

Heterosis F_1 Hibrida dan Daya Gabung Tiga Tipe Sitoplasma Mandul Jantan pada Padi

Heterosis of F_1 Hybrids and Combining Ability of Three Different Cytoplasmic Sterility Types in Rice

Yuni Widyastuti^{1*}, Bambang Sapta Purwoko², Muhamad Yunus³, Nita Kartina¹,
Bayu Pramono Wibowo¹, Indrastuti A. Rumanti¹, Satoto¹

¹Balai Besar Penelitian Tanaman Padi

Jl. Raya 9 Sukamandi Subang 41256, Jawa Barat, Indonesia

*E-mail: yuniweicrr@gmail.com

²Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, IPB

Jl. Meranti, Kampus IPB Darmaga 16680, Bogor Jawa Barat, Indonesia

³Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumber Daya Genetik Pertanian

Jl. Tentara Pelajar No. 3A Cimanggu, Bogor 16111, Indonesia

Naskah diterima 21 Juni 2017, direvisi 10 November 2017, disetujui diterbitkan 13 November 2017

ABSTRACT

The combining ability value provides information on the yield potential of parental lines on their F_1 hybrids. The objectives of the research were to study the combining ability of line (CMS/A) and tester (Restorer/R) on the form of hybrid, and to evaluate the performances of the hybrids. The research was conducted from November 2014 to February 2015 at Indonesian Center for Rice Research research station, in Sukamandi. Mating design and analysis were applied by using lines x tester design. Thirty hybrids and their parental lines were planted in the field using randomized complete block design with three replications. Male sterile line IR58025A shared the highest value of general combining ability (GMJ) for the characters of grain yield and for number of filled grain per panicle, while GMJ 14A was the best combiner for maturity, and seed set. Among the testers, PK 12 line was the best general combiner for maturity and seed set, while BP 11 was the best general combiner for number of filled grain per panicle. The experimental hybrids rice with high specific combining ability for grain yield were GMJ 14A/R 32 (Kalinga), GMJ 15A/R 32 (Gambiaca), and GMJ 13A/R3 (WA). The experimental hybrids showed 10% standard heterosis when compared to Maro (hybrid) and Ciherang (inbred) varieties, with the grain yielded of 12.4; 10.7 and 10.2 t/ha, respectively.

Keywords: Rice, hybrid, combining ability, heterosis, line x tester.

ABSTRAK

Uji daya gabung menyediakan informasi penting untuk pemilihan tetua dan F_1 hibrida yang berpotensi hasil tinggi. Analisis daya gabung ditujukan untuk mengevaluasi inbrida yang layak digunakan untuk perakitan varietas hibrida. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi daya gabung umum tetua dan gaya gabung khusus hibrida baru untuk karakter hasil dan komponen hasil, serta mengidentifikasi F_1 hibrida yang memiliki heterosis hasil tinggi. Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Sukamandi di Subang, Jawa Barat, pada

November 2014 sampai Februari 2015. Materi genetik yang digunakan adalah 30 F_1 hibrida yang merupakan hasil persilangan GMJ Kalinga (IR80156A dan GMJ 14A), Gambiaca (IR 80154A dan GMJ 15A), dan Wild Abortive (IR 58025A dan GMJ 13A) dengan lima galur pemulih kesuburan (PK12, PK90, BP11, R3, dan R32). Persilangan dirancang mengikuti metode galur x penguji. Percobaan menggunakan rancangan acak kelompok lengkap dengan tiga ulangan. Pengamatan dilakukan terhadap karakter agronomi. Hasil penelitian menunjukkan galur mandul jantan IR 58025A memiliki daya gabung umum terbaik untuk karakter jumlah gabah isi per malai, GMJ 14A penggabung terbaik untuk umur 50% berbunga dan jumlah gabah isi per malai sehingga dapat digunakan untuk merakit varietas hibrida dengan umur lebih pendek. Galur PK 12 merupakan penggabung umum terbaik untuk karakter umur 50% berbunga dan jumlah gabah isi per malai, sedangkan galur BP 11 penggabung terbaik untuk karakter jumlah gabah isi per malai. Hibrida yang memiliki nilai daya gabung tertinggi untuk karakter hasil gabah adalah GMJ 14A/R 32 (CMS-Kalinga), GMJ 15A/R 32 (CMS-Gambiaca), dan GMJ 13A/R3 (CMS-WA), dengan standard heterosis >10% lebih tinggi dibanding varietas Maro dan Ciherang, dengan hasil masing-masing 12,4 t/ha, 10,7 t/ha, dan 10,2 t/ha.

Kata kunci: Padi, hibrida, daya gabung, heterosis, galur x penguji.

PENDAHULUAN

Hibrida merupakan pendekatan dalam perakitan varietas dengan memanfaatkan gejala heterosis tanaman F_1 . Pembentukan varietas hibrida menggunakan galur mandul jantan atau *Cytoplasmic Male Sterile* (CMS) dan galur pemulih kesuburan merupakan komponen penting dalam produksi benih hibrida. Sampai saat ini lebih dari 20 tipe CMS telah teridentifikasi dan digunakan untuk memproduksi benih padi hibrida dengan teknik tiga galur (*three lines system*). Sebagian besar varietas

hibrida komersial menggunakan satu sumber CMS, yaitu Wild Abortive (Shah *et al.* 2012) dengan dominansi gen *Rf3* dan *Rf4* untuk pemulihan kesuburan. Ziju *et al.* (2016) berhasil membuat CMS melalui modifikasi *Rf3* dan *Rf4* dengan memasukkan gen *gs3*, *gw8*, *Wxst* dan *Alk* yang berasosiasi dengan kualitas gabah F_1 yang lebih baik. Selain itu, potensi hasil F_1 hibrida 20% lebih tinggi melalui penggunaan CMS dengan sumber sitoplasma CW-CMS yang dimasukkan ke varietas IR24 dan IR64 (Toriyama and Kazama 2016).

Nilai heterosis yang dapat dicapai oleh padi hibrida ditentukan oleh kemampuan daya gabung antara galur-galur tetua yang merupakan galur murni (Priyanka *et al.* 2014, Hasan *et al.* 2014). Galur-galur tetua merupakan tanaman hasil persilangan sendiri (*selfing*) secara terus-menerus. Analisis daya gabung merupakan metode penting untuk mengetahui aksi gen dan dapat digunakan untuk memilih tetua dengan daya gabung umum yang baik dan F_1 hibrida menggunakan daya gabung khusus tinggi (Zare *et al.* 2011). Analisis ini menyediakan informasi komponen genetik dan berguna bagi pemulia untuk memilih metode pemuliaan untuk varietas hibrida atau program pengembangan galur murni sebagai tetua padi hibrida (Mirarab & Ahmadikhah 2010). Daya gabung umum merupakan parameter genetik yang dapat menentukan kemampuan suatu galur murni melakukan rekombinasi dengan beberapa galur murni lainnya, sedangkan daya gabung khusus merupakan penampilan hibrida dari kombinasi persilangan tetua tertentu (Bello & Olaoye 2009).

Evaluasi heterosis penting dalam perakitan padi hibrida. Heterosis adalah keunggulan penampilan hibrida dibandingkan tetuanya. Fenomena ini dapat muncul apabila tetua dari hibrida memiliki alel yang berbeda dan terdapat beberapa tingkat dominansi di antara alel-alel tersebut (Falconer 1988). Heterosis dapat diukur pada hibrida baru dibandingkan dengan hasil dari tetua terbaik (*heterobeltiosis*), rata-rata kedua tetua (*mid-parent*) atau dibandingkan dengan varietas pembanding terpopuler (standar heterosis) (Virmani *et al.* 1997). Dalam kaitannya dengan komersialisasi padi hibrida, nilai standar heterosis dibanding varietas inbrida populer menjadi penting untuk pengembangannya di tingkat petani.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui daya gabung umum tetua dan gaya gabung khusus F_1 hibrida baru padi untuk karakter hasil dan komponen hasil, serta nilai heterosis hasil masing-masing F_1 hibrida baru.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilaksanakan di Kebun Percobaan Sukamandi Balai Besar Penelitian Tanaman Padi di

Subang, Jawa Barat, pada November 2014 sampai Februari 2015. Tiga puluh F_1 hibrida yang digunakan merupakan hasil persilangan galur mandul jantan (GMJ) tipe Wild Abortive (IR 58025A dan GMJ 13A), Kalinga (IR 80156A dan GMJ 14A), dan Gambiaca (IR 80154A dan GMJ 15A) dengan lima galur pemulih kesuburan, yaitu PK12, PK90, BP11, R3, dan R32. Galur IR 58025A, IR 80156A, IR 80154A, R3 dan R32 merupakan galur introduksi dari IRRI, sementara galur tetua yang lain berasal dari Balai Besar Penelitian Tanaman Padi (BB Padi). Varietas pembanding inbrida yang digunakan adalah Ciherang sedangkan varietas pembanding hibrida adalah Maro.

Persilangan dirancang mengikuti metode *Lines x Testers* (Singh & Chaudary 1979) atau metode Galur x Penguji. Penelitian menggunakan rancangan kelompok lengkap teracak dengan tiga ulangan, setiap satuan percobaan terdiri atas 60 rumpun tanaman. Masing-masing galur ditanam pada petak berukuran 1 m x 2,4 m, dengan jarak tanam 20 cm x 20 cm. Tiga puluh F_1 padi hibrida ditanam bersama galur pelestari (B) yang merupakan pasangan dari GMJ dan galur pemulih kesuburan (R) dari masing-masing persilangan pada lahan yang sama. Pemeliharaan dan pengendalian hama penyakit dilakukan secara optimum. Pemupukan diberikan sesuai dengan rekomendasi, yaitu 300 kg urea, 100 kg SP-36, dan 100 kg KCl. Pengamatan dilakukan terhadap karakter agronomi utama, yaitu tinggi tanaman, jumlah anakan produktif per rumpun, umur 50% berbunga, panjang malai, jumlah gabah isi per malai, persentase gabah isi per malai, bobot 1000 bulir gabah isi, dan hasil gabah.

Data yang diperoleh dianalisis mengikuti metode *Lines x Testers* (Singh & Chaudary 1979). Apabila hasil analisis ragam menunjukkan perbedaan yang nyata antarhibrida maka dilanjutkan dengan analisis Galur x Penguji untuk menduga nilai daya gabung sebagaimana rumus berikut:

- a. Pendugaan pengaruh daya gabung umum (DGU) lini dan tester

$$DGU_{(Galur)} = \frac{Y_{i..}}{tr} - \frac{Y_{...}}{ltr}$$

$$DGU_{(Penguji)} = \frac{Y_{i..}}{tr} - \frac{Y_{...}}{ltr}$$

- b. Pendugaan pengaruh daya gabung khusus (DGK)

$$DGK(ij) = \frac{Y_{ij}}{r} - \frac{Y_{i..}}{rt} - \frac{Y_{.j.}}{rl} + \frac{Y_{...}}{ltr}$$

Penghitungan nilai heterosis menggunakan rumus Virmani *et al.* (1997) yaitu:

$$\text{Mid-parent heterosis} = \frac{F_1 \text{ hibrida} - \text{Rata-rata kedua tetua}}{\text{Rata-rata kedua tetua}} \times 100\%$$

$$\text{Standar heterosis} = \frac{F_1 \text{ hibrida} - \text{Varietas pembanding}}{\text{Varietas pembanding}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Ragam dan Galur x Penguji

Analisis ragam menunjukkan terdapat perbedaan nyata pada sumber keragaman genotipe semua karakter yang diamati (Tabel 1), sehingga analisis dilanjutkan untuk mengurai sumber ragam genotipe. Analisis ragam mengindikasikan adanya perbedaan nyata pada sumber keragaman tetua semua karakter, kecuali bobot malai. Keragaman genetik tetua memberikan peluang untuk memperoleh heterosis tinggi pada suatu karakter (Jondhale *et al.* 2014).

Perbedaan nyata juga ditunjukkan oleh ragam tetua vs F_1 hibrida pada semua karakter yang diamati, kecuali jumlah gabah isi per malai. Hal tersebut mengindikasikan persilangan galur mandul jantan dengan galur pemulih kesuburan/restorer (R) menghasilkan heterosis positif maupun negatif yang terekspresi pada karakter tinggi tanaman, jumlah anakan produktif, umur 50% berbunga, panjang malai, gabah isi per malai, bobot 1000 butir, dan

bobot per rumpun (Tabel 1). Terdapat perbedaan yang nyata di antara Galur (galur mandul jantan) pada semua karakter kecuali tinggi tanaman dan bobot gabah per rumpun, sedangkan di antara galur penguji, terlihat keragaman nyata pada karakter umur 50% berbunga, panjang malai, jumlah gabah isi per malai, persentase gabah isi per malai, dan bobot 1.000 butir (Tabel 1). Interaksi Galur x Penguji hanya terdapat pada karakter umur 50% berbunga, panjang malai, jumlah gabah isi per malai, dan persentase gabah isi per malai. Menurut Virmani *et al.* (1997), kesuburan (jumlah gabah isi per malai) F_1 hibrida ditentukan oleh efektivitas pemulihan galur-galur pemulih kesuburan. Peranan galur mandul jantan dan galur restorer nyata menyumbang keragaman pada karakter jumlah gabah isi per malai dan bobot per malai, sehingga untuk merakit hibrida dengan heterosis tinggi pada kedua karakter perlu dilakukan perbaikan terhadap galur-galur tetua.

Pada penelitian ini, ragam daya gabung khusus lebih tinggi dibanding daya gabung umum untuk karakter umur 50% berbunga, persentase gabah isi per malai, dan bobot per rumpun (Tabel 1). Hal ini menunjukkan dominansi aksi gen non-aditif pada karakter tersebut. Menurut Tiwari *et al.* (2011), tingginya pengaruh DGK memperlihatkan adanya interaksi antara gen dominan dan epistasis yang mengendalikan ketiga karakter. Artinya, terdapat interaksi antara gen dominan pada lokus yang berlainan sehingga saat dua galur murni disilangkan maka gen-gen dominan berkumpul pada F_1 hibrida dan menyebabkan heterosis. Aksi gen non-aditif lebih tinggi dibanding aditif ideal untuk eksploitasi heterosis dalam pembentukan varietas padi hibrida (Hassan *et al.* 2013, Raju *et al.* 2014). Karakter umur 50%

Tabel 1. Nilai kuadrat tengah daya gabung karakter-karakter agronomi, proporsi kontribusi Galur, Penguji, dan interaksi G x P. KP Sukamandi, November 2014-Februari 2015.

Sumber ragam	Derajat bebas	Tinggi tanaman	Jumlah anakan produktif	Umur 50% berbunga	Panjang malai	Jumlah gabah isi per malai	Persentase gabah isi per malai	Bobot 1.000 butir	Hasil gabah
Ulangan	2	60,29*	15,30**	0,07 ^{ln}	0,22 ^{ln}	27773,90**	739,83**	0,15 ^{ln}	30,35 ^{ln}
Genotipe	40	77,31**	5,10**	67,88**	6,16**	1548,53**	185,41**	4,69**	34,45**
Tetua	10	163,36**	5,67**	186,02**	6,26**	1297,47**	173,35*	7,52*	3,09*
Tetua vs F_1	1	780,20**	15,93**	78,38**	88,39**	12628,34**	10,50 ^{ln}	18,73**	584,69**
F_1	29	23,40 ^{ln}	4,53**	26,78**	3,29**	1253,04**	195,60**	3,23**	26,29 ^{ln}
Galur (G)	5	15,01 ^{ln}	18,52**	72,10**	3,66**	4766,75**	342,52**	9,26**	22,88 ^{ln}
Penguji (P)	4	45,76 ^{ln}	1,97 ^{ln}	52,76**	10,29**	730,20**	384,56**	7,75**	25,24 ^{ln}
G x P	20	21,02 ^{ln}	1,55 ^{ln}	10,25**	1,80**	479,18*	121,08**	0,82 ^{ln}	27,36 ^{ln}
Galat	80	17,39	1,33	3,12	0,69	268,52	48,31	1,59	16,89
Kontribusi Galur		11,06	70,49	46,42	19,18	65,59	30,19	49,43	15,01
Kontribusi Penguji		26,97	6,00	27,17	43,14	8,04	27,12	33,09	13,24
Kontribusi G x P		61,95	23,6	26,4	37,73	26,37	42,69	17,51	71,77
σ^2 DGU		0,76	0,41	2,33	0,23	108,94	12,13	0,32	0,46
σ^2 DGK		1,21	0,07	2,38	0,37	70,22	24,26	0,26	3,49
Rasio genetik		0,63	5,86	0,98	0,62	1,55	0,50	1,23	0,13

*: berbeda nyata pada $\alpha = 0,05$; **: berbeda nyata pada $\alpha = 0,01$; ^{ln}: tidak berbeda nyata.

berbunga, jumlah gabah isi per malai, dan persentase gabah isi per malai juga nyata memiliki ragam DGU. Ragam DGU dan DGK yang nyata memberikan indikasi gen aditif maupun non-aditif berpengaruh nyata dalam keragaan karakter agronomi (Rahimi *et al.* 2010, Yustiana *et al.* 2013).

Menurut Baker (1978), rasio genetik > 1 mengindikasikan pengaruh aksi gen aditif, sedangkan rasio genetik < 1 menunjukkan pengaruh aksi gen non-aditif. Karakter jumlah anakan produktif, jumlah gabah isi per malai, dan bobot 1.000 butir memiliki rasio genetik > 1, sehingga lebih dipengaruhi oleh aksi gen aditif selaras dengan hasil penelitian Bagheri dan Jelodar (2010) dan Priyanka *et al.* (2014). Pengaruh aksi gen aditif memiliki implikasi adanya seleksi positif sehingga untuk meningkatkan karakter-karakter tersebut maka tetua yang digunakan harus memiliki keunggulan dalam hal jumlah anakan produktif, jumlah gabah isi per malai, dan bobot 1.000 butir.

Analisis Galur x Penguji dapat mengurai kontribusi Galur (G), Penguji (P), interaksi Galur x Penguji (G x P) karakter hasil dan komponen hasil (Tabel 1). Galur memiliki peranan penting dalam pembentukan padi hibrida, terutama pada karakter jumlah anakan produktif, umur 50% berbunga, jumlah gabah isi per malai, dan bobot 1.000 butir. Hal ini menunjukkan tingginya pengaruh induk betina pada karakter-karakter tersebut, sehingga perbaikan galur mandul jantan sangat penting. Penguji yang berperan penting pada karakter panjang malai mengindikasikan pengaruh dominan galur pemulih kesuburan terhadap karakter

tersebut. Kontribusi interaksi kedua tetua (Galur x Penguji) bernilai tinggi pada karakter tinggi tanaman, persentase gabah isi per malai, dan bobot per rumpun. Hal ini juga dilaporkan oleh Akhter *et al.* (2010) dan Hasan *et al.* (2014).

Daya Gabung Umum

Informasi daya gabung umum galur dapat digunakan dalam pemilihan tetua hibrida dengan mempertimbangkan tujuan pembentukan varietas. Pada karakter tinggi tanaman, pemulia menghendaki nilai DGU rendah karena jika tinggi akan menghasilkan hibrida lebih tinggi dibanding kedua tetuanya dan mudah rebah. Galur tetua IR 80156A dan R 32 memiliki nilai daya gabung umum tinggi dan negatif namun tidak nyata. Dalam perakitan varietas hibrida umur genjah diperlukan DGU umur berbunga yang rendah dan negatif. Galur GMJ 14A dan PK 12 memiliki nilai DGU negatif dan rendah yang nyata pada karakter umur 50% berbunga (Tabel 2). Hal ini berarti galur-galur tersebut dapat digunakan untuk merakit hibrida dengan umur pendek.

Nilai DGU positif dan tinggi pada karakter jumlah gabah isi per malai dari galur tetua diperlukan untuk mendapatkan hibrida dengan fertilitas gabah tinggi. Galur IR 58025A, GMJ 14A dan BP 11 merupakan penggabung yang baik untuk karakter tersebut. Pada karakter persentase gabah isi per malai terlihat GMJ 14A dan PK 12 nyata memiliki daya gabung terbaik dibanding tetua lainnya. Hasil penelitian menunjukkan tidak

Tabel 2. Nilai duga daya gabung umum karakter agronomi tetua padi hibrida. KP Sukamandi, November 2014-Februari 2015.

Sumber ragam	Tinggi tanaman	Jumlah anakan produktif	Umur 50% berbunga	Panjang malai	Jumlah gabah isi per malai	Persentase gabah isi per malai	Bobot 1.000 butir	Hasil gabah
Lini = Galur mandul jantan								
IR 58025A	1,62	-1,46	2,09	0,86	14,51**	-2,34*	-1,40	-0,27
IR 80154A	0,72	1,96	2,36*	-0,41	-33,91**	-7,98**	-0,35	-0,34
IR 80156A	-1,15	0,04	1,29	-0,31	-2,30**	-0,15	0,79	0,06
GMJ 13A	-0,20	-0,28	-1,04	-0,18	5,28**	1,17	0,37	0,11
GMJ 14A	-0,36	-0,36	-2,78*	-0,28	13,73**	5,13**	0,33	0,28
GMJ 15A	-0,62	0,10	-1,91	0,31	2,69**	4,17**	0,27	0,15
SE (gi) lini	1,08	0,30	0,46	0,21	4,23	1,79	0,33	1,06
SE (gi-gi)	1,16	0,09	0,21	0,05	17,90	3,22	0,11	1,13
Tester = Galur pemulih kesuburan								
PK 90	2,08	0,04	0,96	-0,56	-3,93**	-2,13*	-0,21	-0,15
R 3	1,22	0,33	1,18	1,31	-8,00**	-4,50**	-0,84	-0,17
PK 12	-1,05	0,09	-2,93*	-0,18	3,88**	7,24**	-0,28	0,08
R 32	-1,73	0,09	0,90	-0,43	-0,15	-2,32*	0,68	0,14
BP 11	-0,52	-0,55	-0,10	-0,13	8,21**	1,71	0,65	0,10
SE (gi) tester	0,98	0,27	0,42	0,20	3,86	1,64	0,30	0,97
SE (gi-gi)	1,39	0,38	0,59	0,28	5,46	2,32	0,42	1,37

*: berbeda nyata pada $\alpha = 0,05$; **: berbeda nyata pada $\alpha = 0,01$; ^{tn}: tidak berbeda nyata pada $\alpha = 0,01$ berdasarkan uji t.

satupun GMJ maupun galur R yang nyata memiliki nilai DGU pada karakter panjang malai dan bobot 1.000 butir (Tabel 2). Hal ini mengindikasikan dominansi daya gabung khusus antartetua spesifik sebagaimana dikemukakan oleh Hasan *et al.* (2014).

Daya Gabung Khusus

Daya gabung khusus lebih dipengaruhi oleh aksi gen non-aditif, baik aksi gen dominan maupun epistasis (Raju *et al.* 2014). Nilai DGK yang tinggi dan negatif pada karakter tinggi tanaman dihasilkan oleh kombinasi persilangan IR 80154A/PK 12 dan IR 80156A/PK 12. Pada karakter jumlah anakan produktif per rumpun, nilai DGK yang tinggi dan nyata dihasilkan oleh hibrida IR 80154A/R 32. Nilai duga DGK negatif dan nyata pada karakter umur 50% berbunga dihasilkan oleh kombinasi persilangan GMJ 13A/R 32 dan GMJ 13A/BP 11, dan GMJ 14A/R 32. Kombinasi persilangan yang menghasilkan nilai DGK positif dan nyata pada karakter panjang malai adalah hibrida IR 80154A/R 32 dan GMJ 13A/PK 90.

Pada karakter jumlah gabah isi per malai, nilai DGK tinggi dan nyata ditampilkan oleh hibrida IR 58025A/PK 90 dan GMJ 13A/R 3. Hibrida IR 58025A/PK 12, IR 80154A/R 32, IR 80156A/R 32, dan GMJ 14/R 3 merupakan kombinasi dengan nilai DGK tinggi, positif, dan nyata pada karakter persentase gabah isi per malai. Empat hibrida yaitu IR 80154A/R 32, GMJ 13A/PK 90, GMJ 13A/R 3, dan GMJ 14A/R 3 menghasilkan DGK tinggi dan nyata pada karakter bobot 1.000 butir. Pada karakter hasil gabah, nilai DGK positif diberikan oleh hibrida GMJ 14A/R 32, GMJ 13A/R 3, IR 80154A/PK 12, GMJ 15A/R 32, IR 80154A/BP 11 (Tabel 3).

Hasil pendugaan DGU dan DGK menunjukkan persilangan dua tetua dengan efek DGU tinggi akan berpeluang menghasilkan efek DGK tinggi. Hal tersebut terlihat pada hibrida GMJ 14A/R 32 pada karakter hasil gabah. Hibrida tersebut menggambarkan persilangan antara dua tetua dengan DGU tinggi akan menghasilkan DGK tinggi pada kombinasi persilangannya. Fenomena serupa juga dilaporkan oleh Rahimi *et al.* (2010), Mirarab *et al.* (2010), dan Priyanka *et al.* (2014).

Tabel 3. Nilai duga daya gabung khusus karakter agronomi padi hibrida. KP Sukamandi, November 2014-Februari 2015.

No.	F ₁ hibrida	Tinggi tanaman	Jumlah anakan produktif	Umur 50% berbunga	Panjang malai	Jumlah gabah isi per malai	Persentase gabah isi per malai	Bobot 1.000 butir	Hasil gabah
1	IR 58025A/PK 90	-2,51**	-0,77	0,58	0,21	18,92**	3,42**	0,15	0,18
2	IR 58025A/R 3	0,38	0,37	0,02	0,28	-2,47**	-4,29**	0,12	0,11
3	IR 58025A/PK 12	-1,27	-0,31	-1,87	-0,17	4,16**	5,96**	0,18	0,00
4	IR 58025A/R 32	3,99**	0,63	0,97	0,51	-11,47**	-4,61**	-0,56	-0,12
5	IR 58025A/BP 11	-0,58	0,08	0,30	-0,83	-9,14**	-0,48	0,11	-0,17
6	IR 80154A/PK 90	-1,48	0,56	-0,36	1,16	4,53**	0,58	0,81	-0,04
7	IR 80154A/R 3	-1,29	-0,40	-1,24	-1,38	7,94**	2,62**	0,78	-0,21
8	IR 80154A/PK 12	-3,02**	-4,16**	-1,13	-3,88**	-7,94**	-8,74**	-3,79**	0,39
9	IR 80154A/R 32	6,00**	4,17**	3,37**	4,70**	4,42**	6,46**	3,58**	-0,47
10	IR 80154A/BP 11	-0,21	-0,18	-0,63	-0,60	-8,95**	-0,92	-1,38	0,33
11	IR 80156A/PK 90	-1,08	0,96	0,04	1,56	4,93*	0,98	1,21	0,02
12	IR 80156A/R 3	-0,55	0,34	-0,51	-0,65	8,67**	3,35**	1,51	0,09
13	IR 80156A/PK 12	-3,29**	-4,42**	-1,40	-4,15**	-8,21**	-9,00**	-4,05**	0,15
14	IR 80156A/R 32	4,73**	2,91**	2,10**	3,43**	3,15**	5,19**	2,32**	-0,12
15	IR 80156A/BP 11	0,19	0,22	-0,23	-0,20	-8,55**	-0,52	-0,98	-0,14
16	GMJ 13A/PK 90	0,92	2,96**	2,04*	3,56**	6,93**	2,98**	3,21**	-0,18
17	GMJ 13A/R 3	1,45	2,34**	1,49	1,35	10,67*	5,35**	3,51**	0,57
18	GMJ 13A/PK 12	-0,62	-1,76	1,27	-1,48	-5,54*	-6,34**	-1,39	-0,07
19	GMJ 13A/R 32	0,06	-1,76	-2,57**	-1,23	-1,51	0,52	-2,35**	-0,48
20	GMJ 13A/BP 11	-1,81	-1,78	-2,23**	-2,20**	-10,55**	-2,52**	-2,98**	0,16
21	GMJ 14A/PK 90	-2,68**	-0,64	-1,56	-0,04	3,33**	-0,62	-0,39	0,04
22	GMJ 14A/R 3	1,18	2,07**	1,22	1,09	10,40**	5,08**	3,24**	-0,16
23	GMJ 14A/PK 12	-0,89	-2,02*	1,00	-1,75	-5,81**	-6,60**	-1,65	-0,43
24	GMJ 14A/R 32	0,46	-1,36	-2,17**	-0,83	-1,11	0,92	-1,95	0,81
25	GMJ 14A/BP 11	1,92	1,95	1,50	1,53	-6,81**	1,22	0,75	-0,26
26	GMJ 15A/PK 90	-1,88	0,16	-0,76	0,76	4,13**	0,18	0,41	-0,02
27	GMJ 15A/R 3	-1,02	-0,13	-0,98	-1,11	8,20**	2,88**	1,04	-0,41
28	GMJ 15A/PK 12	0,25	-0,89	2,13**	-0,62	-4,68**	-5,47**	-0,52	-0,03
29	GMJ 15A/R 32	0,93	-0,89	-1,70	-0,37	-0,65	1,39	-1,48	0,38
30	GMJ 15A/BP 11	1,72	1,75	1,30	1,33	-7,01**	1,02	0,55	0,08

*: berbeda nyata pada $\alpha = 0,05$; **: berbeda nyata pada $\alpha = 0,01$; ^{ln}: tidak berbeda nyata pada $\alpha = 0,01$ berdasarkan uji t.

Persilangan antara dua tetua dengan efek DGU tinggi juga dapat menghasilkan nilai DGK rendah. Hal tersebut ditunjukkan oleh hibrida GMJ 13A/R 32 pada karakter hasil gabah. Hibrida GMJ 13A/R 32 yang dihasilkan dari persilangan dua tetua dengan DGU karakter hasil tinggi memiliki nilai DGK negatif. Hal ini menunjukkan tetua dengan kemampuan bergabung tinggi yang tercermin dari efek DGU tinggi belum tentu menghasilkan hibrida superior.

Di lain pihak, persilangan dua tetua dengan DGU rendah dapat menghasilkan hibrida dengan DGK tinggi. Hibrida IR 58025A/PK 90 yang memiliki DGK tinggi pada karakter hasil gabah ditunjukkan oleh persilangan dua tetua dengan DGU negatif. Hal tersebut menunjukkan hibrida superior dapat diperoleh dari tetua dengan kemampuan penggabungan rendah yang tercermin dari efek DGU rendah. Akumulasi alel-alel baik dan adanya aksi gen aditif dapat menyebabkan pasangan kombinasi galur GMJ dengan DGU rendah x galur R dengan DGU rendah menghasilkan persilangan dengan nilai DGK bobot gabah per rumpun tinggi. Kombinasi seperti ini dapat dieksploitasi untuk perakitan padi hibrida dengan sifat heterosis yang baik (Hasan *et al.* 2014, Dar *et al.* 2014).

Sebagian besar hibrida yang teridentifikasi memiliki nilai DGK tinggi dapat disebabkan oleh tetua DGU tinggi x rendah atau rendah x tinggi atau rendah x rendah. Hal ini dimungkinkan karena adanya aksi gen non-aditif (aditif x dominan dan dominan x dominan hasil interaksi

epistasis). Heterosis hibrida ideal yang dapat dieksplorasi adalah yang memiliki nilai DGK tinggi dengan pengaruh DGU tinggi pada kedua atau salah satu tetuanya. Hal ini setara dengan penelitian pada jagung hibrida (Azrai *et al.* 2014), cabai (Dalimunthe *et al.* 2015), dan timun (Wiguna *et al.* 2013).

Hasil dan Komponen Hasil Tetua dan F₁ Hibrida

Hasil pengamatan terhadap nilai rata-rata karakter hasil dan komponen hasil dari tetua dan F₁ hibridanya masing-masing ditampilkan pada Tabel 4 dan 5. Tinggi tanaman dan jumlah anakan produktif merupakan karakter agronomi penting. Sebagian besar hibrida yang dihasilkan memiliki tanaman lebih tinggi dibanding tetuanya, dan hanya 10 hibrida dengan tanaman yang lebih pendek dari salah satu tetua tertingginya, dengan kisaran antara 100,3 cm (GMJ 14A/R 32) sampai 120,1 cm (IR 80154A/BP 11). Tinggi tanaman tetua hibrida yang digunakan berkisar antara 100,3-119,6 cm (galur restorer) dan 91,4-102 cm (galur mandul jantan). Jumlah anakan produktif tetua GMJ berkisar antara 8,7 batang (GMJ 14A) hingga 13,2 batang (IR 80154A). Hibrida yang dihasilkan memiliki jumlah anakan produktif antara 8,0 batang (IR 58025A/PK 90) sampai 12,9 batang per rumpun (IR 80154A/PK 90).

Umur 50% berbunga tetua GMJ berkisar antara 71 HSS (GMJ 13A) hingga 84 HSS (IR 80154A), sedangkan galur tetua R berkisar 79 HSS (PK 12) sampai 100 HSS (R 3). Umur berbunga 30 hibrida yang dihasilkan berkisar

Tabel 4. Nilai rata-rata karakter hasil dan komponen hasil tetua padi hibrida dan varietas pembanding. KP Sukamandi, November 2014-Februari 2015.

Tetua	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah anakan produktif	Umur 50% berbunga (HSS) [*]	panjang malai (cm)	Gabah isi per malai	Gabah hampa per malai	Persentase gabah isi per malai (%)	Bobot 1.000 butir (g)	Bobot per malai (g)	Hasil gabah (t/ha)
Tetua jantan (galur pemulih kesuburan)										
PK 90	119,6	9	89	26,3	87,9	60,4	59,3	27,0	3,1	5,2
R 3	100,3	10	100	27,0	97,7	33,3	74,6	23,9	3,9	5,8
PK 12	100,9	9	79	26,8	94,9	29,4	76,3	27,4	2,9	6,0
R 32	104,3	9	81	24,8	101,1	57,1	63,9	27,5	4,1	5,9
BP 11	108,1	8	82	26,8	127,8	64,6	66,4	26,3	3,9	6,9
Tetua betina (galur mandul jantan)										
IR 58025B	101,1	9	82	27,5	148,7	63,5	70,1	24,0	4,1	8,2
IR 80154B	98,9	13	84	26,4	75,2	61,8	54,9	25,1	3,7	6,2
IR 80156B	102,0	10	78	25,6	124,8	45,9	73,1	24,0	4,1	7,6
GMJ 13B	91,4	9	71	23,7	121,8	32,8	78,8	25,8	3,6	7,0
GMJ 14B	93,9	9	73	23,6	107,4	32,2	77,0	22,9	4,3	5,4
GMJ 15B	103,0	9	78	27,9	108,6	44,7	70,8	24,4	3,5	5,9
Varietas Pembanding										
Maro	109,9	12	90	29,7	137,0	97,0	58,5	24,4	5,3	9,3
Ciherang	114,4	10	86	28,7	110,0	55,0	66,7	26,4	4,0	7,4

^{*}HSS = hari setelah sebar (semai)

Tabel 5. Nilai rata-rata karakter hasil dan komponen hasil 30 F₁ hibrida padi. KP Sukamandi, November 2014-Februari 2015.

No.	F ₁ hibrida/ varietas pembanding	Tinggi tanaman (cm)	Jumlah anakan produktif	Umur 50% berbunga (HSS) ^a	Panjang malai (cm)	Gabah isi per malai	Gabah hampa per malai	Persentase gabah isi per malai (%)	Bobot 1.000 butir (g)	Bobot per malai (g)	Hasil gabah (t/ha)
1	IR58025A/PK90	109,0	8	83	28,5	161,1	68,8	70,1	24,7	4,4	8,0
2	IR58025A/R3	111,0	9	83	30,4	135,6	91,0	59,8	24,1	4,2	7,7
3	IR58025A/PK12	107,1	9	77	28,5	154,1	45,0	77,4	24,7	5,2	8,1
4	IR58025A/R32	111,7	10	84	28,9	134,5	89,2	60,1	24,9	5,8	8,0
5	IR58025A/BP11	108,3	8	82	27,8	145,2	74,1	66,2	25,5	5,3	7,7
6	IR80154A/PK90	112,7	13	83	27,6	82,9	67,8	55,0	26,6	3,7	7,1
7	IR80154A/R3	108,3	12	82	28,4	86,5	67,2	56,3	24,8	3,4	6,5
8	IR80154A/PK12	109,1	12	78	27,3	113,0	40,8	73,5	25,7	3,8	9,1
9	IR80154A/R32	106,8	11	86	26,8	88,9	66,4	57,2	26,5	3,8	6,7
10	IR80154A/BP11	120,1	12	81	27,6	117,1	69,3	62,8	25,5	3,9	9,0
11	IR80156A/PK90	109,1	12	82	27,6	112,6	61,7	64,6	26,1	3,9	8,5
12	IR80156A/R3	104,3	10	82	29,7	128,9	75,8	63,0	26,7	4,0	8,7
13	IR80156A/PK12	108,8	11	77	27,2	130,6	44,5	74,6	26,8	4,8	9,6
14	IR80156A/R32	106,5	10	84	27,4	130,7	72,6	64,3	28,0	5,1	9,0
15	IR80156A/BP11	104,7	9	81	26,4	143,5	39,8	78,3	27,3	4,6	8,8
16	GMJ13A/PK90	110,4	10	82	26,9	126,9	97,7	56,5	26,4	4,5	8,1
17	GMJ13A/R3	111,7	11	81	29,0	145,6	59,9	70,9	25,4	4,1	10,2
18	GMJ13A/PK12	103,7	10	77	28,3	136,2	35,2	79,5	26,4	4,0	9,1
19	GMJ13A/R32	105,5	10	77	27,2	124,4	65,8	65,4	26,9	4,3	8,0
20	GMJ13A/BP11	106,8	9	76	27,5	151,1	39,8	79,2	27,6	5,5	9,8
21	GMJ14A/PK90	108,0	10	76	25,8	142,4	36,5	79,6	25,6	4,4	9,2
22	GMJ14A/R3	111,8	10	79	29,4	136,9	62,4	68,7	25,6	4,3	8,6
23	GMJ14A/PK12	107,0	9	75	27,9	146,3	49,4	74,8	25,7	4,4	8,5
24	GMJ14A/R32	100,3	11	76	26,3	165,6	33,1	83,4	27,9	5,3	12,4
25	GMJ14A/BP11	110,2	10	78	29,0	135,3	73,8	64,7	27,8	5,0	9,1
26	GMJ15A/PK90	110,2	9	78	28,0	140,0	46,3	75,1	26,5	4,5	8,6
27	GMJ15A/R3	107,3	11	78	28,6	107,9	49,4	68,6	25,6	4,2	7,4
28	GMJ15A/PK12	105,0	11	77	27,4	132,4	35,1	79,1	26,0	4,3	9,3
29	GMJ15A/R32	105,7	11	77	28,5	144,5	60,4	70,5	26,9	5,2	10,7
30	GMJ15A/BP11	107,8	10	79	28,7	146,5	52,9	73,5	27,3	5,3	9,7
	Maro	109,9	12	90	29,7	137,0	97,0	58,5	24,4	5,3	9,3
	Ciherang	114,4	10	86	28,7	110,0	55,0	66,7	26,4	4,0	7,4

^aHSS = hari setelah sebar (semai)

antara 75 HSS (GMJ 14A/PK 12) sampai 86 HSS (IR 80154A/R 32), sehingga termasuk berumur genjah. Panjang malai tetua GMJ berkisar antara 23,6 cm (GMJ 14A) sampai 27,9 cm (GMJ 15A) sedangkan galur R adalah 24,8 cm (R 32) hingga 27 (R 3). Panjang malai hibrida berkisar 25,7 cm (GMJ 14A/PK 90) sampai 30,4 cm (IR 58025A/R 3), empat hibrida dengan malai terpanjang merupakan turunan dari galur R 3 (Tabel 5).

Heterosis

Heterosis merupakan faktor penting dalam pembentukan padi hibrida. Nilai heterosis 30 kombinasi hibrida ditentukan berdasarkan keunggulannya dibanding tetua terbaik (heterobeltiosis), rata-rata kedua tetua (*mid-parent* heterosis), atau varietas pembanding populer (standar heterosis) (Tabel 6).

Sebanyak 29 hibrida menunjukkan nilai *mid-parent* heterosis lebih tinggi dibanding rata-rata kedua tetuanya, yaitu berkisar antara 1,8-119,5% pada karakter hasil gabah (Tabel 6). Kelebihan hasil hibrida dibanding varietas pembanding populer mendukung pengembangan padi hibrida. Maro merupakan varietas hibrida yang telah berkembang sebelumnya. Pada percobaan ini, varietas Maro menghasilkan gabah 9,3 t/ha. Tiga hibrida baru memberikan hasil 10,1-33,4% lebih tinggi dibanding Maro. Dibandingkan dengan varietas Ciherang (7,4 t/ha) yang masih ditanam oleh banyak petani saat ini, hasil 20 hibrida lebih tinggi 10-67,5% (Tabel 6). Hasil hibrida ini lebih tinggi dibanding hibrida yang dirakit sebelumnya yang memberikan hasil 4-8 t/ha (Widyastuti *et al.* 2015, Satoto *et al.* 2016)

Hasil penelitian menunjukkan galur-galur pemulih kesuburan yang disilangkan dengan galur-galur mandul

Tabel 6. Nilai heterosis karakter hasil 30 F₁ padi hibrida.

No	F ₁ hibrida	Hasil GKG (t/ha ± St.Dev)	Mid-parent heterosis (%)	Standar heterosis (%) terhadap:	
				Maro	Ciherang
1	IR 58025A/PK90	8,0 ± 2,95	19,6	-13,9	8,2
2	IR 58025A/R3	7,7 ± 1,07	10,3	-16,9	4,3
3	IR 58025A/PK12	8,1 ± 1,14	14,7	-12,4	10,0
4	IR 58025A/R32	8,0 ± 0,89	12,5	-14,4	7,5
5	IR 58025A/BP11	7,7 ± 0,07	1,8	-17,2	3,9
6	IR 80154A/PK90	7,1 ± 0,72	24,7	-23,4	-3,9
7	IR 80154A/R3	6,5 ± 0,15	8,8	-29,6	-11,6
8	IR 80154A/PK12	9,1 ± 1,12	48,7	-2,2	22,7
9	IR 80154A/R32	6,7 ± 1,70	9,9	-28,1	-9,7
10	IR 80154A/BP11	9,0 ± 1,8	36,5	-3,5	21,1
11	IR 80156A/PK90	8,5 ± 1,04	33,2	-8,5	14,9
12	IR 80156A/R3	8,7 ± 1,20	29,4	-6,7	17,1
13	IR 80156A/PK12	9,6 ± 0,43	41,0	3,1	29,4
14	IR 80156A/R32	9,0 ± 2,94	32,5	-3,5	21,1
15	IR 80156A/BP11	8,8 ± 1,48	21,2	-5,5	18,7
16	GMJ 13A/PK90	8,1 ± 0,98	32,8	-13,2	9,0
17	GMJ 13A/R3	10,2 ± 1,40	60,2	10,1	38,2
18	GMJ 13A/PK12	9,1 ± 1,70	39,9	-2,4	22,5
19	GMJ 13A/R32	8,0 ± 1,50	24,4	-13,7	8,4
20	GMJ 13A/BP11	9,8 ± 1,43	41,4	5,6	32,6
21	GMJ 14A/PK90	9,2 ± 0,30	75,3	-0,5	24,9
22	GMJ 14A/R3	8,6 ± 0,44	53,2	-8,0	15,5
23	GMJ 14A/PK12	8,5 ± 2,02	49,9	-8,4	15,0
24	GMJ 14A/R32	12,4 ± 1,04	119,5	33,4	67,5
25	GMJ 14A/BP11	9,1 ± 1,70	48,2	-2,2	22,8
26	GMJ 15A/PK90	8,6 ± 1,42	56,2	-6,9	16,8
27	GMJ 15A/R3	7,4 ± 0,80	27,0	-20,1	0,3
28	GMJ 15A/PK12	9,3 ± 2,08	57,1	0,5	26,1
29	GMJ 15A/R32	10,7 ± 0,22	81,1	15,3	44,7
30	GMJ 15A/BP11	9,7 ± 2,14	51,8	4,5	31,2

St.Dev= standar deviasi Hasil gabah Maro = 9,3 t/ha; Ciherang = 7,4 t/ha.

jantan tipe sitoplasma WA, ternyata mampu memulihkan kesuburan galur-galur mandul jantan tipe Kalinga dan Gambiaca dengan baik. Hal ini ditunjukkan oleh hibrida yang dihasilkan dari persilangan GMJ tipe Kalinga dan Gambiaca yang memiliki potensi hasil yang setara dengan hibrida hasil persilangan GMJ tipe WA. Hal ini dimungkinkan terdapat kesamaan gen-gen *Rf* yang mengendalikan pemulihan kesuburan pada ketiga tipe sitoplasma tersebut. Sebagaimana dinyatakan oleh Sattari *et al.* (2008), gen *Rf3* dan *Rf4* bersama-sama mengendalikan pemulihan kesuburan galur mandul jantan tipe *Wild-Abortive* dan Gambiaca.

KESIMPULAN

Di antara galur mandul jantan, IR 58025A adalah penggabung umum terbaik untuk karakter jumlah gabah isi per malai, GMJ 14A untuk umur 50% berbunga dan persentase gabah isi per malai.

Di antara pemulih kesuburan, galur PK 12 penggabung umum terbaik untuk karakter umur 50%

berbunga dan persentase gabah isi per malai, sedangkan galur BP 11 untuk karakter jumlah gabah isi per malai.

Hibrida baru yang memiliki nilai DGK hasil gabah terbaik untuk masing-masing tipe sumber sitoplasma adalah GMJ 14A/R 32 (Kalinga), GMJ 15A/R 32 (Gambiaca), dan GMJ 13A/R3 (WA) yang memberikan hasil 10% lebih tinggi dibanding varietas Maro dan Ciherang.

Galur-galur mandul jantan dengan tipe sitoplasma Gambiaca dan Kalinga dapat memulihkan kesuburan galur-galur mandul jantan tipe *Wild Abortive* sehingga diperlukan eksplorasi untuk mengidentifikasi galur-galur R yang saat ini sudah dikembangkan di BB Padi

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian, yang telah mendanai penelitian ini melalui DIPA 2015. Hal serupa juga disampaikan kepada Bapak Sarmadi dan Firman M. Akbar atas bantuan teknis pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhter, A., M.J. Hasan, H. Begum, M.U. Kulsum, and M.K. Hossain. 2010. Combining ability analysis in rice (*Oryza sativa* L.). Bangladesh PI Breed Genet. 23(2):07-13.
- Azrai, M., M.M. Mejaya, dan H. Aswidinnoor. 2014. Daya gabung galur-galur jagung berkualitas protein tinggi. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan 33 (3):137-147.
- Bagheri, N. and N.B. Jelodar. 2010. Heterosis and combining ability analysis for yield and related-yield traits in hybrid rice. Int. J. of Biol 2 (2):222-231.
- Baker, R.J. 1978. Issues in diallel analysis. Crop Sci. 18 (4):533-536.
- Bello, O.B. and G. Olaoye. 2009. Combining ability for maize grain yield and other agronomic characters in a typical Southern Guinea savanna ecology of Nigeria. Afr. J. Biotech. 8 (11):2518-2522.
- Dalimunthe, S.R., B.A. Arif, S. Sujiprihati, dan M. Syukur. 2015. pendugaan parameter genetik pada persilangan dialel beberapa tetua cabai (*Capsicum annum* L.). Informatika Pertanian 24(1):1-8.
- Dar, S.H., A.G. Rather, M.A. Ahanger, N.R. Sofi, and S.Talib. 2014. Gene action and combining ability studies for yield and component traits in rice (*Oryza sativa* L.): A Review. J. of Plant and Pest Sci.1 (3):110-127.
- Falconer, D.S. 1988. *Introduction to Quantitative Genetics*. 3rd Edition. London and New York: Longman Inc.
- Jondhale, A.S., I. Shanker Goud, B. Praveenkumar. 2014. Combining Ability and Gene Action Studies in Diverse CMS Sources in Sunflower (*Helianthus annuus* L.). International Journal of Science and Research (IJSR). 3 (12):2183-2187.
- Hasan, M.J., U. Kulsum, M.M.H Rahman, M.M.H. Chowdhury, and A.Z.M.K.A. Chowdhury AZMKA. 2013. Genetic diversity analysis of parental lines for hybrid development in rice (*Oryza sativa* L.). Bangladesh J Agric. Res. 37 (4):617-624.
- Hasan, M.J., M.U. Kulsum, and M.M. Rahman. 2014. Combining ability of different yield related characters in rice. SAARC J. Agric.12 (2):143-153.
- Mirarab, M. and A. Ahmadikhah. 2010. Study on genetics of some important phenological traits in rice using line \times tester analysis. Annals of Biological Res. 4:119-125.
- Priyanka, K., H.K. Jaiswal, and S.A. Waza. 2014. Combining ability and heterosis for yield, its component traits and some grain quality parameters in rice (*Oryza sativa* L.). J. Applied and Natural Sci. 6 (2):495-506.
- Rahimi, M., B. Rabiei, H. Samizadeh, and A.K. Ghasemi. 2010. Combining ability and heterosis in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. J. Agr. Sci. Tech. 12:223-231.
- Raju, C.D., S.S. Kumar, C.S. Raju, and A. Srijan. 2014. Combining ability studies in the selected parents and hybrids in rice (*Oryza sativa* L.). Int. J. Pure and Applied Bios. 2 (4):271-279.
- Satoto, Y. Widyastuti, I.A. Rumanti, dan B.P. Wibowo. 2016. genotype x environment interaction and stability for grain yield in hybrids rice adapted to different environment in Indonesia. In Proceedings SABRAO 13th Congress and International Conference. Contribution of Breeding Research for Sustainable Agricultural Production under Changing Environment to Food Security in Asia and Oceania. Bogor. 14-15 October 2015.
- Sattari, M., A. Kathiresan, G.B. Gregorio, and S.S Virmani. 2008. Comparative genetic analysis and molecular mapping of fertility restoration genes for WA, Dissi, and Gambiaca cytoplasmic male sterility systems in rice. Euphytica 160 (3):305-316.
- Shah, G., N. Sasidharan, S. Chakraborty, R. Trivedi, R. Ravikiran, and D. Davla. 2012. Genetic diversity and molecular analysis for fertility restorer in Rice (*Oryza sativa* L.) for wild abortive (WA) cytoplasm using microsatellite markers. J. Agric. Tech. 8(1):261-271.
- Singh, R.K. and B.D. Chaudary. 1979. *Biometrical Method in Quantitative Genetic Analysis*. New Delhi: Kalyani Publisher.
- Tiwari, D.K., P. Pandey, S.P. Giri, and J.L. Dwivedi. 2011. Heterosis studies for yield and its component in rice hybrids using CMS system. Asian J. of Plant Sci. 10 (1):29-42.
- Toriyama K, and T. Kazama . 2016. Development of Cytoplasmic Male Sterile IR24 and IR64 Using CW-CMS/Rf17 System. Rice 9(1):22. doi: 10.1186/s12284-016-0097-2.
- Virmani, S.S., B.C. Virakhtamath, C.L. Casal, R.S. Toledo, M.T. Lopez, and J.O. Manalo. 1997. *Hybrid Rice Breeding Manual*. IRRI. Manila. Philippines.
- Widyastuti, Y., Satoto and I.A. Rumanti. 2015. Performance of promising hybrid rice in two different elevations of irrigated lowland in Indonesia. AGRIVITA 37(2):169-177.
- Wiguna, G., A. Purwantoro, dan Nasrullah. 2013. Evaluasi daya gabung karakter hasil dan komponen hasil lima galur mentimun. Ilmu Pertanian 16 (1):30-41.
- Yustiana, M. Syukur, and S.H. Sutjahjo. 2013. Analisis daya gabung galur-galur jagung tropis di dua lokasi. J. Agron Indonesia 41 (2):105-111
- Zare, M., R. Choukan, E.M. Heravan, M.R. Bihamta, and K. Ordookhani. 2011. Gene action of some agronomic traits in corn (*Zea mays* L.) using diallel cross analysis. Afr. J. Agric. Res. 6:693-703.
- Ziju Dai, Qing Lu, Xin Luan, Lian Ouyang, Jie Guo, Jiayan Liang, Haitao Zhu, Wenjuan Wang, Shaokui Wang, Ruizhen Zeng, Ziqiang Liu, Zemin Zhang, Xiaoyuan Zhu, and Guiquan Zhang. 2016. Development of a platform for breeding by design of CMS restorer lines based on an SSSL library in rice (*Oryza sativa* L.). Breed Sci. 66(5):768-775.

