

Karakter Seleksi Fase Vegetatif untuk Adaptasi Cekaman Genangan Air pada Jagung

Vegetative-Phase Selection Trait for Adaptation to Waterlogging Stress in Maize

Uswah Trywulan Syah¹, Willy Bayuardi Suwarno^{2*}, Muhammad Azrai³

¹Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor

²Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor
(Bogor Agricultural University), Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

³Balai Penelitian Tanaman Serealia, Litbang Pertanian
Jl. Dr. Ratulangi No. 274, Maros 90514, Indonesia

Diterima 30 November 2018/Disetujui 24 April 2019

ABSTRACT

Maize is an important crop in Indonesia that is utilized for food, feed, and industry. Waterlogging is one of the abiotic stresses that challenges maize production in recent years due to climate changes. Vegetative-phase screening methods may benefit plant breeding programs because potential genotypes can be identified at earlier stage with lower cost. This study consisted of two experiments. The first experiment was carried out at the Sawah Baru experimental station of Bogor Agricultural University (IPB), Bogor, from June to September 2017 using an alpha lattice design with three replications and four blocks within each replication. The second experiment conducted in a greenhouse at Cikabayan experimental station of IPB, Bogor, from December 2017 to January 2018 using a randomized complete block design with three replications. Genetic material used were 21 maize genotypes from the Indonesia Cereal Research Institute (ICERI) and IPB, including 19 hybrids and 2 inbred lines. The results showed that the dry root weight under normal conditions had significant positive correlation with grain yield under waterlogging stress, and therefore is potential for early screening. Adaptive genotypes in waterlogging stress selected based on dry root weight are DKLx30, DKLx11, MGoldx37, MGoldx41, and IPB L15-1xMR14. Predicted mean yield across these genotypes was 0.57 ton ha⁻¹ higher than the overall genotype mean in waterlogging stress condition. The selected hybrids may be evaluated further for variety release.

Keywords: abiotic stress, genotype, maize breeding, screening

ABSTRAK

Jagung merupakan komoditas pertanian yang memiliki peran penting di Indonesia karena dibutuhkan dalam penyediaan pangan, pakan ternak, dan industri. Cekaman genangan air menjadi tantangan bagi produksi jagung pada beberapa tahun terakhir karena adanya perubahan iklim. Skrining fase vegetatif merupakan metode yang bermanfaat dalam program pemuliaan karena dapat mengidentifikasi genotipe yang potensial pada tahap awal pertumbuhan dengan biaya yang lebih murah. Penelitian ini terdiri atas dua percobaan. Percobaan pertama dilaksanakan di Kebun Percobaan Sawah Baru Insititut Pertanian Bogor (IPB), Bogor, dari bulan Juni sampai dengan September 2017, menggunakan rancangan kisi alfa dengan tiga ulangan dan empat blok dalam ulangan. Percobaan kedua dilaksanakan di Rumah Kaca Cikabayan IPB, Bogor dari bulan Desember 2017 sampai dengan Januari 2018 dengan menggunakan rancangan kelompok lengkap teracak dengan tiga ulangan. Bahan genetik yang digunakan adalah 21 genotipe jagung dari Balai Penelitian Tanaman Serealia dan IPB, yang terdiri atas 19 hibrida dan 2 galur murni. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berat kering akar dalam kondisi normal berkorelasi positif dan signifikan dengan hasil pipilan kering pada cekaman genangan air, dan berpotensi digunakan untuk skrining awal. Genotipe adaptif pada cekaman genangan air yang dipilih berdasarkan berat kering akar adalah DKLx30, DKLx11, MGoldx37, MGoldx41, dan IPB L15-1 x MR14. Nilai rata-rata kelima genotipe tersebut diprediksi lebih tinggi 0.57 ton ha⁻¹ daripada nilai rata-rata seluruh genotipe pada kondisi cekaman genangan air. Hibrida yang terpilih dapat dievaluasi lebih lanjut untuk pelepasan varietas.

Kata kunci: cekaman abiotik, genotipe, pemuliaan jagung, penapisan

* Penulis untuk korespondensi. e-mail: willy@ipb.ac.id

PENDAHULUAN

Jagung merupakan salah satu komoditas pertanian yang memiliki peran penting pada sektor pertanian karena dibutuhkan dalam penyediaan pangan, pakan ternak dan kebutuhan industri. Kondisi pertanaman jagung dengan intensitas curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan resiko tergenangnya pertanaman jagung, sehingga dapat menyebabkan penurunan produksi (Suwarti *et al.*, 2013). Salah satu faktor yang dapat mendukung peningkatan produksi adalah kesesuaian musim tanam. Musim hujan dan musim kemarau sulit ditentukan akibat dari pemanasan global. Curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan genangan pada lahan pertanaman jagung.

Genangan air merupakan salah satu cekaman abiotik yang harus diperhatikan saat ini karena dapat menyebabkan peningkatan H_2O dan penurunan kadar O_2 pada bagian tanaman yang terendam, khususnya pada akar. Dampak genangan air pada tanaman padi antara lain adalah penurunan tinggi tanaman dan produksi (Gusmiatun *et al.*, 2015), dan pada kedelai adalah perubahan rasio pembukaan dan penutupan stomata serta penghambatan kinerja akar (Saputro *et al.*, 2018). Bentuk adaptasi tanaman jagung terhadap genangan yaitu akan membentuk aerenkima di akar (Meisrimler *et al.*, 2014). Jagung pada saat genangan mengalami penurunan produksi 30-50% dari kondisi normal (Li *et al.*, 2011).

Varietas jagung hibrida yang toleran terhadap genangan air di Indonesia saat ini belum ada, sehingga program pemuliaan tanaman untuk merakit varietas tersebut dinilai penting. Salah satu tahapan dalam pemuliaan tanaman adalah melakukan seleksi. Seleksi terdiri atas dua bentuk yakni dilakukan untuk meningkatkan nilai karakter yang diinginkan dan seleksi dalam populasi plasmanutfah untuk memperoleh genotipe yang digunakan untuk merakit varietas baru (Syukur *et al.*, 2015). Salah satu teknik yang dapat digunakan dalam menyeleksi tanaman jagung terhadap cekaman genangan air yaitu dengan menggunakan metode skrining fase vegetatif. Beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam skrining seperti durasi (lama) penggenangan yang diberikan, jenis tanah, dan fase pertumbuhan (Yong-zhong *et al.*, 2010). Kelebihan dari metode skrining fase vegetatif yaitu dapat dilakukan dalam waktu yang singkat dengan biaya yang lebih murah.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menentukan karakter seleksi yang dapat digunakan untuk melakukan skrining genotipe toleran cekaman genangan pada fase vegetatif, (2) mengidentifikasi genotipe jagung yang adaptif pada kondisi cekaman genangan, dan (3) menduga nilai respon terhadap seleksi tak langsung terhadap hasil pada kondisi cekaman genangan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini terdiri atas dua percobaan, yaitu di lahan sawah dan di rumah kaca. Percobaan pertama dilaksanakan di Kebun Percobaan Sawah Baru Institut Pertanian Bogor, Jawa Barat pada bulan Juni sampai dengan September 2017. Percobaan kedua dilaksanakan di Rumah Kaca Cikabayan

Institut Pertanian Bogor, Jawa Barat pada bulan Desember 2017 sampai dengan Januari 2018. Genotipe jagung yang diuji adalah 21 genotipe jagung dari BalitSereal dan IPB, yang terdiri atas 19 hibrida dan 2 galur murni.

Percobaan pertama dilakukan di lahan sawah. Lahan dibagi menjadi dua petak besar, masing-masing untuk perlakuan normal (tanpa cekaman genangan) dan bercekaman genangan. Pada tiap petak dilakukan pengujian genotipe dengan rancangan kisi alfa (*alpha-lattice*) dengan tiga ulangan dan empat blok dalam ulangan. Setiap genotipe jagung ditanam pada plot berukuran 2 baris masing-masing sepanjang 4 m pada setiap ulangan, dengan jarak tanam 70 cm antar baris x 20 cm dalam baris. Pengolahan lahan dilakukan secara konvensional. Metode pengairan pada kondisi normal dilakukan sekali dalam seminggu. Pada kondisi cekaman genangan, penggenangan dilakukan ketika tanaman berada pada fase V6-V7 (25 - 35 hari setelah tanam (HST)), dan selanjutnya dilakukan penyiraman normal kembali. Karakter utama yang diamati adalah hasil pipilan kering, yang selanjutnya dikorelasikan dengan beberapa karakter yang diamati pada percobaan kedua di rumah kaca.

Percobaan kedua (metode skrining) dilaksanakan di rumah kaca terdiri atas dua perlakuan yaitu kondisi optimal dan suboptimal (genangan) menggunakan rancangan kelompok lengkap teracak dengan tiga ulangan. Alat yang digunakan adalah gelas plastik berukuran 220 mL, bak perendaman, dan mikroskop. Metode skrining dalam percobaan ini adalah melakukan seleksi genotipe jagung pada fase pembibitan (V2) atau 7 HST (Yong-zhong *et al.*, 2010). Media tanam yang digunakan yaitu tanah yang dicampur dengan pupuk kandang dengan perbandingan 1:1. Media tanam yang telah disiapkan kemudian dimasukkan ke dalam gelas plastik berukuran 220 mL. Pada perlakuan genangan, gelas plastik dimasukkan ke dalam bak perendaman, dan pemberian genangan dilakukan setinggi ± 3 cm ketika tanaman jagung berumur 7HST-14HST. Pengamatan dilakukan terhadap 10 tanaman contoh pada seluruh genotipe jagung yang diuji. Karakter yang diamati pada percobaan ini yaitu: tinggi tanaman, panjang daun, lebar daun, diameter batang, warna daun, bobot kering akar, bobot kering tunas, bobot kering akar dan tunas, panjang akar adventif, dan aerenkim. Warna daun diukur menggunakan bagan warna daun dengan kisaran skala dari 2 (hijau paling muda) hingga 5 (hijau paling tua).

Analisis Data

Analisis data di tiap percobaan meliputi analisis ragam gabungan antar lingkungan (normal dan genangan), uji perbedaan nilai tengah dengan metode beda nyata terkecil (BNT) pada taraf 0.05, serta pendugaan ragam dan nilai heritabilitas arti luas. Selain itu dilakukan analisis korelasi antara karakter-karakter tanaman pada percobaan di rumah kaca dengan karakter hasil di lapang, masing-masing pada lingkungan normal dan cekaman. Pada tahap akhir, dilakukan pemilihan genotipe-genotipe yang adaptif cekaman genangan. Analisis data menggunakan SAS, STAR, PBTools, dan PBSTAT (www.pbstat.com).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Ragam per Lingkungan dan Gabungan antar Lingkungan

Genotipe yang diuji pada lingkungan normal dan lingkungan cekaman menunjukkan pengaruh nyata hingga sangat nyata pada karakter-karakter yang diamati di masing-masing lingkungan. Analisis gabungan juga menunjukkan pengaruh genotipe yang sangat nyata pada karakter tinggi tanaman, panjang daun, lebar daun, diameter batang, warna daun, bobot kering akar, bobot kering akar dan tunas, dan hasil pipilan kering (Tabel 1). Pengaruh nyata ataupun sangat nyata mengindikasikan adanya perbedaan keragaman antar genotipe yang diuji.

Interaksi genotipe x lingkungan (GxE) pada percobaan ini tidak berpengaruh nyata hampir di seluruh karakter yang diamati, kecuali pada tinggi tanaman (Tabel 1). Tidak adanya pengaruh interaksi GxE dan pengaruh utama G menjelaskan bahwa peringkat genotipe pada kondisi normal maupun bercekaman tidak berubah, dan mengindikasikan adanya genotipe yang adaptif pada kedua lingkungan.

Nilai koefisien keragaman pada lingkungan cekaman berkisar 5.85% (panjang akar adventif) hingga 15.94% (hasil), pada lingkungan normal berkisar 3.16% (warna daun) hingga 14.02% (hasil), dan gabungan dua lingkungan 4.85% (warna daun) hingga 14.89% (hasil) (Tabel 1). Nilai koefisien keragaman karakter di rumah kaca tergolong lebih rendah jika dibandingkan dengan karakter di lapang. Hal ini karena kondisi di rumah kaca lebih terkontrol sehingga pengaruh galat umumnya lebih kecil dibandingkan di lapang.

Koefisien keragaman lingkungan cekaman yang tinggi mengindikasikan kondisi lingkungan yang heterogen. Hasil penelitian Moelyohadi *et al.* (2012) menjelaskan bahwa nilai koefisien keragaman antar genotipe jagung yang diuji berkisar 3.01%-9.25%. Suatu percobaan tergolong baik apabila nilai koefisien keragaman di bawah 20%.

Nilai Duga Komponen Ragam dan Heritabilitas dari Analisis per Lingkungan dan Gabungan Antar Lingkungan.

Nilai heritabilitas pada seluruh karakter di lingkungan normal tergolong kategori tinggi. Pada lingkungan cekaman juga menunjukkan heritabilitas seluruh karakter tergolong kategori tinggi, selain pada karakter aerenkim (Tabel 2). Nilai heritabilitas di sini menunjukkan keterulangan (*repeatability*) dari percobaan, dimana nilai heritabilitas yang besar menunjukkan bahwa keragaman antar genotipe lebih disebabkan oleh pengaruh genetik dibandingkan pengaruh lingkungan. Nilai keterulangan yang tinggi mengindikasikan adanya konsistensi peringkat genotipe antar lingkungan. Hasil penelitian Bekele dan Rao (2014) mengemukakan bahwa beberapa karakter yang diamati, salah satunya karakter tinggi tanaman, menunjukkan nilai heritabilitas kategori tinggi. Nilai heritabilitas dapat digunakan untuk memprediksi respon terhadap seleksi.

Nilai heritabilitas tertinggi terdapat pada karakter bobot kering akar di lingkungan normal (91.32%), lingkungan bercekaman (77.04%), dan gabungan antar dua lingkungan (91.55%) (Tabel 2). Bobot kering akar dinilai sebagai karakter yang potensial untuk menyeleksi genotipe dan dianggap memiliki stabilitas genetik yang tinggi

Tabel 1. Rekapitulasi sidik ragam (nilai P) dan koefisien keragaman dari analisis per lingkungan dan analisis gabungan antar lingkungan

Karakter	Analisis per lingkungan		Analisis gabungan		Koefisien keragaman (%)		
	G (Cekaman)	G (Normal)	G	GxE	LC	LN	LG
Tinggi tanaman	0.00	0.00	0.00	0.00	6.59	7.40	7.23
Panjang daun	0.00	0.00	0.00	0.28	10.47	6.33	8.14
Lebar daun	0.00	0.00	0.00	1.34	6.29	5.80	6.04
Diameter batang	0.01	0.00	0.00	0.98	6.73	4.59	5.58
Warna daun	0.00	0.00	0.00	0.41	6.21	3.16	4.85
Bobot kering akar	0.00	0.00	0.00	0.78	14.05	4.69	8.60
Bobot kering tunas	0.00	0.00	0.00	0.89	13.97	5.55	9.17
Bobot kering akar dan tunas	0.00	0.00	0.00	0.94	12.75	4.87	8.22
Panjang akar adventif ^b	0.01	-	-	-	5.85	-	-
Aerenkima ^{at}	0.07	-	-	-	11.26	-	-
Hasil	0.00	0.02	0.00	0.73	15.94	14.02	14.89

Keterangan: P<0.01 berpengaruh sangat nyata; P<0.05 berpengaruh nyata; G = genotipe; GxE = interaksi genotipe dan lingkungan; LC = lingkungan bercekaman; LN = lingkungan normal; LG = gabungan antar lingkungan; ^a = hanya diamati pada kondisi lingkungan cekaman; ^t = data ditransformasi dengan metode log (x+1)

Tabel 2. Nilai duga komponen ragam dan heritabilitas dari analisis per lingkungan dan analisis gabungan antar lingkungan

Karakter	Analisis per lingkungan						Analisis gabungan			
	Normal			Cekaman			VG	VGxL	VP	h ² _{bs} (%)
	VG	VP	h ² _{bs} (%)	VG	VP	h ² _{bs} (%)				
TT	0.95	1.14	83.67	0.22	0.29	74.29	0.30	0.28	0.51	59.31
PD	7.35	8.45	86.92	3.18	4.86	65.48	5.00	0.27	5.83	85.77
LD	0.01	0.01	76.84	0.01	0.01	76.39	0.01	0.00	0.01	81.40
DB	0.00	0.00	79.99	0.00	0.00	61.33	0.00	0.00	0.00	86.18
WD	0.01	0.01	62.95	0.03	0.04	66.66	0.02	0.00	0.02	78.11
BKA	0.00	0.00	91.32	0.00	0.00	77.04	0.00	0.00	0.00	91.55
BKT	0.00	0.00	83.83	0.00	0.00	70.26	0.00	0.00	0.00	87.50
BKAT	0.00	0.00	88.06	0.00	0.00	76.30	0.00	0.00	0.00	90.49
PAA	-	-	-	0.02	0.03	56.95	-	-	-	-
AER	-	-	-	86.03	200.71	42.86	-	-	-	-
Y	0.71	1.23	57.72	1.05	1.45	72.41	1.10	0.00	1.53	71.90

Keterangan: V_G = ragam genotipe; V_p = ragam fenotipe; V_{GxL} = ragam interaksi genotipe dan lingkungan; h²_{bs} = heritabilitas arti luas; nilai heritabilitas <20% kategori rendah; <50% kategori sedang; 50%<h²_{bs}<100% kategori tinggi (Stanfield, 1983); TT = tinggi tanaman; PD = panjang daun; LD = lebar daun; DB = diameter batang; WD = warna daun; BKA = bobot kering akar; BKT = bobot kering tunas; BKAT = bobot kering akar dan tunas; PAA = panjang akar adventif; Y = hasil

sehingga dapat diwariskan secara genetik. Hal ini sesuai dengan pendapat Pandey *et al.* (2017) menyatakan bahwa keberhasilan program pemuliaan bergantung pada ragam genetik yang ada pada tanaman. Semakin besar ragam genetik maka semakin tinggi nilai heritabilitas, dan semakin besar peluang keberhasilan seleksi yang diharapkan. Hasil penelitian Azrai *et al.* (2016) menjelaskan karakter-karakter yang diamati memiliki heritabilitas dalam kategori sedang hingga tinggi, sehingga seleksi massa atau seleksi galur murni dapat ditempuh untuk perbaikan genetik karakter tersebut.

Keragaan Genotipe di Dua Lingkungan

Genotipe MGdx21 dan DKLx11 adalah genotipe yang memiliki rata-rata panjang akar adventif terpanjang (3.65 cm) (Tabel 3). Akar adventif berperan membantu transportasi gas, air, serta serapan hara ketika tergenang. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian Nguyen *et al.* (2018) menjelaskan bahwa akar adventif yang muncul di daerah batang ketika terjadi genangan dapat meningkatkan hormon auksin (IAA) dan giberelin (GA) namun dapat menurunkan sitokinin dan asam absisat (ABA). Hal ini merupakan salah satu bentuk adaptasi tanaman untuk kelangsungan hidup tanaman di bawah cekaman genangan.

Genotipe MGdx8 adalah genotipe yang memiliki persentase kerusakan aerenkima yang lebih sedikit dibandingkan genotipe lainnya (Tabel 3). Kerusakan aerenkima paling rendah menunjukkan genotipe tersebut diduga lebih mampu beradaptasi pada saat genangan. Hasil penelitian Gribaldi *et al.* (2014) mengemukakan bahwa genangan berpengaruh pada perubahan anatomi akar dan terbentuknya jaringan aerenkima pada varietas yang diuji.

Etilen merupakan hormon penting yang dapat memicu pembentukan aerenkima yang disebabkan adanya genangan air yang berlebih (banjir). Rajhi *et al.* (2011) melaporkan hasil penelitiannya menemukan bahwa pembentukan aerenkima pada akar jagung yang tergenang karena adanya etilen sebagai bentuk adaptasi dalam menghadapi kondisi hipoksia pada akar.

Genotipe-genotipe jagung yang diuji tidak lebih baik daripada varietas pembanding Bima 5 pada karakter tinggi tanaman. Genotipe MGdx8 dan IPB L15-1xMR14 lebih baik dari Bima 5 pada karakter hasil. Genotipe DKLx11, DKLx30, dan IPB L15-1xMR14 lebih baik dari Bima 5 pada karakter bobot kering akar, bobot kering tunas, serta bobot kering akar dan tunas (Tabel 3).

Perbandingan antar Kelompok Genotipe

Genotipe yang diuji pada penelitian terdiri atas lima kelompok, dengan jumlah masing-masing genotipe di setiap kelompok berbeda. Pengaruh kelompok genotipe sangat nyata terhadap seluruh karakter yang diujikan (Tabel 4). Kelompok hibrida MGdx unggul pada karakter lebar daun, kelompok Bima unggul pada karakter tinggi tanaman dan panjang daun, dan kelompok hibrida DKL menunjukkan nilai yang lebih baik pada semua karakter dibandingkan dengan galur murni. Secara umum hibrida MGdx menunjukkan nilai yang lebih baik dibandingkan varietas Bima (Tabel 4). Hal ini mengindikasikan bahwa genotipe MGdx potensial untuk dijadikan tetua dalam merakit varietas yang adaptif terhadap cekaman genangan air.

Kelompok hibrida menunjukkan nilai yang lebih baik dibandingkan kelompok galur murni (Tabel 4). Hibrida (F1) merupakan hasil persilangan dari dua galur murni yang

Tabel 3. Nilai tengah gabungan dua lingkungan

Genotipe	TT	PD	LD	DB	WD	BKA	BKT	BKAT	PAA (s)	AER (s)	Y
MGoldx8	8.84	25.35	1.46	0.44	3.33*	0.19	0.40	0.59	3.56	66.67	9.41*
MGoldx9	9.05	26.47*	1.57*	0.47	3.23	0.18	0.39	0.57	3.38	45.00	9.06
MGoldX20	8.38	25.10	1.43	0.46	3.18	0.18	0.38	0.56	3.61	63.33	8.15
MGoldx21	8.61	26.95*	1.52*	0.44	3.15	0.17	0.38	0.55	3.65	70.00	8.65
MGoldx30	8.50	23.87	1.56*	0.46	3.35*	0.18	0.37	0.54	3.39	60.00	7.83
MGoldx32	8.76	27.29*	1.64*	0.47	3.18	0.19	0.39	0.57	3.51	48.33	7.53
MGoldx37	9.64	27.34*	1.63*	0.48	3.23	0.19	0.38	0.57	3.6	33.33	7.95
MGoldx41	8.32	22.88	1.49*	0.43	3.38*	0.19	0.40	0.59	3.46	51.67	8.76
MGoldx43	9.39	26.79*	1.57*	0.45	3.07	0.18	0.37	0.55	3.48	51.67	8.28
DKLx11	9.47	25.43	1.49*	0.46	3.38*	0.20*	0.42*	0.62*	3.65	36.67	7.84
DKLx12	8.19	24.97	1.39	0.43	3.08	0.17	0.35	0.52	3.08	25.00	8.39
DKLx20	8.10	22.62	1.30	0.42	3.13	0.16	0.35	0.51	3.23	58.33	8.24
DKLx28	7.74	22.82	1.35	0.43	3.08	0.16	0.35	0.52	3.19	25.00	7.29
DKLx30	8.92	26.79*	1.61*	0.48	3.43*	0.21*	0.44*	0.64*	3.61	48.33	8.36
DKLx37	8.92	26.19*	1.44	0.42	3.12	0.17	0.37	0.53	3.41	33.33	7.61
MGold	8.05	24.84	1.44	0.40	3.02	0.14	0.31	0.45	3.42	45.00	5.48
MR-14	6.60	17.23	1.35	0.40	2.98	0.12	0.27	0.39	3.06	30.00	4.96
BIMA 5 p	8.80	23.44	1.37	0.45	3.14	0.17	0.39	0.56	3.37	61.67	8.6
BIMA 19	9.54	26.80*	1.54*	0.48	3.3	0.18	0.39	0.56	3.49	50.00	7.26
BIMA 20	9.48	27.96*	1.50*	0.46	3.22	0.18	0.38	0.56	3.44	51.67	6.03
IPB L15-1xMR14	8.60	26.01*	1.56*	0.49	3.47*	0.20*	0.45*	0.65*	3.63	55.00	9.53*
Rata-rata	8.66	25.10	1.49	0.45	3.21	0.17	0.37	0.55	3.44	48.10	7.87
BNT 0.05	0.86	2.44	0.11	0.30	0.18	0.02	0.04	0.05	0.33	30.61	0.74

Keterangan: ^p = varietas pembanding; * = genotipe berbeda nyata yang lebih baik daripada varietas pembanding berdasarkan uji BNT taraf 0.05; (s) = hanya pada lingkungan cekaman; TT = tinggi tanaman (15HST); PD = panjang daun (15HST); LD = lebar daun (15HST); DB = diameter batang (15HST); WD = warna daun (15HST); BKA = bobot kering akar (18HST); BKT = bobot kering tunas (18HST); BKAT = bobot kering akar dan tunas (18HST); PAA = panjang akar adventif (15HST); AER = aerenkim (HST); Y = hasil (100HST)

memiliki susunan genetik yang berbeda. Susunan genetik hibrida adalah heterozigot, sedangkan pada galur murni susunan genetiknya homozigot. Hasil penelitian Takdir *et al.* (2010) melaporkan bahwa keunggulan varietas hibrida dipengaruhi oleh karakter galur tetuanya (galur murni), dan untuk menghasilkan galur murni dapat diperoleh dengan

melakukan penyerbukan sendiri sebanyak 5-7 generasi. Zaidi *et al.* (2009) melaporkan hasil penelitiannya bahwa perbandingan hasil kelompok hibrida jagung dengan tetuanya (galur murni) pada cekaman genangan air mengindikasikan bahwa secara umum tetua menunjukkan hasil yang lebih rendah dan lebih peka dibandingkan dengan hibridanya.

Tabel 4. Nilai tengah tiap kelompok genotipe pada sejumlah karakter

Kelompok	n	Hasil	TT	PD	LD	DB	WD	BKA	BKT	BKAT
MGold hibrida	9	8.39	8.76	25.52	1.53	0.45	3.24	0.18	0.38	0.56
DKL hibrida	6	8.12	8.61	24.8	1.43	0.44	3.20	0.18	0.37	0.55
Bima	3	7.24	9.19	26.18	1.47	0.46	3.23	0.18	0.39	0.57
Galur murni	2	5.15	7.42	21.26	1.42	0.40	2.99	0.13	0.30	0.42
Nilai P		<.0001	<.0001	<.0001	0.004	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001

Keterangan: P<0.01 = berpengaruh sangat nyata; n = jumlah genotipe; TT = tinggi tanaman; PD = panjang daun; LD = lebar daun; DB = diameter batang; WD = warna daun; BKA = bobot kering akar; BKT = bobot kering tunas; BKAT = bobot kering akar dan tunas. Genotipe IPB disertakan dalam analisis namun tidak ditampilkan karena n=1

Korelasi antar Karakter dengan Hasil pada Lingkungan Normal

Hasil yang tinggi dapat diperoleh dengan memperhatikan berbagai aspek dalam pemenuhan kebutuhan suatu tanaman. Karakter-karakter yang berkorelasi sangat nyata dengan hasil pada kondisi normal yaitu bobot kering akar, bobot kering tunas, bobot kering akar dan tunas (Tabel 5). Hasil penelitian Mohammadi *et al.* (2003) mengemukakan bahwa karakter komponen hasil khususnya bobot 100 biji, jumlah baris dan diameter tongkol jagung memiliki korelasi yang besar terhadap hasil. Korelasi antara komponen hasil dan hasil dapat meningkatkan efisiensi program pemuliaan melalui penggunaan indeks seleksi yang tepat.

Karakter hasil di lingkungan cekaman (Y_s) menunjukkan korelasi yang sangat nyata pada karakter diameter batang, warna daun, bobot kering akar, bobot kering tunas, dan bobot kering akar tunas. Bobot kering akar memiliki nilai korelasi tertinggi dan sangat nyata terhadap

hasil di lingkungan normal ($r = 0.75$; $P < 0.01$) (Tabel 5). Nilai korelasi diperlukan untuk mengetahui hubungan satu karakter dengan karakter lainnya untuk memudahkan kegiatan seleksi. Vashistha *et al.* (2013) melaporkan bahwa seleksi akan lebih efektif dengan adanya nilai heritabilitas yang tinggi, koefisien keragaman yang rendah, dan korelasi yang tinggi antara karakter seleksi dengan hasil.

Seleksi Berdasarkan Bobot Kering Akar pada Kondisi Normal

Berdasarkan nilai karakter bobot kering akar, dipilih lima (25%) genotipe terbaik, yaitu: DKLx30, DKLx11, MGOLDx37, MGOLDx41, dan IPB L15-1xMR14. Pemilihan berdasarkan bobot kering akar dinilai dapat merefleksikan hasil di lapang pada kondisi genangan. Rata-rata hasil dari kelima genotipe tersebut diperkirakan lebih tinggi 0.57 ton ha⁻¹ dibandingkan dengan rata-rata seluruh genotipe jika percobaan ini diulang pada kondisi yang serupa (Tabel 6).

Tabel 5. Korelasi antar karakter dengan hasil pada lingkungan normal (di bawah diagonal) dan cekaman (di atas diagonal)

Karakter	TT	PD	LD	DB	WD	BKA	BKT	BKAT	AER	PAA	Hasil(Y_s)	Hasil(Y_p)
TT	1	0.64**	0.67**	0.69**	0.58**	0.69**	0.61**	0.66**	0.23	0.76**	0.33	0.39
PD	0.87**	1	0.63**	0.50*	0.26	0.46*	0.44*	0.47*	0.22	0.62**	0.18	0.24
LD	0.49*	0.65**	1	0.65**	0.52*	0.55*	0.44*	0.51*	0.07	0.59**	22.00	0.15
DB	0.61**	0.72**	0.74**	1	0.75**	0.81**	0.73**	0.77**	0.43*	0.68**	0.55**	0.43*
WD	0.20	0.23	0.37	0.51*	1	0.87**	0.86**	0.88**	0.31	0.65**	0.61**	0.53**
BKA	0.60**	0.68**	0.51*	0.79**	0.60**	1	0.92**	0.95**	0.39	0.79**	0.60**	0.54**
BKT	0.58**	0.68**	0.61**	0.81**	0.69**	0.91**	1	0.99**	0.30	0.70**	0.69**	0.67**
BKAT	0.61**	0.70**	0.59*	0.84**	0.67**	0.96**	0.99**	1	0.32	0.75**	0.68**	0.63**
AER	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.52*	0.39	0.40
TAA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.41	0.35
Hasil(Y_s)	0.29	0.37	0.34	0.52*	0.34	0.75**	0.67**	0.71**	-	-	1	0.72**
Hasil(Y_p)	0.26	0.41	0.17	0.41	0.34	0.62**	0.55**	0.59**	-	-	0.72**	1

Keterangan: * = berkorelasi nyata; ** = berkorelasi sangat nyata; TT = tinggi tanaman; PD = panjang daun; LD = lebar daun; DB = diameter batang; WD = warna daun; BKA = bobot kering akar; BKT = bobot kering tunas; BKAT = bobot kering akar dan tunas; PAA = panjang akar adventif; Y_s = hasil pada kondisi cekaman; Y_p = hasil pada kondisi normal

Tabel 6. Hasil seleksi berdasarkan nilai bobot kering akar pada kondisi normal

Genotipe	BKA (g)	Y_s (ton ha ⁻¹)	Y_p (ton ha ⁻¹)
DKLx30	0.25	7.71	9.02
DKLx11	0.24	7.12	8.57
MGOLDx37	0.24	6.79	9.10
MGOLDx41	0.24	7.94	9.57
IPB L15-1xMR14	0.24	8.55	10.50
Rata-rata 5 terbaik (a)	0.24	7.62	9.35
Rata-rata seluruhnya (b)	0.22	6.83	8.90
Selisih ($s = a - b$)	0.02	0.79	0.45
Prediksi nilai genetik dari selisih ($\hat{G} = s \times h^2$)	0.02	0.57	0.26

Keterangan: BKA = bobot kering akar pada kondisi normal, Y_s = hasil pada kondisi cekaman, Y_p = hasil pada kondisi normal

Akar merupakan bagian tanaman yang akan mengalami kerusakan pada tahap vegetatif (V2) saat terjadi genangan. Genangan dapat mengakibatkan penurunan bobot kering akar dibandingkan pada kondisi normal. Hasil penelitian Yong-zhong *et al.* (2010) mengemukakan bahwa bobot kering akar jagung dapat dijadikan sebagai karakter seleksi pada saat skrining karena keragannya berbeda signifikan antara kondisi genangan dan normal.

KESIMPULAN

Penelitian ini memberikan informasi awal bahwa karakter bobot kering akar pada fase vegetatif dapat dijadikan sebagai karakter seleksi untuk memilih genotipe yang adaptif terhadap cekaman genangan air. Skrining fase vegetatif menggunakan karakter bobot kering akar berhasil mengidentifikasi lima genotipe yang adaptif terhadap lingkungan cekaman genangan, yaitu DKLx30, DKLx11, MGGoldx37, MGGoldx41, dan IPB L15-1 x MR14.

DAFTAR PUSTAKA

- Azrai, M., R. Efendi, Suwarti, R.H. Praptana. 2016. Keragaman genetik dan penampilan jagung hibrida silang puncak pada kondisi cekaman kekeringan. J. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan 35:199-208.
- Bekele, A., T.N. Rao. 2014. Estimates of heritability, genetic advance and correlation study for yield and its attributes in maize (*Zea mays* L.). J. Plant Sci. 2:1-4.
- Gribaldi, R.A. Suwignyo, M. Hasmeda, R. Hayati. 2014. Pengaruh pemupukan terhadap perubahan morfofisiologi dua varietas padi pada kondisi cekaman rendaman. J. Agron. Indonesia 42:17-23.
- Gusmiatun, R.A. Suwignyo, A. Wijaya, M. Hasmeda. 2015. Peningkatan toleransi rendaman padi lokal rawa lebak dengan introgresi gen *sub1*. J. Agron. Indonesia 43:99-104.
- Li, X.Y., Z.Y. Liu, T.X. Li. 2011. An impact test study of the flood disasters on summer corn's characters and yield. J. Acta Meteorol. Sin. 31:79-82.
- Meisrimler, C.N., F. Buck, S. Lüthje. 2014. Alterations in soluble class III peroxidases of *maize* shoots by flooding stress. J. Proteomes 2:303-322.
- Moelyohadi, Y, M.U. Harun, Munandar, R. Hayati, N. Gofar. 2012. Pemanfaatan berbagai jenis pupuk hayati pada budidaya tanaman jagung (*Zea mays* L.) efisien hara di lahan kering marginal. J. Lahan Suboptimal 1:31-39.
- Mohammadi, S.A., B.M. Prasanna, N.N. Singh. 2003. Sequential path model for determining interrelationships among grain yield and related characters in *maize*. J. Crop Sci. 43:1690-1697.
- Nguyen, T.N., P.A. Tuan, S. Mukherjee. S. Son, B.T. Ayele. 2018. Hormonal regulation in adventitious roots and during their emergence under waterlogged conditions in wheat. J. Exp. Botany. 69:4065-4082.
- Pandey, Y., R.P. Vyas, J. Kumar, L. Singh, H.C. Singh, P.C. Yadav, Vishwanath. 2017. Heritability, correlation and path coefficient analysis for determining interrelationships among grain yield and related characters in maize (*Zea mays* L.). J. Pure Appl. Biosci. 5:595-603.
- Rajhi, I., T. Yamauchi, H. Takahashi, S. Nishiuchi, K. Shiono, R. Watanabe, A. Mliki, Y. Nagamura, N. Tsutsumi, N.K. Nishizawa. 2011. Identification of genes expressed in *maize* root cortical cells during lysigenous aerenchyma formation using laser microdissection and microarray analyses. J. New Phytol. 190:351-368.
- Saputro, T.B., K.T. Purwani, V.S. Fatimah, E.M. Stevia, N. Jadid. 2018. The tolerance improvement of local soybean in waterlogging condition through the combination of irradiation and in vivo selection. J. Physics: Conf. Series 1040:1-7.
- Suwarti, R. Efendi, M. Azrai, N. Tahir. 2013. Pertumbuhan, hasil dan indeks sensitivitas tanaman jagung terhadap cekaman genangan air. hal. 169-180. Prosiding Seminar Nasional Serealia: Meningkatkan Peran Penelitian Serealia Menuju Pertanian Bioindustri. Maros 18 Juni 2013.
- Syukur, M., S. Sujiprihati, R. Yunanti. 2015. Teknik Pemuliaan Tanaman. Penebar Swadaya. Jakarta. ID.
- Takdir, A.M., S. Sunarti S, M.J. Mejaya. 2010. Pembentukan varietas jagung hibrida. J. Balai Penelitian Tanaman Serealia Maros 5:74-93.
- Vashistha, A., N.N. Dixit, Dipika, S.K. Sharma, S. Marker. 2013. Studies on heritability and genetic advance estimates in *maize* genotypes. J. Bioscience Discovery 4:165-168.
- Yong-zhong, L., T. Bin, Z. Yong-lian, M. Ke-jun, X.U. Shang-zhong, Q.I.U. Fa-zhan. 2010. Screening methods for waterlogging tolerance at maize (*Zea mays* L.) seedling stage. J. Agri. Sci. China 9:362-369.
- Zaidi, P.H., P. Maniselvan, A. Srivastava, Poonam Yadav, R.P. Singh. 2009. Genetic analysis of water-logging tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.). J. Maydica. 55:17-26.