

DAYA GABUNG DAN HETEROsis KARAKTER VEGETATIF, GENERATIF, DAN DAYA HASIL JARAK PAGAR (*Jatropha curcas L.*) MENGGUNAKAN ANALISIS DIALEL

*Combining Ability and Heterosis of Vegetative, Generative, and Yield Potential Characters of Physic Nut (*Jatropha curcas L.*) using Diallel Analysis*

Rr. SRI HARTATI¹⁾ dan SUDARSONO²⁾

¹⁾ Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan Bogor
Jalan Tentara Pelajar No. 1 Bogor, 16111

²⁾ Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian IPB
Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga Bogor, 16680

email: tatikdjoe@yahoo.com

(Diterima: 31-10-2014; Direvisi: 26-1-2015; Disetujui: 13-2-2015)

ABSTRAK

Perakitan varietas unggul memerlukan informasi daya gabung tetua, baik umum maupun khusus. Tetua dengan daya gabung umum (DGU) tinggi berpotensi menghasilkan varietas sintetis atau komposit. Sementara itu, tetua dengan daya gabung khusus (DGK) tinggi berpotensi menghasilkan varietas hibrida. Tujuan penelitian adalah mengetahui daya gabung tetua jarak pagar yang dapat menghasilkan hibrida atau populasi komposit. Sepuluh tetua, yaitu 1 tetua berdaya hasil rendah, 6 menengah, dan 3 tinggi digunakan dalam persilangan dialel lengkap. Evaluasi dilaksanakan di Kebun Percobaan Balittri Pakuwon Sukabumi, mulai Agustus 2008 sampai Juli 2011 menggunakan Rancangan Acak Kelompok tiga ulangan. Karakter yang diamati yaitu tinggi tanaman, lingkar batang, lebar kanopi, umur mulai berbunga, serta jumlah cabang total, cabang produktif, infloresen, tandan, *fruit set*, dan buah per tanaman. Analisis dialel menggunakan metode I Griffing. Hasil penelitian menunjukkan ratio ragam DGU dan DGK lebih besar daripada satu ($\sigma_{DGU}/\sigma_{DGK} > 1$) pada semua karakter yang dievaluasi. Tetua 3012-1 dan PT 15-1, yang berdaya hasil tinggi, memiliki DGU tinggi pada karakter umur mulai berbunga, lebar kanopi, serta jumlah cabang total, cabang produktif, infloresen, tandan, dan buah. Tetua PT 33-2, yang berdaya hasil menengah, memiliki DGU tinggi pada karakter umur mulai berbunga, serta jumlah cabang total, cabang produktif, infloresen, dan buah. Sementara itu, tetua 575-3, yang berdaya hasil rendah, memiliki DGU tinggi pada lingkar batang. Tetua PT 33-2, 3012-1, dan PT 15-1 berpotensi sebagai penyusun populasi dasar untuk pembentukan varietas sintetik yang cepat berbunga dan berdaya hasil tinggi. Tetua 575-3 berpotensi untuk dirakit sebagai varietas yang memiliki lingkar batang besar dan berbunga lambat.

Kata kunci: daya gabung umum, daya gabung khusus, gen aditif, komposit, *Jatropha curcas L.*

ABSTRACT

General Combining Ability (GCA) and Specific Combining Ability (SCA) are important in creating high yielding varieties. A parent having high GCA is appropriate to produce synthetic or composite varieties, while high SCA is to produce hybrid. The research objective is to find out the information of parents combining ability in *Jatropha curcas L.* Research was conducted using diallel analysis. Ten genotypes i.e. 1 low yielding parent, 6 medium, and 3 high were used to generate F1 arrays with full diallel analysis. Evaluation was conducted at Indonesian Spice and Industrial Crops Research Institute Experimental Station, using Randomized Block Design from August until July 2011. The observation

were plant height, stem girth, canopy width, days to flowering, and number of total branches, productive branches, inflorescences, bunches, fruit set percentages; and fruit per plant. Diallel analysis was using Griffing Model I. Results showed that general variance, each of GCA and SCA ratio, is more than one ($\sigma_{GCA}/\sigma_{SCA} > 1$) in all evaluated characters. High yielding parents of 3012-1 and PT 15-1 exhibited high GCA on days to flowering, canopy width, and number of total branches, productive branches, inflorescences, bunches, and fruits. Medium yielding parents of PT 33-2 exhibited high GCA for days to flowering, number of total branches, productive branches, inflorescences, and fruits. Low yielding genotype of 575-3 exhibited high on stem girth. PT 33-2, 3012-1, and PT 15-1 could be used for developing early flowering and high yielding varieties, while 575-3 was suitable for producing big stem girth and late flowering varieties.

Key word: general combining ability, specific combining ability, additive gen, composite, *Jatropha curcas L.*

PENDAHULUAN

Kebutuhan tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas L.*) berdaya hasil tinggi merupakan salah satu hal penting untuk pengembangan varietas unggul. Kegiatan perakitan varietas telah dimulai dengan berbagai cara, tetapi sejauh ini hasil yang diperoleh masih belum memuaskan. Hingga saat ini, potensi produktivitas jarak pagar varietas IP-1, IP-2, dan IP-3 adalah 200, 400, dan 600 buah per tanaman per tahun pada tahun pertama atau setara dengan 1, 2, dan 3 ton biji kering per ha, dinilai belum memberikan keuntungan yang layak untuk diusahakan. WIDIARSIH dan DWIMAHYANI (2010) melaporkan radiasi pada jarak pagar telah menghasilkan galur-galur mutan dengan kandungan minyak biji mencapai 45%, jauh lebih tinggi dibanding tetuanya yang hanya 28%, tetapi produksi buah per pohon relatif masih rendah, hanya 200 g biji kering. MAFTUCHAH *et al.* (2013), yang melakukan persilangan antar sejumlah tetua terpilih jarak pagar, melaporkan adanya hasil persilangan yang lebih baik dari tetuanya, yaitu SP 38 × HS 49,

diperoleh hasil biji 1.170 kg biji kering/ha. Tetapi, hasil yang telah dicapai ini masih belum ekonomis untuk dikembangkan, yaitu minimal 2 ton/ha (KEMALA, 2006). Sementara itu, CHENGXIN *et al.* (2014) memperkenalkan varietas baru JO S2 yang memiliki potensi produksi mencapai 2,95 ton biji kering per ha pada tahun pertama dan 4,25 ton biji kering per ha pada tahun kedua. Meskipun jarak pagar belum dikembangkan hingga saat ini, penelitian tidak harus terhenti terutama di bidang pemuliaan.

Untuk merakit varietas yang berdaya hasil tinggi, diperlukan informasi daya gabung tetua, baik daya gabung umum (DGU) maupun daya gabung khusus (DGK). Persilangan dialel merupakan metode yang banyak dilakukan untuk mengetahui kemampuan menggabung setiap individu dalam persilangan. Metode ini digunakan untuk mengetahui tetua-tetua yang berpotensi untuk digunakan dalam program persilangan untuk menghasilkan varietas unggul baru (MALIK *et al.*, 2004).

Dalam analisis dialel, salah satu asumsi yang harus dipenuhi adalah tetua yang digunakan harus homosigot. Meskipun tetua homosigot merupakan salah satu ketentuan yang harus dipenuhi, sejumlah peneliti yang bekerja pada tanaman menyerbuk silang memilih metoda dialel dan menggunakan tetua heterosigot dalam persilangannya, diantaranya pada tanaman jeruk (IWATA *et al.*, 2002), ubi kayu (OWOLADE *et al.*, 2006), dan karet (OMOKHAFE *et al.*, 2007).

Pada tanaman jarak pagar, yang merupakan tanaman tahunan dan menyerbuk silang, penggunaan tetua homosigot relatif sulit dipenuhi karena dibutuhkan waktu yang relatif lebih lama untuk memperoleh galur-galur homosigot. Oleh sebab itu, persilangan dialel dilakukan dengan menggunakan tetua heterosigot. Penggunaan tetua heterosigot pada persilangan dialel juga pernah dilakukan DICKINSON dan JINKS (1956).

Tujuan penelitian ini adalah menduga DGU, DGK, dan heterosis sejumlah karakter, terutama daya hasil, dari tetua-tetua berpotensi, serta mengetahui tetua dan kombinasi persilangan yang berpotensi untuk dimanfaatkan dalam program perakitan varietas jarak pagar berdaya hasil tinggi.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar, Pakuwon Sukabumi. Kegiatan penelitian dimulai bulan Agustus 2008 hingga Juli 2011.

Pembentukan Populasi F1

Sepuluh genotipe yang terdiri dari 1 genotipe berdaya hasil rendah (< 200 buah per tanaman pada tahun I), 6 sedang (200-400 buah), dan 3 tinggi (> 400-600 buah) digunakan sebagai tetua untuk menghasilkan populasi F1. Setiap tetua diperbanyak secara klonal menggunakan setek, masing-masing 10 setek. Persilangan dialel lengkap

menghasilkan 100 kombinasi persilangan menggunakan metode HARTATI dan HADI-SUDARMO (2007) mulai bulan Agustus 2008 sampai April 2009. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok dengan 3 ulangan, masing-masing unit ditanam sebanyak 5 tanaman yang ditanam dalam 1 barisan. Pemupukan dan pemeliharaan sesuai dengan pedoman budidaya jarak pagar (MAHMUD *et al.*, 2006). Selanjutnya, tanaman diamati mulai Agustus 2009 sampai Juli 2011.

Pengamatan

Pengamatan terdiri dari karakter vegetatif yang meliputi tinggi tanaman, lingkar batang, lebar kanopi, dan jumlah cabang total, karakter generatif, serta komponen hasil. Komponen hasil yang diamati meliputi umur mulai berbunga dan jumlah cabang produktif, infloresen per tanaman, tandan per tanaman, *fruit set*, dan buah per tanaman. Pengamatan dilakukan sejak bulan Agustus 2009-Juli 2011.

Analisis Data

Daya Gabung Umum (DGU), Daya Gabung Khusus (DGK), dan Pengaruh Resiprokal

Untuk mengetahui DGU, DGK, dan pengaruh resiprokal tetua yang digunakan, hasil uji F yang berbeda nyata selanjutnya dianalisis menggunakan analisis Dialet berdasarkan Metode I Model I GRIFFING (1956), yaitu menggunakan tetua, F1 dan resiproknya.

Heterosis

Nilai heterosis diduga berdasarkan nilai tengah kedua tetua (*mid parent*) dan tetua terbaik (*best parent*) atau heterobeltiosis.

$$\text{Heterosis} = \frac{\mu_{F1} - \mu_{MP}}{\mu_{MP}} \times 100\%$$

$$\text{Heterobeltiosis} = \frac{\mu_{F1} - \mu_{BP}}{\mu_{BP}} \times 100\%$$

Keterangan:

μ_{F1} = nilai tengah turunan

μ_{MP} = nilai tengah kedua tetua = $\frac{1}{2} (P_1 + P_2)$

μ_{BP} = nilai tengah tetua terbaik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Gabung Umum (DGU), Daya Gabung Khusus (DGK), dan Pengaruh Resiprokal

Hasil analisis ragam DGU, DGK, dan pengaruh resiprokal disajikan pada Tabel 1. Nilai DGU disajikan pada Tabel 2. Adanya keragaman yang berbeda nyata pada DGU maupun DGK pada karakter-karakter jarak pagar yang dievaluasi mengindikasikan adanya aksi gen aditif maupun non aditif yang mengendalikan karakter tersebut

secara bersama-sama. Adanya aksi gen aditif dan non aditif yang mengendalikan suatu karakter secara bersamaan banyak ditemukan juga pada tanaman selain jarak pagar, seperti karakter umur panen tanaman jagung (ALAM *et al.*, 2008), tinggi tanaman kapas (ABRO *et al.*, 2009), umur berbunga, tinggi tanaman, jumlah cabang dan buah, serta hasil biji per tanaman kacang faba (ALGHAMDI, 2009).

Dari hasil analisis terlihat bahwa karakter-karakter tanaman jarak pagar yang dikendalikan oleh gen aditif dan non aditif adalah lingkar batang, umur mulai berbunga,

serta jumlah infloresen, tandan, buah per tanaman, cabang total dan produktif (Tabel 1). Pada semua karakter tersebut, nilai kuadrat tengah DGU lebih tinggi dibanding DGK ($\sigma_{DGU}/\sigma_{DGK} > 1$). Hal ini menunjukkan aksi gen aditif lebih dominan dibanding non aditif. Hasil yang sama dilaporkan SANTANA *et al.*, (2013). Sementara itu, hasil yang berbeda dilaporkan oleh BIABANI *et al.* (2012) yang menyebutkan aksi gen non aditif pada jarak pagar yang diuji lebih dominan.

Tabel 1. Kuadrat tengah DGU, DGK, dan resiprokal karakter vegetatif dan generatif tetua terpilih jarak pagar yang dievaluasi
Table 1. Mean square of GCA, SCA, and reciprocal of vegetative and generative characters of selected physic nut parents

Karakter Characters	DGU GCA	DGK SCA	Resiprokal Reciprocal
Tinggi tanaman/Plant height (cm)	486,9716 tn	192,3904 tn	320,3325 tn
Lingkar batang/Stem girth (cm)	23,9288 **	14,9948 **	5,5702 tn
Lebar kanopi/Canopy width (cm)	1966,0880 **	593,3565 tn	835,2410 **
Jumlah cabang total/Number of total branches	21,0726 **	6,0243 **	7,4429 **
Umur mulai berbunga/Days to flowering	4386 **	2677 **	834 **
Jumlah cabang produktif/Number of productive branches	21,3062 **	5,7835 **	5,2311 **
Jumlah infloresen per tanaman/Number of inflorescences per plant	1363,2572 **	275,0691 **	140,0437 tn
Jumlah tandan per tanaman/Number of bunches per plant	1296,6040 **	240,1586 **	102,6085 **
Persentase infloresen menghasilkan buah/Fruit set	150,3197 **	37,1103 tn	44,0321 tn
Jumlah buah per tanaman/Number of fruits per plant	47023,1170 **	3993,1122 **	3082,4516 *
Jumlah buah per tandan/Number of fruits per bunch	33,6328 **	23,7676 **	32,2041 **

Keterangan: DGU = Daya Gabung Umum; DGK = Daya Gabung Khusus.

Notes: GCA = General Combining Ability; SCA = Specific Combining Ability (SCA)

Tabel 2. DGU tetua
Table 2. GCA parents

Karakter Characters	Tetua/Parents									
	1 (575-1)	2 (HS 49-2)	3 (IP 1A-2)	4 (PT 13-2)	5 SP 16-2)	6 (PT 33-2)	7 (3012-1)	8 (PT 15-1)	9 (PT 14-1)	10 (Sulsel 8)
TT/PH	2,83	1,53	-5,85	1,44	-0,07	5,29	11,36	9,87	6,18	5,32
LB/SG	2,64	1,14	0,34	0,54	1,72	1,26	1,86	1,60	1,32	2,21
LK/CW	-19,61	-5,07	-11,49	-10,07	-11,17	-3,52	3,90	9,78	-3,32	1,61
JCT/NTB	1,82	-0,05	-0,03	-0,37	-0,26	1,02	0,91	1,16	-0,51	0,08
UB/DF	34,20	5,76	0,85	3,13	6,56	-0,95	2,81	-3,91	12,30	14,50
JCP/NPB	-1,91	-0,08	-0,37	-0,75	-0,67	0,34	0,81	0,68	-0,72	-0,36
JI/NI	-19,23	-5,63	-5,82	-7,07	-9,93	-2,23	-2,39	-0,58	-7,68	-5,17
JT/NB	-18,22	-5,03	-7,75	-7,54	-12,72	-5,97	-3,25	-2,09	-7,68	-6,74
PB/FS	-6,20	-2,72	-5,54	-5,23	-4,01	-4,43	-2,53	-3,27	-2,09	-2,07
JB/NF	-122,27	-37,36	-54,73	-56,71	-79,30	-34,16	-17,76	-29,89	-64,35	-47,67
JBT/NFB	0,62	-0,18	0,60	-0,44	0,04	1,43	0,92	-0,74	-0,79	0,17

Keterangan: TT = tinggi tanaman; LB = lingkar batang; LK = lebar kanopi; JCT = jumlah cabang total; UB = umur berbunga JCP = jumlah cabang produktif; JI = jumlah infloresen; JT = jumlah tandan; PB = persentase infloresen menghasilkan buah; JB = jumlah buah per tanaman; JBT = jumlah buah per tandan.

Note : PH = plant height; SG = stem girth; CW = canopy width; NTB = number of total branches; DF = days to flowering; NPB = number of productive branches; NI = number of inflorescences; NB = number of bunches; FS = fruit set; NF = number of fruits per plant; NFB = number of fruits per bunch.

Pengaruh resiprokal yang berbeda nyata menunjukkan adanya kemungkinan terdapat pengaruh ekstrakromosomal. Artinya, karakter tersebut diwarisi secara maternal. Pengaruh maternal juga dilaporkan oleh OWOLADI *et al.* (2009) pada reaksi ketahanan genotipe cassava terhadap *Colletotrichum gloesporioides* f. sp. *manihotis*. Pada penelitian lain, JUMBO dan CARENA (2008) melaporkan dari seluruh sifat jagung yang diuji, hanya satu sifat, yaitu tinggi tongkol, yang menunjukkan adanya pewarisan maternal.

Hasil analisis daya gabung yang dilakukan terhadap populasi F1 dan 10 tetua menunjukkan tidak ada satu tetua yang memiliki DGU baik, untuk semua karakter yang dievaluasi (Tabel 2). Sementara itu, IQBAL *et al.* (2007) melaporkan pengamatan semua karakter tetua tanaman jagung tidak ada yang memiliki DGU yang baik.

Pada penelitian ini, untuk mengetahui tetua yang memiliki daya gabung baik, kesepuluh tetua dikelompokkan menjadi 3 kelas, yaitu tetua dengan nilai daya gabung tinggi (penggabung yang baik), sedang (penggabung menengah), dan rendah (penggabung yang kurang baik) (Tabel 3). Tetua yang memiliki DGU tinggi (penggabung yang baik) pada sejumlah karakter penting, terutama yang berkorelasi dengan hasil tanaman jarak pagar, cukup berpotensi untuk dimanfaatkan dalam perakitan varietas unggul. Apabila menggunakan tetua-tetua persilangan dengan nilai DGU tinggi, akan dihasilkan hibrida-hibrida yang memiliki vigor baik pada karakter yang bersangkutan. Genotipe yang memiliki nilai DGU tinggi dapat digunakan sebagai tetua penyusun varietas sintetik (*synthetic variety*) atau pembentuk populasi dasar melalui metode seleksi berulang (*recurrent selection*) (DARYANTO *et al.*, 2010).

Peluang pemanfaatan karakter tanaman, yang memiliki DGU baik dan berkorelasi dengan hasil, telah dilaporkan sejumlah peneliti. Diantaranya, KAMAU *et al.* (2010) yang melakukan penelitian pada tanaman ubi kayu. Karakter *Harvest Index* (HI) pada tanaman ubi kayu, yang berkorelasi positif dengan hasil umbi, dapat dimanfaatkan sebagai kriteria seleksi untuk memilih genotipe berdaya hasil tinggi. Hal yang sama dilakukan oleh LI *et al.* (1997) yang melakukan penelitian pada tanaman gandum (*Triticum*

timopheevi). Karakter yang dapat dimanfaatkan dalam program pemuliaan tanaman gandum adalah panjang internode bagian bawah maupun basal.

Disamping DGU, DGK tetua potensial akan memperbesar peluangnya untuk dimanfaatkan dalam program perbaikan bahan tanaman jarak pagar. Sejumlah kombinasi persilangan yang memiliki DGK yang baik pada sejumlah karakter adalah persilangan tetua 4 × 10 (PT 13-2 × Sulsel 8); 3 × 7 (IP 1A-2 × 3012 -1); 6 × 10 (PT 33-2 × Sulsel 8); 5 × 10 (SP 16-2 × Sulsel 8); 6 × 9 (PT 33-2 × PT 14-1); dan 2 × 6 (HS 49-2 × PT 33-2). Keenam kombinasi persilangan ini memiliki DGK baik, pada sedikitnya 5 dari 10 karakter yang dievaluasi, meliputi lingkar batang, lebar kanopi, serta jumlah cabang total, cabang produktif, infloresen, tandan, dan buah per tanaman (Tabel 4).

Persilangan, yang mampu menghasilkan nilai agronomik terbaik, diantara sejumlah kombinasi yang dievaluasi ditunjukkan oleh DGK. Suatu kombinasi persilangan tidak selalu memiliki DGK pada semua karakter. Hasil penelitian ini menunjukkan kombinasi persilangan tetua 4 × 10 (PT 13-2 × Sulsel 8); 3 × 7 (IP 1A-2 × 3012 -1); 6 × 10 (PT 33-2 × Sulsel 8); 5 × 10 (SP 16-2 × Sulsel 8); 6 × 9 (PT 33-2 × PT 14-1); dan 2 × 6 (HS 49-2 × PT 33-2) memiliki DGK baik, hanya pada beberapa karakter yang dievaluasi.

Kombinasi persilangan yang memiliki DGK tinggi, biasanya dihasilkan dari persilangan tetua-tetua dengan DGU tinggi atau paling sedikit satu tetuanya memiliki DGU tinggi (SUJIPRIHATI *et al.*, 2001). Tetapi, pada penelitian jarak pagar ini kombinasi persilangan dengan DGK tinggi tidak selalu berasal dari persilangan tetua yang memiliki DGU tinggi. Beberapa kombinasi persilangan dengan DGK tinggi dan memiliki salah satu tetua dengan DGU tinggi ditunjukkan pada persilangan 4 × 10 (PT 13-2 × Sulsel 8); 3 × 7 (IP 1A-2 × 3012-1); 6 × 10 (PT 33-2 × Sulsel 8); 5 × 10 (SP 16-2 × Sulsel 8); 6 × 9 (PT 33-2 × PT 14-1); dan 2 × 6 (HS 49-2 × PT 33-2). Sementara itu, sejumlah kombinasi persilangan lainnya dengan DGK tinggi tidak memiliki satupun tetua dengan DGU tinggi.

Tabel 3. Pengelompokan nilai DGU sepuluh tetua jarak pagar
Table 3. GCA cluster of ten phisic nut parents

Karakter Characters	Nomor Tetua/Parent Number		
	DGU tinggi High GCA	DGU sedang Medium GCA	DGU rendah Low GCA
Tinggi tanaman/Plant height (cm)	7, 8, 9	10, 6, 1, 2	4, 5, 3
Lingkar batang/Stem girth (cm)	1, 10, 7	5, 8, 9, 6	2, 4, 3
Lebar kanopi/Canopy width (cm)	8, 7, 10	9, 6, 2, 4	5, 3, 1
Jumlah cabang total/Number of total branches	1, 8, 6	7, 10, 3, 2	5, 4, 9
Umur berbunga/Days to flowering	8, 6, 3	7, 4, 2, 5	10, 9, 1
Jumlah cabang produktif/Number of productive branch	7, 8, 6	2, 10, 3, 5	9, 4, 1
Jumlah infloresen per tanaman/No. of inflorescences per plant	8, 6, 7	10, 2, 3, 4	9, 5, 1
Jumlah tandan per tanaman/No. of bunches per plant	8, 7, 2	6, 10, 4, 9	3, 5, 1
Persentase tandan menghasilkan buah/Fruit set	10, 9, 7	2, 8, 5, 6	4, 3, 1
Jumlah buah per tanaman/Number of fruits per plant	7, 8, 6	2, 10, 3, 4	9, 5, 1

Tabel 4. Kombinasi persilangan antar sepuluh tetua yang memiliki DGK tinggi
Table 4. Crosses among ten parents with high of SCA

Karakter Characters	DGU tinggi High GCA	DGK (10 terbaik) SCA (the best ten)
Tinggi tanaman/ <i>Plant height (cm)</i>	7, 8, 9	tn
Lingkar batang/ <i>Stem girth (cm)</i>	1, 10, 7	$4 \times 5; 1 \times 7; 6 \times 9; 4 \times 10; 2 \times 6;$ $6 \times 7, 1 \times 2; 3 \times 6; 5 \times 10; 6 \times 8$
Lebar kanopi/ <i>Canopy width (cm)</i>	8, 7, 10	$6 \times 8; 3 \times 7; 4 \times 10; 5 \times 10; 4 \times 5;$ $1 \times 9; 3 \times 5; 1 \times 7; 2 \times 7; 1 \times 2$
Jumlah cabang total/ <i>Total number of branches</i>	1, 8, 6	$1 \times 6; 4 \times 10; 2 \times 10; 7 \times 9; 3 \times 7;$ $1 \times 5; 2 \times 4; 5 \times 10; 6 \times 10; 6 \times 9$
Umur berbunga/ <i>Days to flowering</i>	8, 6, 3	$1 \times 5; 3 \times 8; 4 \times 6; 2 \times 10; 7 \times 9;$ $5 \times 6; 4 \times 8; 7 \times 10; 2 \times 4; 2 \times 3$
Jumlah cabang produktif/ <i>Number of productive branch</i>	7, 8, 6	$4 \times 10; 1 \times 5; 6 \times 10; 3 \times 7; 1 \times 6,$ $2 \times 8, 2 \times 6, 1 \times 9, 6 \times 9, 1 \times 10$
Jumlah infloresen per tanaman/ <i>Number of inflorescences per plant</i>	8, 6, 7	$3 \times 5, 6 \times 10, 4 \times 10, 2 \times 5, 3 \times 7, 5 \times 10,$ $7 \times 8, 6 \times 9, 1 \times 9, 2 \times 6$
Jumlah tandan per tanaman/ <i>Number of bunch per plant</i>	8, 7, 2	$4 \times 10, 6 \times 10, 6 \times 9, 2 \times 5, 2 \times 6, 7 \times 8,$ $5 \times 9, 3 \times 7, 8 \times 9, 2 \times 10$
Persentase infloresen jadi buah/ <i>Fruit set</i>	10, 9, 7	tn
Jumlah buah per tanaman/ <i>Number of fruits per plant</i>	7, 8, 6	$5 \times 10, 4 \times 10, 3 \times 7, 6 \times 9, 6 \times 10, 6 \times 7,$ $2 \times 6; 2 \times 5; 5 \times 6; 2 \times 10$

Hal yang sama ditemukan pada tanaman lain. IQBAL *et al.* (2007), yang melakukan penelitian pada tanaman jagung, melaporkan hasil persilangan antar sejumlah tetua yang merupakan penggabung yang terbaik pada karakter tertentu, tidak selalu menghasilkan keturunan yang memiliki DGK terbaik pada karakter tersebut. Akan tetapi, persilangan tetua yang memiliki DGU menengah dengan tetua yang memiliki DGU rendah, ternyata dapat menghasilkan keturunan yang memiliki DGK baik. Hal ini dapat disebabkan adanya interaksi antar alel-alel positif tetua yang memiliki DGU menengah dengan alel-alel negatif dari tetua yang memiliki daya gabung rendah.

Pada penelitian ini, tetua 4 (PT 13-2) dan 10 (Sulsel 8) merupakan penggabung menengah dan kurang baik untuk karakter-karakter yang dievaluasi. Persilangan keduanya (4×10) menghasilkan keturunan yang memiliki DGK baik, pada hampir semua karakter yang dievaluasi. Diduga, terjadi interaksi antar alel positif dari tetua yang memiliki DGU menengah dengan alel negatif dari tetua yang memiliki daya gabung rendah. Hal yang sama diduga terjadi juga pada persilangan lainnya. Nilai karakter yang dihasilkan dari kombinasi persilangan antar tetua yang memiliki DGU sedang dan rendah seperti ini biasanya kurang stabil sehingga harus dievaluasi lebih lanjut terutama tingkat heterosisnya. Sementara itu, kombinasi persilangan antar tetua yang memiliki nilai daya gabung rendah, tetapi menghasilkan nilai karakter tinggi dapat disebabkan adanya pengaruh dominansi lebih (*over dominant*) dan epistasis (IQBAL *et al.*, 2007).

Kombinasi persilangan yang memiliki nilai DGK tinggi dapat dipertimbangkan sebagai tetua pembentuk varietas hibrida. Sejumlah hasil penelitian pada berbagai jenis tanaman memanfaatkan nilai DGK sejumlah tetua untuk menghasilkan hibrida yang memiliki nilai karakter yang lebih baik. Peningkatan hasil pada tanaman kapas di Turki dapat dilakukan dengan menyilangkan Tamcot CAMD-E \times Carmen; Nazilli-84 \times PD 6168; DPL 5690 \times Tamcot CAMD-E; dan Tamcot CAMD-E \times PD 6168 yang memiliki DGK pada karakter-karakter berat serat per buah dan tanaman serta rasio kehalusan dan panjang serat (BASAL dan TURGUT, 2003).

Hibrida yang baik umumnya diperoleh dari hasil persilangan tetua-tetua yang memiliki DGU, DGK, serta nilai heterosis dan atau heterobeltiosis yang tinggi. Pada tanaman jarak pagar, untuk karakter tinggi tanaman dan umur berbunga, yang dipilih bukan nilai tertinggi. Yang lebih disukai pada tanaman jarak pagar adalah tidak terlalu tinggi. Hal ini dikarenakan tanaman yang terlalu tinggi akan menyulitkan proses panen secara manual, sedangkan umur mulai berbunga yang dikehendaki adalah relatif genjah sehingga dapat mulai dipanen lebih awal.

Disamping karakter tinggi tanaman dan umur mulai berbunga, tetua yang dibutuhkan pada tanaman jarak pagar adalah memiliki DGU dan DGK baik pada sejumlah karakter yang berkorelasi dengan hasil biji. Hal ini dikarenakan yang dimanfaatkan dari tanaman jarak pagar adalah minyak bijinya. Hasil biji merupakan fungsi dari jumlah buah dan bobot biji (HASNAM, 2007). Oleh karena

itu, karakter-karakter yang berkorelasi dengan jumlah buah juga merupakan hal penting yang perlu dipertimbangkan dalam program perbaikan bahan tanaman jarak pagar. Dari hasil penelitian ini, beberapa karakter yang berkorelasi dengan jumlah buah adalah lebar kanopi, jumlah cabang total dan produktif, serta jumlah infloresen per tanaman dan tanaman. Tetua yang memiliki DGU dan DGK yang baik pada lebar kanopi, jumlah cabang total dan produktif serta jumlah infloresen dan tandan per tanaman perlu mendapat perhatian dalam program pemuliaan jarak pagar yang bertujuan memperbaiki daya hasil.

Heterosis

Pada tanaman jarak pagar, karakter yang menjadi perhatian adalah hasil biji yang merupakan fungsi dari jumlah buah per tanaman dan bobot biji (HASNAM, 2007). Bahan tanaman jarak pagar dapat diperbaiki melalui jumlah buah per tanaman ataupun karakter-karakter yang berkorelasi dengan jumlah buah per tanaman, seperti lebar kanopi, jumlah cabang total dan produktif serta jumlah infloresen dan tandan buah. Hasil analisis korelasi pada tanaman jarak pagar yang dievaluasi menunjukkan jumlah cabang total merupakan karakter vegetatif yang cukup konsisten berkorelasi dengan jumlah buah per tanaman sehingga karakter ini perlu dievaluasi lebih lanjut.

Berdasarkan nilai heterosis dan heterobeltiosis 100 F1 hasil persilangan diketahui bahwa persilangan 6 x 5 (PT 33-2 x SP 16-2); 6 x 9 (PT 33-2 x PT 14-1); 10 x 5 (Sulsel 8 x SP 16-2); dan 10 x 6 (Sulsel 8 x PT 33-2) memiliki heterosis pada jumlah buah per tanaman dengan rataan jumlah buah yang dihasilkan berturut-turut 351, 269, 321, dan 285 buah per tanaman (Tabel 5). Adanya heterosis pada persilangan jarak pagar juga dilaporkan oleh TAR *et al.* (2011) dan ISLAM *et al.* (2011). Sejumlah persilangan lainnya tidak menunjukkan adanya heterosis dan sebagian menunjukkan nilai negatif. Nilai heterosis negatif juga ditemukan pada sejumlah hasil penelitian. ALAM *et al.* (2008) melaporkan karakter-karakter yang dikendalikan gen aditif pada tanaman jagung, yaitu umur panen, jumlah biji per tongkol, dan bobot 100 biji memiliki nilai heterosis dan heterobeltiosis negatif. ALGHAMDI (2009) melaporkan karakter umur berbunga, tinggi tanaman, jumlah cabang per

tanaman, jumlah buah per tanaman dan per cabang, hasil biji per tanaman, serta bobot 100 biji pada tanaman kacang faba dikendalikan oleh gen aditif.

Kombinasi persilangan yang menghasilkan F1 dengan heterosis pada umumnya adalah antar tetua yang memiliki nilai DGU dan DGK tinggi. Pada penelitian ini terlihat tetua 6 cukup konsisten dengan nilai DGU, DGK, dan heterosis yang tinggi untuk karakter jumlah cabang total dan buah per tanaman.

Nilai heterosis yang tinggi berkaitan dengan aksi gen yang mempengaruhi karakter tersebut. PEREZ-GRAJALES *et al.* (2009) melaporkan hasil buah cabai pedas (*Capsicum pubescens* R & P) memiliki nilai heterosis yang tinggi karena dikendalikan oleh aksi gen non aditif. HLADNI *et al.* (2006) melaporkan karakter hasil minyak pada tanaman bunga matahari dikendalikan oleh gen non aditif, yang ditunjukkan oleh rasio DGU/DGK ($\sigma_{DGU}/\sigma_{DGK}$) yang lebih kecil dari satu. Pada penelitian jarak pagar ini, rasio $\sigma_{DGU}/\sigma_{DGK}$ atau karakter-karakter yang dievaluasi lebih besar dari 1, artinya aksi gen aditif lebih dominan dibanding non aditif.

Meskipun sejumlah kombinasi persilangan menunjukkan heterosis, seperti persilangan 6 x 5, 6 x 9, 10 x 5, dan 10 x 6, jumlah buah per tanaman F1 yang dihasilkan belum menunjukkan peningkatan yang signifikan dibanding tetua berdaya hasil tinggi. Jumlah buah yang dihasilkan berkisar dari 285-351 per tanaman. Rendahnya daya hasil populasi F1 yang dihasilkan, diduga disebabkan oleh aksi gen aditif yang lebih dominan dari non aditif. Hal tersebut ditunjukkan oleh besarnya rasio nilai DGU dan DGK ($\sigma_{DGU}/\sigma_{DGK} > 1$) pada semua karakter yang dievaluasi, termasuk karakter jumlah buah (Tabel 4). Nilai heterosis yang rendah maupun negatif pada sejumlah populasi F1 jarak pagar yang dihasilkan dapat disebabkan beberapa hal, diantaranya tetua yang digunakan bukan homosigot dan memiliki jarak genetik yang tidak terlalu jauh. Rendahnya nilai daya hasil dari hibrida yang memiliki heterosis tinggi juga ditemukan pada sejumlah tanaman. Hasil penelitian DARYANTO *et al.* (2010) pada tanaman cabai menunjukkan hibrida-hibrida yang memiliki nilai heterosis tinggi tidak selalu memiliki daya hasil tinggi.

Tabel 5. Heterosis (H_{MP}) dan Heterobeltiosis (H_{BP}) beberapa populasi F1 pada karakter jumlah buah per tanaman
Table 5. Heterosis (H_{MP}) and heterobeltiosis (H_{BP}) of several F1 population of fruits per plant number

Persilangan Crosses	P1	P2	F1	MP	H_{MP}	H_{BP}
6 x 5	250	238	351	244	44	40
6 x 9	250	260	269	255	5	3
10 x 5	186	238	321	212	51	35
10 x 6	186	250	285	218	31	14

KESIMPULAN

Sepuluh tetua yang dievaluasi memiliki daya gabung yang berbeda pada karakter yang dievaluasi. Pada semua karakter yang dievaluasi, $\sigma_{DGU}/\sigma_{DGK} > 1$ menunjukkan peran gen aditif lebih besar dari non aditif. Tetua 7 (3012-1) dan 8 (PT 15-1) yang berdaya hasil tinggi ($> 400 - 600$ buah per tanaman) memiliki DGU tinggi pada karakter lebar kanopi, jumlah cabang total, umur mulai berbunga, serta jumlah cabang produktif, buah, infloresen, dan tandan. Tetua 6 (PT 33-2) yang berdaya hasil sedang (200-400 buah per tanaman) memiliki DGU tinggi pada karakter jumlah cabang total, cabang produktif, infloresen, dan buah. Tetua 1 (575-3) yang berdaya hasil rendah (< 200 buah per tanaman) memiliki DGU yang rendah pada karakter umur mulai berbunga dan jumlah buah, tetapi DGU tinggi pada karakter lingkar batang. Tetua 6 (PT 33-2), 7 (3012-1) dan 8 (PT 15-1) berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai tetua-tetua penyusun populasi dasar untuk pembentukan varietas sintetik berdaya hasil tinggi. Kombinasi persilangan antar tetua berdaya hasil tinggi \times tinggi, tinggi \times sedang, dan sedang \times sedang, berpotensi menghasilkan individu yang memiliki nilai heterosis dan atau heterobeltiosis tinggi pada karakter jumlah buah per tanaman dengan daya hasil sangat tinggi (> 600 buah per tanaman).

DAFTAR PUSTAKA

ABRO, S., M.M. KANDHRO, S. LAGHARI, M.A. ARIN, and Z.A. DEHO. 2009. Combining ability and heterosis for yield contributing traits in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Pak. J. Bot. 41(4): 1769-1774.

ALAM, A.K.M.M., S. AHMED, M. BEGUM, and M.K. SULTAN. 2008. Heterosis and combining ability for grain yield and its contributing characters in maize. Bangladesh J. Agric. Res. 33(3): 375-379.

ALGHAMDI, S.S. 2009. Heterosis and combining ability in a diallel cross of eight faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. Asian J. of Crops Sci. 1(2): 66-76.

BASAL, H. and U. TURGUT. 2003. Heterosis and combining ability for yield components and fiber quality parameters in a half diallel cotton (*Gossypium hirsutum* L.) population. Turk. J. Agric. Forest. 27: 207-212.

BIABANI, A., M.Y. RAFII, G. SALEH, M. SHABANIMOFRAD, and M.A. LATIF. 2012. Combining ability analysis and evaluation of heterosis in *Jatropha curcas* L. F₁-Hybrids. Aust. J. Crop Sci. 6(6): 1030-1036.

CHENGXIN, Y., C. REDDY, K. VARGHESE, T.N.H. BUI, S. ZHANG, M. KALLATH, B. KUNJACHEN, S. RAMACHANDRAN, and Y. HONG. 2014. A new *Jatropha curcas* variety (JO S2) with improved seed productivity. Sustainability. 6: 4355-4368.

DARYANTO, A., S. SUJIPRIHATI, and M. SYUKUR. 2010. Heterosis dan daya gabung karakter agronomi cabai (*Capsicum annuum* L.) hasil persilangan half diallel. J. Agron. Indonesia. 38(2): 113-121.

DICKINSON, A.G. and J.L. JINKS. 1956. A generalised analysis of diallel crosses. Genetics. 41: 65-78.

GRIFFING, B. 1956. Concept of general combining ability and specific combining ability in relation to diallel crossing system. Austr. J. Biol. Sci. 9: 463-493.

HARTATI, R.S. dan HADI-SUDARMO. 2007. Melakukan persilangan pada tanaman jarak pagar. InfoTek Jarak Pagar. 2(10): 37.

HASNAM. 2007. Faktor koreksi dalam menghitung produktivitas jarak pagar. InfoTek Jarak Pagar. 2(1): 1.

HLADNI, N., D. SKORIC, M. KRALJEVIC-BALALIC, Z. SAKAC, and D. JOVANOVIC. 2006. Combining ability for oil content and its correlations with other yield components in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Helia. 29(44): 101-110.

IQBAL, A.M., F.A. NEHVI, S.A. WANIS, R. QADIR, and Z.A. DAR. 2007. Combining ability analysis for yield and yield related traits in maize (*Zea mays* L.). Int. J. of Plant Breed. and Gen. 1(2): 101-105.

ISLAM, A.K.M., N. ANUAR, Z. YAAKOB, and M. OSMAN. 2011. Heterosis for seed yield and its components in jatropha (*Jatropha curcas* L.). Int. J. of Plant Breed. 5(9): 74-79.

IWATA, H., H. NESUMI, S. NINOMIYA, Y. TANAKO, and Y. UKAI. 2002. Diallel analysis of leaf shape variation of citrus varieties based on elliptic fourier descriptors. Breed. Sci. 52: 89-94.

JUMBO, M.B. and M.J. CARENA. 2008. Combining ability, maternal and reciprocal effects of elite maize population hybrid. Euphytica 162: 325-333.

KAMAU, J., R. MELIS, M. LAING, J. DERERA, P. SHANAHAN, and E. NGUGI. 2010. Combining the yield ability and secondary traits of selected cassava genotypes in the semi-arid areas of Eastern Kenya. J. of Plant Breed. and Crop Sci. 2(7): 181-191.

KEMALA, S. 2006. Simulasi usahatani jarak pagar, *Jatropha curcas* L. J. Littri. 12(3): 87-97.

LI, Y., J. PENG, and Z. LIU. 1997. Heterosis and combining ability for plant height and its components in hybrid wheat with *Triticum timopheevi* cytoplasm. Euphytica. 95: 337-345.

MAFTUCHAH, A. ZAINUDIN, dan H. SUDARMO. 2013. Production of physic nut hybrid progenies and their parental in various dry land. Agric. Sci. 4(1): 48-56.

MAHMUD, Z., A.A. RIVAIE, dan D. ALGORERUNG. 2006. Petunjuk Teknis Budidaya Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.). Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan. Bogor. 35 hlm.

MALIK, S.I., H.N. MALIK, N.M. MINHAS, dan M. MUNIR. 2004. General and specific combining ability studies in maize diallel crosses. Int. J. of Agric. & Biol. 6(5): 856-859.

OMOKHAFE, O.K., A. FREDERICK, AKPOBOME, and N. IBRAHIM. 2007. Diallel analysis of fruit set in *Hevea*

brasiliensis Muell. Arg. Gen. and Mol. Biol. 30(2): 428-430.

OWOLADE, O.F., A.G.O. DIXON, and A.Y.A. ADEOTI. 2006. Diallel analysis of cassava genotypes to anthracnose disease. World J. of Agric. Sci. 2(1): 98-104.

OWOLADE, O.F., A.G.O. DIXON, S.R. AKANDE, and S.A. OLAKOJO. 2009. A combining ability analysis of cassava *Manihot esculenta* Crantz genotypes to antrachnose disease. Am. J. Appl. Sci. 6(1): 172-178.

PEREZ-GRAJALES, M., V.A. GONZALES-HERNANDEZ, A. PENA-LOMELIL, and J. SAHAGUN-CASTELLANOS. 2009. Combining ability and heterosis for fruit yield and quality in manzano hot pepper (*Capsicum pubescens* R & P) landraces. Serie Hort. 15(1): 103-109.

SANTANA, U.A., J.L. SANDEZ DE CARVALHO, A.F. BLANK, and R. SILVA-MANN. 2013. Combining ability and genetic parameteers of physic nut genotypes for morphoagronomic traits. Pesq. Agropec. Bras. 48(11): 1449-1456. Doi: 10.1590/SO100-204X2013001100005.

SUJIPRIHATI, S., G.B. SALEH, dan S. ALI. 2001. Combining ability of yield and related characterizer in single cross hybrid. Sabrao J. 33: 111-120.

TAR, M.M., P. TANYA, and P. SRINIVES. 2011. Heterosis of agronomic characters in jatropha (*Jatropha curcas* L.) Kasetart J. (Nat. Sci). 45: 583-593.

WIDIARSIH, S. dan I. DWIMAHYANI. 2010. Peningkatan komponen produksi dan kandungan minyak biji tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) melalui pemuliaan mutasi. Bionatura. 12(3): 169-175.