

Morfologi Bunga dan Korelasinya terhadap Kemampuan Menyerbuk Silang Galur Mandul Jantan Padi

Indrastuti A. Rumanti¹, B.S.Purwoko², Iswari S. Dewi³, Hajrial Aswidinnoor², dan Satoto¹

¹Balai Besar Penelitian Tanaman Padi,
Jl. Raya 9 Sukamandi, Subang, Jawa Barat
Email: indrastuti_apri@yahoo.com

²Institut Pertanian Bogor
Jl. Dramaga Bogor, Jawa Barat

³Balai Besar Bioteknologi dan Sumber Daya Genetika Pertanian
Jl. Tentara Pelajar No. 3A Bogor, Jawa Barat

Naskah diterima 13 November 2012 dan disetujui diterbitkan 13 Juni 2014

ABSTRACT. Floret Morphology and Its Correlation with the Outcrossing in Male Sterile Lines of Rice. Good male sterile lines should have high and stable sterility, as well as have good characters of flowers that enhances the outcrossing ability. Research was conducted at Sukamandi field station during DS of 2010 to study the character and flowering behaviour and their genetic variability among the new CMS lines. Five new CMS lines were tested in the field in three replicates of randomized complete block design. The results showed that CMS derived from the Wild Abortive, Kalinga and Gambiaca all were early flowering. The new CMS lines have better flower characters than that of IR58025A, including the following: bigger stigma, higher stigma exertion percentage, wider degree of glume opening, and longer duration of glume opening. Better flowering behaviour enhanced the ability of outcrossing, and resulted in seed set obtained from CMS lines, up to 25.90%; the traditional IR58025A CMS line produced seed set of only 2.98%. The significant positive correlation was found between seed set with stigma width ($r = 0.44^*$), with stigma exertion ($r = 0.54^*$); and with degree of glume opening of male sterile lines ($r = 0.42^*$); also with filament length ($r = 0.47^*$) and degree of glume opening of maintainer line ($r = 0.57^{**}$). Those characters are important for the seed set of CMS lines in the hybrid seed production.

Keywords: Rice, cytoplasmic male sterile lines, flowering biology, flowering behavior.

ABSTRAK. Galur mandul jantan selain memiliki sterilitas tinggi dan stabil juga harus mempunyai karakter dan perilaku bunga yang baik untuk mendukung tingkat persilangan dalam pembentukan hibrida. Penelitian dilakukan di KP Sukamandi pada MK 2010, untuk mempelajari karakter dan perilaku bunga galur mandul jantan (GMJ) baru serta keragaman genetiknya. Lima populasi GMJ baru digunakan dalam percobaan ini dan ditata di lapangan menggunakan rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan. Pengamatan dilakukan terhadap morfologi dan perilaku pembungaan GMJ dan galur tetua pasangannya (*maintainer*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa galur mandul jantan baru dengan tiga sitoplasma berbeda yaitu *Wild Abortive*, Kalinga, dan Gambiaca memiliki umur berbunga dengan kategori genjah, serta memiliki karakter bunga yang lebih baik dibandingkan dengan IR58025A, antara lain stigma besar, persentase eksersi stigma yang tinggi, sudut pembukaan bunga lebar, dan durasi pembukaan bunga lebih lama. Akumulasi perilaku bunga yang baik dan mendukung kemampuan menyerbuk silang mampu meningkatkan kisaran *seed set* GMJ baru, berkisar antara

4,75-25,9%, sedangkan pada IR58025A hanya 2,98%. Nilai korelasi yang positif dan nyata ditunjukkan antara *seed set* dengan lebar stigma ($r = 0,44^*$), eksersi stigma ($r = 0,54^*$) dan sudut membuka lemma dan palea galur mandul jantan ($r = 0,42^*$), serta dengan panjang filamen ($r = 0,47^*$) dan sudut pembukaan bunga galur pelestari ($r = 0,57^{**}$). Karakter-karakter tersebut sangat mendukung jumlah biji yang terbentuk pada galur mandul jantan.

Kata kunci: Padi, galur mandul jantan, biologi bunga, perilaku bunga.

Galur mandul jantan untuk pembentukan padi hibrida tidak cukup hanya memiliki sterilitas yang sempurna dan stabil, tetapi juga harus memiliki karakter bunga, perilaku pembungaan, dan kemampuan menyerbuk silang yang baik. Keberhasilan perakitan padi hibrida bergantung pada ketersediaan galur mandul jantan yang memiliki reseptivitas dan kompatibilitas tinggi dengan tetua jantan sehingga laju penyerbukan silang alaminya tinggi. Tanaman padi menghasilkan bunga (*spikelet*) yang sempurna, terkumpul pada rangkaian malai. Setiap bunga terdiri atas enam antera yang didukung oleh tangkai sari (*filament*) dan stigma yang terdiri atas satu ovule dan memiliki dua permukaan kepala stigma. Berdasarkan struktur organ reproduksi, padi termasuk tanaman autogami, sehingga pada kondisi bunga normal tidak mendukung terjadinya serbuk silang. Oleh karena itu, morfologi dan perilaku pembungaan galur mandul jantan dan tetua jantannya (pelestari dan pemulih kesuburan) akan menentukan tingkat terjadinya serbuk silang pada saat produksi benih GMJ dan hibrida.

Persentase pembentukan biji pada produksi benih GMJ dan hibrida ditentukan oleh faktor eksternal dan internal. Faktor eksternal utama yaitu pengaturan ketepatan waktu berbunga antara GMJ dan pelestari atau GMJ dan pemulih kesuburan, sedangkan faktor internal yang utama adalah karakter-karakter bunga dari

GMJ (Widyastuti *et al.* 2007). Tingkat laju persilangan yang tinggi dipengaruhi oleh beberapa karakter bunga, antara lain persentase eksersi malai, eksersi stigma (Shebaa *et al.* 2006), permukaan stigma yang besar, waktu antesis yang panjang, dan besarnya sudut membuka lemma-palea saat antesis (Singh and Shirisha 2003). Kriteria yang ideal untuk galur pelestari antara lain malai keluar sempurna, filamen panjang, antera besar dan gemuk serta pengguguran sebagian besar polennya hanya pada saat bunga membuka (*anthesis*) (Virmani *et al.* 2003).

Matsui *et al.* (1999) menyatakan bahwa pembengkakan antera secara cepat merupakan respon terhadap membukanya bunga padi dan meningkatnya tekanan polen pada bagian apikal antera. Terjadinya pembengkakan antera sangat diperlukan dalam proses pelepasan polen dari dalam antera. Proses ini membutuhkan air atau kelembaban. Kombinasi antara tekanan polen dan tekanan pada dinding lokula oleh air menyebabkan bagian pangkal dan ujung antera menjadi pecah, dan akhirnya polen berhamburan keluar dari antera melalui kedua lubang tersebut. Rangkaian seluruh proses di atas terjadi selama periode *anthesis*.

Beberapa peneliti telah memasukkan gen *eui* ke dalam galur mandul jantan padi untuk mengatasi tertutupnya malai pada pelepah daun bendera. Terdapat dua gen resesif, yaitu *eui* dan *eui2* yang bertanggung jawab terhadap pemanjangan ruas teratas pada padi. Dua gen tersebut merupakan gen yang non allelic, masing-masing berada di kromosom 5 dan di tengah lengan panjang dari kromosom 10 (Qiao *et al.* 2008).

Dari hasil penelitian sebelumnya telah diperoleh 10 galur mandul jantan baru dengan tiga latar belakang sitoplasma yang berbeda, yaitu *Wild Abortive* (WA), Kalinga, dan Gambiaca (Rumanti *et al.* 2013) Secara morfologi, baik pada tahap vegetatif maupun generatif, ketiga tipe mandul jantan ini berbeda.

Karena itu, informasi mengenai morfologi dan perilaku pembungaan galur mandul jantan baru ini sangat diperlukan dalam perakitan padi hibrida baru. Tujuan penelitian adalah untuk mempelajari morfologi dan perilaku bunga GMJ baru yang mempengaruhi laju persilangan alami.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada MK 2010 di Kebun Percobaan Sukamandi, Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Lima galur mandul jantan (BI485A, BI599A, BI855A, BI639A, BI665A) dan galur pelestari pasangannya (BI485B, BI599B, BI855B, BI639B dan BI665B) digunakan

dalam penelitian ini. Galur IR58025A (GMJ) dan IR58025B (pelestari) digunakan sebagai galur pembanding.

Percobaan menggunakan rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan. GMJ dan pelestari pasangannya ditanam secara berdampingan. Guna memperoleh kesesuaian waktu berbunga antara GMJ dengan tetua jantannya, maka tetua jantan ditanam tiga kali waktu tanam, yaitu lima hari lebih dahulu, bersamaan dan lima hari lebih lambat dari tetua betinanya.

Pengamatan dilakukan terhadap 10 sampel tanaman per galur. Peubah yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah anakan dan umur 50% berbunga, baik GMJ maupun pelestari. Pengamatan pada galur mandul jantan meliputi panjang stigma, lebar stigma, panjang stylus, warna stigma, persentase eksersi malai, persentase eksersi stigma, lama periode pembungaan, sudut pembukaan bunga, persentase gabah isi (*seed set*). Karakter bunga dan perilaku pembungaan galur pelestari yang diamati meliputi panjang antera, panjang filamen, warna antera, skor *anthesis*, lama pembungaan, sudut pembukaan bunga, dan persentase *seed set*. Skor *anthesis* diukur berdasarkan keserempakan bunga mekar dengan skor 1 hingga 9.

Analisis statistik untuk karakter-karakter bunga menggunakan nilai rata-rata ulangan tiap galur. Data berupa persentase ditransformasi arcsin terlebih dahulu sebelum dianalisis. Ragam genotipe, ragam fenotipe, dan heritabilitas dihitung berdasarkan komponen ragam (Singh and Chaudary 1979).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Eksersi Malai

Eksersi malai tiga tipe GMJ tidak berbeda nyata dengan galur pembanding (IR58025A), kecuali BI485A dan BI665A yang memiliki persentase eksersi malai lebih rendah (Tabel 1). Namun, semua GMJ baru memiliki eksersi malai kategori baik, karena >75% malai keluar dari pelepah daun bendera. Hal ini menunjukkan semua GMJ baru masih memiliki bagian malai yang tertutup daun bendera, walaupun galur pelestari pembentuknya memiliki eksersi malai yang baik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada GMJ tipe *Wild Abortive*, Gambiaca, maupun Kalinga, terjadi hambatan pemanjangan malai yang ditunjukkan oleh bagian malai yang tertutup daun bendera. Tabel 1 menunjukkan nilai-nilai eksersi malai dengan kisaran 75,5-82,1%. Hal ini menunjukkan masih terdapat bagian malai yang berada di dalam seludang daun bendera dengan persentase yang lebih kecil (18-25%). Karakter ini akan memberikan ruang yang lebih baik agar

Tabel 1. Eksersi malai, eksersi stigma, panjang dan lebar stigma, panjang stilus dan warna putik dari tiga tipe galur mandul jantan baru. Sukamandi, MK 2010.

Galur Mandul Jantan	Eksersi malai (%)	Eksersi stigma (%)	Panjang stigma (mm)	Lebar stigma (mm)	Panjang Stilus (mm)	Warna stigma
GMJ Tipe <i>Wild Abortive</i> (WA):						
BI485A	77 ^b	75 ^a	1,09 ^b	0,27 ^b	1,00 ^b	Putih
BI599A	80 ^{ab}	72 ^{ab}	1,44 ^a	0,32 ^{ab}	1,14 ^b	Putih
GMJ Tipe Gambiaca (Gam):						
BI855A	82 ^a	76 ^a	1,53 ^a	0,44 ^a	1,53 ^a	Putih
GMJ Tipe Kalinga (Kal):						
BI639A	81 ^a	68 ^b	1,40 ^a	0,38 ^{ab}	1,45 ^a	Putih
BI665A	76 ^c	73 ^{ab}	1,54 ^a	0,41 ^{ab}	1,43 ^a	Putih
Pembanding (WA):						
IR58025A	81 ^a	43 ^c	1,34 ^a	0,29 ^b	1,12 ^b	Putih
CV (%)	2,0	5,2	8,06	20,84	10,76	

Angka selanjur yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada $P < 0,05$.

rangkaian bunga pada malai dapat membuka dan mekar (*anthesis*) dengan sempurna. Dengan demikian, proses terjadinya fertilisasi akan terjadi dengan lebih baik yang akan berpengaruh terhadap jumlah biji yang terbentuk dalam satu malai.

Gagalnya pemanjangan pangkal malai pada GMJ tipe *Wild Abortive* diduga terjadi karena terhambatnya biosintesis asam giberelat, yang disebabkan oleh kandungan asam indol asetat (IAA) yang rendah pada malai galur mandul jantan. Karena itu, diperlukan penelitian khusus terkait biosintesis asam giberelat pada GMJ untuk mengetahui mekanisme pemanjangan malai pada GMJ.

Galur mandul jantan BI855A yang memiliki latar belakang sitoplasma tipe Gambiaca dan BI639A dengan tipe sitoplasma Kalinga memiliki persentase eksersi malai yang lebih baik dibanding BI485A dan BI599A yang memiliki sitoplasma tipe *Wild Abortive* (WA). Dengan demikian, ada kemungkinan terjadinya hambatan terhadap pemanjangan ruas teratas GMJ tipe Gambiaca dan Kalinga pada fase yang lebih lambat. Hal ini diduga ada kaitannya dengan fase pengguguran polen kedua tipe GMJ tersebut yang lebih lambat dibandingkan dengan galur mandul jantan tipe WA. Hasil pengamatan secara morfologi menunjukkan bahwa GMJ tipe Gambiaca dan Kalinga masih memiliki warna antera yang kuning pada awal pembungaan, tetapi tetap memiliki sterilitas tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa fase pengguguran polen kedua tipe GMJ ini lebih lambat dibandingkan dengan tipe WA yang gugur pada fase uninukleat. Berdasarkan hasil penelitian ini, maka masih perlu dilakukan pengamatan lebih intensif mengenai fase pengguguran polen dari GMJ BI855A, BI639A, BI485A, dan BI599A.

Stigma

Persentase eksersi stigma tiga tipe GMJ nyata lebih tinggi dibandingkan dengan IR58025A (Tabel 1). Kemampuan GMJ mempertahankan stigmanya tetap di luar setelah *anthesis* didukung oleh stilus (tangkai stigma) yang relatif lebih panjang. Panjang stilus GMJ tipe *Wild Abortive* tidak berbeda nyata dengan pembanding, karena pembanding yang digunakan merupakan GMJ tipe yang sama. GMJ tipe Gambiaca dan Kalinga memiliki stilus yang nyata lebih panjang dibandingkan IR58025A, berkisar antara 1,43-1,53 mm, sehingga potensi eksersi stigma kedua tipe ini juga lebih tinggi dibanding tipe WA. Stigma yang tetap berada di luar saat bunga padi telah menutup (eksersi stigma tinggi) akan meningkatkan kesempatan polen untuk jatuh di permukaan stigma dan berkecambah, sehingga terjadi pembuahan. Hal ini karena stigma mampu menerima polen hingga 5 hari setelah bunga menutup, sedangkan polen hanya bertahan hidup hingga 5 menit.

Karakter panjang dan lebar stigma yang diamati pada ketiga tipe GMJ tidak menunjukkan variasi yang cukup besar dan tidak berbeda nyata dengan IR58025A. Tiga tipe galur mandul jantan baru memperlihatkan karakteristik dan perilaku bunga yang mendukung terjadinya serbuk silang pada padi. Karakteristik dan perilaku bunga galur mandul jantan yang mendukung persilangan alami di atas mungkin diperoleh dari tetua-tetua asalnya (*ancestor*), karena galur mandul jantan tipe *Wild Abortive* dikembangkan dari *O. rufipogon* (Eckardt 2006). Sementara Kalinga dan Gambiaca dikembangkan dari padi lokal *indica* dan *tropical japonica*. Galur-galur tersebut memiliki sejumlah karakter bunga yang ideal untuk digunakan sebagai tetua betina dalam produksi benih hibrida, seperti durasi *anthesis* yang panjang dan eksersi stigma yang baik.

Karakter Morfologi, Perilaku Bunga dan Keragaman Genetik Galur Pelestari Pasangan Galur Mandul Jantan Baru

Lima galur pelestari pasangan galur mandul jantan baru memiliki antera yang nyata lebih panjang dibandingkan dengan IR58025B, hanya satu yang sebanding dengan IR58025A, yaitu BI485B (Tabel 2). Panjang antera berkisar antara 2,12-2,52 mm dan berwarna kuning serta gemuk. Hal ini menunjukkan bahwa antera memiliki cukup banyak polen yang nantinya akan dilepaskan untuk menyerbuki galur mandul jantan pasangannya.

Filamen yang panjang diperlukan untuk memastikan antera betul-betul berada di luar glume sehingga dapat menjatuhkan polen ke bunga GMJ padi. Skor anthesis pada lima galur pelestari tidak berbeda nyata dengan pembanding IR58025B. Terjadinya anthesis pada padi tidak hanya dipengaruhi oleh faktor genetik, tetapi juga oleh lingkungan, seperti suhu dan kelembaban. Proses pelepasan polen dari antera diduga akibat adanya kombinasi antara tekanan polen dan tekanan pada dinding lokula oleh air.

Selain beberapa karakter di atas, terdapat karakter bunga dan perilaku bunga lainnya yang diamati, baik pada galur mandul jantan baru maupun galur pelestari pasangannya (Tabel 3). Semua GMJ yang diuji nyata lebih genjah dibandingkan dengan galur pembanding, kecuali BI665A. Fenomena yang sama ditemukan pada galur pelestari. Galur pelestari berbunga 1-5 hari lebih awal dibanding GMJ pasangannya. Selisih umur berbunga antara GMJ dan galur pelestari yang ideal untuk penyerbukan optimal adalah 2-3 hari (Virmani *et al.* 1997). Karena itu, perlu pengaturan waktu semai dan tanam galur-galur ini agar berbunga pada periode yang hampir sama, sehingga terjadi sinkronisasi pembungaan pada saat produksi benih GMJ.

Durasi membukanya lemma dan palea selama periode pembungaan dua GMJ tipe WA nyata lebih lama dibandingkan dengan IR58025A, sedangkan dua tipe GMJ lainnya tidak berbeda terhadap IR58025A. Hasil penelitian menunjukkan bunga galur mandul jantan baru membuka 2-5 kali lipat lebih lama dibandingkan dengan bunga galur pelestari. Galur pelestari tipe WA membuka antara 38-52 menit, sedangkan GMJ membuka selama 143-162 menit. GMJ tipe Gambiaca membuka selama 132 menit, sedangkan galur pelestari hanya 28 menit. Begitu pula pada tipe Kalinga, galur pelestari membuka antara 41-54 menit, sedangkan GMJ membuka hingga 135 menit (Tabel 3).

Pengamatan terhadap sudut membuka lemma dan palea saat *anthesis* memperlihatkan BI599A, BI855A dan BI639A mampu membuka lebih lebar dibandingkan dengan IR58025A, masing-masing membentuk sudut 40, 36 dan 41 derajat. Durasi dan sudut pembukaan lemma-palea pada GMJ baru yang lebih baik dibandingkan IR58025A menunjukkan stigma GMJ baru memiliki kesempatan untuk menerima polen tetua jantan lebih lama dan tidak terhalangi oleh lemma dan palea. Singh *et al.* (2006) melaporkan bahwa GMJ umumnya memiliki periode berbunga lebih lama dibandingkan dengan galur pelestari pasangannya, disebabkan oleh tertundanya atau gagalnya proses polinasi.

Akumulasi sejumlah perilaku bunga yang lebih baik berpengaruh terhadap terbentuknya biji per malai (*seed set*) yang lebih tinggi pada GMJ baru. Kisaran *seed set* lima GMJ baru adalah 4,75-25,90%, sedangkan IR58025A hanya 2,98% (Tabel 3). Pada penelitian ini, biji yang terbentuk pada GMJ baru yang merupakan hasil menyerbuk silang secara alami (*out crossing*), tanpa bantuan manusia berupa penyerbukan tambahan (*supplementary pollination*) seperti pada proses produksi benih GMJ atau hibrida di lapangan,

Tabel 2. Panjang antera, filamen, skor *anthesis* dan warna antera galur pelestari.

Galur pelestari	Panjang antera (mm)	Panjang filamen (mm)	Skor antesis	Warna antera
GMJ Tipe Wild Abortive (WA):				
BI485A	2,12 ^b	1,83 ^{ab}	1 ^a	Kuning
BI599A	2,39 ^a	1,40 ^b	1 ^a	Kuning
GMJ Tipe Gambiaca (Gam):				
BI855A	2,39 ^a	1,92 ^{ab}	1 ^a	Kuning
GMJ Tipe Kalinga (Kal):				
BI639A	2,52 ^a	2,35 ^a	1 ^a	Kuning
BI665A	2,49 ^a	1,87 ^{ab}	3 ^a	Kuning
Pembanding (WA):				
IR58025A	2,20 ^b	1,93 ^{ab}	1 ^a	Kuning
CV (%)	4,33	15,44	8,06	

Angka selajur yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada P < 0,05.

Tabel 3. Umur berbunga, durasi dan sudut pembukaan bunga serta *seed set* yang terbentuk pada galur mandul jantan baru dan pelestariya.

Galur mandul jantan	Umur berbunga (hari)		DPLP (menit)		SMLP (°)		Seed set (%)	
	A	B	A	B	A	B	A	B
GMJ Tipe Wild Abortive (WA):								
BI485A	76,7 ^d	75,0 ^c	143,87 ^{ab}	38,40 ^b	34,86 ^{bc}	40,27 ^a	19,41 ^{ab}	90,80 ^a
BI599A	79,7 ^c	75,0 ^c	162,88 ^a	52,13 ^a	39,79 ^a	35,60 ^b	4,75 ^c	74,44 ^c
GMJ Tipe Gambiaca (Gam):								
BI855A	81,7 ^c	77,0 ^c	132,48 ^{bc}	28,60 ^b	36,02 ^b	36,47 ^{ab}	10,84 ^{bc}	91,54 ^a
GMJ Tipe Kalinga (Kal):								
BI639A	81,0 ^c	76,0 ^c	120,62 ^c	54,27 ^a	40,59 ^a	35,87 ^b	25,90 ^a	89,41 ^{ab}
BI665A	91,0 ^a	91,7 ^a	135,91 ^{bc}	41,87 ^{ab}	33,68 ^{bc}	38,33 ^{ab}	15,71 ^b	65,19 ^d
Pembanding (WA):								
IR58025A	88,0 ^b	88,3 ^b	121,80 ^c	54,27 ^a	32,78 ^c	29,28 ^c	2,98 ^c	81,68 ^{ab}
CV (%)	1,7	1,4	8,46	15,63	2,02	4,93	18,49	5,74

A: Galur Mandul Jantan, B: Galur pelestari pasangan masing-masing GMJ; DPLP: durasi pembukaan bunga saat *anthesis*, SMLP: sudut membuka bunga saat *peak-anthesis*, *Seed set*: terbentuknya biji, *seed set* GMJ terbentuk sebagai hasil serbuk silang alami, *seed set* B terbentuk dari hasil *selfing* galur pelestari itu sendiri; Angka selajur yang diikuti huruf yang sama, tidak berbeda pada $P < 0,05$.

menunjukkan bahwa kelima GMJ baru yang diuji berpeluang digunakan dalam produksi dan pengembangan varietas padi hibrida.

Korelasi antara Karakter dan Perilaku Bunga Galur Mandul Jantan dan Pelestari terhadap Seed Set

Hasil analisis korelasi antara karakter bunga galur mandul jantan dan *seed set* ditampilkan pada Tabel 4. Panjang stigma memiliki korelasi masing-masing positif dan nyata dengan panjang stilus ($r = 0,64^{**}$), lebar stigma ($r = 0,73^{**}$), panjang gabah ($r = 0,71^{**}$), dan bentuk gabah ($r = 0,50^*$). Nilai korelasi tersebut menunjukkan bahwa pada populasi GMJ baru, panjang stigma juga didukung oleh panjang tangkai stilus yang panjang.

Seleksi terhadap salah satu karakter di atas dapat meningkatkan empat karakter lainnya. Panjang stigma yang berkorelasi positif dengan lebar stigma menyebabkan permukaan stigma menjadi lebih luas dan mampu menerima lebih banyak polen asing, sehingga potensi menyerbuk silang galur-galur ini lebih besar. Seleksi terhadap bentuk gabah yang besar dan panjang kemungkinan sekaligus akan memperoleh stigma yang permukaannya besar dengan stilus yang panjang.

Lebar gabah berkorelasi positif dengan eksersi stigma ($r = 0,50^*$), sudut membuka lemma dan palea ($r = 0,43^*$), dan durasi membuka lemma dan palea ($r = 0,52^*$). Tiga karakter perilaku bunga penting yang mendukung kemampuan menyerbuk alami galur mandul jantan baru terkait erat dengan lebar gabah. Hal ini terjadi karena secara fisik, galur mandul jantan yang memiliki gabah lebar, juga memiliki kariopsis yang tipis

sehingga dapat lebih mudah membuka. Nilai korelasi yang positif dan nyata ditunjukkan antara *seed set* dengan lebar stigma ($r = 0,44^*$), eksersi stigma ($r = 0,54^*$), dan sudut membuka lemma dan palea ($r = 0,42^*$). Hal tersebut menunjukkan bahwa lebar stigma, eksersi stigma, dan sudut pembukaan bunga sangat menentukan persentase *seed set* pada galur mandul jantan. Sudut membuka bunga galur mandul jantan baru yang lebar menyebabkan antera tidak terhalang oleh lemma dan palea, sehingga dapat melepaskan polen dengan baik dan polen dapat jatuh di permukaan stigma. Persentase eksersi stigma yang besar mendukung terbentuknya *seed set* yang tinggi pada galur mandul jantan. Pengguguran polen (*dehiscence*) oleh galur pelestari yang terjadi tidak pada waktu yang bersamaan dengan membukanya lemma palea galur mandul jantan, masih berkesempatan untuk jatuh pada permukaan stigma yang berada di luar *spikelet*, sehingga memperbesar keberhasilan polinasi. Durasi dan sudut pembukaan bunga, ukuran stigma, dan persentase eksersi stigma merupakan karakter penting yang bertanggung jawab terhadap kemampuan serbuk silang alami galur mandul jantan (Singh and Sirisha 2003).

Persentase *seed set* pada galur mandul jantan dipengaruhi oleh karakter bunga galur pelestari. Analisis korelasi menunjukkan bahwa *seed set* pada GMJ berkorelasi positif terhadap panjang filamen galur pelestari ($r = 0,47^*$) dan sudut pembukaan bunga galur pelestari ($r = 0,57^{**}$) (Tabel 5). Filamen galur pelestari yang panjang memungkinkan antera berada di luar *spikelet* pada saat pembukaan bunga dan sudut membuka bunga yang lebar menyebabkan keluarnya

Tabel 4. Korelasi fenotipik karakter dan perilaku bunga galur mandul jantan terhadap persentase terbentuknya biji (*seedset*).

Karakter	Panjang stigma	Panjang stylus	Lebar stigma	Ukuran stigma	Panjang gabah	Lebar gabah	Bentuk gabah	Eksersi stigma	Eksersi malai	DPLP GMJ	SDLP GMJ	Seed set
Panjang stigma	1											
Panjang stylus	0,64**	1										
Lebar stigma	0,73**	0,72**	1									
Ukuran stigma	-0,26ns	-0,51*	-0,83**	1								
Panjang gabah	0,71**	0,34ns	0,40ns	0,07ns	1							
Lebar gabah	-0,09ns	-0,10ns	0,15ns	-0,26ns	-0,28ns	1						
Bentuk gabah	0,50*	0,29ns	0,16ns	0,20ns	0,78**	-0,81**	1					
Eksersi stigma	0,07ns	0,26ns	0,28ns	-0,34ns	-0,09ns	0,50*	-0,39ns	1				
Eksersi malai	0,18ns	0,17ns	0,14ns	-0,19ns	-0,12ns	-0,22ns	0,05ns	-0,29ns	1			
DPLP GMJ	-0,08ns	-0,17ns	-0,12ns	0,12ns	-0,11ns	0,43*	-0,33ns	0,46*	-0,22ns	1		
SDLP GMJ	0,09ns	0,21ns	0,10ns	-0,14ns	-0,36ns	0,52*	-0,57**	0,32ns	0,34ns	0,24ns	1	
Seed set	-0,19ns	0,35ns	0,44*	-0,41ns	-0,30ns	0,14ns	-0,30ns	0,54*	-0,23ns	-0,13ns	0,42*	1

DPLP: durasi pembukaan bunga saat antesis, SPLP: sudut membuka bunga saat *peak-antesis*, *Seed set*: terbentuknya biji pada GMJ sebagai hasil serbuk silang alami; * nyata pada $P < 0,05$ dan ** nyata pada $P < 0,01$.

Tabel 5. Korelasi fenotipik karakter dan perilaku bunga galur pelestari terhadap persentase terbentuknya biji (*seedset*).

Karakter	Panjang antera	Panjang filamen	Panjang gabah	Lebar gabah	Bentuk gabah	Eksersi malai	Seed set GMJ	SPLP pelestari	DPLP pelestari
Panjang antera	1								
Panjang filamen	0,26ns	1							
Panjang gabah	0,40ns	-0,16ns	1						
Lebar gabah	0,17ns	-0,40ns	-0,28ns	1					
Bentuk gabah	0,12ns	0,16ns	0,78**	-0,81**	1				
Eksersi malai	-0,07ns	0,09ns	-0,12ns	-0,22ns	0,05ns	1			
Seed set GMJ	0,27ns	0,47*	-0,30ns	0,14ns	-0,30ns	-0,23ns	1		
SPLP pelestari	0,03ns	0,09ns	-0,33ns	0,38ns	-0,43ns	-0,23ns	0,57**	1	
DPLP pelestari	0,08ns	-0,04ns	-0,12ns	0,04ns	-0,09ns	0,04ns	-0,23ns	-0,47*	1

DPLP: durasi pembukaan bunga saat antesis, SPLP: sudut membuka bunga saat *peak-antesis*, *Seed set*: terbentuknya biji pada GMJ sebagai hasil serbuk silang alami; * nyata pada $P < 0,05$ dan ** nyata pada $P < 0,01$.

anteras tidak terhalang oleh lemma dan palea, sehingga dapat menggugurkan polen di luar spikelet dengan baik dan jatuh ke permukaan stigma tanaman GMJ atau akan memperbesar keberhasilan polinasi.

KESIMPULAN

Sifat-sifat morfologi bunga GMJ baru memiliki korelasi positif terhadap pengisian biji, antara lain lebar stigma, eksersi stigma, sudut membuka lemma dan palea galur mandul jantan, panjang filamen, dan sudut pembukaan bunga galur pelestari. Karakter-karakter tersebut dapat digunakan sebagai kriteria seleksi pembentukan GMJ.

Galur mandul jantan baru dengan latar belakang genetik tiga sitoplasma (Wild Abortive, Kalinga, dan Gambiaca), memiliki umur berbunga dengan kategori genjah. Galur-galur mandul jantan tersebut memiliki karakter bunga yang lebih baik dibandingkan dengan IR58025A, seperti stigma besar, persentase eksersi stigma

yang tinggi, sudut pembukaan bunga yang lebar, dan durasi pembukaan bunga yang lama. Akumulasi perilaku bunga yang baik dan mendukung kemampuan menyerbuk silang ini mampu meningkatkan kisaran *seed set* GMJ baru, berkisar antara 5-26%, dibandingkan dengan GMJ IR58025A yang hanya 2,98%.

DAFTAR PUSTAKA

- Eckardt, N.A. 2006. Cytoplasmic male sterility and fertility restoration. *The Plant Cell* 18:515-517.
- Matsui, T., K. Omasa, and T. Horie. 1999. Mechanism of anther dehiscence in rice (*Oryza sativa* L.). *Annals of Botany* 84: 501-506.
- Qiao, B., X. Zhu, Y. Wang, and D. Hong. 2008. Mapping of QTL for three panicle exertion-related traits in rice under different growing environments. *Acta Agron. Sin.* 34(3): 389-396.
- Rumanti, I.A., B.S. Purwoko, I.S. Dewi. and H. Aswidinnoor. 2013. Developmental of new CMS lines with good flowering behavior for hybrid rice breeding. *Proceeding of the 7th Asian Crop*

- Science Association Conference. Bogor, 27-30 September 2011. p.39-44.
- Sheeba, A., P. Vivekanandan, and S.M. Ibrahim. 2006. Genetic variability for floral traits influencing outcrossing in the cms lines of rice. *Indian J. Agric. Res.* 40(4):272-276.
- Singh, R.K. and B.D. Chaudhary. 1979. Biometrical method in quantitative genetic analysis. Kalyani Publ. New Delhi.
- Singh, R.J. and Y. Shirisha. 2003. Evaluation of CMS lines for various floral traits that influence out crossing in rice (*Oryza sativa* L.). *IRRN* 28(1):24-26.
- Singh, S., K.M. Latha, and M.I. Ahmed. 2006. Genotypic differences for flowering behavior in different varietal types in rice (*Oryza sativa* L.). *Indian J. Crop Science* 1(1-2): 203-204.
- Virmani, S.S., B.C. Viraktamath, C.L. Casal, R.S. Toledo, M.T. Lopez, and J.O. Manalo. 1997. Hybrid Rice Breeding Manual. IRRI, Philippines.
- Virmani, S.S., Z.X. Sun, T.M. Mou, A.J. Ali, and C.X. Mao. 2003. Two-lines hybrid rice breeding manual. IRRI, Philippines. 88p.
- Widyastuti, Y., I.A. Rumanti, dan Satoto. 2007. Studi keragaman genetic karakter bunga yang mendukung persilangan alami padi. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 26(1): 14-19.
- Yin, C., L. Gan, Ng Denny, X. Zhou, and K. Xia K. 2007. Decreases panicle-derived indole-3-acetic acid reduces gibberellin A1 level in the uppermost internode, causing panicle enclosure in male sterile rice Zhenshan 97A. *Journal of Experimental Botany* 58(10): 2441-2449.
-