

Seleksi dan Karakter Sekunder Jagung Inbrida Toleran Cekaman Kekeringan

Selection and Secondary Traits of Tolerant Maize Inbreed to Drought Stress

Muhammad Farid Badaruddin^{1*}, Roy Efendi², Amin Nur², dan Muhammad Azrai²

¹Jurusan Agronomi, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin

Jln. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

²Balai Penelitian Tanaman Serealia, Jl. Dr. Ratulangi No.274, Maros 90154, Sulawesi Selatan, Indonesia

Diterima 14 Maret 2016/Disetujui 27 November 2016

ABSTRACT

The availability of drought-tolerant maize inbred materials are useful to develop a hybrid or synthetic drought tolerant maize varieties. This research was aimed to select drought tolerant and determine secondary traits for selection of inbred maize. Selection of 31 maize inbred lines was conducted in nested experimental design in which the replicate was nested into the drought stress selection condition and normal irrigation. Drought stress treatment was applied during flowering to milk phase. In the normal irrigation condition the water was supplied every 10 days. The results showed that the medium tolerant to tolerant to drought stress inbred lines were 1044-30, DTPYC9-F46-3-9-1-1-B, CML161 / NEI9008, DTPYC9-F46-1-2-1-2- B, and Mr14. The yield declined of tolerant/medium tolerant inbred lines of about 17.0-38.3% was lower than sensitive inbred lines of about 42.8-70.7% under stress condition. The tolerant/medium tolerant inbred lines can be used for developing drought tolerant or synthetic varieties. The secondary traits effective for selection of drought tolerant inbred lines were shelling percentage, leaf chlorophyll, leaf rolling scores, number of tassel, the female flowering dates, and anthesis silking interval (ASI). The traits were more effected by genetic factors than the environmental factors and correlated to yield under drought stress conditions.

Keywords: anthesis silking interval, environmental condition, inbred lines, tassel number, yield

ABSTRAK

Ketersediaan jagung inbrida toleran cekaman kekeringan merupakan materi genetik yang bermanfaat untuk merakit varietas jagung hibrida atau sintetik yang toleran cekaman kekeringan. Penelitian bertujuan untuk menyeleksi genotipe jagung inbrida toleran cekaman kekeringan dan menentukan karakter sekunder yang dapat digunakan sebagai karakter seleksi pada kondisi cekaman kekeringan. Seleksi 31 jagung inbrida dilakukan dengan rancangan tersarang (nested design) dimana ulangan tersarang pada lingkungan seleksi cekaman kekeringan dan pengairan normal. Perlakuan cekaman kekeringan dilakukan pada fase berbunga sampai fase masak susu, sedangkan kondisi normal, pemberian air dilakukan 10 hari sekali. Hasil penelitian menunjukkan bahwa inbrida yang tergolong medium toleran sampai toleran terhadap cekaman kekeringan yaitu inbrida 1044-30, DTPYC9-F46-3-9-1-1-B, CML161/NEI9008, DTPYC9-F46-1-2-1-2-B, dan MR14. Genotipe tersebut mengalami penurunan hasil berkisar 17.0-38.3%, lebih rendah dibanding inbrida peka dengan penurunan hasil 42.8-70.7% pada kondisi cekaman kekeringan. Genotipe inbrida yang tergolong medium toleran sampai toleran dapat digunakan untuk pembentukan varietas jagung unggul hibrida atau sintetik yang toleran cekaman kekeringan. Karakter sekunder yang dapat digunakan sebagai karakter seleksi efektif untuk seleksi genotipe inbrida toleran cekaman kekeringan adalah rendemen biji, klorofil daun, skor penggulangan daun, jumlah malai, umur berbunga betina, dan interval waktu berbunga betina dengan jantan (anthesis silking interval, ASI). Karakter tersebut dipengaruhi faktor genetik yang lebih besar dibandingkan faktor lingkungan dan berkorelasi nyata dengan hasil pada kondisi cekaman kekeringan.

Kata kunci: galur inbrida, hasil, jumlah malai, kondisi lingkungan, dan interval waktu berbunga

* Penulis untuk korespondensi. e-mail: iceriamin76@gmail.com

PENDAHULUAN

Ancaman cekaman kekeringan pada budidaya jagung di lahan kering semakin meningkat akibat suplai air yang semakin terbatas pada musim kemarau dan anomali iklim yang mengakibatkan periode musim kemarau menjadi lebih lama. Penurunan hasil jagung akibat cekaman kekeringan di daerah tropis berkisar 17-60% (Budiarti, 2001; Monneveux *et al.*, 2006; Ziyomo dan Bernardo, 2013).

Salah satu cara menekan penurunan hasil akibat cekaman kekeringan adalah merakit varietas jagung unggul toleran cekaman kekeringan. Tahap awal adalah melakukan seleksi jagung inbrida terhadap cekaman kekeringan untuk pembentukan varietas jagung unggul (Chen *et al.*, 2012). Seleksi dapat dilakukan secara langsung yaitu berdasarkan hasil (karakter primer), namun pada kondisi cekaman kekeringan heritabilitasnya menjadi lebih rendah sehingga seleksi berdasarkan karakter hasil saja menjadi kurang efektif (Lu *et al.*, 2011; Badu-Apraku dan Oyekunle, 2012; Mhike *et al.*, 2012; Weber *et al.*, 2012).

Seleksi juga dapat dilakukan secara tidak langsung dengan mengamati karakter sekunder seperti karakter agronomis, morfologi, dan fisiologi tanaman (Purnomo *et al.*, 2007; Derera *et al.*, 2008; Monneveux *et al.*, 2008; Badu-Apraku *et al.*, 2012; Ziyomo dan Bernardo, 2013). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa karakter sekunder seperti jumlah tongkol per tanaman, interval waktu berbunga betina dengan jantan (ASI), skor penggulangan daun, tinggi tanaman pada kondisi cekaman kekeringan memiliki heritabilitas lebih tinggi dibanding karakter primer, sehingga meningkatkan efisiensi dan efektivitas seleksi (Badu-Apraku *et al.*, 2012; Mhike *et al.*, 2012). Penelitian bertujuan menyeleksi genotipe jagung inbrida toleran cekaman kekeringan serta menentukan karakter sekunder yang dapat digunakan sebagai karakter seleksi pada kondisi cekaman kekeringan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di Kebun Percobaan (KP) Maros, Balai Penelitian Tanaman Serealia, bulan Juni sampai dengan Oktober 2013. Sebanyak 31 jagung inbrida diuji dalam rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan di dua lingkungan seleksi yaitu cekaman kekeringan dan pengairan normal. Percobaan dilakukan dengan rancangan tersarang (*nested design*) dimana ulangan tersarang pada lingkungan seleksi cekaman kekeringan dan pengairan normal. Perlakuan pengairan normal (optimum), pemberian air dilakukan 10 hari sekali dari mulai tanaman berumur 0-80 HST. Perlakuan cekaman kekeringan merujuk metode CIMMYT (Bänziger *et al.*, 2000), yaitu cekaman kekeringan dikondisikan pada saat fase berbunga (tanaman berumur 50 HST) sampai fase masak susu (tanaman berumur 80 HST). Pada perlakuan cekaman kekeringan, pemberian air terakhir dilakukan saat tanaman umur 40 HST sehingga cekaman kekeringan berlangsung saat tanaman berumur umur 50-80 HST. Pemberian air dilaksanakan kembali pada saat tanaman berumur 81 HST.

Jagung inbrida ditanam dengan jarak tanam 75 cm x 20 cm dan setiap genotipe ditanam 2 baris sepanjang 5 m. Pemupukan dasar dilakukan pada saat tanaman berumur 10 HST dengan takaran pupuk 75 kg N ha⁻¹, P 60 kg ha⁻¹ dan KCl 60 kg ha⁻¹. Pemupukan kedua dilakukan setelah tanaman berumur 30 hari setelah tanam dengan dosis 75 kg N ha⁻¹.

Data yang dikumpulkan adalah lengas tanah setiap 10 hari pada kedalaman 0-20 cm dan 21-40 cm, tinggi tanaman dan kedudukan tongkol, diameter batang, umur berbunga jantan dan betina, jumlah malai per tanaman, serta panjang cabang malai. ASI, dihitung berdasarkan selisih umur berbunga betina dengan jantan. Sudut daun, yang diukur adalah bagian daun diatas tongkol dengan menggunakan busur. Klorofil daun yang diukur adalah bagian daun tongkol dengan alat *Soil Plant Analysis Development* (SPAD) 501. Luas daun tongkol dihitung dengan menggunakan rumus yang dikemukakan oleh yaitu panjang daun x lebar daun x 0.75. Skor penggulangan daun yang diamati pada jam 12.00-14.00. Skor penggulangan adalah skor 1-5, dimana skor 1: daun tidak menggulung atau turgid, skor 2: daun mulai menggulung, skor 3: daun menggulung dengan bagian ujung daun berbentuk V, skor 4: daun menggulung menutupi lidah daun, dan skor 5: daun menggulung seperti daun bawang. Persentase *senescence* daun pada saat tanaman berumur 70 HST. Prolifrik, rata-rata rasio jumlah tongkol yang dipanen dalam satu tanaman, dihitung berdasarkan rasio jumlah tongkol terhadap jumlah tanaman yang dipanen. Komponen hasil meliputi panjang tongkol, diameter tongkol, kadar air biji saat panen, rendemen biji dan hasil biji.

Indeks sensitivitas cekaman (ISC) berdasarkan hasil biji, dihitung menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Fischer dan Maurer (1978) yaitu $ISC = [1 - (Y_p/Y)] / [1 - (X_p/X)]$, dimana Y_p adalah rata-rata hasil biji suatu genotipe yang mendapat cekaman, Y adalah rata-rata hasil biji suatu genotipe yang tidak mendapat cekaman, X_p adalah rata-rata hasil biji dari seluruh genotipe yang mendapat cekaman, dan X adalah rata-rata hasil biji dari seluruh genotipe yang tidak mendapat cekaman. Kriteria untuk menentukan tingkat toleransi terhadap cekaman kekeringan adalah jika nilai $ISC \leq 0.5$ maka genotipe tersebut toleran, jika $0.75 < ISC < 0.5$ maka genotipe tersebut medium toleran, jika $1.0 < ISC > 0.75$ maka genotipe tersebut peka, dan jika $ISC > 1.0$ maka genotipe tersebut sangat peka.

Nilai heritabilitas dalam arti luas (h_{BS}^2) dari variabel yang dihitung berdasarkan rumus yang dikemukakan oleh Becker (1992) dengan menggunakan komponen ANOVA

$$\text{yaitu: } h_{BS}^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_p^2}, \text{ dimana } \sigma_g^2 = \frac{(r\sigma_g^2 + \sigma_e^2) - \sigma_e^2}{r} = \frac{MS_g - MS_e}{r}$$

$$\text{dan } \sigma_p^2 = \sigma_g^2 + \sigma_e^2 = \frac{MS_g - MS_e}{r} + MS_e$$

Keterangan:

σ_g^2 = ragam genotipik,

σ_p^2 = ragam fenotipik,

σ_e^2 = ragam lingkungan,

MS_g = nilai kuadrat tengah ANOVA dari genotipe,

MS_e = nilai kuadrat tengah ANOVA dari galat, dan r adalah jumlah ulangan.

Kriteria nilai h^2_{BS} adalah bila nilai $h^2_{BS} < 0.20$ maka heritabilitasnya rendah, nilai $0.20 < h^2_{BS} < 0.50$ maka heritabilitasnya sedang, dan $h^2_{BS} > 0.50$ maka heritabilitas tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Curah Hujan dan Kandungan Air Tanah saat Percobaan

Curah hujan cukup tinggi pada awal fase pertumbuhan vegetatif (saat tanaman berumur 15-20 HST), sehingga lengas tanah mencapai 45-50%. Namun pada saat perlakuan cekaman kekeringan yaitu tanaman berumur 50-80 HST perlakuan cekaman kekeringan tidak terganggu adanya hujan. Lengas tanah pada saat tanaman berumur 50-60 HST sebesar 25.2% pada kedalaman 0-20 cm dan 27.1% pada kedalaman 21-40 cm. Pada kondisi tersebut tanaman telah mengalami cekaman kekeringan dengan gejala daun telah menggulung dengan skor penggulungan daun berkisar skor 2.0-3.0. Tingkat cekaman kekeringan semakin berat saat tanaman berumur 75-80 HST dimana skor penggulungan daun mencapai skor 2.9-4.9. Pada kondisi tersebut lengas tanah menjadi lebih rendah yaitu 17.3% pada kedalaman 0-20 dan 20.4% pada kedalaman 21-40 cm (Gambar 1).

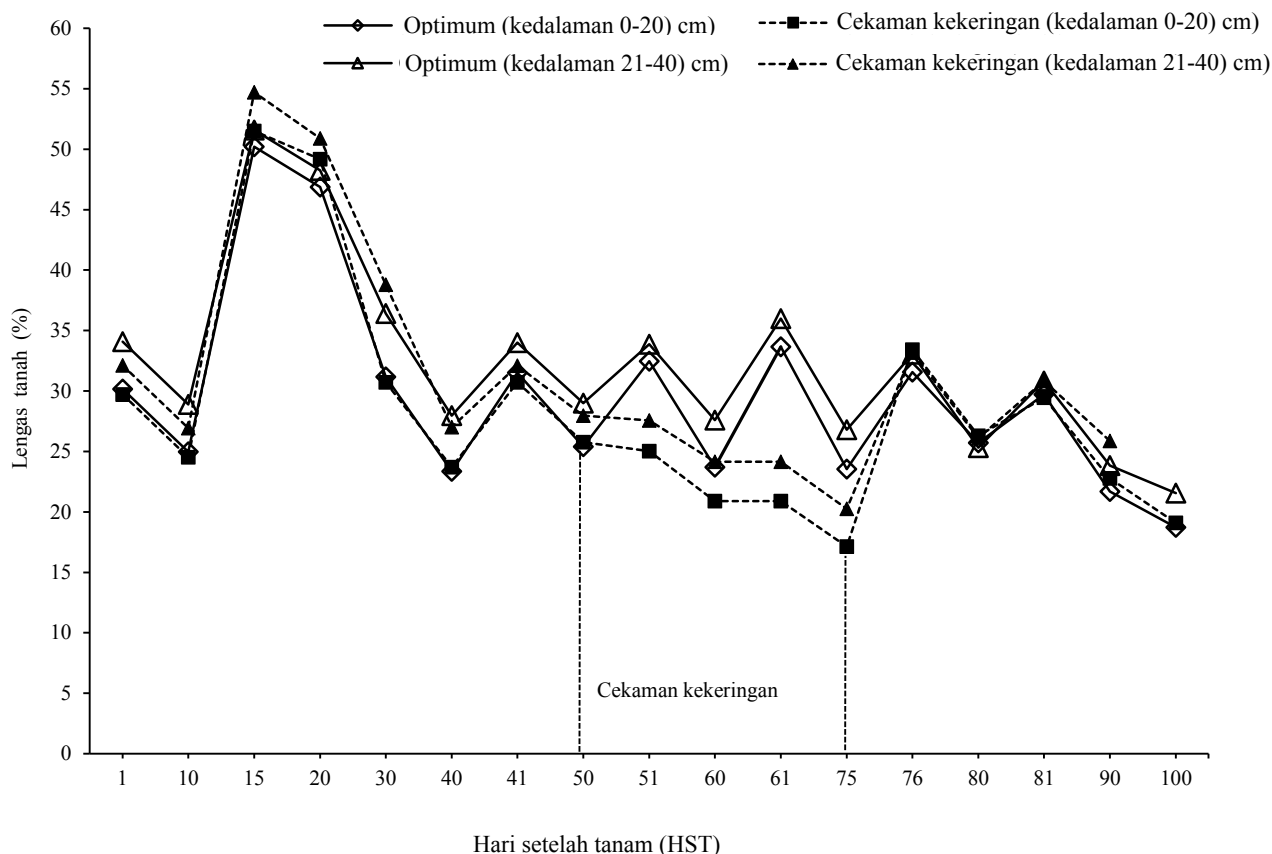
Seleksi Toleransi Genotipe Jagung Inbrida

Berdasarkan indeks sensitivitas cekaman, genotipe jagung inbrida 1044-30 dan DTPYC9-F46-1-

2-1-2-B tergolong toleran cekaman kekeringan. Inbrida CML161NEI9008, DTPYC9-F46-1-2-1-2-B, dan MR14. Genotipe jagung inbrida toleran cekaman kekeringan mengalami penurunan hasil biji lebih rendah yaitu berkisar 17.0-22.7% dibanding inbrida medium toleran dengan penurunan hasil berkisar 30.6-38.3%, sedangkan inbrida yang peka mengalami penurunan hasil yang lebih besar yaitu berkisar 42.8-70.7% (Tabel 1). Genotipe jagung inbrida yang toleran dan medium toleran cekaman kekeringan tersebut dapat digunakan sebagai tetua untuk membentuk varietas jagung unggul hibrida atau sintetik yang toleran cekaman kekeringan.

Penentuan Karakter Sekunder untuk Seleksi Toleransi Jagung Inbrida terhadap Cekaman Kekeringan

Nilai h^2_{BS} variabel hasil pada kondisi cekaman kekeringan sebesar 36.90 dengan kriteria sedang. Nilai h^2_{BS} tersebut lebih rendah dibanding pada kondisi pengairan normal dengan nilai h^2_{BS} sebesar 68.40 (kriteria tinggi) (Tabel 2). Beberapa hasil penelitian juga menunjukkan hal yang sama yaitu h^2_{BS} dari variabel hasil lebih rendah pada kondisi cekaman dibanding pada kondisi normal (Manal, 2009; Shiri *et al.*, 2010; Ziyomo dan Bernardo, 2013; Zhang *et al.*, 2015). Hal tersebut menunjukkan bahwa seleksi jagung inbrida yang berdasarkan karakter hasil pada kondisi cekaman kekeringan menjadi kurang efektif karena karakter tersebut lebih banyak dipengaruhi oleh faktor lingkungan dibandingkan faktor genetik. Oleh



Gambar 1. Dinamika lengas tanah pada lahan percobaan kondisi optimum dan cekaman kekeringan di KP Maros, Sulawesi Selatan, 2013

Tabel 1. Produktivitas, persentase penurunan hasil, nilai indeks sensitivitas cekaman, dan kriteria toleransi jagung inbrida pada kondisi cekaman kekeringan

Inbrida	Hasil (ton ha ⁻¹) pada kondisi		PH (%)	Nilai ISC	KT	RB	KL (unit)	SPD	UBB (hari)	ASI (hari)	JM (malai)
	Nor.	CK									
1042-69	2.12	0.71	66.7	1.24	SP	0.59	46.9	3.9	61.7	3.8	11.1
1044-30	2.51	2.08	17.0	0.32	T	0.71	48.4	3.1	57.7	1.7	5.6
AMB07	2.93	0.86	70.7	1.32	SP	0.54	41.5	4.0	65.5	3.8	11.8
AMB20	2.99	1.16	61.2	1.14	SP	0.59	40.0	3.6	62.5	1.2	11.7
CLRCY017	0.95	0.25	73.2	1.36	SP	0.26	41.1	4.2	64.2	2.5	8.4
CLRCY034	1.43	0.72	50.0	0.93	P	0.48	41.6	3.9	68.5	3.5	10.6
CLRCY039	1.83	0.58	68.4	1.27	SP	0.44	41.5	3.9	65.5	2.5	10.0
CLYN249	2.33	1.08	53.4	0.99	P	0.51	40.5	3.1	65.2	3.8	8.1
CLYN253	2.68	0.91	66.2	1.23	SP	0.60	41.7	3.4	65.5	2.3	12.0
CLYN257	2.39	0.86	63.9	1.19	SP	0.57	44.7	3.5	64.5	1.7	13.5
CLYN260	2.70	1.54	42.8	0.80	P	0.65	46.8	3.1	61.0	2.2	7.7
CLYN261	2.88	1.35	53.1	0.99	P	0.60	44.5	4.1	65.7	2.0	9.6
CML161NEI9008	2.30	1.60	30.6	0.57	MT	0.67	46.3	3.5	63.5	1.5	9.7
CY11	2.59	1.27	50.9	0.95	P	0.60	46.7	3.3	62.0	2.2	10.7
CY12	3.40	1.05	69.0	1.28	SP	0.60	40.8	4.6	64.3	1.7	11.3
CY14	2.45	0.84	65.7	1.22	SP	0.61	35.7	3.9	63.0	2.7	10.7
CY15	2.67	0.85	68.1	1.27	SP	0.60	38.5	3.9	64.5	2.0	11.8
CY6	1.95	0.97	50.5	0.94	P	0.53	43.8	3.9	67.0	4.0	10.8
DTPYC9-F13-2-3-1-2-B	2.34	1.17	50.3	0.94	P	0.53	48.8	3.3	62.0	0.7	3.2
DTPYC9-F46-1-2-1-2-B	2.48	1.53	38.3	0.71	MT	0.69	45.4	2.9	54.7	-0.8	2.6
DTPYC9-F46-3-9-1-1-B	2.37	1.83	22.7	0.42	T	0.72	45.1	3.1	57.7	0.8	5.2
DTPYC9-F65-2-2-1-1-B	1.94	0.98	49.2	0.92	P	0.64	46.0	3.2	62.0	1.3	3.7
G20133036	1.87	0.87	53.4	0.99	P	0.67	42.6	3.7	62.3	2.0	11.1
G20133077	2.32	1.23	46.7	0.87	P	0.68	38.1	3.8	61.0	1.2	9.9
G2013627	2.31	0.98	57.7	1.07	SP	0.69	37.0	4.2	57.8	-0.5	9.3
G2013631	2.39	1.35	43.3	0.81	P	0.71	39.9	3.6	62.3	1.0	21.0
G2013645	2.92	0.89	69.4	1.29	SP	0.55	35.3	2.9	67.3	2.5	7.7
G-180	2.32	0.86	63.0	1.17	SP	0.70	36.2	3.1	64.2	2.0	9.3
MR14	1.94	1.29	33.3	0.62	MT	0.69	49.6	3.4	60.0	1.7	13.7
Nei9008	3.42	1.17	65.7	1.22	SP	0.51	47.6	3.1	65.0	2.3	11.3

Keterangan: Nor = pengairan normal; CK = cekaman kekeringan; PH = persentase penurunan hasil; ISC = indeks toleran cekaman; KT = kriteria toleransi; RB = rendemen biji; KL = klorofil daun; SPD = skor penggulangan daun; UBB = umur berbunga betina; ASI = interval umur berbunga betina dengan jantan; JM = jumlah malai; SP = sangat peka; P = peka; MT = medium toleran; dan T = toleran

karena itu, untuk meningkatkan efektivitas seleksi perlu diikutkan karakter-karakter sekunder yang mencirikan tanaman toleran terhadap cekaman kekeringan. Karakter sekunder yang dapat digunakan sebagai karakter seleksi sebaiknya memiliki korelasi yang nyata dengan hasil atau sebagai penyebab terjadinya penurunan hasil dan memiliki heritabilitas yang tinggi pada kondisi cekaman kekeringan (Araus *et al.*, 2012).

Berdasarkan hasil analisis korelasi terlihat bahwa karakter-karakter yang berkorelasi nyata negatif terhadap persentase penurunan hasil adalah rendemen biji dengan nilai koefisien korelasi (r) sebesar -0.55, persentase tongkol normal ($r = -0.56$), klorofil daun ($r = -0.37$), umur berbunga jantan ($r = 0.39$), sedangkan karakter yang berkorelasi nyata positif terhadap tingkat penurunan hasil adalah skor penggulangan daun ($r = 0.46$), persentase penuaan daun

($r = 0.35$), umur berbunga jantan ($r = 0.39$), umur berbunga betina ($r = 0.43$), ASI ($r = 0.36$), dan jumlah malai ($r = 0.37$) (Tabel 2). Karakter tersebut dapat digunakan sebagai karakter seleksi yang efektif bila memiliki nilai h^2_{BS} yang tinggi. Dari beberapa karakter tersebut hanya karakter skor penggulangan daun, klorofil daun, umur berbunga jantan, umur berbunga betina, ASI, dan jumlah malai yang memiliki nilai h^2_{BS} tinggi (Tabel 2), artinya faktor genetik lebih dominan dibanding faktor lingkungan dalam mempengaruhi fenotipik tanaman pada kondisi cekaman kekeringan sehingga dapat digunakan sebagai karakter seleksi.

Analisis lintas menunjukkan bahwa pada kondisi cekaman kekeringan, karakter yang berpengaruh nyata secara langsung terhadap penurunan hasil adalah rendemen biji dengan nilai koefisien pengaruh langsung (P_{x1}) sebesar -0.501 dan klorofil daun (P_{x4}) sebesar -0.309 (Tabel 3). Nilai pengaruh koefisien langsung yang negatif menunjukkan bahwa semakin rendah rendemen biji dan klorofil daun, maka semakin besar penurunan hasil, sehingga seleksi dilakukan terhadap genotipe jagung inbrida yang memiliki rendemen biji dan klorofil daun yang tinggi.

Genotipe inbrida yang toleran cekaman kekeringan mampu melindungi aparatus kloroplasnya dari kerusakan

akibat cekaman kekeringan sehingga memiliki kandungan klorofil daun yang tinggi (Miller *et al.*, 2010; Impa *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2012; Noctor *et al.*, 2014). Hal tersebut sejalan dengan penelitian ini bahwa genotipe yang toleran cekaman kekeringan seperti DTPYC9-F46-1-2-1-2-B, CML161NEI9008, DTPYC9-F46-3-9-1-1-B, dan 1044-30 mampu menjaga kandungan klorofil daun tetap tinggi dimana klorofil meter daun mencapai antara 45.1-48.4 unit, dibandingkan dengan genotipe peka dengan nilai klorofil meter hanya berkisar 35.3-45.8 unit (Tabel 1).

Analisis lintas menunjukkan bahwa besarnya rendemen biji suatu genotipe jagung inbrida pada kondisi cekaman kekeringan sangat dipengaruhi oleh skor penggulangan daun, umur berbunga betina dan ASI dengan nilai koefisien pengaruh tidak langsung terhadap hasil melalui rendemen biji masing-masing sebesar 0.162, 0.275, dan 0.261 (Tabel 3). Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan mengamati karakter skor penggulangan daun, umur berbunga betina, dan ASI pada kondisi cekaman kekeringan dapat memprediksi tingkat toleransi jagung inbrida pada kondisi cekaman kekeringan.

Pada kondisi cekaman kekeringan, semakin besar skor penggulangan daun yang dialami jagung inbrida maka

Tabel 2. Nilai koefisien korelasi terhadap hasil dan heritabilitas dalam arti luas dari beberapa variabel jagung inbrida

Variabel	Nilai koefisien korelasi terhadap persentase penurunan hasil pada kondisi CK	Nilai koefisien korelasi terhadap hasil pada kondisi		Nilai dan kriteria heritabilitas (h^2_{BS}) pada kondisi	
		CK	Normal	CK	Normal
Hasil pada kondisi CK	-0.83**	1	0.46**	36.9 Sedang	68.4 Tinggi
Panjang tongkol	-0.21	0.36*	0.26	29.4 Sedang	50.0 Tinggi
Diameter tongkol	-0.36*	0.60**	0.38*	10.7 Rendah	70.0 Tinggi
Rendemen biji	-0.55**	0.73**	0.65**	51.6 Tinggi	60.4 Tinggi
Persentase tongkol normal	-0.58**	0.66**	0.45**	38.0 Sedang	40.0 Sedang
Persentase tongkol abnormal	0.18	-0.23	-0.36*	12.3 Rendah	31.4 Sedang
Prolifik	-0.30	0.21	-0.08	49.5 Sedang	54.6 Tinggi
Diameter batang	-0.12	0.31	0.42**	79.7 Tinggi	84.1 Tinggi
Sudut daun	-0.12	0.17	0.14	87.5 Tinggi	86.4 Tinggi
Skor penggulangan daun	0.46**	-0.50**	-	71.4 Tinggi	-
Persentase <i>senescence</i> daun	0.35*	-0.16	-0.04	38.5 Sedang	47.5 Sedang
Klorofil daun	-0.36*	0.17	-0.18	77.0Tinggi	69.1 Tinggi
Luas Daun	0.20	-0.11	0.16	92.0 Tinggi	93.7 Tinggi
Tinggi tanaman	-0.01	0.16	0.29	81.2 Tinggi	93.3 Tinggi
Umur berbunga jantan	0.39*	-0.43*	-0.15	87.1 Tinggi	80.9 Tinggi
Umur berbunga betina	0.43*	-0.50**	-0.21	86.8 Tinggi	84.7 Tinggi
ASI	0.36*	-0.44*	-0.24	52.7 Tinggi	46.7 Sedang
Jumlah malai	0.37*	-0.16	0.22	99.5 Tinggi	99.7 Tinggi
Panjang malai	-0.24	0.22	-0.05	98.9Tinggi	99.4 Tinggi

Keterangan: * = berkorelasi nyata dengan hasil pada taraf uji 5%; ** = berkorelasi nyata dengan hasil pada taraf pada taraf uji 1%; h^2_{BS} = heritabilitas dalam arti luas; CK = cekaman kekeringan

Tabel 3. Pengaruh langsung dan tidak langsung beberapa variabel dari jagung inbrida terhadap penurunan hasil pada kondisi cekaman kekeringan dengan takaran normal pemupukan nitrogen (150 kg N ha⁻¹)

Variabel	Pengaruh langsung	Pengaruh tidak langsung					
		X1	X2	X3	X4	X5	X6
Rendemen biji (X1)	-0.501*		0.162	0.017	0.275	0.261	0.023
Skor penggulangan daun (X2)	0.189	-0.061		-0.031	0.053	0.038	0.079
Klorofil daun (X3)	-0.309*	0.011	0.050		0.072	0.007	0.091
Umur berbunga betina (X4)	-0.036	0.020	-0.010	0.008		-0.026	-0.012
<i>Anthesis silking interval</i> (X5)	0.020	-0.010	0.004	0.000	0.014		0.005
Jumlah malai (X6)	0.161	-0.007	0.067	-0.047	0.053	0.042	

Keterangan: * = berpengaruh nyata langsung terhadap penurunan hasil pada taraf uji 5%

semakin rendah rendemen biji yang diperoleh ($P_{x_2-x_1} = 0.162$) sehingga hasil biji yang diperoleh juga semakin rendah. Gejala penggulangan daun merupakan indikasi bahwa akar tanaman jagung kurang menyerap air dalam jumlah yang cukup sementara transpirasi lebih besar (Kadioglu dan Terzi, 2007; Efendi dan Azrai, 2010; Lu *et al.*, 2011; Saglam *et al.*, 2014). Hal tersebut mengindikasikan bahwa genotipe jagung inbrida yang lebih lambat mengalami penggulangan daun merupakan genotipe yang toleran cekaman kekeringan. Genotipe jagung inbrida 1044-30, CML161NEI9008, DTPYC9-F46-1-2-1-2-B, dan MR 14 merupakan genotipe yang tergolong medium toleran sampai toleran cekaman kekeringan, mengalami tingkat kelayuan yang lebih rendah dengan skor penggulangan antara 2.9-3.1 dibanding genotipe peka dengan skor penggulangan daun berkisar 3.1-4.9 (Tabel 1).

Umur berbunga ($P_{x_4-x_1} = 0.261$) dan ASI ($P_{x_5-x_1} = 0.275$) yang semakin besar pada kondisi cekaman kekeringan secara tidak langsung berdampak negatif terhadap penurunan hasil melalui rendemen biji yang rendah (Tabel 3). Genotipe inbrida peka cekaman kekeringan memiliki mencapai 3.8 hari lebih besar dibanding genotipe yang medium toleran sampai toleran cekaman (DTPYC9-F46-1-2-1-2-B, CML161NEI9008, 1044-30, dan DTPYC9-F46-3-9-1-1-B) dengan ASI berkisar -0.8 sampai 1.7 (Tabel 1). ASI yang besar mengakibatkan tidak sinkronnya penyerbukan yang mengakibatkan penurunan hasil yang nyata pada kondisi cekaman kekeringan (Monneveux *et al.*, 2008; Efendi dan Azrai, 2010; Mhike *et al.*, 2012; Ngugi *et al.*, 2013; Oyekunle *et al.*, 2015).

Efisiensi penggunaan air pada kondisi cekaman kekeringan berdampak positif terhadap tingkat produktivitas (Monneveux *et al.*, 2008). Salah satu caranya dengan mengurangi jumlah malai (Xu dan Hsiao, 2004; Oosterom *et al.*, 2011). Jumlah malai mempengaruhi porsi konsumsi air pada tanaman jagung. Semakin besar ukuran malai semakin besar air yang dikonsumsi. Pada penelitian ini, genotipe DTPYC9-F46-1-2-1-2-B, CML161NEI9008, DTPYC9-F46-3-9-1-1-B, dan 1044-30, yang tergolong medium toleran sampai toleran terhadap cekaman kekeringan memiliki rata-rata jumlah malai yang relatif lebih sedikit yaitu berkisar 2.6-5.6 malai dibandingkan genotipe yang peka yaitu berkisar 7.7-13.5 malai (Tabel 1).

KESIMPULAN

Genotipe inbrida 1044-30, DTPYC9-F46-1-2-1-2-B, CML161NEI9008, DTPYC9-F46-1-2-1-2-B, dan MR14 merupakan genotipe yang medium toleran sampai toleran cekaman kekeringan dengan persentase penurunan hasil yang lebih rendah yaitu hanya berkisar antara 17.0-38.3% dibandingkan genotipe peka atau sangat peka dengan persentase penurunan hasil berkisar 42.8-70.7%. Genotipe inbrida yang tergolong medium toleran sampai toleran dapat digunakan untuk membentuk varietas jagung unggul hibrida atau sintetik toleran cekaman kekeringan. Karakter sekunder yang dapat digunakan sebagai karakter seleksi toleran cekaman kekeringan pada jagung inbrida adalah rendemen biji, klorofil daun, skor penggulangan daun, jumlah malai, umur berbunga betina, dan ASI. Karakter tersebut dipengaruhi faktor genetik lebih besar dibandingkan faktor lingkungan dalam mempengaruhi fenotipik tanaman dan berkorelasi nyata dengan hasil pada kondisi cekaman kekeringan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Proyek Kerjasama Kemitraan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (KKP3N) tahun 2013 atas bantuan dana penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Araus, J.L., M.D. Serret, G.O. Edmeades. 2012. Phenotyping maize for adaptation to drought. *Frontiers Physiol.* 3: 1-20.
- Badu-Apraku, B., R.O. Akinwale, J. Franco, M. Oyekunle. 2012. Assessment of reliability of secondary traits in selecting for Improved grain yield in drought and low-nitrogen environments. *Crop Sci.* 52:2050-2062.
- Badu-Apraku, B.M. Oyekunle. 2012. Genetic analysis of grain yield and other traits of extra-early yellow maize inbreds and hybrid performance under contrasting environments. *Field Crops Res.* 129:99-110.

- Bänziger, M., G.O. Edmeades, D. Beck, M. Bellon. 2000. Breeding for Drought and Nitrogen Stress Tolerance in Maize: From Theory to Practice. *CIMMYT*, Mexico, D.F.
- Becker, W. A. 1992. *Manual of Quantitative Genetics*. Academic Enterprises, USA.
- Budiarti, S. G. 2001. Skrining plasma nutfah jagung terhadap kekeringan. *Bul. Agron.* 29:19-22.
- Chen, J., W. Xu, J. Velten, Z. Xin, J. Stout. 2012. Characterization of maize inbred lines for drought and heat tolerance. *J. Soil Water Conserv.* 67:354-364.
- Derera, J., P. Tongoona, B.S. Vivek, M. D. Laing. 2008. Gene action controlling grain yield and secondary traits in southern African maize hybrids under drought and non-drought environments. *Euphytica* 162:411-422.
- Efendi, R., M. Azrai. 2010. Tanggapan genotipe jagung terhadap cekaman kekeringan: Peranan akar. *J. Penelitian Pertanian* 29:1-10.
- Fischer, R.A., R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Aust. J. Agric. Res.* 29:897-912.
- Impa, S.M., S. Nadaradjan, S.V.K. Jagadish. 2012. Drought Stress Induced Reactive Oxygen Species and Antioxidants in Plants. *Springer* New York. p. 131-147. *In* P. Ahmad, M.N.V. Prasad (Eds.). *Abiotic Stress Responses in Plants*.
- Kadioglu, A., R. Terzi. 2007. A dehydration avoidance mechanism: leaf rolling. *Bot. Rev.* 73: 1-15.
- Liu, M., H. Qi, Z.P. Zhang, Z.W. Song, T.J. Kou, W.J. Zhang, L.J. Yu. 2012. Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence to drought stress in two maize cultivars. *Afr. J. Agric. Res.* 7:4751-4760.
- Lu, Y., Z. Hao, C. Xie, J. Crossa, J.-L. Araus, S. Gao, B.S. Vivek, C. Magorokosho, S. Mugo, D. Makumbi, S. Taba, G. Pan, X. Li, T. Rong, S. Zhang, Y. Xu. 2011. Large-scale screening for maize drought resistance using multiple selection criteria evaluated under water-stressed and well-watered environments. *Field Crops Res.* 124:37-45.
- Manal, H.E. 2009. Estimation of heritability and genetic advance of yield traits in wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought condition. *Int. J. Genet. Mol. Biol.* 1:115-120.
- Mhike, X., P. Okori, C. Magorokosho, T. Ndlela. 2012. Validation of the use of secondary traits and selection indices for drought tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.). *Afr. J. Plant Sci.* 6:96-102.
- Miller, G.A.D., N. Suzuki, S. Ciftci-Yilmaz, R.O.N. Mittler. 2010. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell Environ.* 33:453-467.
- Mokhtarpour, H., C.B.S. Teh, G. Saleh, A.B. Selamat, M.E. Asadi, B. Kamkar. 2010. Non-destructive estimation of maize leaf area, fresh weight, and dry weight using leaf length and leaf width. *Biometry Crop Sci.* 5: 19-26.
- Monneveux, P., C. Sanchez, D. Beck, G.O. Edmeades. 2006. Drought tolerance improvement in tropical maize source populations: evidence of progress. *Crop Sci.* 46:180-191.
- Monneveux, P., C. Sanchez, A. Tiessen. 2008. Future progress in drought tolerance in maize needs new secondary traits and cross combinations. *J. Agri. Sci.* 146:287-300.
- Ngugi, K., J.O. Collins, C. Muchira. 2013. Combining, earliness, short anthesis to silking interval and yield based selection indices under intermittent water stress to select for drought tolerant maize. *Aust. Crop Sci.* 7:2014-2020.
- Noctor, G., A. Mhamdi, C.H. Foyer. 2014. The roles of reactive oxygen metabolism in drought: not so cut and dried. *Plant Physiol.* 164:1636-1648.
- Oosterom, V.E.J., A.K. Borrell, K.S. Deifel, G.L. Hammer. 2011. Does increased leaf appearance rate enhance adaptation to post-anthesis drought stress in sorghum. *Crop Sci.* 51:2728-2740.
- Oyekunle, M., B. Badu-Apraku, S. Hearne, J. Franco. 2015. Genetic diversity of tropical early-maturing maize inbreds and their performance in hybrid combinations under drought and optimum growing conditions. *Field Crops Res.* 170:55-65.
- Purnomo, D.W., B.S. Purwoko, S. Yahya, S. Sujiprihati, I. Mansur. 2007. Evaluasi pertumbuhan dan hasil beberapa genotipe cabai (*Capsicum annum* L.) untuk toleransi terhadap cekaman aluminium. *Bul. Agron.* 35:183-190.
- Saglam, A., A. Kadioglu, M. Demiralay, R. Terzi. 2014. Leaf rolling reduces photosynthetic loss in maize under severe drought. *Acta Bot. Croat.* 73:315-332.
- Shiri, M., R.T. Aliyev, R. Choukan. 2010. Water stress effects on combining ability and gene action of yield and genetic properties of drought tolerance indices in maize. *Res. J. Environ. Sci.* 4:75-84.

- Weber, V.S., A.E. Melchinger, C. Magorokosho, D. Makumbi, M. Bänziger, G.N. Atlin. 2012. Efficiency of managed-stress screening of elite maize hybrids under drought and low nitrogen for yield under rainfed conditions in Southern Africa. *Crop Sci.* 52: 1011-1020.
- Xu, L.T. C. Hsiao. 2004. Predicted versus measured photosynthetic water-use efficiency of crop stands under dynamically changing field environments. *J. Exp. Bot.* 55:2395-2411.
- Zhang, X., P. Perez-Rodriguez, K. Semagn, Y. Beyene, R. Babu, M.A. Lopez-Cruz, F. San Vicente, M. Olsen, E. Buckler, J.L. Jannink, B.M. Prasanna, J. Crossa. 2015. Genomic prediction in biparental tropical maize populations in water-stressed and well-watered environments using low-density and GBS SNPs. *Heredity* 114:291-299.
- Zhang, Z., G. Li, H. Gao, L. Zhang, C. Yang, P. Liu, Q. Meng. 2012. Characterization of photosynthetic performance during senescence in stay-green and quick-leaf-senescence *Zea mays* L., inbred lines. *PLoS One* 7:1-10.
- Ziyomo, C.R. Bernardo. 2013. Drought tolerance in maize: indirect selection through secondary traits versus genome wide selection. *Crop Sci.* 53:1269-1275.