merupakan senyawa osmotik yang dapat digunakan untuk mensimulasi kondisi stres kekeringan karena PEG mampu menurunkan potensial air dan tidak bersifat toksik pada tanaman. Uji laboratorium untuk skrining tingkat toleransi genotipe terhadap kekeringan menunjukkan korelasi yang signifikan dengan tingkat toleransi kekeringan di lapang (Grzesiak dkk. 2003; Hajiboland dan Hasani, 2007).

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa skrining *ex vitro* pada fase perkecambahan telah berhasil digunakan untuk mengidentifikasi varietas toleran terhadap larutan garam pada tanaman kacang panjang (Okcu dkk., 2005), toleran terhadap udara dingin pada tanaman kapas (da Cruz dan Milach, 2004; Tiryaki dan Andrews, 2001) dan toleran terhadap stres kekeringan pada tanaman gandum, kapas, pinus dan *Cicer arietinum* L. (Sayar dkk., 2008; Longenberger dkk., 2006; Boydak dkk., 2003; Yucel dkk., 2010). Kemampuan berkecambah pada kondisi stres air yang disimulasi dengan PEG bervariasi di antara genotipe tanaman (Boydak dkk., 2003; Pirdashti dkk., 2003; dan Okcu dkk., 2005; Bonvissuto dan Busso, 2007). Kultivar *Pearlmilet* yang toleran kering memiliki kemampuan berkecambah lebih tinggi dibandingkan kultivar peka karena lebih sedikit menyerap air untuk perkecambahan (Gupta, 1995). Hasil skrining pada tanaman gandum yang dilakukan oleh Guoth dkk. (2008) menunjukkan bahwa genotipe toleran mengalami penurunan potensial air daun yang lebih kecil dan akumulasi hormon ABA yang lebih tinggi dibandingkan dengan genotipe peka (Guóth dkk., 2008). Dalam penelitian ini dilakukan skrining *ex vitro* untuk toleransi terhadap cekaman kekeringan dengan menggunakan PEG pada 36 varietas kedelai pada fase perkecambahan. Berdasarkan hasil skrining ini diharapkan diketahui respons perkecambahan dan tingkat toleransi terhadap stres kekeringan dari 36 varietas kedelai yang diuji.

BAHAN DAN CARA KERJA

Penelitian dilakukan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor. Faktor pertama

adalah varietas kedelai (36 varietas) dan faktor kedua adalah konsentrasi PEG (BM 6000), yaitu 0 (tanpa PEG), 15% dan 20% yang setara dengan potensial air -0,41 MPa dan -0,67 MPa (Mexal dkk., 1975).

Pengecambahan kedelai dilakukan menggunakan media pasir di dalam gelas plastik. Empat sudut bagian dasar gelas plastik dilubangi kemudian pasir dimasukkan ke dalam gelas plastik sampai ketinggian 1 cm di bawah mulut gelas. Setelah itu media pasir disiram dengan larutan PEG dengan konsentrasi 15% dan 20% sampai jenuh. Untuk kontrol, media pasir disiram dengan air tanpa PEG. Setiap gelas diisi 5 benih kedelai. Setiap perlakuan PEG untuk setiap varietas diulang sebanyak empat kali, setiap ulangan dikecambahkan 25 benih kedelai pada gelas plastik. Benih disiram setiap 2 hari sekali sebanyak 5 ml larutan PEG atau air.

Benih dikecambahkan selama 5 hari. Pada hari ke-3 dan ke-5 dihitung jumlah kecambah yang muncul untuk menentukan indeks vigor dan persentase perkecambahan. Pada hari kelima, kecambah dikeluarkan dari media tanam dan kotiledon dibuang kemudian diukur panjang hipokotil dan akar kecambah. Panjang hipokotil diukur tepat di bawah kotiledon sampai pangkal akar, sedangkan panjang akar diukur dari pangkal hipokotil sampai dengan ujung akar. Berat kering kecambah diperoleh dengan mengeringkan kecambah tanpa kotiledon dalam oven bersuhu 80° C selama 2 × 24 jam (ISTA, 1996).

Indeks vigor dan persentase perkecambahan dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Indeks vigor} = \frac{\sum \text{kecambah umur 3 hari}}{\sum \text{Benih yang ditanam}}$$

$$\text{Persentase perkecambahan} = \frac{\sum \text{Kecambah umur 5 hari}}{\sum \text{Benih yang ditanam}} \times 100\%$$

Tingkat toleransi kekeringan dari varietas kedelai ditentukan berdasarkan pada nilai indeks sensitivitas kekeringan (S) berbagai peubah perkecambahan. Varietas kedelai uji dikelompokkan sebagai varietas toleran cekaman kekeringan jika mempunyai nilai $S < 0,5$, termasuk kelompok medium jika $0,5 < S > 1$ dan kelompok peka cekaman kekeringan jika $S > 1$). Indeks sensitivitas dihitung dengan menggunakan rumus Fischer dan Maurer, 1978, sebagai berikut:

$$\text{Indeks sensitivitas kekeringan (S)} = \frac{(1-Y/Y_p)}{(1-X/X_p)}$$

Keterangan:

Y = nilai rata-rata pengamatan untuk satu varietas tertentu pada kondisi stres

Yp = nilai rata-rata pengamatan untuk satu varietas tertentu pada kondisi non-stres

X = nilai rata-rata pengamatan untuk seluruh varietas pada kondisi stres

Xp = nilai rata-rata pengamatan untuk seluruh varietas pada kondisi nonstres

Jika $S < 0,5$ = toleran, $0,5 < S < 1,0$ = medium dan $S > 1,0$ = peka

Data yang diperoleh dianalisis dengan ANOVA melalui program SPSS 11,5 for windows dan uji lanjutan menggunakan BNT pada selang kepercayaan 95%.

HASIL

Penambahan PEG pada media perkecambahan digunakan untuk mensimulasi kondisi stres kekeringan, karena PEG mampu mengikat air sehingga dapat menurunkan potensial air (Ψ_w) di dalam media tanam. Penurunan Ψ_w pada media perkecambahan dapat menghambat perkecambahan dan pertumbuhan kecambah kedelai. Semakin tinggi penurunan Ψ_w pada media tanam semakin tinggi pula penghambatan perkecambahan kedelai.

Indeks vigor dan panjang hipokotil kecambah merupakan peubah perkecambahan yang sangat sensitif terhadap penurunan Ψ_w . Indeks vigor dan panjang hipokotil kecambah pada semua varietas kedelai yang diuji sudah mengalami penurunan pada Ψ_w -0,41 MPa, sedangkan penurunan persentase perkecambahan, jumlah akar lateral dan berat kering kecambah pada Ψ_w -0,41 MPa hanya terjadi pada sebagian varietas (Tabel 1). Pertumbuhan panjang akar merupakan peubah perkecambahan yang relatif kurang sensitif terhadap penurunan Ψ_w pada media tanam perkecambahan. Penurunan Ψ_w sebesar -0,41 MPa menghambat pertumbuhan panjang akar hanya pada 2 varietas dari 36 varietas kedelai yang diuji (Tabel 2). Kecuali panjang akar, penurunan Ψ_w sebesar -0,67 MPa pada media tanam mampu menghambat semua peubah perkecambahan pada lebih dari 90% varietas kedelai yang diuji.

Di antara varietas kedelai yang diuji, varietas Baluran, Dieng, Sibayak, dan Tidar yang paling sedikit mengalami

penghambatan perkecambahan. Pada penurunan Ψ_w sebesar -0,41 MPa, varietas Baluran, Dieng, Sibayak dan Tidar hanya mengalami penghambatan pertumbuhan panjang hipokotil dan penurunan indeks vigor, sedangkan hampir semua peubah perkecambahan pada varietas Anjasmoro, Burangrang, Galunggung, Leuser, Malabar, Tambora, Wilis, Kerinci dan Kipas Putih mengalami penghambatan (Tabel 1 dan 2). Penghambatan perkecambahan pada penurunan Ψ_w sebesar -0,67 MPa terjadi hampir pada semua varietas. Pada Ψ_w sebesar -0,67 MPa menurunkan indeks vigor, persentase perkecambahan dan menghambat pertumbuhan panjang hipokotil dan berat kering kecambah serta jumlah akar lateral pada semua varietas uji. Sedangkan sekitar 50% varietas mengalami penghambatan pertumbuhan akar pada potensial air tersebut (Tabel 1 dan 2)

Varietas kedelai uji dalam penelitian ini memiliki perbedaan ukuran benih sehingga untuk menilai respons terhadap stres kekeringan dilakukan penghitungan indeks penurunan pada berbagai peubah perkecambahan. Penyusunan indeks penurunan didasarkan atas perubahan nilai peubah perkecambahan pada kondisi kontrol tanpa penambahan PEG dan pada media perkecambahan dengan kondisi stres kekeringan.

Pada penurunan Ψ_w sebesar -0,41 MPa, rata-rata persentase penurunan indeks vigor dan panjang hipokotil di atas 75%, sedangkan persentase penurunan jumlah akar dan berat kering kecambah berkisar antara 33–47%. Pertumbuhan panjang akar hanya mengalami penurunan sebesar 13%. Pada penurunan Ψ_w sebesar -0,67 MPa, indeks vigor, persentase perkecambahan, dan panjang hipokotil mengalami penurunan lebih dari 90%, sedangkan rata-rata penurunan jumlah akar lateral dan berat kering kecambah sebesar 80%. Pertumbuhan panjang akar mengalami penghambatan paling kecil, yaitu rata-rata sebesar 69% (Tabel 3).

Pada Ψ_w -0,41 MPa, varietas Dieng, Tidar dan Sibayak mengalami persentase penurunan indeks vigor, persentase perkecambahan, panjang hipokotil, jumlah akar dan berat kering kecambah lebih kecil dibandingkan dengan varietas yang lain, sedangkan varietas Anjasmoro, Burangrang, Galunggung, Kipas Putih, dan Tambora mengalami persentase penurunan perkecambahan, panjang hipokotil, jumlah akar dan berat kering kecambah paling besar (Tabel 3).

Tabel 1. Pengaruh stres kekeringan terhadap indeks vigor, persentase perkecambahan dan panjang hipokotil kecambah pada 36 varietas kedelai

No	Varietas Kedelai	Indeks Vigor:			Persentase Perkecambahan (%)			Panjang Hipokotil Kecambah (cm)		
		0 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa	0 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa	0 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa
1	Anjasmoro	0,84 a	0,00 b	0,00 b	89 a	33 b	2 c	13,9 a	3,6 b	0,7 b
2	Baluran	0,84 a	0,02 b	0,00 b	96 a	46 ab	12 b	13,1 a	2,3 b	1,4 b
3	Bromo	0,82 a	0,00 b	0,00 b	86 a	44 ab	0 b	13,7 a	3,1 bc	0,0 c
4	Burangrang	0,76 a	0,00 b	0,00 b	90 a	53 b	2 c	12,0 a	3,1 b	0,0 c
5	Cikuray	0,96 a	0,00 b	0,00 b	100 a	74 a	0 b	13,4 a	3,4 bc	0,0 c
6	Dieng	0,95 a	0,52 b	0,00 c	95 a	78 a	5 b	13,5 a	5,6 b	0,8 c
7	Galunggung	0,85 a	0,00 b	0,00 b	88 a	37 b	0 b	12,3 a	2,7 bc	0,0 c
8	Ijen	0,96 a	0,14 b	0,06 b	100 a	42 a	24 b	13,0 a	2,7 b	2,2 b
9	Jayawijaya	0,94 a	0,04 b	0,00 b	97 a	57 ab	23 b	15,0 a	4,0 b	2,6 b
10	Kaba	0,98 a	0,00 b	0,00 b	100 a	65 a	1 b	13,1 a	3,4 bc	1,2 c
11	Kawi	0,83 a	0,00 b	0,00 b	91 a	65 a	3 b	13,5 a	3,2 b	0,7 c
12	Kerinci	0,84 a	0,08 b	0,00 b	100 a	64 b	0 c	15,3 a	2,8 b	0,0 c
13	Kipas Putih	0,88 a	0,00 b	0,00 b	100 a	13 b	0 c	14,4 a	2,2 b	0,0 c
14	Krakatau	0,94 a	0,04 b	0,00 b	98 a	76 b	0 c	14,9 a	3,2 bc	0,0 c
15	Leuser	0,87 a	0,01 b	0,00 b	92 a	65 b	2 c	14,6 a	3,7 b	2,3 c
16	Lokon	0,92 a	0,18 b	0,00 c	95 a	60 ab	15 b	13,7 a	2,8 b	3,4 b
17	L. Batang	0,94 a	0,02 b	0,00 b	100 a	70 b	0 c	14,5 a	3,2 b	0,0 b
18	L. Bewok	0,98 a	0,02 b	0,00 b	100 a	66 b	0 c	13,7 a	2,4 b	0,0 c
19	Mahameru	0,30 a	0,00 b	0,00 b	78 ab	41 b	1 c	13,6 a	3,4 b	0,5 c
20	Malabar	0,83 a	0,04 b	0,00 b	93 a	54 b	0 c	12,3 a	2,7 b	0,0 c
21	Merbabu	0,98 a	0,00 b	0,00 b	100 a	56 a	0 b	13,7 a	2,5 b	0,0 c
22	Nanti	1,00 a	0,04 b	0,00 b	100 a	90 b	0 c	14,3 a	5,4 bc	0,0 c
23	Orba	0,94 a	0,18 b	0,00 b	96 a	66 b	5 c	13,7 a	3,5 b	2,8 b
24	Pangrango	1,00 a	0,04 b	0,00 b	100 a	60 ab	0 b	12,9 a	2,8 b	0,0 c
25	Petek	0,97 a	0,16 b	0,04 b	98 a	78 a	22 b	13,5 a	3,5 b	1,1 c
26	Ringgit	0,93 a	0,23 b	0,01 b	98 a	83 a	16 b	14,3 a	3,8 b	1,2 b
27	Rinjani	0,96 a	0,10 b	0,02 b	100 a	82 a	30 b	13,4 a	3,2 b	2,5 b
28	Sibayak	0,93 a	0,19 b	0,07 b	95 a	89 a	17 b	15,1 a	4,2 b	1,2 c
29	Sinabung	0,95 a	0,00 b	0,00 b	97 a	60 a	3 b	13,5 a	3,7 b	2,1 c
30	Sindoro	0,68 a	0,01 b	0,00 b	96 a	59 ab	20 b	13,4 a	4,2 b	1,9 c
31	Singgalang	0,98 a	0,26 b	0,00 b	100 a	90 a	4 b	14,8 a	3,8 b	0,9 b
32	Slamet	0,87 a	0,04 b	0,00 b	93 a	60 a	5 b	12,9 a	3,5 b	2,2 c
33	Tambora	0,91 a	0,05 b	0,00 b	94 a	72 b	2 c	14,7 a	2,8 b	1,0 c
34	Tanggamus	0,83 a	0,17 b	0,01 b	86 a	85 a	24 b	15,2 a	4,6 b	1,4 c
35	Tidar	0,85 a	0,24 b	0,00 b	94 a	93 a	9 b	14,4 a	4,8 b	1,1 c
36	Willis	0,96 a	0,02 b	0,00 b	96 a	66 b	8 c	13,3 a	2,6 b	1,7 b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris yang sama pada setiap peubah perkecambahan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%.

Tabel 2. Pengaruh stres kekeringan terhadap panjang akar, jumlah akar lateral dan berat kering kecambah pada 36 varietas kedelai

No	Varietas Kedelai	Panjang Akar (cm)			BK Kecambah (g)			Jumlah Akar Lateral		
		0 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa	0 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa	0 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa
1	Anjasmoro	6,0 a	4,9 a	0 b	34,2 a	15,7 b	2,5 c	20 a	13 b	0 c
2	Baluran	6,5 a	4,7 a	2,2 a	26,8 a	12,5 a	5,9 a	21 a	11a	6a
3	Bromo	5,6 ab	5,1 b	0,0 c	22,0 a	13,0 a	0,0 b	17 a	10 b	0 c
4	Burangrang	6,7 a	5,2 a	0,0 b	34,9 a	19,4 b	0,0 c	23 a	13 b	0 c
5	Cikuray	6,2 a	5,9 a	0,0 b	18,1 a	10,5 a	0,0 b	24 a	11 b	0 c
6	Dieng	5,8 a	6,5 a	1,8 b	16,5 a	11,3 ab	3,3 b	20 a	16 a	5 b
7	Galunggung	7,2 a	5,1 a	0,0 b	31,2 a	15,1 b	0,0 c	24 a	14 b	0 c
8	Ijen	6,3 a	4,1 a	4,2 a	21,8 a	10,8 b	11,5 b	25 a	12 b	11 b
9	Jayawijaya	5,2 a	5,5 a	4,6 a	19,4 a	10,3 b	9,9 b	18 a	14 a	8 b
10	Kaba	5,5 a	5,5 a	0,8 b	26,7 a	17,2 b	0,0 c	20 a	15 a	0 b

Lanjutan Tabel 2.

No	Varietas Kedelai	Panjang Akar (cm)			BK Kecambah (g)			Jumlah Akar Lateral		
		0 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa	0 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa	0 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa
11	Kawi	5,2 a	5,2 a	1,3 b	21,7 a	13,6 b	0,8 c	19 a	13 b	5 c
12	Kerinci	5,9 a	4,6 b	0,0 c	21,1 a	8,2 b	0,0 c	24 a	8 b	0 c
13	Kipas Putih	6,9 a	6,2 b	0,0 c	26,9 a	8,5 b	0,0 c	27 a	8 b	0 c
14	Krakatau	5,2 a	4,7 a	0,0 b	15,6 a	9,4 ab	0,0 b	15 a	9 ab	0 b
15	Leuser	5,7 a	5,1 a	4,1 a	24,4 a	13,3 b	3,5 c	18 a	12 b	13 b
16	Lokon	6,9 a	5,4 a	4,0 a	25,7 a	14,4 b	16,7 b	19 a	9 b	8 b
17	L. Batang	6,4 a	5,5 a	0,0 b	19,0 a	9,5 a	0,0 b	21 a	12 a	0 b
18	L. Bewok	7,3 a	4,9 a	0,0 b	21,9 a	6,7 ab	0,0 b	22 a	10 b	0 c
19	Mahameru	5,3 a	6,1 a	1,1 b	32,6 a	16,8 b	2,5 c	15 a	14 a	0 b
20	Malabar	6,7 a	5,9 a	0,0 b	25,9 a	14,6 b	0 c	23 a	14 b	0 c
21	Merbabu	7,3 a	6,1 a	0,0 b	20,9 a	11,2 b	0,0 c	23 a	11 b	0 c
22	Nanti	5,6 ab	4,9 b	0,0 c	18,6 a	8,9 ab	0,0 b	22 a	11 b	0 c
23	Orba	5,9 a	4,8 a	5,4 a	23 a	12,9 b	17,5 ab	24 a	15 a	5 b
24	Pangrango	7,4 a	4,9 a	0,0 b	21,9 a	10,6 ab	0,0 b	22 a	13 b	0 c
25	Petek	7,4 a	5,6 ab	1,9 b	20,6 a	11,8 b	4,9 b	22 a	12 ab	3 b
26	Ringgit	6,9 a	5,6 a	3,1 a	21,4 a	11,3 b	5,5 b	27 a	15 b	3 c
27	Rinjani	7,9 a	5,9 a	4,2 a	21,1 a	13,2 ab	1,0 b	24 a	13 b	11 b
28	Sibayak	6,6 a	6,7 a	2,5 a	22,4 a	13,1 ab	6,7 b	29 a	20 ab	4 b
29	Sinabung	5,9 a	5,5 a	5,2 a	32,6 a	18,5 b	10 c	21 a	17 ab	14 b
30	Sindoro	5,4 ab	5,4 ab	2,5 b	27,6 a	13,7 b	7,8 c	21 a	16 b	12 c
31	Singgalang	7,5 a	6,8 a	2,5 a	24,2 a	11,9 b	6,7 b	23 a	12 ab	3 b
32	Slamet	6,7 a	6,0 a	5,3 a	24,9 a	13,9 b	12,2 b	19 a	15 a	9 b
33	Tambora	7,5 a	6,0 ab	2,3 b	33,0 a	14,6 b	5,0 c	22 a	10 b	1 c
34	Tanggamus	6,0 a	5,8 a	2,3 a	25,9 a	13,3 b	2,1 c	27 a	17 a	3 b
35	Tidar	5,8 a	5,7 a	3,2 a	20,0 a	14,1 a	3,4 b	19 a	15 ab	5 b
36	Wilis	5,8 a	4,9 a	5,7 a	18,7 a	10,3 b	0,8 c	24 a	14 b	13 b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris yang sama pada setiap peubah perkecambahan tidak berbeda nyata berdasarkan uji BNT 5%.

Tabel 3. Pengaruh stres kekeringan terhadap persentase penurunan beberapa peubah perkecambahan pada 36 varietas kedelai

No	Varietas	Persentase penurunan perkecambahan (%) pada kondisi stre kekeringan											
		Indeks Vigor		Persentase Perkecambahan		Panjang Hipokotil		Panjang Akar		Berat Kering Kecambah		Jumlah Akar Lateral	
		-0,41 MPa	-0,67 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa
1	Anjasmoro	100	100	63	98	74	95	18	100	54	93	35	100
2	Baluran	98	100	52	88	82	89	28	66	53	78	48	71
3	Bromo	100	100	49	100	77	100	9	100	41	100	41	100
4	Burangrang	100	100	41	98	74	100	22	100	44	100	43	100
5	Cikuray	100	100	26	100	75	100	5	100	42	100	54	100
6	Dieng	45	100	18	95	59	94	-12	69	32	80	20	75
7	Galunggung	100	100	58	100	78	100	29	100	52	100	42	100
8	Ijen	85	94	58	76	79	83	35	33	50	47	52	56
9	Jayawijaya	96	100	41	76	73	83	-6	12	47	49	22	56
10	Kaba	100	100	35	99	74	91	0	85	36	100	25	100
11	Kawi	100	100	29	97	76	95	0	75	37	96	32	74
12	Kerinci	90	100	36	100	82	100	22	100	61	100	67	100
13	Kipas Putih	100	100	87	100	85	100	10	100	68	100	70	100
14	Krakatau	96	100	22	100	79	100	10	100	40	100	40	100
15	Leuser	99	100	29	98	75	84	11	28	45	86	33	28
16	Lokon	80	100	37	84	80	75	22	42	44	35	53	58
17	L. Batang	98	100	30	100	78	100	14	100	50	100	43	100
18	L. Bewok	98	100	34	100	82	100	33	100	69	100	55	100
19	Mahameru	100	100	47	99	75	96	-15	79	48	92	7	100
20	Malabar	95	100	42	100	78	100	12	100	44	100	39	100

Lanjutan Tabel 3.

No	Varietas	Persentase penurunan perkecambahan (%) pada kondisi stre kekeringan											
		Indeks Vigor		Persentase Perkecambahan		Panjang Hipokotil		Panjang Akar		Berat Kering Kecambah		Jumlah Akar Lateral	
		-0,41 MPa	-0,67 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa	-0,41 MPa	-0,67 MPa
21	Merbabu	100	100	44	100	82	100	16	100	46	100	52	100
22	Nanti	96	100	10	100	62	100	13	100	52	100	50	100
23	Orba	81	100	31	95	74	80	19	8	44	24	38	38
24	Pangrango	96	100	40	100	78	100	34	100	52	100	41	100
25	Petek	84	96	20	78	74	92	24	74	43	76	45	86
26	Ringgit	75	99	15	84	73	92	19	55	47	74	44	89
27	Rinjani	90	98	18	70	76	81	25	47	37	95	46	54
28	Sibayak	80	92	6	82	72	92	-2	62	42	70	31	86
29	Sinabung	100	100	38	97	73	84	7	12	43	69	19	33
30	Sindoro	99	100	39	79	69	86	0	54	50	72	24	43
31	Singgalang	73	100	10	96	74	94	9	67	51	72	48	87
32	Slamet	95	100	35	95	73	83	10	21	44	51	21	53
33	Tambora	95	100	23	98	81	93	20	69	56	85	55	95
34	Tanggamus	80	99	1	72	70	91	3	62	49	92	37	89
35	Tidar	72	100	1	90	67	92	2	45	30	83	21	74
36	Wilis	98	100	31	92	80	87	16	2	45	96	42	46

Tingkat toleransi varietas kedelai terhadap stres kekeringan ditentukan berdasarkan penghitungan indeks sensitivitas kekeringan (S) pada beberapa peubah perkecambahan. Nilai indeks sensitivitas kekeringan (S) merupakan nilai relatif besarnya penurunan nilai dari berbagai peubah yang diamati pada kondisi stres dibandingkan dengan kondisi non-stres (kontrol). Penurunan Ψ_w -0,67 MPa mempengaruhi peubah perkecambahan pada hampir semua varietas. Oleh karena itu, penghitungan indeks sensitivitas kekeringan ditentukan pada perlakuan Ψ_w -0,41 MPa yang memberikan respon diferensial pada varietas kedelai yang diuji.

Tingkat toleransi masing-masing varietas terhadap stres kekeringan ditentukan dengan melihat konsistensi (jumlah terbanyak) penggolongan kelompok dari nilai indeks sensitivitas kekeringan pada 6 peubah perkecambahan (Tabel 4). Hasil skrining *ex vitro* untuk toleransi kekeringan pada 36 varietas kedelai berdasarkan nilai indeks penurunan dan nilai indeks sensitivitas kekeringan (S) pada enam peubah perkecambahan hanya ada 1 varietas kedelai termasuk dalam kelompok yang toleran kekeringan. Lima belas varietas termasuk dalam kelompok medium dan enam belas dalam kelompok peka kekeringan. Sedangkan 1 varietas dalam kelompok antara medium dan toleran

kekeringan dan 3 varietas dalam kelompok antara medium dan peka kekeringan (Tabel 4).

Varietas kedelai yang termasuk ke dalam kelompok toleran kekeringan adalah varietas Dieng. Empat dari enam peubah perkecambahan mempunyai nilai indeks $S \leq 0,5$. Sedangkan varietas yang termasuk kelompok medium dengan nilai S pada sebagian peubah perkecambahan antara $0,5 \leq S \leq 1$ meliputi varietas Bromo, Cikuray, Jayawijaya, Kaba, Kawi, Leuser, Mahameru, Orba, Petek, Ringgit, Sibayak, Sinabung, Singgalang, Slamet, dan Tanggamus. Varietas Anjasmoro, Baluran, Burangrang, Galunggung, Ijen, Kerinci, Kipas Putih, Lokon, Lompo Batang, Lumajang Bewok, Malabar, Merbabu, Pangrango, Rinjani, Tambora, dan Wilis termasuk dalam kelompok peka terhadap cekaman kekeringan dengan nilai indeks S dari sebagian peubah perkecambahan lebih dari 1 (Tabel 4).

Beberapa varietas kedelai yang diuji tidak menunjukkan konsistensi identitas termasuk dalam kelompok tertentu. Berdasarkan indeks S dari 3 peubah perkecambahan, varietas Tidar termasuk dalam kelompok toleran tetapi dari 3 peubah yang lain termasuk dalam kelompok medium, sedangkan varietas Merbabu dan Sindoro memiliki identitas antara peka dan medium (Tabel 4).

Tabel 4. Tingkat toleransi kekeringan 36 varietas kedelai berdasarkan nilai indeks sensitivitas kekeringan (S) dari beberapa peubah perkecambahan

No	Varietas	Indeks sensitivitas kekeringan (S)						Identitas varietas terhadap stres kekeringan
		Indeks Vigor	Persentase Perkecambahan	Panjang Hipokotil	Panjang Akar	Berat Kering Kecambah	Jumlah Akar Lateral	
1	Anjasmoro	1,1	1,9	1,0	1,3	1,1	0,9	P
2	Baluran	1,1	1,6	1,1	2,0	1,1	1,2	P
3	Bromo	1,1	1,5	1,0	0,6	0,9	1,0	M
4	Burangrang	1,1	1,2	1,0	1,6	0,9	1,1	P
5	Cikuray	1,1	0,8	1,0	0,4	0,9	1,3	M
6	Dieng	0,5	0,5	0,8	-0,9	0,7	0,5	T
7	Galunggung	1,1	1,7	1,0	2,1	1,1	1,0	P
8	Ijen	0,9	1,7	1,1	2,5	1,1	1,3	P
9	Jayawijaya	1,1	1,2	1,0	-0,4	1,0	0,5	M
10	Kaba	1,1	1,1	1,0	0,0	0,8	0,6	M
11	Kawi	1,1	0,9	1,0	0,0	0,8	0,8	M
12	Kerinci	1,0	1,1	1,1	1,6	1,3	1,6	P
13	Kipas Putih	1,1	2,6	1,1	0,7	1,4	1,7	P
14	Krakatau	1,1	0,7	1,0	0,7	0,8	1,0	M
15	Leuser	1,1	0,9	1,0	0,8	1,0	0,8	M
16	Lokon	0,9	1,1	1,1	1,6	0,9	1,3	P
17	L. Batang	1,1	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	P
18	L. Bewok	1,1	1,0	1,1	2,4	1,5	1,3	P
19	Mahameru	1,1	1,4	1,0	-1,1	1,0	0,2	M
20	Malabar	1,0	1,3	1,0	0,9	0,9	1,0	P
21	Merbabu	1,1	1,3	1,1	1,2	1,0	1,3	P
22	Nanti	1,1	0,3	0,8	0,9	1,1	1,2	P/M
23	Orba	0,9	0,9	1,0	1,4	0,9	0,9	M
24	Pangrango	1,1	1,2	1,0	2,5	1,1	1,0	P
25	Petek	0,9	0,6	1,0	1,8	0,9	1,1	M
26	Ringgit	0,8	0,5	1,0	1,4	1,0	1,1	M
27	Rinjani	1,0	0,5	1,0	1,8	0,8	1,1	P
28	Sibayak	0,9	0,2	1,0	-0,1	0,9	0,8	M
29	Sinabung	1,1	1,1	1,0	0,5	0,9	0,5	M
30	Sindoro	1,1	1,2	0,9	0,0	1,1	0,6	P/M
31	Singgalang	0,8	0,3	1,0	0,7	1,1	1,2	M
32	Slamet	1,0	1,1	1,0	0,8	0,9	0,5	M
33	Tambora	1,0	0,7	1,1	1,5	1,2	1,3	P
34	Tanggamus	0,9	0,0	0,9	0,2	1,0	0,9	M
35	Tidar	0,8	0,0	0,9	0,1	0,6	0,5	M/T
36	Wilis	1,1	0,9	1,1	1,1	0,9	1,0	P

Keterangan: Indeks sensitivitas kekeringan ditentukan berdasarkan penurunan beberapa peubah perkecambahan dalam kondisi non-stres (0 Mpa) dengan kondisi stres pada potensial air -0,41 MPa. T = toleran, M = medium, P = peka

PEMBAHASAN

Stres kekeringan pada media perkecambahan yang disimulasi dengan PEG dapat menghambat perkecambahan dan pertumbuhan kecambah kedelai dengan menurunkan indeks vigor, persentase perkecambahan, panjang akar dan hipokotil, jumlah akar lateral, dan berat kering kecambah. Semakin tinggi penurunan potensial air pada media tanam, semakin tinggi pula penghambatan perkecambahan. Penurunan potensial air sebesar -0,41 MPa menghambat indeks vigor dan panjang hipokotil pada semua varietas

dan persentase perkecambahan, panjang akar, jumlah akar lateral dan berat kering kecambah pada sebagian varietas. Sedangkan penurunan potensial air sebesar -0,67 MPa menghambat hampir semua peubah perkecambahan pada semua varietas kecuali panjang akar.

Ketersediaan dan gerakan air ke dalam biji merupakan faktor yang sangat penting dalam memacu perkecambahan, pertumbuhan awal akar dan pemanjangan pucuk (Bewley & Black, 1994). Menurut Pirdashti dkk. (2003), penurunan potensial air dengan PEG menurunkan ketersediaan air bagi biji dan menyebabkan rendahnya persentase

perkecambah. Pada potensial osmotik yang rendah, PEG menghambat proses imbibisi, perkecambahan dan pemanjangan akar (Boydak dkk., 2003; Pirdashti dkk., 2003; Okcu dkk., 2005).

Biji yang dkecambahkan dalam kondisi kekurangan air dan kelembaban yang tidak sesuai menyebabkan munculnya kecambah jelek dan tidak serempak, yang akan berpengaruh terhadap keseragaman densitas tanaman dan berdampak negatif pada hasil tanaman (Mwale dkk., 2003). Selain itu, potensial air yang sangat rendah pada awal perkecambahan dapat mempengaruhi penyerapan air oleh biji pada tanaman *Linus culinaris* (Al-Karaki, 1998). Menurut Al-Taisan (2010), potensial air antara -0,4 dan -0,8 MPa menurunkan persentase dan kecepatan perkecambahan serta menghambat pertumbuhan hipokotil dan radikula pada tanaman *Pennisetum divisum*.

Pertumbuhan hipokotil kedelai lebih sensitif terhadap penurunan potensial air media perkecambahan dibandingkan dengan pertumbuhan akar. Menurut Creelman dkk. (1990), perbedaan sensitivitas antara hipokotil dan akar disebabkan adanya perbedaan sensitivitas terhadap zat pengatur tumbuh asam absisat (ABA) yang terakumulasi sebagai respon kekurangan air. Akibatnya akar mempertahankan kebutuhan airnya sebagai prioritas utama dan mengirim sedikit air ke hipokotil, sehingga pertumbuhan hipokotil sangat terhambat sedangkan akar tetap mempertahankan pertumbuhannya (Gupta, 1995). Selain itu ABA menginduksi akumulasi prolin pada akar. Akumulasi prolin membantu menjaga turgor ujung akar dan mendukung kelangsungan pertumbuhan akar dalam potensial air media perkecambahan yang rendah (Muller dan Whitsitt, 1996).

Setiap varietas kedelai yang diuji menunjukkan respon perkecambahan yang berbeda terhadap stres kekeringan yang diberikan. Varietas Dieng, Tidar, Sibayak mengalami penghambatan perkecambahan paling kecil, sedangkan varietas Anjasmoro, Burangrang, Galunggung, Kipas Putih, dan Tambora mengalami penghambatan perkecambahan yang paling besar. Hasil skrining untuk toleransi kekeringan dengan menggunakan PEG terhadap 36 varietas kedelai menunjukkan bahwa hanya 2 varietas, yaitu Dieng dan Tidar yang termasuk dalam kelompok toleran terhadap stres kekeringan. Enam belas varietas termasuk dalam kelompok peka dan 16 varietas termasuk dalam kelompok medium. Sedangkan 2 varietas termasuk diantara kelompok medium dan peka kekeringan.

Di bawah kondisi stress kekeringan, varietas kedelai dalam kelompok toleran dan medium toleran menunjukkan penurunan persentase perkecambahan, panjang akar, dan jumlah akar lateral yang lebih kecil dibandingkan dengan

varietas yang peka. Pada beberapa varietas toleran Dieng dan medium toleran seperti Jayawijaya, Mahameru dan Sibayak bahkan menunjukkan peningkatan pertumbuhan panjang akar di bawah kondisi stress kekeringan.

Perbedaan respon perkecambahan varietas kedelai terhadap stres air menunjukkan bahwa ada variasi genetik diantara varietas dalam pertumbuhan awal kecambah di bawah kondisi stres air. Nampaknya selain faktor lingkungan seperti ketersediaan air, faktor genetik juga berpengaruh terhadap respon perkecambahan. Menurut Krishnasamy dan Irulappan, (1993) dan Okcu dkk., (2004), kebutuhan minimal air untuk berkecambah berbeda, bergantung pada sifat toleransi masing-masing genotipe. Genotipe toleran kekeringan membutuhkan air lebih sedikit dan waktu lebih cepat untuk berkecambah dibandingkan genotipe peka.

Pengaruh genotipe pada perkecambahan biji telah dilaporkan pada tanaman bunga matahari, gandum, kacang panjang, padi, dan pinus (Ahmad dkk., 2009, Guóth dkk. 2008, Badiane dkk., 2004, Matsui dan Singh, 2003, Rauf dkk., 2007, Bayoumi dkk., 2008). Hasil penelitian Bayoumi dkk. (2008) menunjukkan bahwa genotipe gandum yang toleran mempunyai panjang akar dan panjang koleoptil lebih tinggi dibandingkan dengan varietas yang peka. Di bawah kondisi stres air, varietas gandum yang peka mengalami penurunan potensial air daun lebih besar dan akumulasi hormon ABA lebih rendah dibandingkan varietas toleran. Menurut Guóth dkk., (2008), transport ABA dari akar ke daun pada varietas peka kurang efisien.

Hasil penelitian Ahmad dkk. (2009), menunjukkan indeks stress untuk biomasa kering dapat digunakan sebagai indikator toleransi kekeringan pada tanaman bunga matahari. Tanaman bunga matahari yang toleran mempunyai indek stress untuk biomasa kering lebih tinggi dibandingkan dengan hibrid yang peka. Menurut Matsui dan Singh (2003), toleransi kekeringan pada tanaman kacang panjang dikaitkan dengan peningkatan berat kering akar. Sedangkan Badiane dkk. (2004), mengemukakan bahwa varietas tanaman kacang panjang dianggap toleran jika menunjukkan peningkatan jumlah akar lateral yang lebih besar dibandingkan dengan varietas yang peka di bawah kondisi kekurangan air. Perkembangan sistem akar dalam respon terhadap kekurangan air menunjukkan adanya ekspresi gen-gen tertentu yang mengontrol pembentukan akar yang distimulasi oleh kondisi kekeringan.

Variasi genetik pada perkecambahan di bawah kontrol genetik pada tanaman conifer dianggap sebagai adaptasi untuk survive di bawah kondisi lingkungan yang ekstrem (Jain, 1982). Adaptasi terhadap kekeringan pada tanaman merupakan fenomena yang kompleks. Modifikasi dapat

terjadi dari perubahan cepat aliran ion untuk optimasi tekanan osmotik seluler, penutupan stomata untuk menurunkan hilangnya air melalui transpirasi, produksi bermacam-macam osmoprotektan untuk menstabilisasi struktur seluler (Riera dkk., 2005). Hasil penelitian Tzenova dkk. (2008) menunjukkan bahwa kandungan prolin genotipe kedelai yang toleran meningkat 3–4 kali di bawah kondisi stress kekeringan memungkinkan untuk mengatasi pengaruh stress air. Level prolin yang tinggi memungkinkan tanaman untuk mempertahankan potensial air rendah. Menurut Moussa dan Abdel-Aziz (2008), mekanisme toleransi stress pada tahapan kecambah pada genotipe jagung berkaitan dengan aktivitas enzim antioksidan. Di bawah kondisi stress kekeringan, genotipe toleran mempunyai aktivitas enzim peroksidase dan superoksida dismutase lebih tinggi dibandingkan dengan genotipe yang peka. Peningkatan aktivitas enzim peroksidase di bawah kondisi stress ini terkait dengan proteksi dari kerusakan oksidatif dan lignifikasi dinding sel untuk mencegah kondisi yang lebih parah (Dalal dan Khanna-Chora, 2001). Sedangkan enzim superoksida dismutase mempunyai peran dalam detoksifikasi radikal superoksida (Sairam dkk., 2000).

Menurut Pelah dkk. (1997), ekspresi toleransi terhadap cekaman kekeringan pada biji diperkirakan dikendalikan oleh sejumlah gen yang berhubungan dengan gen yang mengkode protein *Late Embryogenesis Abundant* (LEA). Protein ini jumlahnya melimpah selama proses pematangan embrio benih pada sebagian besar tumbuhan tingkat tinggi dan juga selama perkecambahan pada kondisi cekaman kekeringan (Pelah dkk., 1997). Protein LEA berfungsi mencegah kerusakan seluler selama dehidrasi melalui pengikatan struktur makromolekul dan mempunyai peran dalam mengontrol air dalam sitoplasma sehingga mampu menjaga kelangsungan metabolisme pada kecambah dalam keadaan stress kekeringan (Bray dkk. dalam Pelah dkk., 1997).

Adanya perbedaan respon perkecambahan diantara varietas kedelai ini dapat digunakan sebagai kriteria seleksi untuk toleransi stres kekeringan pada tahapan awal pertumbuhan. Diantara 36 varietas kedelai yang diuji, varietas Dieng dan Tidar termasuk dalam kelompok toleran terhadap stress kekeringan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Penelitian Hibah Bersaing XIII Dirjen Dikti Departemen Pendidikan Nasional.

KEPUSTAKAAN

- Ahmad S, Ahmad R, Ashraf MY, Ashraf M, and Waraich EA, 2009. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) response to drought stress at germination and seedling growth stages. *Park. J.Bot.*, 41(2): 647–654.
- Al-Karaki GN, 1998. Seed size and water potential effects on water uptake, germination and growth of Lentil. *Journal of Agronomy and Crop Science* 181 (4): 237–242.
- Al-Taisan WA, 2010. Comparative effects of drought and salt stress on germination and seedling growth of *Pennisetum divisum* (Gmel) Henr. *American Journal of Applied Sciences* 7(5): 640–646.
- Badiane FA, Diouf D, Sané D, Diouf O, Goudiaby V, and Diallo N, 2004. Screening cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] varieties by inducing water deficit and RAPD analyses. *African Journal of Biotechnology* 3 (3): 174–178.
- Bayoumi TY, Eid MH, and Metwali EM, 2008. Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *African Journal of Biotechnology* 7(14): 2341–2352.
- Bewley JD and Black M, 1994. *Seed-Physiology of Development and Germination*. Plenum, New York.
- Bonvissuto GL and Busso CA, 2007. Germination of grasses and shrubs under various water stress and temperature conditions. *International Journal of Experimental Botany* 76: 119–131.
- Boydak M, Dirik H, Tilki F, and Calikoglu M, 2003. Effects of Water Stress on Germination in Six Provenances of *Pinus brutia* Seeds from Different Bioclimatic Zones in Turkey. *Turkey Journal of Agriculture Forrest.* 27: 91–97.
- BPS, 2010. *Data Strategis BPS*. Badan Pusat Statistik.
- Da Cruz RP and Milach SCK, 2004. Cold tolerance at the germination stage of rice: methods of evaluation and characterization of genotypes. *Sci.Agric.* 61(1): 1–8.
- Dalal M and Khanna-chopra R, 2001. Differential response of antioxidant enzymes in leaves of necrotic wheat hybrids and their parents. *Physiol.Plant.* 111: 297–304.
- Ditjen Tanaman Pangan, 2006. *Pedoman umum pemantapan road map kedelai*. Direktorat Budi Daya Kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Direktorat Jendral Tanaman Pangan. p. 42.
- Fischer RA and Maurer R, 1978. Drought Resistance in Spring Wheat Cultivars: I. Grain Yield Responses. *Australian Journal of Agriculture Research.* 29: 897–912.
- Grzesiak MT, Rzepka A, Hura T, Hura K, Skoczowski A, 2003. Changes in response to drought stress of triticale and maize genotypes differing in drought tolerance. *Photosynthetica* 45(2): 280–287.
- Guóth A, Tari I, Gallé A, Csiszár J, Cseuz L, and Erdei L, 2008. Changes in photosynthetic performance and ABA levels under osmotic stress in drought tolerant and sensitive wheat genotypes. *Acta Biologica Szegediensis* 52(1): 91–92.

- Gupta US, 1997. Crop improvement for Stress Tolerance. Science Publication. Inc. USA.
- Hajiboland R and Hasani B, 2007. Responses of antioxidant defence capacity and photosynthesis of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants to copper and manganese toxicity under different light intensities. *Acta Biol Szeged* 51: 93–106.
- ISTA, 1996. Proceedings of the International Seed Testing Association. The International Seed Testing Association Wageningen (Netherlands).
- Jain SK, 1982. Variation and adaptive role of seed dormancy in some annual grassland species. *Bot.gaz* 143: 101–106.
- Kim YJ, Shanmugasundaram S, Yun SJ, Park, HK, and MS Park, 2001. A simple method of seedling screening for drought tolerance in soybean. *Korean J Crop Sci*, 46: 284–288.
- Krishnasamy V and Irulappan I, 1993. Germination Response to Water Stress in The Seeds of Hot Papper and Eggplant Genotypes dalam *Proceeding Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress*. AVRDC. Taipei, 13–18 Agust 1992. hal: 100–105.
- Kulkarni M and U Deshpande, 2007. In Vitro screening of tomato genotypes for drought resistance using polyethylene glycol. *African Journal of Biotechnology*, 6: 691–696.
- Levitt J, 1980. Responses of plants to environmental stresses. Vol. I Chilling, freezing, and high temperature stress (London, New York, Toronto: Academic Press).
- Longenberger PS, Smith CW, Thaxton PS, and McMichael BL, 2006. Development of a Screening Method for Drought Tolerance in Cotton Seedlings. *Crop Sci* 46: 2104–2110.
- Matsui T and Singh BB, 2003. Root Characteristics in cowpea related to Drought Tolerance at the Seedling Stage. *Experimental Agriculture* 39(1): 29–38.
- 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.
- Mullahey JJ, West SH, and Cornell JA, 1996. Effects of Simulated Drought by Polyethylene Glycol Bahia Grass Germination. *Seed Science Technology*. 24: 219–224.
- Muller JE and Whitsitt MS, 1996. Plant Cellular Responses to Water Deficit. *Plant Growth Regulation*. 20: 119–124.
- Mwale SS, Hamusimbi C, and K Mwansa K, 2003. Germination, emergence and growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in response to osmotic seed priming. *Seed Sci. Technol.*, 31: 199–106.
- Okcu G, Kaya MD, and Atak M, 2005. Effects of Salt and Drought Stresses on Germination and Seedling Growth of Pea (*Pisum sativum* L.) *Turkey Journal of Agriculture Forrest* 29: 237–242.
- Pelah D, W Wang, A Altman, O Shoseyov, and D Bartels, 1997. Differential accumulation of water stress related proteins, sucrose synthase and soluble sugar in *Populus* species that differ in their water stress response. *Physiol Plantarum* 99: 153–159.
- Pirdashti H, Sarvestani TZ, Nematzadeh GH, and Ismail A, 2003. Effect of water stress on seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Pakistan Journal of Agronomy* 2(4): 217–222.
- Radhouane L, 2007. Response of Tunisian autochthonous pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000. *African Journal of Biotechnology*, 6: 1102–1105.
- Rauf M, Munir M, ul Hassan M, Ahmad MM, and Afzal M, 2007. Performance of wheat genotypes under osmotic stress at germination and early seedling growth stage. *African Journal of Biotechnology* 6(8): 971–975.
- Riera M, Valon C, Giraudat FF, and Leung J, 2005. The genetics of adaptive responses to drought stress: abscisic acid-dependent and abscisic acid-independent signalling components. *Physiologia Plantarum* 123: 111–119.
- Sairam RK, Srivasta GC, Saxena DC, 2000. Increased antioxidant activity under elevated temperature: a mechanism of heat stress tolerance in wheat genotypes. *Biol. Plant*. 43: 245–251.
- Sayar R, Khemira H, Kameli A, Masbahi M, 2008. Physiological test as predictive appreciation for drought tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Agronomy Research* 6(1): 79–90.
- Suhartina, 2005. Deskripsi varietas unggul kacang-kacangan dan umbi-umbian. Balai Penelitian Tanaman kacang-kacangan dan Umbi-umbian. Malang.
- Tiryaki I, Andrews DJ, 2001. Germination and seedling cold tolerance in sorghum: I. evaluation of rapid screening methods. *Agron. J*. 93: 1386–1391.
- Tzenova V, Kirkova Y, Stoimenov G, 2008. Methods for plant water stress evaluation of soybean canopy. *BALWOIS 2008 – Ohrid, Republic of Macedonia – 27, 31 May 2008: 1–11*.
- Van den Berg L and YJ. Zeng, 2006. Response of South African indigenous grass species to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000. *Afr. J. Bot*, 72: 284–286.
- Yucel DO, Anlarsal AE, Mart D, Yucel C, 2010. Effects of drought stress on early seedling growth of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *World Applied Sciences Journal* 11(4): 478–485.

Reviewer: **Drs. H. Hery Purnobasuki, M.Si., Ph.D.**