

Daya Gabung Umum, Daya Gabung Khusus dan Keragaan Hasil Hibrida Jagung pada Dua Tingkat Pemupukan N

Sutoro dan Mamik Setyowati

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian
Jalan Tentara Pelajar No. 3A. Bogor 16111
Email: storos8@gmail.com

Naskah diterima 4 Desember 2013 dan disetujui diterbitkan 10 September 2014

ABSTRACT. General Combining Ability, Specific Combining Ability and Yield Performances of Maize Hybrids on Two Levels of N Fertilization. Maize grain production may be increased by growing varieties that utilize the available nutrients in the soil efficiently. High grain yield of maize could be achieved when hybrid variety was planted under the optimal rate of fertilization. However, application of fertilizer on agricultural land in large quantities have a negative impact on the environment. Therefore, maize variety that is able to use fertilizer efficiently is needed, which would be reducing the environmental impact from a high fertilization and also helping farmers who are less able to provide optimal fertilizer rate or those who are growing maize under the marginal land. Maize genotypes developed by diallel mating and their parents were tested under nested design, three replications on two levels of nitrogen fertilization (low and optimal N level, as nested factor). The full diallel crosses (hybrids and reciprocals) derived from five inbred lines were tested using Griffing method I. Result indicated that H3, H7 and H9 hybrids were adaptable to low N. Inbred G2 and G5 were suitable for optimal N fertilization condition, and their single cross hybrids using H7 as parent was suitable for the low N fertilization condition. Inbred G4 was suitable for low N condition and inbred G5 was suitable for the optimal N condition. Single cross hybrids of H10 was as parent suitable for N optimal condition. It was shown that maize hybrids suitable for low or optimal N fertilizations could be generated from either pairs of inbreds adapted under low N or optimal N conditions. Inbred lines adapted to certain N fertilization may not necessarily produced hybrid adapted to the same N level of environment.

Keywords: Maize, nitrogen, GCA, SCA.

ABSTRAK. Produksi jagung dapat ditingkatkan melalui penanaman varietas unggul yang efisien dalam memanfaatkan pupuk atau hara yang tersedia dalam tanah. Pertanaman jagung dapat memberikan hasil tinggi apabila dipupuk secara optimal, tetapi pemberian pupuk dalam jumlah banyak menurunkan efisiensi agronomis pupuk. Penanaman jagung dengan pupuk takaran tinggi berdampak negatif terhadap lingkungan. Banyak petani yang tidak mampu memberikan pupuk secara optimal, terutama petani pada lahan marginal. Oleh karena itu, varietas jagung yang efisien dalam memanfaatkan pupuk sangat diperlukan. Genotipe persilangan diallel dan tetuanya diuji dalam rancangan tersarang dengan tiga ulangan pada dua tingkat pemupukan (N rendah dan optimal sebagai faktor tersarang). Genotipe sebagai perlakuan yang diuji adalah hibrida *full diallel* dan resiprokal yang berasal dari lima inbrida (tetua) adaptif pupuk rendah dan tetua inbridanya berdasarkan model Griffing metode I. Hibrida H3, H7, dan H9 cocok pada kondisi pupuk N rendah. Inbrida jagung G2 dan G5 cocok pada kondisi N optimal, dan hasil silang

tunggalnya (hibrida H7) cocok pada kondisi N rendah. Inbrida G4 yang cocok pada kondisi N rendah dan inbrida G5 yang cocok pada kondisi optimal, silang tunggalnya menghasilkan hibrida H10 yang cocok pada kondisi N optimal. Nampaknya hibrida jagung yang cocok pada kondisi N rendah atau optimal dapat dihasilkan dari pasangan inbrida yang cocok pada kondisi N rendah dan atau optimal. Inbrida yang cocok pada lingkungan target belum tentu menghasilkan hibrida yang cocok pada lingkungan target tersebut.

Kata kunci: Jagung, nitrogen, DGU, DGK.

Dari program seleksi untuk membentuk varietas unggul hibrida pada jagung (*Zea mays* L.) dihasilkan banyak inbrida yang berpotensi untuk dijadikan tetua hibrida. Akan tetapi, untuk menguji pasangan inbrida yang paling sesuai (unggul) dalam pembentukan hibrida diperlukan uji hibrida percobaan (experimental hybrid) yang jumlahnya cukup banyak, karena dari n inbrida dapat dibentuk sebanyak $n(n-1)$ hibrida percobaan. Dalam praktek di lapangan, menguji semua kombinasi persilangan yang mungkin dapat dibentuk dari inbrida terpilih tidak praktis karena entri percobaan cukup banyak.

Pada sisi lain, menguji inbrida dalam jumlah kecil (kurang dari 10) untuk membentuk hibrida juga memiliki kelemahan, karena pilihan hibrida yang terbentuk sangat terbatas. Guna menguji potensi hibrida, secara umum dan khusus, telah diperkenalkan konsep Daya Gabung Umum (DGU) dari sejumlah inbrida dan Daya Gabung Khusus (DGK) pasangan dua inbrida, yang mampu memprediksi potensi inbrida pada bentuk varietas hibrida. Akan tetapi, penampilan DGU dan DGK juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, termasuk dosis pupuk N yang diaplikasikan.

Pupuk nitrogen merupakan unsur esensial bagi pertumbuhan jagung. Varietas jagung hibrida umumnya dihasilkan melalui seleksi pada kondisi pemupukan N optimal. Namun dalam pembudidayaannya oleh petani, pupuk N seringkali tidak diberikan dalam jumlah optimum, sehingga hasil jagung hibrida rendah. Dalam

pemuliaan jagung pada kondisi pupuk N optimal, varietas yang dihasilkan dinilai tidak cocok ditanam pada kondisi N rendah (Worku *et al.* 2008). Varietas jagung yang cocok pada lingkungan target harus diseleksi langsung pada lingkungan tersebut atau mendekati lingkungan target (Banziger *et al.* 2000).

Varietas jagung yang adaptif pada lingkungan N rendah diperlukan mengingat keterbatasan petani dalam menyediakan pupuk untuk pertanaman jagung. Penanaman varietas jagung adaptif pupuk N rendah selain dapat membantu petani yang kurang mampu menyediakan pupuk N secara optimal juga bertujuan mengurangi dampak negatif pemupukan N yang tinggi terhadap lingkungan. Jagung hibrida memiliki potensi hasil lebih tinggi daripada varietas bersari bebas, karena jagung hibrida memiliki gen-gen dominan yang dapat mengekspresikan hasil tinggi berdasarkan gejala heterosis.

Identifikasi inbrida adaptif N rendah perlu dilakukan untuk menghasilkan hibrida adaptif N rendah. Apraku *et al.* (2011) menguji 36 hibrida, mengidentifikasi empat hibrida yang cocok pada kondisi N rendah. Penelitian Chen *et al.* (2013) mendapatkan empat kelompok genotipe yang efisien N, yaitu efisien pada dua kondisi N rendah dan tinggi, hanya efisien pada kondisi N tinggi, hanya efisien pada kondisi N rendah, dan tidak efisien pada N rendah atau N tinggi. Genotipe jagung ternyata mempunyai tanggapan yang berbeda terhadap kondisi defisiensi hara berdasarkan sistem perakaran dan pertumbuhan tajuk (Syafudin 2004, Hayati *et al.* 2008). Genotipe jagung yang cocok pada kondisi N rendah umumnya memiliki rasio akar-tajuk yang tinggi (Liang *et al.* 2005). Tanaman jagung yang memiliki karakter perakaran kuat dan daun tetap hijau pada saat panen (*stay green*) lebih adaptif terhadap pemupukan takaran rendah (Made *et al.* 2007).

Untuk menghasilkan hibrida yang adaptif pada kondisi dosis pupuk N rendah diperlukan sumber genetik yang memiliki gen nonaditif yang banyak. Worku *et al.* (2008) menyatakan kontribusi gen nonaditif pada kondisi N rendah lebih besar daripada gen nonaditif pada kondisi N optimal. Penampilan inbrida pada pembentukan hibrida dimanifestasikan dalam bentuk DGU, DGK, dan heterosis. Inbrida yang memiliki DGU dan DGK positif besar untuk hasil biji diperlukan dalam pembentukan hibrida (Viana dan Matta 2003).

Penggunaan inbrida jagung yang adaptif pada kondisi pupuk N rendah dalam pemuliaan tanaman diharapkan menghasilkan hibrida yang adaptif pula pada kondisi yang sama. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui penampilan jagung hibrida dan inbrida tetuanya dari parameter DGU, DGK, dan tingkat heterosis pada kondisi pupuk N rendah.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilakukan bulan Maret 2011 di Sukabumi, Jawa Barat, pada lahan dengan kandungan nitrogen total dalam tanah 0,15%. Materi genetik yang diuji sebanyak 25 genotipe yang merupakan hibrida diallel penuh dan resiprokal yang berasal dari lima inbrida sebagai tetua, sesuai dengan metode I Griffing, yang menguji tetua, hibrida F1, dan resiprokal (Singh dan Chaudhary 1977). Lima inbrida yang digunakan dalam pembentukan hibrida silang tunggal adalah Arc1-27-6-6-1-3-2-xb3, P4G12-19-2-2-3-xb3, P4G19(5)C2-59-3-3-1-3, P4S3-29-4-4-1, dan Arc1-178-1-3-1-1-4-1-1, selanjutnya berturut-turut disebut G1, G2, G3, G4 dan G5. Inbrida G1 dan G5 kurang adaptif N rendah, dan sebaliknya Inbrida G2, G3, dan G4 (Sutoro *et al.* 2010).

Latar belakang genetik inbrida dengan kode awal Arc berasal dari varietas Arjuna yang diseleksi berdasarkan tongkol rendah, yaitu yang berada di tengah-tengah atau sedikit di bawah tengah batang. Galur-galur Arc yang digunakan berasal dari hasil *selfing* 6-7 kali (S6-S7). Galur-galur P4 (Pool 4) adalah galur hasil *selfing* yang berasal dari populasi kombinasi persilangan dari varietas lokal yang berbiji warna kuning (sebagai induk), sedangkan sebagai pejantan adalah Suwan-1 (Subandi 1984).

Sebanyak 25 hibrida yang berasal dari persilangan diallel diuji dalam rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan pada dua tingkat pemupukan N. Percobaan diterapkan dalam rancangan tersarang (*nested design*), dimana ulangan/kelompok tersarang pada perlakuan tingkat pemupukan N. Tingkat pemupukan N yang diuji yaitu N optimal (135 kg N/ha) dan N rendah (setengah dari pupuk N optimal: 67,5 kg N/ha). Semua petak percobaan dipupuk 30 kg P₂O₅/ha dan 25 kg K₂O/ha. Benih jagung dari setiap genotipe ditanam dua baris sepanjang 5 m dengan jarak tanam 75 cm x 25 cm dengan satu tanaman tiap lubang.

Data hasil biji jagung dianalisis setelah dikonversi pada kandungan kadar air biji 15%. DGU dan DGK ditentukan sebagai berikut (Singh dan Chaudary 1977):

DGU bagi inbrida $G_i = 1/2n(Y_{i.} + Y_{.i}) - 1/n^2 Y_{..}$, dan DGK inbrida G_i dan $G_j = 1/2(Y_{ij.} + Y_{.ij}) - 1/2n(Y_{i.} + Y_{.i} + Y_{.j.} + Y_{.j.}) + 1/n^2 Y_{..}$, sedangkan $Y_{..} = \sum \sum Y_{ij}$, Y_{ij} = bobot biji hibrida persilangan G_i dan G_j , $Y_{i.}$ dan $Y_{.j.}$ berturut-turut total hasil biji tetua jantan ke- i dan betina ke- j . Nilai heterosis (H) dihitung berdasarkan rata-rata tetua (*mid parent*) dengan persamaan $H = (F1 - MP)/MP$, F1 = hasil hibrida, MP = rata-rata hasil kedua tetua inbrida.

Adaptabilitas genotipe hibrida maupun inbrida tetuanya diduga berdasarkan indeks respon. Indeks respon setiap genotipe pada kondisi pupuk N rendah dinyatakan dalam bentuk persamaan:

Indeks = $(O_i - R_i)/(O - R)$, O_i = hasil biji genotipe ke- i pada kondisi pupuk N optimal, R_i = hasil biji genotipe ke- i pada kondisi N rendah, O = rata-rata hasil seluruh genotipe pada kondisi pupuk N optimal, R = rata-rata hasil seluruh genotipe pada kondisi pupuk N rendah. Indeks = 0 berarti hasil pada kondisi optimal sama dengan kondisi N rendah. Indeks < 0 berarti hasil biji pada kondisi N optimal lebih rendah daripada kondisi N rendah. Indeks > 0 berarti hasil pada kondisi N optimum lebih tinggi daripada kondisi N rendah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Gabung Umum, Daya Gabung Khusus dan Komponen Ragam

Hasil analisis DGU dan DGK serta resiprokalnya menunjukkan di antara inbrida yang diuji terdapat perbedaan DGU dan DGK, tetapi tidak terdapat perbedaan yang nyata persilangan resiprokalnya, baik pada kondisi pemupukan N optimal maupun rendah (Tabel 1). Tidak terdapat keragaman di antara persilangan resiprokalnya, dengan kata lain hasil biji jagung pasangan dua inbrida (hibrida) tidak dipengaruhi oleh peran inbrida sebagai tetua jantan atau tetua betina (tidak ada pengaruh maternal).

DGU suatu inbrida merupakan rata-rata daya kemampuan tingkat kesesuaian inbrida tersebut dalam persilangan dengan sekelompok inbrida yang lain. Inbrida dengan nilai dugaan DGU terbaik pada kondisi pemupukan N optimal adalah inbrida G-2 sebesar 444,57. Hasil uji beda DGU antarinbrida (disajikan di bawah diagonal Tabel 3) menunjukkan DGU inbrida G-2 berbeda nyata dibandingkan dengan DGU inbrida G-3, G-4, dan G-5, tetapi tidak berbeda nyata dengan inbrida G-1. DGU inbrida G-5 tidak berbeda nyata dengan inbrida G-1, G-3 dan G-4, tetapi berbeda dengan G-2. Pada kondisi pemupukan N rendah, inbrida G-2 tidak memiliki DGU terbaik di antara inbrida yang diuji. DGU inbrida G-1 terbaik tidak berbeda nyata dengan inbrida G-3. Namun

Tabel 1. Analisis keragaman DGU dan DGK pada pemupukan jagung dengan takaran N optimal dan rendah, Sukabumi MT 2011.

Sumber keragaman	Derajat bebas	Kuadrat tengah	
		N optimal	N rendah
DGU	4	859954,2*	945882,2*
DGK	10	1534141,9*	1086780,2*
Resiprokal	10	212546,1 ^{tn}	117848,1 ^{tn}
Galat	48	193262,6	73520,5

*: nyata pada taraf 5%, tn: tidak nyata

inbrida G-1 memiliki DGU positif, baik pada kondisi N optimal maupun N rendah. Inbrida yang memiliki DGU terbaik dapat dijadikan sebagai pembentuk varietas jagung bersari bebas atau sintetik.

Pasangan inbrida yang cocok untuk hibrida adalah pasangan inbrida yang turunannya memiliki DGK yang tinggi (Legesse *et al.* 2009). Pasangan inbrida yang silang tunggal) yang menghasilkan DGK terbaik pada kondisi N optimal adalah inbrida G-4 x G-5 dan tidak berbeda nyata dengan hibrida pasangan G-1 x G-5. Pada kondisi pupuk N rendah, DGK dari G-1 x G-3, G-1 x G-5, G-2 x G-3, G-2 x G-4 dan G-4 x G-5 tidak berbeda nyata. Hibrida yang terbaik pada kondisi N optimal tidak selalu beradaptasi baik pada kondisi N rendah. Namun hibrida G-1 x G-5 dan G-4 x G-5 memiliki DGK yang positif terbesar dibandingkan dengan pasangan lain, baik pada kondisi N optimal maupun rendah (Tabel 2). Besaran DGU dan DGK inbrida dapat diketahui dengan menyusun pengelempokan heterotik (Fan *et al.* 2009), namun pengelompokan inbrida jagung tropis kurang berhasil karena struktur populasinya yang kompleks (Reif *et al.* 2005) dan disarankan dengan analisis molekuler SSR (Aguir *et al.* 2008).

Analisis komponen ragam aditif dan dominan dihitung di bawah asumsi tanaman diploid bersegregasi normal. Jika tidak ada pengaruh maternal (tidak ada pengaruh resiprokal), tidak ada allel ganda, tetua homosigot, gen bebas di antara kedua tetua dan koefisien inbreeding = 1, maka ragam aditif dan dominan dapat diduga (Singh dan Chaudary 1977). Nilai dugaan ragam aditif (σ^2_A) dan dominan (σ^2_D) pada kondisi N optimal berturut-turut adalah $\sigma^2_A = -122067$ dan $\sigma^2_D = 798142$, sedangkan pada kondisi N rendah masing-masing $\sigma^2_A = -18529$ dan $\sigma^2_D = 603130$.

Tabel 2. Nilai dugaan DGU (diagonal) dan DGK (atas diagonal) serta hasil uji beda DGU antarinbrida (bawah diagonal) pada pemupukan jagung dengan takaran N optimal dan rendah.

Inbrida	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5
Pupuk N optimal					
G-1	132,72	-16,55	371,26	-329,29	1154,82
G-2	tn	444,57	22,63	415,59	-642,81
G-3	tn	*	-187,77	428,56	-410,07
G-4	*	*	tn	-288,59	1304,59
G-5	tn	*	tn	tn	-100,93
Pupuk N rendah					
G-1	375,83	-72,75	471,99	273,63	690,97
G-2	*	-94,00	536,72	437,64	216,33
G-3	tn	tn	146,88	212,03	-505,01
G-4	*	tn	tn	25,23	598,27
G-5	*	*	*	*	-453,94

*: DGU antara inbrida berbeda nyata pada taraf 5%, tn: tidak nyata

Ragam aditif bernilai negatif dapat dianggap bernilai kecil atau nol. Dengan demikian, baik pada kondisi N optimal maupun N rendah, ragam dominan berkontribusi besar dalam memberikan hasil biji jagung. Ragam dominan antara N optimal sedikit lebih besar daripada kondisi N rendah. Hal ini berbeda dengan hasil penelitian yang menyatakan kontribusi gen nonaditif pada N rendah lebih besar daripada kondisi optimal (Betran *et al.* 2003, Worku *et al.* 2008) dan kondisi P rendah, kontribusi gen nonaditif lebih besar (Villareal *et al.* 2008). Perbedaan ini nampaknya disebabkan oleh perbedaan genotipe yang digunakan dan lingkungan.

Keragaan hibrida

Analisis data hasil biji jagung menunjukkan tingkat pemupukan N, genotipe, dan interaksinya berpengaruh nyata. Uji beda rata-rata antar entri (genotipe) selanjutnya menunjukkan hasil biji jagung hibrida H3 pada kondisi pupuk N rendah nyata lebih tinggi daripada N optimal (Tabel 3). Hibrida H1, H4, dan H10 cenderung lebih cocok pada kondisi N optimal, sedangkan hibrida H9 cenderung lebih cocok pada kondisi N rendah. Dari 10 hibrida yang diuji terdapat lima hibrida yang cocok pada kondisi N optimal maupun N rendah.

Heterosis yang dihitung berdasarkan rata-rata dari kedua tetua (*mid parent*) menunjukkan pasangan inbrida G4 x G5 (hibrida H 10) memiliki nilai heterosis cukup tinggi pada kondisi pupuk N optimal (87%)

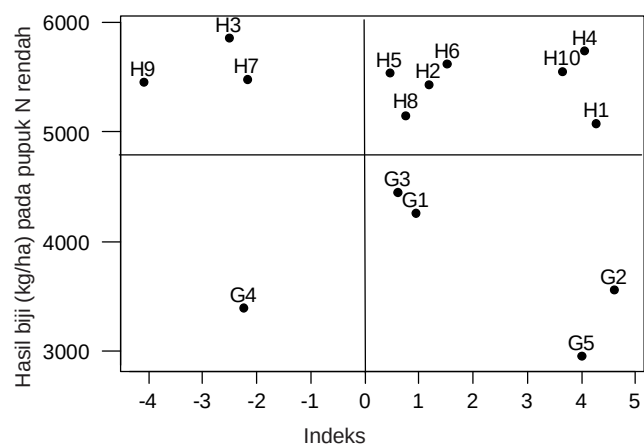
Tabel 3. Rata-rata hasil biji jagung dari hibrida dan inbrida pada kondisi pupuk N optimal dan N rendah.

Tetua inbrida		Hibrida/ Inbrida	N optimal (kg/ha)	Heterosis (%)	N rendah (kg/ha)	Heterosis (%)
G-2	G-1	H1	5907	32,9	5070*	29,9
G-3	G-1	H2	5662	26,0	5431	25,0
G-4	G-1	H3	4861	31,7	5855*	53,3
G-5	G-1	H4	6533	59,9	5739*	59,4
G-3	G-2	H5	5625	50,2	5535	86,6
G-4	G-2	H6	5918	59,8	5621	61,9
G-5	G-2	H7	5047	23,2	5473	68,2
G-4	G-3	H8	5298	41,1	5151	31,6
G-5	G-3	H9	4647	12,0	5450*	47,5
G-5	G-4	H10	6261	87,2	5546*	74,9
		G-1	4432		4249	
		G-2	4457		3555*	
		G-3	4559		4439	
		G-4	2950		3390	
		G-5	3738		2953*	
Pembanding		BISI-16	6346		5409*	
LSD 5%		LSD 5%	858	LSD 10%	666	

*Hasil biji berbeda nyata pada taraf 10% antara dipupuk N optimal dan N rendah

maupun N rendah (75%). Pasangan inbrida G2 x G3 (hibrida H5) pada kondisi N optimal menghasilkan heterosis 50%, sedangkan pada kondisi N rendah relatif tinggi sebesar 86% (Tabel 1). Inbrida yang dihasilkan dari populasi varietas Arjuna (G1 dan G5) apabila disilangkan dengan inbrida yang berasal dari populasi Pool 4 (G2, G3 dan G4) tidak selalu menghasilkan heterosis yang tinggi. Jarak genetik antarkedua inbrida tidak selalu berkorelasi positif dengan heterosis (Reif *et al.* 2003). Jarak genetik berdasarkan molekuler dapat merefleksikan hubungan antarinbrida, tetapi tidak berhubungan dengan tingkat heterotik (Reif *et al.* 2010). Titik indeks respon genotipe pada kondisi pupuk N rendah disajikan pada Gambar 1. Hasil inbrida lebih rendah dari hibridanya karena adanya depresi inbreeding. Hibrida H3, H7, dan H9 merupakan hibrida jagung yang cocok pada kondisi N rendah, sedangkan hibrida H4 dan H10 cocok pada kondisi N optimal. Hibrida H2, H5, dan H6 cocok pada kondisi pupuk N optimal dan N rendah.

Inbrida jagung G2 dan G5 cocok pada kondisi N optimal, dan hasil silang tunggalnya menghasilkan hibrida H7 yang cocok pada kondisi N rendah. Inbrida G4 cocok pada kondisi N rendah dan inbrida G5 cocok pada kondisi optimal, silang tunggalnya menghasilkan hibrida H10 yang cocok untuk kondisi N optimal. Nampaknya hibrida jagung yang cocok pada kondisi N rendah atau optimal dapat dihasilkan dari pasangan inbrida yang cocok pada kondisi N rendah dan atau optimal. Inbrida yang cocok pada lingkungan target belum tentu dapat menghasilkan hibrida yang cocok pada lingkungan target tersebut.



Gambar 1. Titik indeks respon hasil biji genotipe (hibrida dan inbrida) pada pupuk N rendah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis DGU dan DGK menunjukkan bahwa di antara inbrida yang diuji terdapat perbedaan DGU dan DGK, tetapi tidak terdapat perbedaan yang nyata persilangan resiprokalnya, baik pada kondisi pupuk N optimal maupun rendah. Potensi hibrida yang dihasilkan dari dua persilangan tidak ada pengaruh maternal.

Hibrida jagung yang cocok pada kondisi N rendah dapat dihasilkan dari pasangan inbrida yang cocok pada kondisi N rendah dan atau optimal. Hibrida H3, H7, dan H9 merupakan hibrida yang cocok pada kondisi pupuk N rendah.

Hibrida yang cocok pada kondisi N rendah perlu diuji adaptabilitasnya pada lingkungan yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguiar, C. G., I. Schuster, A.T. Amaral, C.A. Scapim, E.S. Vieira. 2008. Heterotic groups in tropical maize germplasm by test crosses and simple sequence repeat markers. *Genet. Mol. Res.* 2008;7(4):1233-1244.
- Apraku, B.B. and R.O. Akinwale. 2011. Identification of early-maturing maize inbred lines based on multiple traits under drought and low N environments for hybrid development and population improvement. *Can. J. Plant Sci.* 91: 931-942.
- Banziger, M., G.O. Edmeades, D. Beck, and M. Belon. 2000. Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: From theory to practice. Mexico, D.F.:CIMMYT.
- Betran, F.J., D. Beck, M. Banziger, and G.O. Edmeades. 2003. Genetic analysis of inbred and hybrid grain yield under stress and nonstress environments in tropical maize. *Crop Sci.* 43:807-817.
- Chen, F.J., Z.G. Fang, Q. Gao, Y.L. Ye, L.L. Jia, L.X. Yuan, G.H. Mi and F.S. Zhang. 2013. Evaluation of the yield and nitrogen use efficiency of the dominant maize hybrids grown in north and northeast China. *Sci. China Life Sci.* 56(6):552-560 doi:10.1007/s11427-013-4462-8.
- Fan, X.M., Y.M. Zhang, W.H. Yao, H.M. Chen, J. Tan, C.X. Xu, X.L. Han, L.M. Lu^a and M.S. Kang. 2009. Classifying Maize Inbred Lines into Heterotic Groups using a Factorial Mating Design. *Agron. J.* 101(1):106-112.
- Hayati, R., Munandar, dan Irmawati. 2008. Pertumbuhan akar dan tajuk serta hasil beberapa varietas/galur jagung pada kondisi defisiensi hara. *Zuriat* 19(1):86-94.
- Subandi. 1984. Performance of corn gene pools and selected half sib families. *Contribution* 72:1-11.
- Sutoro, Sustiprijatno, Hadiatmi, Dinar Ambarwati, Sri Gajatri Budiarti, Mamik Setyowati dan Edy Listanto. 2010. Perakitan 30 hibrida jagung dan 5 Tanaman Transforman Jagung Regenerasi Awal (R0) untuk peningkatan efisiensi penggunaan pupuk N < 50%, umur genjah < 85 hari dan produktivitas 10 ton/ha. Laporan Penelitian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian. Bogor.
- Syafruddin. 2004. Genotipe jagung efisien hara P. *Buletin Plasma Nutfah* 10(1): 17-22.
- Legesse, B.W., K.V. Pixley dan A.M. Botha. 2009. Combining ability and heterotic grouping of highland transition inbred lines. *Maydica* 54:1-9.
- Liang, C., Guohua Mi, Jiansheng Li, Fanjun Chen, Fusuo Zhang. 2005. Genetic analysis of maize root characteristics in response to low nitrogen stress. *Plant and Soil* 276(1-2): 369-382.
- Made, J.M., M. Azrai dan R.N. Iriany. 2007. Pembentukan varietas unggul jagung bersari bebas. *Dalam Sumarno et al.* (Eds) Jagung: Teknik Produksi dan Pengembangan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor. p.42-54.
- Reif, J.C., A.E. Melchinger, X.C. Xia, M.L. Warburton, D.A. Hoisington, S.K. Vasal, G. Srinivasan, M. Bohn, and M. Frisch. 2003. Genetic distance based on simple sequence repeats and heterosis in tropical maize populations. *Crop Sci.* 43:1275-1282.
- Reif, J.C., A.R. Hallauer, A.E. Melchinger. 2005. Heterosis and heterotic patterns in maize. *Maydica* 50:215-223.
- Reif, J.C., S. Fischer, T.A. Schrag, K.R. Lamkey, D. Klein, B.S. Dhillon, H.F. Utz, A.E. Melchinger. 2010. Broadening the genetic base of European maize heterotic pools with US Cornbelt germplasm using field and molecular marker data. *Theor. Appl. Genet.* 120(2):301-10. doi: 10.1007/s00122-009-1055-9.
- Singh, R.K. dan B.D. Chaudhary. 1977. Biometrical methods in quantitative genetic analysis. Kalyani Publisher. New Delhi. 304p.
- Viana, J.M.S. and F.P. Matta. 2003. Analysis of general and specific combining abilities of popcorn populations, including selfed parents. *Genetics and Molecular Biology* 26(4): 465-471.
- Villarreal, S., F. Antonio, N. Leon, L. Alberto, V. Cabrera, F. Alirio. 2008. General and specific combining ability of efficient corn inbreds to low phosphorus. *Acta Agronomica Palmira* 57(3): 155-160.
- Worku, M., M. Banziger, D. Friesen, E.G. Schulte, W.J. Horst, B.S. Vivek. 2008. Relative importance of general combining ability and specific combining ability among tropical maize (*Zea mays* L.) inbreds under contrasting nitrogen environments. *Maydica* 53: 279-288.