

SIDIK LINTAS DALAM PENENTUAN KARAKTER SELEKSI JAGUNG TOLERAN CEKAMAN KEKERINGAN

Path Analysis in the Determination of Selection Characteristics of Hybrid Maize Genotypes Tolerant to Drought Stress

Roy Efendi, Muhammad Aqil, Andi Takdir Makalau dan Muhammad Azrai

Balai Penelitian Tanaman Serealia, Jl. Dr.Ratulangi No. 274, Maros, Sulawesi Selatan. 9051, Indonesia
Telp. (0411)371529, Fax(0411)371961
E-mail : roysereal@yahoo.com

(Makalah diterima, 25 November 2015 – Disetujui, 06 Desember 2016)

ABSTRAK

Informasi karakter tanaman jagung hibrida yang berkaitan dengan tingkat toleransi pada cekaman kekeringan sangat bermanfaat untuk digunakan sebagai karakter seleksi yang efektif dan efisien untuk menyeleksi jagung hibrida yang toleran cekaman kekeringan. Penelitian dilakukan dengan menguji 62 genotipe jagung hibrida yang memiliki tingkat toleransi yaitu toleran, medium toleran, peka, dan sangat peka cekaman kekeringan yang disusun dengan rancangan acak kelompok serta diulang tiga kali. Perlakuan cekaman kekeringan berlangsung pada periode fase pembungaan (50 hst) sampai fase masak susu-pengerasan biji (80 hst). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variabel yang berkorelasi dengan hasil pada kondisi cekaman kekeringan adalah tinggi tanaman, tinggi kedudukan tongkol, diameter batang, luas daun, sudut daun, persentase penuaan (senescence) daun, skor penggulungan daun, panjang tongkol, diameter tongkol, jumlah biji/tongkol, dan rendemen biji. Variabel tersebut dapat digunakan sebagai karakter seleksi jagung hibrida yang toleran cekaman kekeringan. Berdasarkan analisis jalur diketahui bahwa variabel tinggi tanaman, luas daun, panjang tongkol, diameter tongkol, dan rendemen biji berpengaruh langsung terhadap hasil. Variabel tersebut dipengaruhi oleh diameter batang, sudut daun, persentase penuaan daun, skor penggulungan daun dan jumlah biji/tongkol yang secara tidak langsung berpengaruh terhadap hasil pada kondisi cekaman kekeringan.

Kata kunci: sidik lintas, cekaman kekeringan, jagung hibrida

ABSTRACT

Information on characteristics related to drought tolerance is particularly important for improving hybrid maize yield. The present study was conducted with 62 genotypes involving tolerant, moderate, susceptible and very susceptible, for post flowering drought tolerance of hybrid maize. An experiment was conducted to determine the characteristics association between grain yield and its components and their direct and indirect effects to the yield. The research was arranged in a randomized completed block design with three replications. Drought stress treatment was started from flowering (50 days after planting, dap) until milk-dough stage (80 dap). The result indicated significant and positive association of grain yield with plant height, ear position height, stalk diameter, leaf area, leaf angle, the percentage of leaf senescence, leaves rolling score, ear length, ear diameter, number of grain/ear and shelling percentage were correlated with the yield under drought stress. Grain yield was strongly correlated with plant height, leaf area, ear length, ear diameter, and shelling percentage. Indirect effect on grain yield under drought conditions were found for the following parameters: stalk diameter, leaf angle, percentage of leaf senescence, leaf rolling scores and number of seeds/ear.

Key words: correlation, drought, hybrid maize, path analysis

PENDAHULUAN

Di Indonesia, sekitar 43% budidaya jagung berlangsung pada akhir musim hujan dan musim kemarau (Sutoro, 2012), dengan risiko pertanaman mengalami cekaman kekeringan karena rendahnya suplai air. Cekaman kekeringan mengakibatkan penurunan hasil jagung 17-89% (Monneveux et al., 2006; Iriany et al., 2007; Efendi and Azrai, 2010; Suwardi and Azrai, 2013). Salah satu solusi untuk menekan kehilangan hasil jagung akibat cekaman kekeringan adalah menggunakan varietas unggul toleran kekeringan. Varietas unggul tersebut dapat diperoleh melalui pemuliaan tanaman (O'Neill et al., 2004), di antaranya seleksi calon varietas unggul toleran kekeringan.

Seleksi genotipe jagung toleran kekeringan dapat dilakukan secara langsung dengan mengamati hasil yang diperoleh pada kondisi cekaman kekeringan. Namun jika hanya berdasarkan hasil maka efektivitas seleksi menurun karena pengaruh faktor lingkungan (cekaman kekeringan) lebih besar dibanding faktor genetik (Shiri et al., 2010; Emede and Alika, 2012; Weber et al., 2012; Zhang et al., 2015). Agar efektif, seleksi tidak hanya berdasarkan hasil, namun perlu diikuti dengan pengamatan karakter sekunder, yaitu karakter agronomis, morfologi, dan fisiologi yang berkaitan dengan efektivitas toleransi tanaman terhadap kondisi cekaman kekeringan (Bänziger et al., 2000; Badu-Apraku et al., 2012; Mhike et al., 2012).

Keberhasilan seleksi genotipe jagung toleran kekeringan ditentukan oleh beberapa faktor, salah satunya karakter seleksi yang digunakan. Tingkat toleransi tanaman jagung terhadap kekeringan dipengaruhi oleh banyak karakter (gen), seperti karakter agronomis, morfologi, dan fisiologi tanaman serta komponen hasil. Derajat keeratan hubungan antara hasil dengan karakter lain dapat diduga dengan menghitung nilai koefisien korelasi. Karakter tanaman yang berkorelasi dengan hasil pada kondisi kekeringan dapat digunakan sebagai karakter seleksi toleransi genotipe terhadap kekeringan (Bänziger et al., 2000; Betrán et al., 2003; Monneveux et al., 2008). Namun tingkat korelasi tidak dapat menggambarkan hubungan pengaruh langsung dan tidak langsung terhadap hasil. Kelemahan tersebut dapat diatasi dengan sidik lintas (*path analysis*), dimana masing-masing karakter dapat dihitung kontribusi relatifnya terhadap hasil ke dalam komponen pengaruh langsung dan tidak langsung, sehingga hubungan kausal di antara karakter melalui alur terpisah yang dibangun dalam diagram alur dapat diketahui (Streiner, 2005; Singh and Chaudhary, 2010; Toebe and Filho, 2013; Kozak and Azevedo, 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakter seleksi jagung hibrida yang berkorelasi dengan hasil serta mengetahui pola hubungan antara karakter yang berperan menentukan toleransi tanaman terhadap

kekeringan berdasarkan nilai koefisien korelasi serta pengaruh langsung dan tidak langsung terhadap hasil pada kondisi tercekam kekeringan.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilakukan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Tanaman Serealia, di Maros Sulawesi Selatan, pada bulan Juni-Oktober 2014, menggunakan rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan. Sebanyak 62 genotipe jagung hibrida diuji pada kondisi cekaman kekeringan yang merujuk pada metode CIMMYT (Bänzinger et al., 2000), yaitu cekaman kekeringan pada fase pembungaan (50 hari setelah tanam, HST) sampai fase masak susu (75 HST). Perlakuan cekaman kekeringan dilakukan dengan menghentikan pemberian air pada saat tanaman berumur 40 HST, sehingga tanaman akan mengalami kekeringan menjelang berbunga atau saat berumur 50 HST dan berlangsung sampai fase masak susu-pengerasan biji (80 HST), kemudian tanaman diairi kembali.

Variabel yang diamati adalah: X_1 = tinggi tanaman, X_2 = tinggi kedudukan tongkol, X_3 = rasio tinggi tongkol dengan tinggi tanaman, X_4 = diameter batang, X_5 = luas daun, X_6 = sudut daun (bagian daun di atas tongkol), X_7 = jumlah malai, X_8 = panjang cabang malai, X_9 = umur berbunga jantan, X_{10} = umur berbunga betina, X_{11} = *anthesis silking interval* (ASI), X_{12} = klorofil daun (diukur menggunakan SPAD 501), X_{13} = persentase penuaan (*senescence*) daun, X_{14} = skor penggulangan daun, X_{15} = persentase tongkol normal, X_{16} = persentase tongkol abnormal, X_{17} = panjang tongkol, X_{18} = diameter tongkol, X_{19} = jumlah baris biji/tongkol, X_{20} = jumlah biji/tongkol, X_{21} = rendemen biji (rata-rata rasio bobot biji dengan bobot tongkol).

Data hasil pengamatan dianalisis korelasi dan sidik lintas. Analisis korelasi antar-variabel dilakukan dengan menghitung nilai koefisien korelasi linier sederhana berdasarkan rumus:

$$r = \frac{\sum X_1 X_2}{\sqrt{(\sum X_1^2)(\sum X_2^2)}}$$

dimana r = koefisien korelasi, X_1 dan X_2 adalah nilai tengah dari variabel-variabel yang diamati.

Sidik lintas dilakukan berdasarkan persamaan simultan sebagai berikut (Singh and Chaudhary, 2010):

$$\begin{matrix} \begin{bmatrix} \Gamma_{11} & \Gamma_{12} & \dots & \Gamma_{1p} \\ \Gamma_{21} & \Gamma_{22} & \dots & \Gamma_{2p} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \Gamma_{p1} & \Gamma_{p2} & \dots & \Gamma_{pp} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ C_p \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} \Gamma_{1y} \\ \Gamma_{2y} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \Gamma_{py} \end{bmatrix} \\ R_x & C & R_y \end{matrix}$$

dimana R_X adalah matriks korelasi antar-variabel bebas dalam model regresi berganda yang memiliki p buah variabel bebas, jadi merupakan matriks dengan elemen $r_{X_iX_j}$ ($i, j = 1, 2, \dots, p$). C adalah vektor koefisien jalur yang menunjukkan pengaruh langsung setiap variabel bebas yang telah dibakukan, Z_i , terhadap variabel tak bebas (nilai koefisien regresi baku). R_Y adalah vektor koefisien korelasi antara variabel bebas X_i dimana $i = 1, 2, \dots, p$; dan variabel tak bebas Y . Dari persamaan matriks tersebut dapat ditentukan vektor koefisien jalur C , sebagai berikut::

$$C = r_x^{-1} r_y$$

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1p} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2p} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ r_{p1} & r_{p2} & \dots & r_{pp} \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ C_p \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} r_{1y} \\ r_{2y} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ r_{py} \end{bmatrix}$$

$R_x \qquad \qquad C \qquad \qquad R_y$

di mana: r_x^{-1} adalah invers matriks R_x dan R_y adalah vektor koefisien korelasi antara variabel bebas X dengan variabel tak bebas Y .

Pengaruh langsung variabel bebas yang dibakukan terhadap variabel tak bebas Y diukur dengan koefisien jalur C_i . Pengaruh tidak langsung variabel bebas Z_i terhadap variabel tak bebas Y melalui variabel bebas Z_j (dalam model) diukur dengan $C_j \cdot r_{ij}$. Pengaruh galat dijelaskan dengan model sidik lintas. Pengaruh yang

tidak dapat dijelaskan oleh suatu model dimasukkan sebagai pengaruh galat atau sisa yang diukur dengan rumus:

$$h(\text{sisa}) = \sqrt{1 - C^1A}$$

Analisis data baik analisis korelasi dan sidik lintas menggunakan *software* minitab versi 16.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Korelasi untuk Menentukan Karakter Seleksi Toleran Kekeringan

Analisis korelasi merupakan tingkat keeratan hubungan antara satu karakter dengan karakter lainnya, sehingga diketahui karakter-karakter yang saling berkorelasi nyata. Pada seleksi jagung toleran cekaman kekeringan dibutuhkan informasi karakter yang berkorelasi dengan hasil pada kondisi cekaman. Analisis korelasi antara beberapa variabel (variabel, X_i) dengan hasil (Y) pada kondisi cekaman kekeringan menunjukkan delapan variabel berkorelasi nyata positif dengan hasil, yaitu tinggi tanaman dengan nilai koefisien korelasi (r) 0,445, tinggi kedudukan tongkol ($r = 0,418$), diameter batang ($r = 0,437$), luas daun ($r = 0,546$), panjang tongkol ($r = 0,523$), diameter tongkol ($r = 0,470$), jumlah biji/tongkol ($r = 0,355$), dan rendemen biji ($r = 0,513$). Tiga variabel berkorelasi nyata negatif dengan hasil, yaitu sudut daun ($r = -0,266$), persentase penuaan atau *senescence* daun ($r = -0,407$), dan skor penggulangan daun ($r = -0,279$) (Tabel 1).

Tabel 1. Korelasi antara beberapa variabel (X_i) dengan hasil (Y)

Variabel (X_i)	Nilai koefisien korelasi terhadap hasil (Y)
X1 Tinggi tanaman	0,445**
X2 Tinggi kedudukan tongkol	0,418**
X3 Rasio tinggi kedudukan tongkol dan tinggi tanaman	0,218
X4 Diameter batang	0,437**
X5 Luas daun	0,546**
X6 Sudut daun	-0,266*
X7 Jumlah malai	0,219
X8 Panjang cabang malai	-0,033
X9 Umur berbunga jantan	0,161
X10 Umur berbunga betina	0,192
X11 <i>Antheisi silking interval</i> (ASI)	0,138
X12 Klorofil daun	0,198
X13 Persentase penuaan (<i>senescence</i>) daun	-0,407**
X14 Skor penggulangan daun	-0,279*
X15 Persentase tongkol normal	0,191
X16 Persentase tongkol abnormal	-0,166
X17 Panjang tongkol	0,523**
X18 Diameter tongkol	0,470**
X19 Jumlah baris biji/tongkol	0,057
X20 Jumlah biji/tongkol	0,355**
X21 Rendemen biji	0,513**

Nilai koefisien korelasi yang nyata positif menunjukkan semakin besar nilai variabel semakin besar hasil. Sebaliknya, semakin kecil nilai variabel semakin rendah hasil pada kondisi cekaman kekeringan. Nilai koefisien korelasi yang nyata negatif menunjukkan semakin besar nilai variabel semakin rendah hasil biji yang diperoleh. Sebaliknya, semakin kecil nilai variabel semakin besar hasil pada kondisi cekaman kekeringan. Tinggi tanaman, tinggi kedudukan tongkol, diameter batang, luas daun, sudut daun, persentase penuaan atau *senescence* daun, dan skor penggulungan daun, panjang tongkol, diameter tongkol, jumlah biji/tongkol, rendemen biji dapat digunakan sebagai karakter seleksi jagung hibrida toleran kekeringan.

Sidik Lintas untuk Mengetahui Variabel yang Berpengaruh terhadap Hasil

Beberapa variabel yang berkorelasi dengan hasil pada kondisi cekaman kekeringan (Tabel 1) dapat digunakan sebagai karakter seleksi jagung hibrida toleran kekeringan. Namun untuk menentukan karakter yang berpengaruh secara langsung dan tidak langsung terhadap hasil jagung pada kondisi cekaman kekeringan dapat diketahui dengan sidik lintas (Singh and Chaudhary, 2010).

Sidik lintas bertujuan untuk memilah koefisien korelasi ke dalam komponen koefisien lintas yang mengukur pengaruh langsung dan tidak langsung. Berdasarkan sidik lintas diketahui bahwa tinggi tanaman ($P_{X_1} = 0,285$), luas daun ($P_{X_5} = 0,413$), panjang tongkol ($P_{X_{17}} = 0,272$), diameter tongkol ($P_{X_{18}} = 0,337$), dan rendemen biji ($P_{X_{21}} = 0,442$) nyata berpengaruh langsung terhadap hasil jagung hibrida pada kondisi cekaman kekeringan (Tabel 2).

Hasil sidik lintas dapat dibuat diagram jalur yang merupakan model hubungan sebab akibat searah. Berdasarkan hasil sidik lintas pada Tabel 2, dibuat diagram jalur dari beberapa variabel yang mempengaruhi hasil. Jika variabel yang memiliki nilai koefisien pengaruh langsung rendah terhadap hasil, perlu diperhatikan nilai pengaruh variabel tersebut terhadap hasil secara tidak langsung melalui variabel lainnya (Singh and Chaudhary, 2010). Variabel yang tidak berpengaruh terhadap hasil melalui variabel lainnya dipilih yang memiliki nilai koefisien pengaruh tidak langsung $>0,09$.

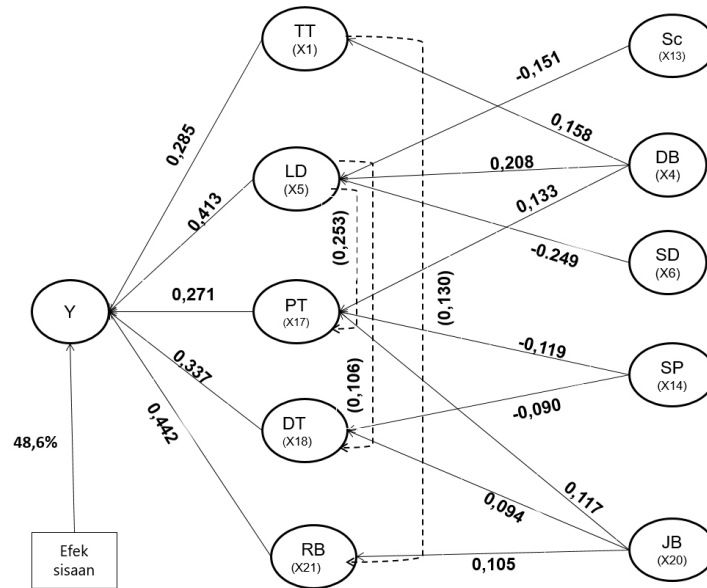
Tinggi tanaman dan luas daun yang berpengaruh secara langsung terhadap hasil pada kondisi cekaman kekeringan didukung oleh diameter batang yang besar ($P_{DB-TT} = 0,158$ dan $P_{DB-LD} = 0,208$), sudut daun ($P_{SD-LD} = -0,249$), dan persentase penuaan daun ($P_{Sc-LD} = -0,151$) yang rendah (Gambar 1).

Variabel persentase penuaan dan sudut daun mempengaruhi luas daun dengan nilai koefisien pengaruh terhadap luas daun masing-masing adalah $P_{Sc-LD} -0,151$ dan $P_{SD-LD} -0,249$. Nilai koefisien pengaruh yang negatif menunjukkan semakin rendah persentase penuaan dan sudut daun, semakin besar peluang luas daun hijau yang dapat dipertahankan pada kondisi cekaman kekeringan. Hal ini juga menunjukkan bahwa mempertahankan luas daun hijau yang aktif berfotosintesis dengan cara menekan laju penuaan (*senescence*) daun pada kondisi cekaman kekeringan berpengaruh positif terhadap panjang tongkol ($P_{LD-PT} = 0,235$) dan diameter tongkol ($P_{LD-DT} = 0,106$). Menurut Araus *et al.* (2012), tanaman yang mampu mempertahankan luas daun hijau pada kondisi cekaman kekeringan lebih optimal memanfaatkan cahaya matahari untuk fotosintesis, sehingga dapat diperoleh hasil yang tinggi.

Tabel 2. Pengaruh langsung dan tidak langsung beberapa variabel terhadap hasil

Variabel	Pengaruh langsung	Nilai koefisien pengaruh tidak langsung dari variabel									
		X1	X4	X5	X6	X13	X14	X17	X18	X20	X21
X1	0,285*		0,158	0,059	-0,042	-0,052	0,009	0,041	0,032	0,058	0,084
X4	-0,159	-0,088		-0,080	0,018	0,020	0,049	-0,064	-0,063	-0,024	0,006
X5	0,413**	0,085	0,208		-0,249	-0,151	-0,037	0,255	0,045	0,085	0,036
X6	-0,025	0,004	0,003	0,015		-0,014	0,002	0,013	-0,004	0,006	0,000
X13	-0,042	0,008	0,005	0,015	-0,023		-0,009	0,020	0,007	0,019	0,008
X14	-0,171	-0,005	0,053	0,015	0,013	-0,037		0,035	0,060	0,015	-0,032
X17	0,272*	0,025	0,069	0,106	-0,091	-0,083	-0,035		0,049	0,094	0,023
X18	0,337**	0,038	0,133	0,037	0,047	-0,058	-0,119	0,096		0,117	0,012
X20	-0,107	-0,022	-0,016	-0,027	0,026	0,048	0,009	-0,059	-0,037		-0,025
X21	0,442**	0,130	-0,017	0,039	-0,001	-0,083	0,082	0,058	0,015	0,105	

Keterangan: *berpengaruh langsung secara nyata terhadap hasil pada taraf $\alpha = 0,05$, **berpengaruh langsung secara nyata terhadap hasil pada taraf $\alpha = 0,01$, X_1 = tinggi tanaman, X_4 = diameter batang, X_5 = luas daun, X_6 = sudut daun (bagian daun di atas tongkol), X_{13} = persentase penuaan (*senescence*) daun, X_{14} = skor penggulungan daun, X_{17} = panjang tongkol, X_{18} = diameter tongkol, X_{20} = jumlah biji/tongkol, X_{21} = rendemen biji (rata-rata rasio bobot biji dengan bobot tongkol).



Keterangan: Y = hasil, TT (X1) = tinggi tanaman, LD (X5) = luas daun, PT (X17) = panjang tongkol, DT (X18) = diameter tongkol, RB (X21) = rendemen biji, Sc (X13) = penuaan daun (senescence), DB (X4) = diameter batang, SD (X6) = sudut daun, SP (X14) = skor penggulangan daun, JB (X20) = jumlah biji.

Gambar 1. Diagram jalur (*path*) beberapa variabel yang secara langsung dan tidak langsung mempengaruhi hasil jagung pada kondisi cekaman kekeringan

Kemampuan tanaman mempertahankan luas daun hijau yang lebih besar pada kondisi cekaman kekeringan didukung oleh kemampuan tanaman memproduksi antioksidan untuk menekan produksi *reactive oxygen spesies* (ROS) yang mematikan sel atau merusak kloroplas sehingga laju penuaan daun dapat ditekan (Prochazkova *et al.*, 2001; Mittler, 2002; Noctor *et al.*, 2014). Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa jagung hibrida toleran cekaman kekeringan mampu menekan laju penuaan daun, dimana rata-rata persentase penuaan daun hanya berkisar 40,2- 46,9%, sedangkan jagung hibrida yang peka berkisar antara 52,1-67,1%.

Kecepatan kerusakan atau penuaan daun akibat cekaman kekeringan dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya sudut daun yang mempengaruhi kanopi tanaman (Maddonni and Otegui, 1996). Tanaman yang memiliki sudut daun besar umumnya memiliki kemampuan menangkap cahaya lebih besar dibanding tanaman yang memiliki sudut daun kecil (Maddonni and Otegui, 1996; Ma *et al.*, 2014). Suhu daun yang tinggi akan memicu peningkatan produksi ROS sehingga mempercepat kematian sel tanaman, terutama kloroplas (Noctor *et al.*, 2014). Hal tersebut mengakibatkan luas daun hijau menjadi mengecil sehingga menurunkan laju fotosintesis yang berdampak terhadap penurunan hasil jagung pada kondisi kekeringan. Oleh karena itu, dalam pemilihan jagung hibrida toleran kekeringan perlu memperhitungkan karakter sudut daun yang kecil dan mampu menekan laju penuaan daun pada kondisi tercekaman kekeringan. Data pada Tabel 2 menunjukkan

jagung hibrida toleran kekeringan memiliki sudut daun yang lebih sempit, berkisar antara 24,7-31,8° dengan rata-rata 28,2°, dibanding yang peka dengan sudut daun berkisar 25,5-46,3° dengan rata-rata 34,6°

Gambar 1 menunjukkan diameter batang yang besar (DB) selain mampu menunjang pertumbuhan luas daun (LD), juga menunjang pertumbuhan tinggi tanaman (TT) dan panjang tongkol (PT) pada kondisi kekeringan. Menurut Chen *et al.* (2014), diameter batang merupakan organ tempat penyimpanan hara dan air. Pada kondisi cekaman kekeringan, organ batang mampu mentranslokasi hara N sebanyak 45% ke organ sink (biji) dari seluruh organ tanaman. Data pada Tabel 2 juga menunjukkan jagung hibrida toleran kekeringan memiliki diameter batang berkisar antara 22,1-24,6 mm, lebih besar dibanding yang peka dengan diameter batang berkisar 18,6- 22,8 mm. Beberapa hasil penelitian juga menyimpulkan bahwa diameter batang yang besar merupakan salah satu karakter atau penciri jagung hibrida toleran kekeringan (Betrán *et al.*, 2003; Abdelmula and Sabiel, 2007; Lu *et al.*, 2011), sehingga dalam melakukan seleksi jagung hibrida toleran kekeringan perlu mempertimbangkan karakter diameter batang yang besar.

Berdasarkan analisis korelasi diketahui variabel tinggi tanaman, luas daun, dan diameter yang besar berdampak positif nyata terhadap hasil pada kondisi cekaman kekeringan (Tabel 1). Genotipe jagung hibrida yang memiliki tinggi tanaman, luas daun hijau, dan diameter batang yang besar juga mempunyai biomas yang banyak.

Tabel 3. Tingkat toleransi dan nilai variabel dari beberapa genotipe jagung hibrida

Hibrida	Toleransi CK	Y (t/ha)	X1 (cm)	X2 (cm)	X3	X4 (mm)	X5 (cm ²)	X6 (^o)	X7 (malai)	X8 (cm)	X9 (hari)	X10 (hari)
H20	T	8,3	215,0	113,8	0,53	23,0	640,8	24,7	15,0	23,3	50,0	51,3
H21	T	8,1	213,6	115,7	0,54	22,1	606,5	29,5	19,6	22,6	49,3	51,0
H29	T	8,8	219,9	117,5	0,53	23,5	675,7	28,0	26,8	23,9	51,3	52,7
H36	T	8,5	221,5	126,5	0,57	24,6	688,1	27,1	25,5	23,1	51,7	53,0
H65	T	8,6	231,6	119,0	0,51	24,6	649,3	28,2	14,3	22,4	52,0	54,7
H66	T	8,4	188,3	100,6	0,54	22,5	733,4	31,8	16,0	22,4	51,7	53,0
H4	MT	7,2	211,7	104,8	0,50	21,6	564,9	37,0	15,3	24,2	49,3	51,0
H5	MT	7,2	214,0	110,5	0,51	22,8	613,3	32,8	15,4	22,6	49,7	50,7
H13	MT	7,0	207,3	103,3	0,50	22,3	621,3	32,6	18,9	22,8	50,0	51,7
H25	MT	8,1	215,4	113,6	0,53	22,7	591,8	40,1	16,8	23,5	47,7	48,7
H27	MT	7,3	211,5	111,9	0,53	21,3	575,1	36,1	16,9	23,8	49,7	51,3
H30	MT	7,1	215,9	109,5	0,51	22,1	667,8	25,3	19,6	24,6	52,0	55,7
H31	MT	7,3	191,5	94,5	0,49	23,3	712,3	28,9	18,9	23,6	51,3	53,7
H32	MT	7,6	205,1	111,1	0,54	22,4	633,0	32,9	20,1	23,8	52,0	53,3
H33	MT	7,3	219,3	119,3	0,54	23,8	591,6	38,3	17,2	23,0	49,3	50,7
H35	MT	7,0	221,5	119,5	0,54	25,7	656,2	39,6	18,3	22,5	50,3	51,0
H39	MT	6,8	198,5	97,2	0,49	21,8	589,8	30,7	14,4	21,7	50,3	50,3
H40	MT	6,8	205,7	107,1	0,52	22,8	617,9	31,5	15,3	22,9	51,0	52,7
H44	MT	7,4	227,8	116,4	0,51	24,1	709,5	28,6	18,0	24,2	53,0	55,3
H45	MT	7,4	222,6	136,3	0,63	23,3	606,9	27,9	24,9	22,8	52,7	55,3
H49	MT	7,1	216,2	118,0	0,54	23,7	590,4	40,0	13,3	23,5	50,7	53,0
H52	MT	6,9	200,8	107,0	0,53	24,0	669,1	32,2	18,1	25,2	52,0	53,7
H53	MT	7,6	222,3	123,0	0,55	26,2	720,3	29,1	21,6	20,5	52,0	53,3
H61	MT	7,1	210,5	119,0	0,56	22,7	612,7	33,2	23,4	20,7	53,0	54,7
H2	P	6,1	197,7	90,6	0,46	20,4	553,6	46,3	15,2	22,0	47,0	50,0
H6	P	6,8	222,9	122,0	0,55	22,1	568,8	31,5	16,7	23,9	47,0	49,7
H7	P	6,4	218,1	112,1	0,51	20,3	615,9	36,7	13,1	24,0	50,0	51,3
H8	P	7,0	206,4	122,4	0,59	22,6	567,4	42,4	19,7	20,8	50,0	51,0
H11	P	5,4	202,1	92,6	0,46	21,3	523,1	42,0	13,8	22,5	48,0	48,3
H12	P	5,9	181,3	76,5	0,42	18,6	531,1	29,6	14,0	23,0	51,7	53,3
H14	P	5,6	210,3	93,1	0,44	21,4	668,0	29,1	17,0	26,3	50,3	52,7
H15	P	5,9	185,2	88,5	0,48	21,3	635,6	32,7	14,2	24,7	51,0	51,0
H16	P	6,7	195,9	102,8	0,53	20,8	556,9	34,6	15,4	23,1	50,3	51,7
H17	P	7,0	207,4	115,7	0,56	21,8	537,9	41,3	15,1	19,4	48,7	49,3
H22	P	6,9	218,3	116,8	0,54	22,0	630,1	29,2	21,9	21,4	51,0	52,7
H23	P	6,4	199,3	115,6	0,58	22,5	603,4	38,5	14,5	23,5	50,0	51,3
H24	P	5,2	207,0	121,3	0,59	22,8	516,5	38,6	17,2	23,4	51,3	52,7
H26	P	6,0	185,1	86,1	0,46	20,3	624,0	28,9	16,4	21,5	51,0	52,0
H34	P	6,3	213,6	114,3	0,54	22,4	613,9	33,8	17,8	23,1	49,7	50,0
H38	P	7,1	236,2	123,3	0,52	22,2	646,5	27,6	26,3	22,6	52,0	55,0
H41	P	6,7	205,9	119,8	0,59	22,5	597,0	34,8	16,1	23,9	48,3	51,7
H42	P	6,3	214,7	98,3	0,46	20,9	620,7	25,5	15,9	24,4	49,3	52,0

Tabel 3. Tingkat toleransi dan nilai variabel dari beberapa genotipe jagung hibrida (*lanjutan*)

Hibrida	Toleransi CK	Y (t/ha)	X1 (cm)	X2 (cm)	X3	X4 (mm)	X5 (cm ²)	X6 (°)	X7 (malai)	X8 (cm)	X9 (hari)	X10 (hari)
H43	P	6,2	219,5	121,4	0,55	21,9	568,8	35,3	16,5	24,5	48,7	51,3
H47	P	7,3	211,5	110,8	0,52	21,6	634,7	27,1	18,1	25,2	51,3	53,7
H48	P	6,5	232,7	128,2	0,55	22,1	630,7	29,6	17,1	22,1	53,3	55,7
H50	P	5,2	186,4	88,5	0,47	22,0	610,7	29,3	14,5	24,3	50,7	53,3
H51	P	7,1	222,1	119,1	0,54	22,5	613,0	40,4	14,4	23,6	50,0	52,3
H54	P	7,1	205,9	99,3	0,47	22,0	651,0	26,9	16,3	24,7	51,7	53,7
H56	P	6,9	199,4	108,1	0,54	21,9	608,1	34,1	19,1	23,0	52,7	54,7
H57	P	5,2	208,6	118,1	0,57	21,8	494,4	42,2	17,5	24,7	50,7	52,0
H58	P	5,9	199,1	108,6	0,55	20,2	577,3	36,3	17,7	20,9	50,7	52,0
H59	P	6,1	217,3	124,4	0,57	22,0	543,3	37,7	18,4	21,5	51,0	53,0
H60	P	6,4	193,0	110,8	0,58	21,8	592,5	32,1	19,6	23,0	52,7	55,3
H62	P	6,5	220,5	119,1	0,54	22,3	635,4	29,2	20,6	22,5	52,7	55,3
H63	P	6,6	208,1	108,0	0,52	22,4	613,4	30,9	17,5	23,7	54,0	55,0
H67	P	6,6	230,2	130,7	0,57	22,8	645,1	36,7	19,7	20,2	53,0	55,0
H68	P	5,9	191,1	100,4	0,53	22,1	630,1	41,4	14,9	22,1	53,3	54,3
H9	SP	5,3	196,5	93,7	0,48	20,4	563,7	45,7	13,1	24,3	47,3	47,3
H18	SP	5,5	182,5	91,7	0,50	20,4	593,9	34,7	14,9	19,3	48,7	49,0

Keterangan: CK = cekaman kekeringan, T = toleran, MT = medium toleran, P = peka, SP = sangat peka, X₁ = tinggi tanaman, X₂ = tinggi kedudukan tongkol, X₃ = rasio tinggi tongkol dengan tinggi tanaman, X₄ = diameter batang, X₅ = luas daun, X₆ = sudut daun (bagian daun di atas tongkol), X₇ = jumlah malai, X₈ = panjang cabang malai, X₉ = umur berbunga jantan, X₁₀ = umur berbunga betina.

Tabel 3. Tingkat toleransi dan nilai variabel dari beberapa genotipe jagung hibrida (*lanjutan*)

Hibrida	Toleransi CK	X11 (hari)	X12 (unit)	X13 (%)	X14 (skor)	X15 (%)	X16 (%)	X17 (cm)	X18 (mm)	X19 (baris)	X20 (biji)	X21
H20	T	1,3	23,9	40,2	1,8	95,6	4,4	14,4	42,7	14,0	439,4	0,80
H21	T	1,7	30,3	45,7	1,7	97,2	2,8	14,9	43,5	13,7	439,0	0,80
H29	T	1,3	29,3	40,3	1,6	90,1	9,9	15,1	42,9	14,7	442,6	0,84
H36	T	1,3	30,6	42,5	1,7	100,0	0,0	15,2	43,7	14,8	450,1	0,80
H65	T	2,7	37,2	46,9	1,7	84,9	15,1	16,4	47,3	16,1	550,5	0,78
H66	T	1,3	26,8	46,2	1,5	87,1	12,9	16,0	44,6	13,3	408,4	0,76
H4	MT	1,7	32,0	53,9	1,8	85,3	14,7	14,4	41,6	13,1	381,1	0,81
H5	MT	1,0	30,1	51,2	1,7	92,4	7,6	14,1	42,7	13,0	364,1	0,80
H13	MT	1,7	26,3	48,5	2,2	93,3	6,7	14,5	42,1	13,5	401,3	0,80
H25	MT	1,0	27,7	51,8	1,8	97,4	2,6	13,6	44,6	14,4	486,2	0,79
H27	MT	1,7	29,9	58,6	1,7	93,3	6,7	13,6	41,1	13,6	387,0	0,81
H30	MT	3,7	25,2	48,2	1,8	100,0	0,0	14,9	38,6	14,1	440,8	0,79
H31	MT	2,3	24,9	53,2	1,7	93,0	7,0	16,3	43,0	14,0	435,5	0,76
H32	MT	1,3	33,1	43,9	1,6	93,2	6,8	14,8	44,0	15,6	421,8	0,80
H33	MT	1,3	26,9	59,5	1,6	97,9	2,1	13,3	42,1	13,3	410,3	0,80
H35	MT	0,7	27,2	56,7	1,7	88,8	11,2	15,0	44,2	13,9	490,6	0,79
H39	MT	0,0	25,2	53,3	1,8	100,0	0,0	13,8	43,6	13,1	371,7	0,76
H40	MT	1,7	29,8	53,4	1,5	86,1	7,2	14,0	40,1	13,5	392,1	0,78

Tabel 3. Tingkat toleransi dan nilai variabel dari beberapa genotipe jagung hibrida (*lanjutan*)

Hibrida	Toleransi CK	X11 (hari)	X12 (unit)	X13 (%)	X14 (skor)	X15 (%)	X16 (%)	X17 (cm)	X18 (mm)	X19 (baris)	X20 (biji)	X21
H44	MT	2,3	27,4	48,2	1,8	100,0	0,0	15,1	40,2	15,1	478,6	0,79
H45	MT	2,7	28,0	48,2	1,8	87,1	12,9	15,2	40,9	13,1	405,1	0,79
H49	MT	2,3	24,3	56,2	1,6	88,2	11,8	13,0	43,2	13,1	373,9	0,73
H52	MT	1,7	21,0	49,9	1,6	91,3	8,7	14,6	43,3	13,9	374,4	0,74
H53	MT	1,3	30,1	57,4	1,7	91,0	9,0	14,2	42,1	12,4	345,1	0,77
H61	MT	1,7	24,7	54,2	1,6	93,0	7,0	14,5	42,9	14,1	401,6	0,80
H2	P	3,0	28,7	59,3	2,2	100,0	0,0	13,1	40,4	14,3	403,6	0,81
H6	P	2,7	26,1	60,2	1,8	100,0	0,0	12,9	41,0	12,5	361,5	0,79
H7	P	1,3	25,2	58,5	1,8	85,7	14,3	13,2	42,7	12,4	318,7	0,77
H8	P	1,0	30,4	52,9	1,5	90,3	7,2	15,4	42,6	14,1	401,4	0,79
H11	P	0,3	31,4	55,6	1,8	83,7	16,3	12,9	39,5	14,1	353,7	0,76
H12	P	1,7	25,0	50,1	2,0	91,3	8,8	14,2	39,6	15,3	416,1	0,79
H14	P	2,3	24,2	49,8	2,0	86,0	14,0	15,5	40,3	14,4	400,6	0,77
H15	P	0,0	24,9	60,4	1,4	92,8	7,2	14,3	40,1	13,7	390,9	0,75
H16	P	1,3	24,4	52,0	1,5	100,0	0,0	13,9	42,1	14,8	404,7	0,77
H17	P	0,7	30,4	51,5	1,7	89,3	10,7	13,1	44,7	13,5	392,9	0,79
H22	P	1,7	21,8	55,6	2,2	96,7	3,3	14,7	42,2	14,4	402,3	0,80
H23	P	1,3	25,0	55,5	1,5	91,7	8,3	14,8	43,4	12,8	388,5	0,74
H24	P	1,3	26,7	51,8	1,7	94,9	5,1	13,6	42,7	14,4	402,4	0,73
H26	P	1,0	29,0	48,0	1,8	84,2	15,8	13,1	39,5	14,4	394,6	0,76
H34	P	0,3	26,8	53,5	2,2	97,6	2,4	13,1	42,2	14,0	427,8	0,79
H38	P	3,0	28,1	48,4	1,8	90,6	9,4	15,4	41,5	14,1	407,6	0,76
H41	P	3,3	23,3	55,8	1,8	97,8	2,2	13,9	42,0	13,1	364,3	0,76
H42	P	2,7	23,8	54,6	2,2	100,0	0,0	14,3	38,9	14,1	438,7	0,75
H43	P	2,7	23,6	53,1	1,9	97,8	2,2	13,1	43,1	12,7	380,1	0,77
H47	P	2,3	29,4	52,6	1,8	90,6	9,4	16,8	40,4	12,3	405,7	0,77
H48	P	2,3	27,3	46,2	1,8	97,9	2,1	12,9	40,9	14,3	434,1	0,76
H50	P	2,7	30,4	52,5	1,8	73,3	19,6	14,2	43,0	14,3	412,6	0,74
H51	P	2,3	23,5	60,4	1,8	92,3	7,7	14,0	42,8	11,9	374,7	0,73
H54	P	2,0	25,0	51,0	1,8	91,1	8,9	14,1	42,3	13,5	406,0	0,76
H56	P	2,0	29,5	48,4	1,6	87,6	12,4	15,3	43,7	13,9	421,1	0,76
H57	P	1,3	28,3	50,7	1,5	72,5	27,5	13,1	42,8	13,0	390,3	0,76
H58	P	1,3	27,8	53,2	1,6	100,0	0,0	12,6	41,4	13,6	390,5	0,74
H59	P	2,0	25,9	58,7	1,6	100,0	0,0	12,3	41,6	14,9	397,6	0,77
H60	P	2,7	27,1	48,2	1,5	86,3	13,7	13,4	40,3	14,9	387,9	0,75
H62	P	2,7	27,0	48,5	1,6	91,0	9,0	15,6	40,9	13,9	435,8	0,75
H63	P	1,0	33,4	52,2	1,6	81,8	18,2	15,7	44,7	13,3	427,1	0,76
H67	P	2,0	25,8	45,4	1,7	83,8	14,2	14,3	39,2	11,9	382,5	0,79
H68	P	1,0	23,1	61,0	1,6	81,9	18,1	13,7	41,8	14,3	416,9	0,77
H9	SP	0,0	29,1	67,1	2,3	95,7	4,3	11,7	38,9	13,5	337,8	0,76
H18	SP	0,3	30,5	55,8	2,1	100,0	0,0	13,4	41,8	14,5	412,2	0,76

Keterangan: CK = cekaman kekeringan, T = toleran, MT = medium toleran, P = peka, SP = sangat peka, X11 = *anthesis silking interval* (ASI), X12 = klorofil daun (diukur dengan menggunakan SPAD 501), X13 = persentase penuaan (senescence) daun, X14 = skor penggulangan daun, X15 = persentase tongkol normal, X16 = persentase tongkol abnormal, X17 = panjang tongkol, X18 = diameter tongkol, X19 = jumlah baris biji/tongkol, X20 = jumlah biji/tongkol, X21 = rendemen biji (rata-rata rasio bobot biji dengan bobot tongkol).

Pada kondisi cekaman kekeringan, genotipe jagung toleran kekeringan mampu mempertahankan biomas tanaman yang banyak (Cairns *et al.*, 2012). Ciampitti dan Vyn (2012) serta Lynch (2013) juga menyatakan bahwa kemampuan tanaman mempertahankan biomas tanaman yang banyak pada kondisi kekeringan umumnya didukung oleh pertumbuhan akar yang vertikal secara ekstensif sehingga dapat mengabsorpsi air dan hara pada lapisan tanah yang lebih dalam, dimana ketersediaan air lebih besar dibanding lapisan dekat permukaan tanah.

Penggulungan daun merupakan indikator tanaman telah mengalami kekeringan, dimana akar tanaman mengabsorpsi air dalam jumlah tidak cukup sedangkan kehilangan air melalui transpirasi cukup besar (Efendi and Azrai, 2010; Lu *et al.*, 2011; Saglam *et al.*, 2014). Menurut Lopes *et al.* (2011), tanaman yang mengalami kelayuan akan menutup sebagian besar stomata daun untuk mengurangi transpirasi, namun hal tersebut justru menurunkan laju fotosintesis untuk menghasilkan fotosintat yang ditranslokasi ke biji (Betrán *et al.*, 2003; Lu *et al.*, 2011). Hal tersebut berdampak terhadap penurunan hasil jagung pada kondisi kekeringan. Sidik lintas menunjukkan skor penggulungan daun secara tidak langsung berdampak negatif terhadap hasil melalui penurunan panjang ($P_{SP-PT} = -0,119$) dan diameter tongkol ($P_{SP-DT} = -0,090$) (Gambar 1). Pada Tabel 3 dapat dilihat jagung hibrida yang sangat peka kekeringan mengalami gejala penggulungan daun dengan skor lebih besar, yaitu 2,1-2,3 sedangkan yang toleran kekeringan hanya skor 1,5-1,8. Oleh karena itu, skor penggulungan daun dapat digunakan sebagai karakter seleksi jagung hibrida toleran kekeringan.

Tanaman yang toleran kekeringan rata-rata memproduksi jumlah biji/tongkol yang lebih banyak, berkisar antara 439-551 biji/tongkol, sedangkan jagung hibrida yang peka kekeringan hanya mampu memproduksi biji 319-439 biji/tongkol. Pada kondisi kekeringan, jagung hibrida yang memproduksi biji/tongkol lebih banyak akan memperoleh hasil yang lebih tinggi dibanding jagung hibrida yang peka kekeringan. Variabel jumlah biji merupakan manifestasi dari panjang tongkol dan rendemen biji. Semakin banyak jumlah biji semakin besar panjang tongkol dan rendemen biji. Hal tersebut tergambar dari hasil sidik lintas dimana jumlah biji berpengaruh secara positif terhadap panjang tongkol ($P_{JB-PT} = -0,117$), diameter tongkol ($P_{JB-DT} = -0,094$), dan rendemen biji ($P_{JB-RB} = -0,105$).

Variabel-variabel yang telah diketahui sebagai karakter toleran kekeringan dapat digunakan untuk menyeleksi jagung hibrida toleran cekaman kekeringan dengan dua tahap. Tahap pertama, seleksi sebelum panen, yaitu seleksi tinggi tanaman, luas daun, dan diameter batang yang cukup besar serta sudut daun, skor penggulungan daun, dan tingkat penuaan daun yang rendah. Tahap kedua, seleksi sesudah panen, yaitu seleksi panjang tongkol, diameter tongkol, jumlah biji/tongkol, dan rendemen biji yang besar.

KESIMPULAN

Karakter seleksi jagung hibrida yang berpengaruh langsung terhadap hasil pada kondisi kekeringan adalah tinggi tanaman, luas daun, panjang tongkol, diameter tongkol, dan rendemen biji, sedangkan yang tidak berpengaruh langsung terhadap hasil adalah diameter batang, skor penggulungan daun, sudut daun, tingkat penuaan daun, dan jumlah biji/tongkol. Karakter tersebut dapat digunakan untuk menyeleksi jagung hibrida toleran kekeringan dengan dua tahap. Tahap pertama, seleksi sebelum panen, yaitu seleksi tinggi tanaman, luas daun, dan diameter batang yang cukup besar serta sudut daun, skor penggulungan daun, dan tingkat penuaan daun yang rendah. Tahap kedua, seleksi sesudah panen, yaitu seleksi panjang tongkol, diameter tongkol, jumlah biji/tongkol, dan rendemen biji yang besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada kepada Dr. Sutoro dan Dr. L. Hardi Prasetyo yang membantu dalam perbaikan makalah ini, kepada Satria Hama dan Darnis atas bantuannya dalam pelaksanaan penelitian, serta Proyek Kerjasama Kemitraan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Nasional (No. 777/LB.620/I.1/2/2014) dari Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian atas pendanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelmula, A.A and S.A.I. Sabiel. 2007. Genotypic and Differential Responses of Growth and Yield of Some Maize (*Zea mays* L.) Genotypes to Drought stress. p. 1-6. Conference on International Agricultural Research for Development. Tropentag, October 9-11, 2007.
- Araus, J.L., M.D. Serret, and G.O. Edmeades. 2012. Phenotyping Maize For Adaptation to Drought. *Frontiers in Physiology* 3: 1-20.
- Badu-Apraku, B., R.O. Akinwale, J. Franco, and M. Oyekunle. 2012. Assessment of Reliability of Secondary Traits In Selecting For Improved Grain Yield In Drought and Low-Nitrogen Environments. *Crop Science* 52: 2050-2062.
- Bänziger, M., G.O. Edmeades, D. Beck, and M. Bellon. 2000. Breeding for Drought and Nitrogen Stress Tolerance in Maize: From Theory to Practice. CIMMYT., Mexico, D.F. p.68.
- Betrán, F.J., D. Beck, M. Bänziger, and G.O. Edmeades. 2003. Secondary Traits in Parental Inbreds and Hybrids Under Stress and Non-Stress Environments in Tropical Maize. *Field Crops Research* 83: 51-65.

- Cairns, J.E., C. Sanchez, M. Vargas, R. Ordoñez, and J.L. Araus. 2012. Dissecting Maize Productivity: Ideotypes Associated With Grain Yield Under Drought Stress and Well-Watered Conditions. *Journal of Integrative Plant Biology* 54: 1007-1020.
- Chen, Y., C. Xiao, X. Chen, Q. Li, J. Zhang, F. Chen, L. Yuan, and G. Mi. 2014. Characterization of the Plant Traits Contributed to High Grain Yield and High Grain Nitrogen Concentration In Maize. *Field Crops Research* 159: 1-9.
- Ciampitti, I.A and T.J. Vyn. 2012. Physiological Perspectives of Changes Over Time In Maize Yield Dependency on Nitrogen Uptake and Associated Nitrogen Efficiencies: A review. *Field Crops Research* 133: 48-67.
- Efendi, R. and M. Azrai. 2010. Tanggap Genotipe Jagung Terhadap Cekaman Kekeringan: Peranan Akar. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 29(1): 1-10.
- Emede, T.O., and J.E. Alika. 2012. Variation in Agronomic Characters Among High and Low Nitrogen S2 maize (*Zea mays* L) Lines Grown in High and Low Nitrogen Environments. *Maydica* 57: 139-146.
- Iriany, R.N., A.M. Takdir, M.H.G. Yasin, and M.J. Mejaya. 2007. Maize Genotypes Tolerance to Drought Stress. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 26(3): 156 - 160.
- Kozak, M. and R.A. Azevedo. 2014. Sequential Path Analysis: What Does "Sequential" Mean? *Scientia Agricola* 71: 525-527.
- Lopes, M.S., J.L. Araus, P.D.R. van Heerden, and C.H. Foyer. 2011. Enhancing Drought Tolerance in C4 Crops. *Journal of Experimental Botany*. 62 (9): page. 3135-3153.
- 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, and Y. Xu. 2011. Large-Scale Screening For Maize Drought Resistance Using Multiple Selection Criteria Evaluated Under Water-Stressed and Well-Watered Environments. *Field Crops Research* 124: 37-45.
- Lynch, J.P. 2013. Steep, Cheap And Deep: An Ideotype to Optimize Water and N Acquisition By Maize Root Systems. *Ann Bot* 112: 347-357.
- Ma, D.L., R.Z. Xie, X.K. Niu, S.K. Li, H.L. Long, and Y.E. Liu. 2014. Changes in the Morphological Traits of Maize Genotypes in China Between the 1950s and 2000s. *European Journal of Agronomy* 58: 1-10.
- Maddoni, G.A. and M.E. Otegui. 1996. Leaf area, Light Interception, and Crop Development in Maize. *Field Crops Research* 48: 81-87.
- Mhike, X., P. Okori, C. Magorokosho, and T. Ndlela. 2012. Validation of the Use of Secondary Traits and Selection Indices For Drought Tolerance In Tropical Maize (*Zea mays* L.). *African Journal of Plant Science* 6: 96-102.
- Mittler, R. 2002. Oxidative Stress, Antioxidants and Stress Tolerance. *Trends in Plant Science* 7: 405-410.
- Monneveux, P., C. Sanchez, D. Beck, and G.O. Edmeades. 2006. Drought Tolerance Improvement In Tropical Maize Source Populations: Evidence of Progress. *Crop Science* 46: 180-191.
- Monneveux, P., C. Sanchez, and A. Tiessen. 2008. Future progress in Drought Tolerance in Maize Needs New Secondary Traits and Cross Combinations. *The Journal of Agricultural Science* 146: 287-300.
- Noctor, G., A. Mhamdi, and C.H. Foyer. 2014. The Roles of Reactive Oxygen Metabolism in Drought: Not So Cut and Dried. *Plant Physiol* 164: 1636-1648.
- O'Neill, P.M., J.F. Shanahan, J.S. Schepers, and B. Caldwell. 2004. Agronomic Responses of Corn Hybrids From Different Eras to Deficit and Adequate Levels of Water and Nitrogen. *Agronomy Journal* 96: 1660-1667.
- Prochazkova, D., R.K. Sairam, G.C. Srivastava, and D.V. Singh. 2001. Oxidative Stress and Antioxidant Activity as The Basis of Senescence in Maize Leaves. *Plant Science* 161: 765-771.
- Saglam, A., A. Kadioglu, M. Demiralay, and R. Terzi. 2014. Leaf Rolling Reduces Photosynthetic Loss In Maize Under Severe Drought. *Acta Botanica Croatica* 73.
- Shiri, M., R.T. Aliyev, and R. Choukan. 2010. Water Stress Effects on Combining Ability and Gene Action of Yield and Genetic Properties of Drought Tolerance Indices In Maize. *Research Journal of Environmental Sciences* 4(1): 75-84.
- Singh, R.K. and B.D. Chaudhary. 2010. Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis. Kalayani, Ludhiana. page 275-280.
- Streiner, D.L. 2005. Finding our way: An Introduction to Path Analysis. *Can J. Psychiatry* 50: 115-122.
- Sutoro. 2012. Kajian Penyediaan Varietas Jagung untuk Lahan Suboptimal. *Iptek Tanaman Pangan* 7(2): 108-112.
- Suwardi dan M. Azrai. 2013. Pengaruh Cekaman Kekeringan Genotipe Jagung Terhadap Karakter Hasil dan Komponen Hasil. Hlm.149-157. Seminar Nasional Serealia. Meningkatkan Peran Peneliti Serealia Menuju Pertanian Berkelanjutan. Maros, 18 Juni 2013.
- Toebe, M. and A.C. Filho. 2013. Multicollinearity in Path Analysis of Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Cereal Science* 57: 453-462.
- Weber, V.S., A.E. Melchinger, C. Magorokosho, D. Makumbi, M. Bänziger, and 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 Science* 52: 1011-1020.
- 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, and 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.