

# IDENTIFIKASI KARAKTER TOLERANSI CEKAMAN KEKERINGAN BERDASARKAN RESPONS PERTUMBUHAN DAN HASIL GENOTIPE JAGUNG

Roy Efendi dan Muhammad Azrai

Balai Penelitian Tanaman Serealia,  
Jln. Dr. Ratulangi 274, Maros, Sulawesi Selatan  
*e-mail*: roysereal@ahoo.com

## ABSTRACT

*The objectives of this experiment were to study (a) response of maize genotypes drought stress during anthesis up to grain filling or maturity stages and (b) determine characters as drought tolerance indicators. Factorial randomize complete block design this experiment was used with two factors. The first factor was drought tolerance and sensitive genotypes and the second factor was periods of drought stress consisted of three condition: (i) drought at anthesis up to grain filling stages, (ii) drought at anthesis up to maturity stages, and (iii) optimum condition. The results of research showed that tolerance genotypes had the abilities to maintain shoot growth (plant height and shoot dry weight) and suppress leaf damage under drought condition. The abilities of drought tolerant were supported by heavy root dry weight while resulted the extend of root absorbing more water. The ability of maize genotypes in keeping shoot growth, suppressing transpiration due to lower leaf stomata density and higher water use efficiency is an important factors in suppressing yield loss in drought condition. The sensitive genotypes was not had these abilities since it had low root dry weight, therefore, the root extension was not supported for absorbing adequate amount of water for shoot growth (shoot dry weight and plant height) and increasing the intensity of damage leaf under drought condition was high. Besides, the sensitive genotype had higher leaf stomata density and lower level of water use efficiency which caused the increasing yield decrease (grain wieght/plant) compare to tolerance genotypes, more over, in longer drought period of theirs genotypes were not filled.*

**Keywords:** *Evapotranspiration; Drought stress; Maize; Roots; Water use; Genotypes*

## PENDAHULUAN

Cekaman kekeringan merupakan salah satu cekaman terluas yang memengaruhi pertumbuhan dan produksi di area pertanian. Hal ini dapat dilihat dari beberapa faktor cekaman abiotik ternyata persentasi cekaman kekeringan merupakan faktor cekaman terluas yaitu sekitar 26%, kemudian diikuti cekaman mineral 20%, cekaman suhu rendah 15%, sedangkan sisanya adalah cekaman biotik yaitu 39%.<sup>1</sup> Pada daerah tropis, kondisi cekaman kekeringan pada fase berbunga atau fase pengisian biji mengakibatkan penurunan hasil jagung sekitar 30–60%, sedangkan cekaman kekeringan pada periode fase berbunga sampai panen mengakibatkan penurunan hasil sekitar 65–70% dari kondisi optimum.<sup>2,3</sup>

Salah satu strategi pengembangan tanaman jagung pada lahan yang sering mengalami kondisi cekaman kekeringan adalah penanaman varietas jagung yang toleran cekaman kekeringan. Varietas tersebut dapat diperoleh dari serangkaian penelitian dan seleksi toleransi genotipe jagung terhadap cekaman kekeringan. Untuk mendukung program seleksi yang efektif diperlukan informasi mendasar mengenai sifat morfologi dan fisiologi yang berkaitan dengan ketahanan terhadap cekaman kekeringan.

Evaluasi toleransi tanaman terhadap cekaman kekeringan biasanya dilakukan dengan dua pendekatan: (a) secara langsung, mengamati pengaruh langsung cekaman kekeringan terhadap pertumbuhan, perkembangan, dan daya hasil, (b) secara tidak langsung, mengamati morfologi

dan fisiologi yang terkait dengan sifat toleransi terhadap cekaman kekeringan. Karakter morfologi dan fisiologi dilaporkan terkait dengan sifat toleran terhadap cekaman kekeringan adalah karakter perakaran yang ekstensif,<sup>4,5</sup> densitas stomata daun yang rendah,<sup>6</sup> menekan laju kehilangan air, lebih efisien dalam penggunaan air, dan mampu menekan kerusakan daun.<sup>2,4,5,6</sup> Dengan demikian, identifikasi respons morfologis, fisiologis, dan penurunan hasil dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan karakter yang terkait dengan toleransi genotipe jagung terhadap cekaman kekeringan.

Percobaan dilakukan bertujuan mempelajari respons genotipe jagung yang toleran dan peka cekaman kekeringan serta mengetahui karakter yang berkaitan dengan toleransi cekaman kekeringan.

## METODE PENELITIAN

Percobaan dilaksanakan di rumah kaca Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Tanaman (BB-Biogen) pada bulan Maret–Juni 2008. Percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok dengan dua faktor perlakuan dengan tiga ulangan. Faktor pertama adalah enam genotipe jagung yaitu Anoman, DTPY-F46-3-9-nB, MR 14, dan PT-BC9 mewakili genotipe toleran,<sup>7,8</sup> sedangkan G 180 dan G 193 yang mewakili genotipe peka cekaman kekeringan.<sup>8</sup> Faktor kedua adalah periode cekaman kekeringan.

Pada saat tanam sampai umur 38–45 hari setelah tanam (hst) pemberian air dilakukan 2–3 hari sekali pada seluruh tanaman, kemudian periode cekaman kekeringan dilakukan berdasarkan cekaman kekeringan yang diterapkan CIMMYT<sup>2</sup> yaitu: a) Periode cekaman kekeringan pada saat 12 hari menjelang berbunga sampai 12 hari setelah berbunga (S1), kemudian dilakukan pemberian air 2–3 kali sehari sampai fase masak fisiologis, b) periode cekaman kekeringan pada fase 12 hari menjelang berbunga sampai fase masak fisiologis (S2), dan c) kondisi optimum (S0) yaitu frekuensi pemberian air 2–3 kali sehari saat tanam sampai fase masak fisiologis.

Perlakuan cekaman kekeringan dilakukan per genotipe dengan membiarkan suatu tanaman tidak disiram sampai menunjukkan kelayuan

yang ditandai dengan penggulungan daun mencapai skor 4, yaitu daun menggulung sampai menutupi lidah daun,<sup>2</sup> kemudian penyiraman dilakukan kembali sampai kapasitas lapang, selanjutnya perlakuan cekaman kekeringan dilakukan kembali sampai tanaman menunjukkan penggulungan daun mencapai skor 4, kemudian dilakukan penyiraman kembali sampai kapasitas lapang dan seterusnya. Dengan perlakuan demikian diharapkan tidak ada tanaman yang *escaped* atau terhindar dari cekaman kekeringan dan tekanan cekaman kekeringan yang dialami seluruh genotipe relatif sama.

Tanah untuk percobaan diambil dari Kebun Percobaan (KP) BB-Biogen, Cikeumeh, Bogor. Media tanam yang digunakan adalah campuran tanah dan pupuk kandang dengan perbandingan 5 : 1. Lesimeter sederhana yang digunakan adalah *polybag* berukuran 40 cm x 45 cm yang bagian dalamnya dilapisi plastik sehingga hanya terdapat satu lobang untuk perkolasi air pada bagian dasar *polybag*. Setiap *polybag* diisi dengan 10 kg media yang telah dikeringanginkan selama tiga minggu, kemudian ditambahkan 10 g kapur. Takaran pemberian pupuk setiap *polybag* adalah 11,25 g urea, 7,5 g SP36, dan 3,6 g KCl atau setara dengan 300 kg urea, 200 kg SP36, dan 100 kg KCl/ha. Aplikasi pupuk pada saat tanaman berumur 7 hst dengan takaran sepertiga urea dan seluruh SP36 dan KCl, sedangkan sisanya diaplikasikan pada saat umur 21 hst.

Data yang dikumpulkan adalah evapotranspirasi (ET), pengukuran ET adalah dengan terlebih dahulu mengetahui volume air tanah dalam *polybag* ( $V_0$ ) =  $S_1 - P_1$ . di mana  $S_1$  adalah volume air pada penyiraman pertama dan  $P_1$  adalah volume air perkolasi pada saat penyiraman pertama. Evapotranspirasi pertama ( $ET_1$ ) dapat diketahui pada saat penyiram 2–3 hari berikutnya dengan perhitungan  $V_0 - (S_2 - P_2)$ ,  $ET_n$  berikutnya diketahui pada saat penyiraman berikutnya dengan perhitungan  $V_0 - (S_n - P_n)$ , dan seterusnya sehingga didapat ET total sampai panen. Efisiensi penggunaan air (*water use efficiency*, WUE), dihitung dengan rumus yang dikemukakan Gupta<sup>9</sup> sebagai berikut:

$$EPA = \frac{ET}{Y}$$

di mana ET adalah evapotranspirasi per tanaman (ml) dan Y adalah bobot biji per tanaman (g), tinggi tanaman (cm), dan luas daun tongkol (cm<sup>2</sup>). Bobot kering akar dan tajuk (g). Panjang akar (cm) dan rasio bobot kering akar/tajuk. Intensitas kerusakan daun (IKD), diukur pada saat tanaman mengalami cekaman kekeringan selama 30 dan 40 hari dengan menggunakan rumus

$$P = \frac{\sum(n \times V)}{Z \times N} \times 100$$

di mana P adalah intensitas kerusakan daun, n adalah jumlah daun setiap kategori gejala, V adalah nilai skor setiap kategori gejala, N adalah jumlah daun yang diamati, dan Z adalah nilai skor kerusakan tertinggi. Skor kerusakan adalah skor 1 = < 10%, skor 2 = 11%–30%, skor 3 = 31%–50%, skor 4 = 51%–70%, dan skor 5 = > 70% dari luas daun yang mengalami klorosis dan nekrosis. Jumlah stomata daun bendera, perhitungan stomata dilakukan secara tidak langsung dengan teknik *imprint* yaitu mencetak stomata daun menggunakan kuteks (cat kuku). Hasil *imprint* diletakkan pada plat kaca objek haemocytometer dengan pembesaran 100 kali pada proyeksi bidang objek mikroskop. Komponen hasil, yaitu panjang tongkol, diameter tongkol, bobot 100 biji, dan bobot biji per tanaman.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Periode Cekaman Kekeringan terhadap Pertumbuhan Vegetatif

Pengaruh cekaman kekeringan terhadap pertumbuhan vegetatif genotipe jagung toleran (Anoman, DTPY-F46-3-9-nB, MR 14, dan PT-BC9) dan peka cekaman kekeringan (G 180 dan G 193) menunjukkan perbedaan. Pada kondisi periode cekaman kekeringan 12 hari menjelang berbunga sampai 12 hari setelah berbunga (S1) menunjukkan genotipe peka mengalami penurunan persentase tinggi tanaman (TT) paling besar yaitu 15,71%–20,85%, sedangkan genotipe toleran mengalami penurunan hanya 8,55%–15,50%. Pada kondisi periode cekaman kekeringan 12 hari menjelang berbunga sampai fase masak fisiologis (S2) menunjukkan genotipe peka mengalami penurunan persentase TT paling besar, yaitu 15,71%–20,85%, sedangkan genotipe toleran mengalami penurunan hanya

9,52%–14,23%. Hal yang sama juga terjadi pada persentase penurunan bobot kering tajuk (BKT) pada kondisi S1, di mana genotipe peka mengalami penurunan yang lebih besar yaitu sekitar 47,89%–48,35%, sedangkan genotipe toleran hanya 10,84%–31,57%. Pada kondisi S2 genotipe peka mengalami penurunan BKT sebesar 51,82%–54,66%, sedangkan genotipe toleran hanya 25,08%–45,34% (Tabel 1).

Berdasarkan analisis antarpeubah menunjukkan bahwa pada kondisi cekaman kekeringan TT dan BKT berkorelasi nyata positif dengan hasil (bobot biji/tanaman), di mana nilai koefisien korelasi (R<sup>2</sup>) cukup besar, yaitu 0,74 dan 0,77 pada kondisi S1 dan S2 (Tabel 2 dan 3). Hal tersebut menunjukkan bahwa kemampuan genotipe jagung dalam mempertahankan pertumbuhan vegetatif (TT dan BKT) pada kondisi cekaman kekeringan merupakan penentu kemampuan tanaman menjaga pertumbuhan generatif dan daya hasil. Kemampuan tersebut ditunjang dengan bobot kering akar (BKA) yang berkorelasi positif sangat nyata dengan BKT (R<sup>2</sup> sebesar 0,75 dan 0,72 pada kondisi S1 dan S2) (Tabel 2 dan 3). Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar BKA semakin besar BKT tanaman.

BKA yang besar menunjukkan kemampuan tanaman memperluas jangkauan akar untuk memperbesar peluang mengabsorpsi air dalam tanah dan menyuplainya ke tajuk untuk proses pertumbuhan. Kemampuan tersebut tidak dimiliki oleh genotipe peka yang memiliki BKA yang rendah (8,65–10,60 g pada kondisi S1 dan 9,00–11,65 g pada kondisi S2) sehingga mengalami penurunan TT dan BKT yang lebih besar dibanding genotipe toleran memiliki BKA yang lebih besar (10,83–21,06 g pada kondisi S1 dan 10,06–18,99 g pada kondisi S2) (Tabel 1).

Kondisi cekaman kekeringan memicu tanaman untuk lebih meningkatkan pertumbuhan akar dan menekan pertumbuhan tajuk sehingga rasio bobot kering akar/tajuk (RBKAT) menjadi lebih besar yaitu 0,16–0,18 dibanding kondisi optimum hanya 0,14 (Tabel 1). Terjadinya respons tersebut merupakan bentuk adaptasi tanaman terhadap kondisi cekaman kekeringan. Dipacunya pertumbuhan akar akan memberi peluang yang lebih besar untuk mengabsorpsi air dengan menjangkau lapisan tanah yang lebih dalam. Kadar air

tanahnya lebih tinggi, sedangkan pertumbuhan tajuk ditekan untuk mengurangi kehilangan air (transpirasi) melalui daun.<sup>10</sup>

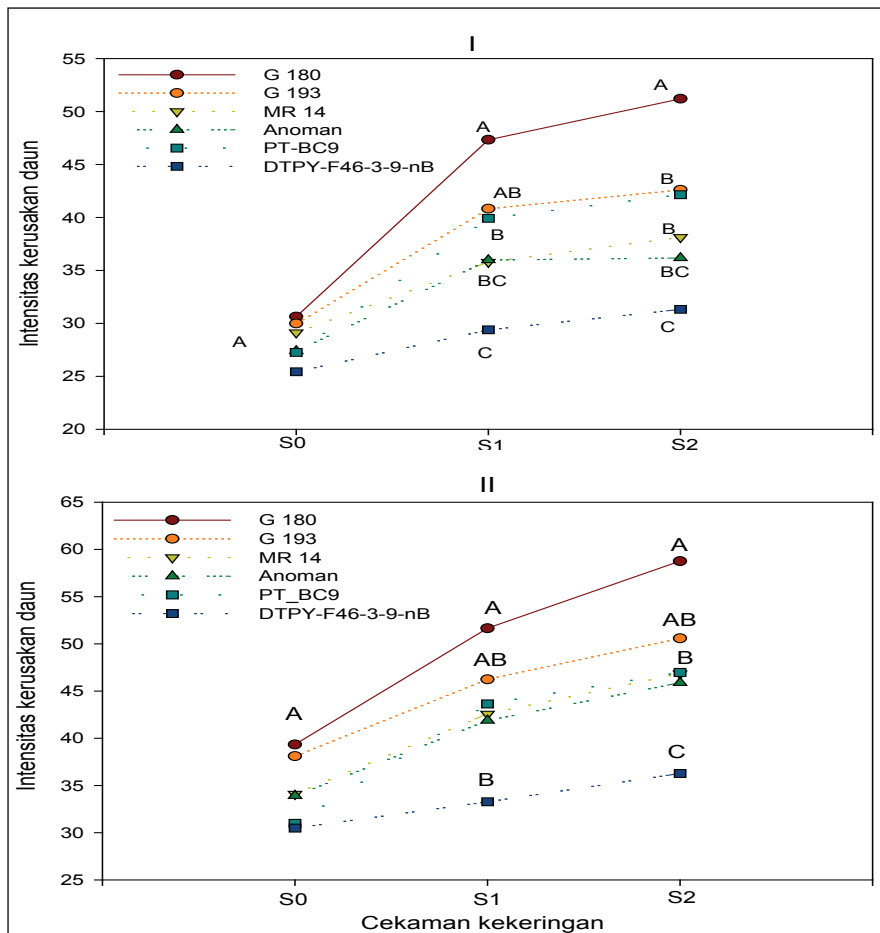
Pada kondisi cekaman kekeringan peningkatan RBKAT pada genotipe peka lebih

besar dibanding genotipe toleran. Pada kondisi cekaman kekeringan S1 genotipe peka mengalami persentase peningkatan RBKAT lebih besar yaitu sekitar 23,81–34,28% dan 45,24% –51,43% pada kondisi S1 dan S2, sedangkan

**Tabel 1.** Pengaruh Cekaman Kekeringan Terhadap Tinggi Tanaman, Bobot Kering Akar, Panjang Akar, Bobot Kering Tajuk dan Rasio Bobot Kering Akar/Tajuk

Peubah dan Genotipe	Toleransi	Cekaman kekeringan						Penurunan atau Peningkatan (%)		
		S0		S1		S2	Rataan	S1	S2	
<b>Tinggi tanaman - TT (cm):</b>										
Anoman	T	173,48		156,31		156,97	162,25	A	9,90	9,52
DTPY-F46-3-9-nB	T	152,11		128,54		130,46	137,04	B	15,50	14,23
MR 14	T	153,14		140,05		132,00	141,73	B	8,55	13,80
PT-BC9	T	165,48		146,72		143,41	151,87	BA	11,34	13,34
G 180	P	165,77		139,73		140,83	148,78	BA	15,71	15,04
G 193	P	137,44		108,79		107,11	117,78	C	20,85	22,07
Rataan		157,903	a	136,69	b	135,13	b			
<b>Bobot kering akar - BKA (g)</b>										
Anoman	T	20,94		18,28		13,76	17,66	BA	-12,73	-34,31
DTPY-F46-3-9-nB	T	16,99		14,65		13,59	15,08	BC	-13,74	-20,00
MR 14	T	22,42		21,06		18,99	20,82	A	-6,09	-15,30
PT-BC9	T	13,53		10,83		10,06	11,47	DC	-19,95	-25,69
G 180	P	12,27		8,65		9,00	9,97	D	-29,52	-26,67
G 193	P	16,68		10,60		11,65	12,98	DC	-36,44	-30,14
Rataan		17,14	a	14,01	b	12,84	c			
<b>Bobot kering tajuk - BKT (g)</b>										
Anoman	T	169,70		115,67		93,51	126,29	A	-31,84	-44,90
DTPY-F46-3-9-nB	T	122,68		83,95		74,29	93,64	B	-31,57	-39,44
MR 14	T	121,11		107,98		90,74	106,61	B	-10,84	-25,08
PT-BC9	T	127,14		93,76		69,50	96,80	B	-26,25	-45,34
G 180	P	107,37		55,95		48,68	70,67	C	-47,89	-54,66
G 193	P	118,16		61,03		56,93	78,71	C	-48,35	-51,82
Rataan		127,69	a	86,39	b	72,27	c			
<b>Rasio bobot kering akar/tajuk - RBKAT</b>										
Anoman	T	0,12		0,15		0,15	0,14	BC	21,62	21,62
DTPY-F46-3-9-nB	T	0,13		0,17		0,18	0,16	BC	27,50	35,00
MR 14	T	0,19		0,20		0,21	0,20	A	3,51	10,53
PT-BC9	T	0,11		0,11		0,15	0,12	C	6,24	43,74
G 180	P	0,12		0,16		0,18	0,15	BC	34,28	51,43
G 193	P	0,14		0,17		0,20	0,17	BA	23,81	45,24
Rataan		0,14	b	0,16	a	0,18	a			

**Keterangan:** Angka yang diikuti oleh huruf kapital yang sama pada kolom atau huruf kecil yang sama pada baris, tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan 5%, S0 = kondisi optimum, S1 = periode cekaman kekeringan saat menjelang berbunga sampai fase pengisian biji, S2 = periode cekaman kekeringan saat menjelang berbunga sampai fase masak fisiologis, T = toleran cekaman kekeringan, dan P = peka cekaman kekeringan.



**Keterangan:** Huruf kapital yang sama pada S0 (kondisi optimum), S1 (periode cekaman kekeringan saat 12 hari menjelang berbunga sampai 12 hari setelah berbunga), dan S2 (periode cekaman kekeringan saat 12 hari menjelang berbunga sampai masak fisiologis) tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%. I = tanaman mengalami 30 hari cekaman kekeringan (hck) dan II = 40 hck.

**Gambar 1.** Pengaruh periode cekaman kekeringan terhadap indeks kerusakan daun.

genotipe toleran mengalami peningkatan hanya sekitar 3,51%–27,50% dan 10,53%–43,74% pada kondisi S1 dan S2 (Tabel 1). Peningkatan RBKAT yang lebih besar pada genotipe peka menunjukkan bahwa perluasan perakarannya atau BKA belum menunjang kemampuan akar mengabsorpsi air dalam jumlah yang cukup untuk mendukung pertumbuhan tajuk. Kondisi tersebut menyebabkan genotipe peka lebih memacu pertumbuhan akar dibanding tajuk yang bertujuan untuk memperluas peluang akar mengabsorpsi air tanah pada lapisan tanah yang lebih dalam.

#### Intensitas Kerusakan Daun pada Kondisi Cekaman Kekeringan

Setelah mengalami cekaman kekeringan selama 30 dan 40 hari, genotipe peka (G 180 dan G 193)

mengalami intensitas kerusakan daun (IKD) yang lebih parah yaitu berkisar 47,32–51,20 dibanding genotipe toleran (Anoman, MR 14, PT-BC9 dan DTPY-F46-3-9-nB) yang mampu menekan IKD lebih kecil yaitu hanya berkisar 29,39–46,53 (Gambar 1). Kemampuan genotipe toleran menekan IKD berkaitan dengan kemampuan perluasan akar atau BKA yang besar. Berdasarkan analisis korelasi antarpeubah menunjukkan bahwa IKD berkorelasi nyata negatif dengan BKA dengan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) sebesar -0,56 dan -0,64 pada kondisi cekaman kekeringan S1 dan S2 (Tabel 2 dan 3). Hal ini menunjukkan bahwa genotipe toleran yang memiliki BKA yang besar pada kondisi cekaman kekeringan merupakan indikasi kemampuan tanaman memperluas jangkauan akar untuk

memperbesar peluang mengabsorpsi air sehingga genotipe toleran mengalami tekanan cekaman kekeringan yang lebih kecil dan mengalami IKD yang lebih rendah dibanding genotipe peka. Menurut Prochazkova<sup>11</sup> dan Mittler<sup>12</sup> menyatakan bahwa IKD berkaitan dengan tingkat cekaman kekeringan, semakin besar tekanan cekaman kekeringan semakin besar peningkatan produksi ROS yang merusak kloroplas sehingga daun akan cepat mengalami klorosis dan *senescence*.

Berdasarkan analisis korelasi antarpeubah menunjukkan bahwa IKD berkorelasi negatif sangat nyata dengan hasil (bobot biji/tanaman)

dengan nilai R<sup>2</sup> sebesar -0,60 dan -0,63 pada kondisi cekaman kekeringan S1 dan S2 (Tabel 2 dan 3). Hal ini menunjukkan bahwa IKD yang besar akan mengakibatkan luasan hijau daun untuk fotosintesis menjadi menurun sehingga net fotosintesis dan hasil (bobot biji/tanaman) juga menurun. Menurut Edmeades<sup>13</sup> dan Banziger<sup>2</sup> menyatakan bahwa kemampuan genotipe jagung memperlambat kerusakan daun (*senescence* dan klorosis) dapat digunakan sebagai karakter seleksi yang efektif karena mudah diamati dan berkorelasi dengan penurunan hasil.

**Tabel 2.** Koefisien Korelasi Antarpeubah pada Periode Cekaman Kekeringan pada Saat 12 Hari Menjelang Berbunga Sampai 12 Hari Setelah Berbunga (S1)

	IKD	Stomata	BKA	BKT	RBKAT	ET	WUE	BBj_T
TT	-0,14	-0,19	0,39	0,57*	0,00	0,25	0,31	0,37
IKD	1,00	0,54*	-0,56*	-0,53*	-0,30	-0,32	-0,71**	-0,60**
Stomata		1,00	-0,35	-0,50*	-0,01	-0,34	-0,32	-0,31
BKA			1,00	0,75**	0,72**	0,18	0,41	0,35
BKT				1,00	0,11	0,57*	0,72**	0,74**
RBKAT					1,00	-0,25	-0,11	-0,21
ET						1,00	0,61**	0,75**
WUE							1,00	0,97**

**Keterangan:** \* berkorelasi nyata pada  $\alpha=0.05$ , dan \*\* berkorelasi sangat nyata pada  $\alpha=0.01$ , TT = tinggi tanaman, LD = luas dan, IKD = intensitas kerusakan daun setelah mengalami cekaman selama 30 hari, PA = panjang akar, BKA = bobot kering akar, BKT = bobot kering tajuk, RBKAT = rasio bobot kering akar/tajuk, ET = evapotranspirasi, WUE = efisiensi penggunaan air, dan BBj\_T = bobot biji per tanaman

**Tabel 3.** Koefisien Korelasi Antarpeubah pada Periode Cekaman Kekeringan Saat 12 Hari Menjelang Berbunga Sampai Masak Fisiologis (S2)

	IKD	Stomata	BKA	BKT	RBKAT	ET	WUE	BBj_T
TT	-0,20	-0,13	-0,01	0,44	-0,60**	0,43	0,41	0,53*
IKD	1,00	0,43	-0,64**	-0,71**	-0,08	-0,46	-0,56*	-0,63**
Stomata		1,00	-0,45	-0,53*	0,11	-0,52*	-0,41	-0,56*
BKA			1,00	0,72**	0,51	0,56*	0,08	0,30
BKT				1,00	-0,21	0,77**	0,51*	0,77**
RBKAT					1,00	-0,15	-0,49*	-0,53*
ET						1,00	0,35	0,57**
WUE							1,00	0,89**

**Keterangan:** \*berkorelasi nyata pada  $\alpha=0.05$ , dan \*\* berkorelasi sangat nyata pada  $\alpha=0.01$ , TT = tinggi tanaman, LD = luas dan, IKD = intensitas kerusakan daun setelah mengalami cekaman selama 30 hari, PA = panjang akar, BKA = bobot kering akar, BKT = bobot kering tajuk, RBKAT = rasio bobot kering akar/tajuk, ET = evapotranspirasi, WUE = efisiensi penggunaan air, dan BBj\_T = bobot biji per tanaman.

## Efisiensi Penggunaan Air dan Evapotranspirasi

Pada kondisi cekaman kekeringan tanaman menekan transpirasi dan meningkatkan efisien penggunaan air (*water use efficiency*, WUE). Menurut Banziger<sup>2</sup> salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya transpirasi adalah densitas stomata. Densitas stomata daun genotipe peka nyata lebih besar yaitu berkisar 324,39–330,61 stomata dibandingkan genotipe toleran dengan densitas stomata yang lebih rendah yaitu sekitar 255,92–295,78 stomata (Tabel 4). Berdasarkan analisis korelasi antarpeubah menunjukkan bahwa pada periode cekaman kekeringan yang lebih lama (S2), kehilangan air melalui evapotranspirasi (ET) berkorelasi nyata negatif dengan densitas stomata daun, di mana nilai  $R^2$  sebesar -0,52 (Tabel 3). Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar densitas stomata semakin besar transpirasi atau kehilangan air dari daun karena menurut Banziger<sup>2</sup> lebih dari 90% transpirasi yang dialami tanaman adalah melalui stomata daun.

Besar ET pada tanaman jagung selain dipengaruhi jumlah stomata juga dipengaruhi oleh BKT yang mengindikasikan besarnya luasan tajuk tanaman. Berdasarkan hasil analisis korelasi antarpeubah menunjukkan bahwa ET berkorelasi positif sangat nyata dengan BKT dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,77. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi cekaman kekeringan, BKT yang lebih besar pada genotipe toleran (Tabel 1) menyebabkan ET menjadi lebih besar yaitu 3170,00–4176,50 ml dan 1681,00–2401,80 ml dibanding genotipe peka yang hanya berkisar 2537,40–2993,00 ml

dan 1513,50–1184,50 ml pada kondisi cekaman kekeringan S1 dan S2 (Tabel 4). Namun, genotipe toleran mampu mengimbangi ET yang besar dengan cara mengabsorpsi air dalam jumlah yang cukup dibanding genotipe peka. Indikasi kemampuan tersebut dapat dilihat dari pertumbuhan tajuk (TT dan BKT) yang lebih baik dibanding genotipe peka pada kondisi cekaman kekeringan (Tabel 1).

Pada kondisi cekaman kekeringan menunjukkan bahwa genotipe jagung toleran lebih efisien dalam penggunaan air dibanding genotipe peka (Gambar 2). Berdasarkan analisis korelasi antarpeubah menunjukkan bahwa WEU berkorelasi positif sangat nyata dengan pertumbuhan tajuk atau BKT ( $R^2 = 0,72$  dan  $0,51$  pada kondisi S1 dan S2) dan daya hasil atau bobot biji/tanaman ( $R^2 = 0,97$  dan  $0,89$  pada kondisi S1 dan S2) (Tabel 2 dan 3). Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi cekaman kekeringan, efisiensi penggunaan air pada genotipe toleran yang lebih tinggi menyebabkan genotipe tersebut mampu mempertahankan pertumbuhan generatif dan menekan kehilangan hasil yang lebih rendah dibanding genotipe peka.

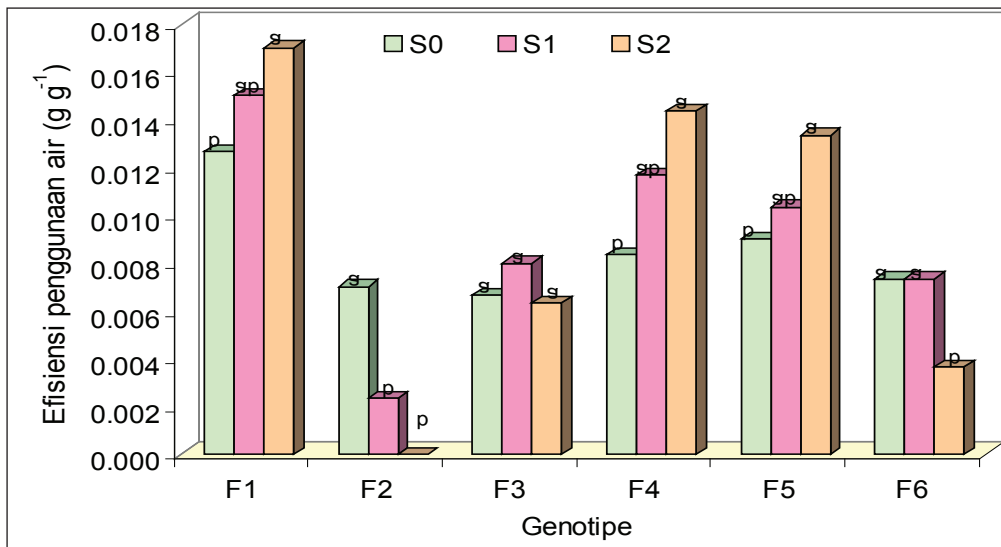
## Pengaruh Cekaman Kekeringan terhadap Hasil

Kondisi cekaman kekeringan memengaruhi penurunan yang nyata terhadap panjang dan diameter tongkol, jumlah biji/tongkol, bobot 100 biji, dan bobot biji/tanaman. Penurunan semakin besar bila periode cekaman kekeringan menjadi lebih lama (S2). Menurut Edmeades<sup>14</sup>; Earl and Davis<sup>15</sup> menyatakan bahwa kondisi

**Tabel 4.** Densitas Stomata dan Evapotranspirasi pada Kondisi Optimum dan Kondisi Cekaman Kekeringan

Genotipe	Toleransi	Stomata		Evapotranspirasi (ml)								
				S0			S1			S2		
Anoman	T	295,06	B	7560,30	a	A	3784,20	b	AB	2140,60	c	AB
DTPY-F46-3-9-nB	T	267,42	CB	6885,70	a	AB	3170,00	b	BCD	1681,00	c	BC
MR 14	T	255,92	C	6278,30	a	B	3515,20	b	ABC	2401,80	c	A
PT-BC9	T	295,78	B	7120,20	a	A	4176,50	b	A	2171,70	c	AB
G 180	P	324,39	A	6351,80	a	B	2537,40	b	D	1513,50	c	BC
G 193	P	330,61	A	6339,40	a	B	2993,00	b	CD	1184,50	c	C

**Keterangan:** T = toleran cekaman kekeringan, P = peka cekaman kekeringan, S0 = kondisi optimum, S1 = periode cekaman kekeringan saat 12 hari menjelang berbunga sampai 12 hari setelah berbunga, dan S2 = periode cekaman kekeringan saat 12 hari menjelang berbunga sampai masak fisiologis.



**Keterangan :** Huruf kecil yang sama pada suatu genotipe tidak berbeda nyata pada uji Duncan 5%, genotipe toleran (F1 = Anoman, F3 = MR 14, F4 = DTPY-F46-3-9-nB, F5 = PT-BC9) dan genotipe peka (F2 = G 180 dan F6 = G 193) cekaman kekeringan.

**Gambar 2.** Efisiensi penggunaan air pada enam genotipe jagung pada kondisi optimum (S0), periode cekaman kekeringan saat 12 hari menjelang berbunga sampai 12 hari setelah berbunga (S1), dan periode cekaman kekeringan saat 12 hari menjelang berbunga sampai masak fisiologis (S2).

cekaman kekeringan menyebabkan polen atau sel induk tepung sari menjadi mandul atau ovarium akan menjadi *sink* yang lemah sehingga kesuburan bunga betina menjadi menurun dan mengakibatkan penurunan produksi biji bahkan gagal berproduksi.

Berdasarkan persentase penurunan bobot biji/tanaman genotipe peka pada kondisi cekaman kekeringan S1 menunjukkan penurunan yang lebih besar yaitu sekitar 50,89–88,33%, dibanding genotipe toleran yang mengalami penurunan hanya sekitar 32,56–39,86%. Pada periode kondisi cekaman kekeringan yang lebih lama (S2) penurunan hasil genotipe peka menjadi 90,42% bahkan mengakibatkan gagal produksi, sedangkan genotipe toleran hanya mengalami penurunan berkisar 56,66–64,41% (Tabel 4).

Pada kondisi cekaman kekeringan penurunan net fotosintesis dan hambatan umpan balik transpot fotosintat ke organ *sink* menjadi sangat terbatas.<sup>16</sup> Penurunan net fotosintesis melalui penurunan luas daun, pengguguran daun, dan merusakkan daun. Hambatan umpan balik transpot fotosintat ke organ *sink* seperti ovarium dan polen menyebabkan kesuburannya menjadi

menurun atau melalui pertumbuhan tajuk yang lebih terhambat, sedangkan peningkatan biomas akar lebih besar sehingga rasio bobot kering akar/tajuk meningkat (Tabel 1). Dari hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi cekaman kekeringan berpengaruh terhadap daya hasil melalui penurunan net fotosintesis serta reduksi *source* dan *sink* di mana produksi asimilat lebih banyak digunakan untuk pertumbuhan akar atau memproduksi *osmotic adjustment* seperti prolin. Penurunan bobot biji pertanaman yang dialami genotipe peka lebih besar disebabkan penurunan net fotosintesis dan hambatan umpan balik transpot fotosintat ke organ *sink* lebih besar melalui IKD dan peningkatan persentase RBKAT yang lebih besar dibanding genotipe toleran (Gambar 2 dan Tabel 1).

## KESIMPULAN

Pada kondisi cekaman kekeringan genotipe jagung toleran cekaman kekeringan mampu menekan penurunan pertumbuhan tajuk (tinggi tanaman dan bobot kering tajuk), mempertahankan kehijauan daun atau intensitas kerusakan daun yang lebih kecil. Kemampuan tersebut



**Tabel 4.** Komponen Hasil pada Kondisi Optimum dan Cekaman Kekeringan

Peubah dan genotipe	Toleransi	Cekaman kekeringan									Penurunan (%)	
		S0			S1			S2			S1	S2
<b>Bobot biji/tanaman (g)</b>												
Anoman	T	93,73	a	A	56,37	b	A	36,31	c	A	39,86	61,26
DTPY-F46-3-9-nB	T	59,58	a	B	36,94	b	BC	24,07	c	BC	38,00	59,60
MR 14	T	43,06	a	C	27,21	b	CD	15,32	c	C	36,82	64,41
PT-BC9	T	63,80	a	B	43,03	b	B	27,65	c	AB	32,56	56,66
G 180	P	46,97	a	C	5,48	b	E	0,00	b	D	88,33	100,00
G 193	P	45,06	a	C	22,13	b	D	4,32	c	D	50,89	90,42
<b>Jumlah biji/tongkol</b>												
Anoman	T	283,00	a	A	219,22	b	A	149,22	c	A	22,54	47,27
DTPY-F46-3-9-nB	T	224,55	a	B	156,56	b	B	139,78	b	A	30,28	37,75
MR 14	T	150,33	a	CD	95,06	b	C	57,83	b	B	36,77	61,53
PT-BC9	T	247,66	a	A	199,11	a	AB	146,00	b	A	19,60	41,05
G 180	P	145,33	a	D	36,67	b	D	0,00	b	C	74,77	100,00
G 193	P	169,22	a	CD	101,00	b	C	22,67	c	BC	40,31	86,60
<b>Bobot 100 biji pada ka 14%</b>												
Anoman	T	31,22	a	AB	23,50	b	AB	21,22	b	B	24,72	32,02
DTPY-F46-3-9-nB	T	26,90	a	BC	24,40	a	AB	15,98	b	C	9,31	40,61
MR 14	T	26,76	a	BC	25,81	a	A	25,31	a	A	3,55	5,43
PT-BC9	T	23,03	a	C	22,94	a	B	18,55	a	B	0,39	19,46
G 180	P	32,12	a	A	15,51	b	C	0,00	c	D	51,71	100,00
G 193	P	26,66	a	BC	21,82	ab	B	21,26	b	B	18,13	20,26
<b>Diamter tongkol (mm)</b>												
Anoman	T	45,62	a	A	39,27	b	A	36,38	b	A	13,92	20,26
DTPY-F46-3-9-nB	T	42,96	a	AB	37,61	b	A	36,82	b	A	12,47	14,31
MR 14	T	37,90	a	C	36,85	a	A	31,77	b	B	2,78	16,18
PT-BC9	T	41,30	a	BC	39,14	a	A	34,03	b	AB	5,23	17,60
G 180	P	37,77	a	C	31,54	b	B	0,00	c	D	16,50	100,00
G 193	P	38,50	a	C	31,89	b	B	27,17	c	C	17,18	29,43
<b>Panjang tongkol (cm)</b>												
Anoman	T	119,43	a	AB	96,73	b	A	79,30	b	A	19,01	33,60
DTPY-F46-3-9-nB	T	97,99	a	BC	86,67	a	AB	63,84	b	A	11,55	34,85
MR 14	T	129,09	a	A	91,01	b	AB	67,62	c	A	29,50	47,62
PT-BC9	T	109,18	a	ABC	98,99	ab	A	76,32	b	A	9,34	30,10
G 180	P	108,82	a	ABC	56,18	b	C	0,00	c	C	48,37	100,00
G 193	P	88,71	a	C	73,34	a	BC	42,03	b	B	17,32	52,62

**Keterangan:** Angka yang diikuti oleh huruf kapital yang sama pada kolom atau huruf kecil yang sama pada baris, tidak berbed nyata pada uji Duncan 5%, S0 = kondisi optimum, S1 = periode cekaman kekeringan saat 12 hari menjelang berbunga sampai 12 hari setelah berbunga, dan S2 = periode cekaman kekeringan saat 12 hari menjelang berbunga sampai masak fisiologis.

didukung oleh bobot kering akar yang besar, sehingga memperluas jangkauan akar untuk mengabsorpsi air dan nutrisi dalam jumlah yang cukup untuk pertumbuhan tajuk.

Kemampuan genotipe jagung toleran dalam (a) menjaga pertumbuhan tajuk, (b) menekan

transpirasi dengan memiliki densitas stomata daun yang lebih rendah, dan (c) efisiensi penggunaan air lebih tinggi berperan penting dalam menekan kehilangan hasil pada kondisi cekaman kekeringan. Kemampuan tersebut tidak dimiliki genotipe peka yang mengalami persentase

penurunan pertumbuhan tajuk (tinggi tanaman dan bobot kering tajuk), intensitas kerusakan daun persentase peningkatan rasio bobot kering akar/tajuk, dan densitas stomata daun yang lebih besar serta efisiensi penggunaan air yang lebih rendah sehingga mengakibatkan penurunan hasil (bobot biji/tanaman) yang lebih besar dibanding genotipe toleran, bahkan pada periode cekaman kekeringan yang lebih panjang genotipe peka dapat mengalami gagal produksi.

Berdasarkan persentase penurunan bobot biji/tanaman genotipe peka pada periode cekaman kekeringan saat menjelang berbunga sampai fase pengisian biji mengalami penurunan yang lebih besar yaitu sekitar 50,89–88,33%, dibanding genotipe toleran yang mengalami penurunan hanya sekitar 32,56–39,86%. Pada periode kondisi cekaman kekeringan yang lebih lama yaitu periode cekaman kekeringan saat menjelang berbunga sampai masak fisiologis (S2) penurunan hasil genotipe peka menjadi 90,42%–100%, sedangkan genotipe toleran hanya mengalami penurunan berkisar 56,66–64,41%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- <sup>1</sup>Kalefetoglu, T., Y. Ekmekci. 2005. The effects of drought on plants and tolerance mechanisms. *G.U. Journal of Science*, 18(4): 723-740.
- <sup>2</sup>Banziger M., G.O. Edmeades, D. Beck, M. Bellon. 2000. *Breeding for Drought and Nitrogen Stress Tolerance in Maize From Theory to Practice*. Mexico: CIMMYT.
- <sup>3</sup>Monneveux, P., C. Sa'nchez, D. Beck, G.O. Edmeades. 2005. Drought Tolerance Improvement in Tropical Maize Source Populations: Evidence of Progress. *Crop Sci*, (46): 180–191.
- <sup>4</sup>Bohn, M. *et al.* 2006. Genetic evaluation of root complexity in maize. *Acta Agro. Hungarica.*, 54 (3): 1–13.
- <sup>5</sup>Vadez, V. 2007. Exploiting the functionality of root systems for dry, saline, and nutrient deficient environments in a changing climate In *International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT)*, India. 4: 1-61
- <sup>6</sup>Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential—are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? [Review]. *Aus. Agri. Research*, 56: 1159–1168.
- <sup>7</sup>[CIMMYT] International Maize and Wheat Improvement Center. 2006. Three decades of research into drought tolerant maize by CIMMYT and a very strong set of partnerships has made a difference in the lives of African farmers. <http://www.cimmyt.org/english/wps/enews/index.cfm?> Diakses tanggal 12 Mrt 2007.
- <sup>8</sup>Irniary, R., A.T. Makkulawu, M.H.G. Yasin, M.J. Mejaya. 2006. Maize genotypes tolerance to drought stress. *PP Tan. Pangan*, 26: 156-160.
- <sup>9</sup>Gupta US. 1997. *Crop Improvement and Stress Tolerance*. New York Science Publiser, Inc.
- <sup>10</sup>Wu, Y., D.J. Cosgrove. 2000. Adaptation of root to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. *J. Exper. Botany*, (51): 1543–1553.
- <sup>11</sup>Prochazkova, D., R.K. Sairam, G.C. Srivasta, D.V. Singh. 2001. Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves. *Plant Science*, 161: 765–771.
- <sup>12</sup>Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci*, (50): 405–410.
- <sup>13</sup>Edmeades, G.O. *et al.* 1999. Selection improves drought tolerance in tropical maize populations: I. Gains in biomass, grain yield, and harvest index. *Crop Sci.*, 39: 1306–1315.
- <sup>14</sup>Edmeades, G.O., J. Bolan'os, M. Herna'ndez, S. Bello. 1993. Causes for silk delay in a lowland tropical maize population. *Crop Sci. Agron. J.*, (33): 1029–1035.
- <sup>15</sup>Earl, H.J., R.F. Davis. 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agron. J.*, (95): 688-696.
- <sup>16</sup>Jones H.G., J.E. Corlett. 1992. Current topic in drought physiology. *J of Agric. Sci.*, (49): 291–296