

Perilaku Pembungaan Galur-galur Tetua Padi Hibrida

Yuni Widyastuti, I.A. Rumanti, dan Satoto

Balai Besar Penelitian Tanaman Padi
Jl. Raya 9 Sukamandi, Subang 41256, Jawa Barat
email: yoeni_11@yahoo.com

Naskah diterima 4 Juni 2012 dan disetujui diterbitkan 26 November 2012

ABSTRACT

Flowering Behaviour of Inbred Parental Lines for Rice Hybrid. Rice (*Oryza sativa* L) is naturally a self-pollinated crop, although outcrossing rate of 0.5 to 6.8% had been observed in some genotypes. In hybrid rice breeding, outcrossing ability of parental lines is expected to increase seed set. The successful of hybrid rice seed production is affected by floral characteristics, synchronous of parental line flowering, and other morphological characters which affect pollen transfer from male parent (B or R line) to female parent (A line). Some rice agronomic characters such as number of productive tillers per hill, number of spikelets per panicle, plant height, narrow and short of flag leaf, also panicle exertion, could affect outcrossing rate. The floral characteristics of A line such as: stigma and stylus size, stigma exertion, stigma receptivity period, angle of floret, period of the spikelet opening, and panicle exerted above flag leaf, are also affecting the outcrossing rate. However, the flowering characteristic of male parent (B or R line) such as: anther size, filament length, number of pollen per anther, percentage of exerted anther and duration of spikelet opening, are also contributing to the rate of outcrossing. Study of heritability and genetic variability analysis revealed that all characters supporting outcrossing could be improved by breeding. The environmental factors that affect outcrossing in rice are temperature, relative humidity, light intensity, and wind speed.

Keywords: Rice, synchronize flowering, CMS-line, outcrossing, hybrid.

ABSTRAK

Padi secara alami merupakan tanaman menyerbuk sendiri yang kemampuan menyerbuk silangnya (*outcrossing*) sangat rendah (0,5-6,8%). Pada pemuliaan padi hibrida peningkatan kemampuan menyerbuk silang antara tetua diharapkan dapat meningkatkan produksi benih. Keberhasilan produksi benih hibrida antara lain ditentukan oleh karakter bunga, kesesuaian waktu pembungaan kedua tetua, dan karakter morfologi yang lain yang mempengaruhi transfer tepungsari dari tetua jantan (galur B atau R) ke tetua betina (galur A). Beberapa karakter agronomi padi seperti jumlah anakan produktif per rumpun, jumlah spikelet per malai, tinggi tanaman, daun bendera yang sempit dan pendek, serta eksersi malai juga dapat mempengaruhi tingkat serbuk silang padi. Karakteristik pembungaan pada tetua betina (galur A) antara lain ukuran putik dan tangkai putik, eksersi kepala putik, dan persentase yang tinggi, periode reseptivitas putik yang lama, sudut membuka bunga yang besar, lama membuka bunga, dan posisi malai yang keluar dari daun bendera sangat menentukan terjadinya penyerbukan. Karakteristik pembungaan tetua jantan (galur B atau R) antara lain ukuran kepala sari, tangkai sari yang panjang, jumlah serbuk sari/kepala sari yang banyak, persentase kepala sari yang tinggi dan durasi pembungaan ikut memperbesar terjadinya serbuk silang. Hasil studi heritabilitas dan kemajuan genetik mengindikasikan bahwa sifat-sifat bunga yang mendukung terjadinya penyerbukan silang pada padi dapat diperbaiki melalui pemuliaan. Hal ini mengindikasikan seleksi secara fenotipik dapat dilakukan terhadap sifat-sifat tersebut. Faktor lingkungan yang mempengaruhi penyerbukan silang pada padi adalah temperatur, kelembaban relatif, intensitas cahaya, dan kecepatan angin.

Kata kunci: Padi, sinkronisasi pembungaan, galur CMS, silang alami, hibrida.

PENDAHULUAN

Berbeda dengan produksi benih padi varietas inbrida yang dapat memberikan hasil 4 t/ha, produksi benih padi hibrida di Indonesia berkisar antara 1,0-1,5 t/ha. Rendahnya produksi benih padi hibrida menyebabkan harga jual benih jauh lebih mahal dibanding benih padi inbrida. Biaya produksi benih hibrida yang lebih mahal disebabkan oleh "kompleksitas" teknik produksi benih yang berimbas pada mahalnya harga benih hibrida.

Keberhasilan produksi benih hibrida antara lain ditentukan oleh karakter bunga, kesesuaian waktu pembungaan kedua tetua, dan karakter morfologi lain yang mempengaruhi transfer tepung dari tetua jantan (galur B = pelestari, atau galur R = pemulih kesuburan) ke tetua betina (galur A = CMS = GMJ = galur mandul jantan). Gabah yang dihasilkan merupakan fungsi dari kemampuan menghasilkan benih galur A atau *seed set-capacity* dan tingkat persilangan alami (*outcrossing* = serbuk silang) pada galur A. Tingkat menyerbuk silang bergantung pada karakteristik pembungaan sehingga kajian mengenai pembungaan dan perilaku penyerbukan silang pada padi menjadi penting untuk mendukung keberhasilan produksi benih padi hibrida (Liang *et al.* 1991, Virmani and Athwal 1973, Yadav *et al.* 1998).

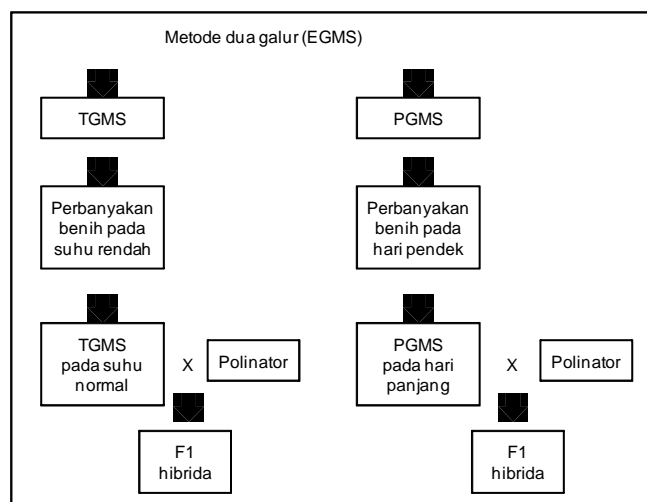
Produksi benih padi hibrida dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu metode dua galur (sistem EGMS = *Environmental Genetic Male Sterile*) dan metode tiga galur (sistem CMS = *Cytoplasmic Male Sterile*). Metode dua galur memanfaatkan kondisi lingkungan pada saat produksi benih. Metode ini terdiri atas TGMS (*Thermosensitive Genetic Male Sterile*) dan PGMS (*Photosensitive Period Genetic Male Sterile*). Di daerah tropis, perbedaan temperatur ditemukan pada ketinggian

dan musim yang berbeda. Pada metode ini tidak diperlukan galur B pada perbanyakan galur A, hanya galur TGMS dan polinator yang diperlukan untuk memproduksi F₁ hibrida. Tahapan produksi benih menggunakan metode dua galur dapat dilihat pada Gambar 1.

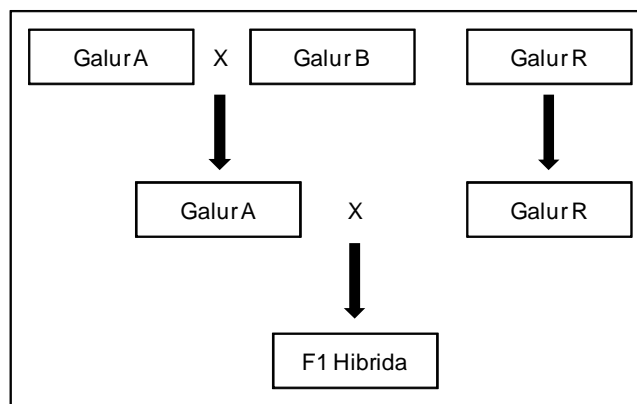
Keuntungan menggunakan metode ini adalah mudahnya memproduksi benih karena tidak memerlukan galur B untuk produksi benih galur A, tingkat heterosis hibrida lebih tinggi, tidak ada efek sterilitas yang disebabkan oleh sitoplasma pada hibrida, dan latar belakang genetik yang digunakan pada tetua dapat lebih luas. Namun kelemahannya, sistem ini sulit diadopsi di daerah dengan kisaran temperatur yang luas dan berfluktuasi seperti di Indonesia.

Metode yang digunakan pada produksi benih padi hibrida di Indonesia adalah metode tiga galur menggunakan tetua galur mandul jantan atau galur A, galur pelestari (B), dan galur pemulih kesuburan (R). Pada metode ini produksi benih dilaksanakan melalui tiga tahapan yaitu, (1) perbanyakan galur mandul jantan (galur A X galur B), (2) perbanyakan galur pelestari (B) dan galur pemulih kesuburan (R), dan (3) produksi benih F₁ padi hibrida (galur A X galur R). Keuntungan metode ini, benih yang dihasilkan lebih terjamin kemurniannya. Kelemahannya adalah pada prosedur produksi benih F₁ yang rumit. Tahapan produksi benih menggunakan metode tiga galur dapat dilihat pada Gambar 2.

Penggunaan metode tiga galur ini sering menghasilkan persentase pembentukan biji (*seed set*) yang rendah sehingga menyebabkan hasil benih padi hibrida juga rendah. Persentase pembentukan biji pada produksi benih F₁ hibrida ini ditentukan oleh faktor eksternal dan internal. Faktor eksternal terutama ketepatan waktu berbunga antara galur A dengan galur R, sedangkan faktor internal yang utama adalah karakter pembungaan pada galur-galur tetuanya (Widyastuti *et al.* 2007). Tulisan ini bertujuan untuk memberikan informasi mengenai karakter



Gambar 1. Tahapan produksi benih hibrida metode dua galur.



Gambar 2. Tahapan produksi benih hibrida metode tiga galur.

pembungaan pada galur-galur tetua padi hibrida yang berpengaruh terhadap peningkatan kemampuan menyerbuk alami sehingga dapat diaplikasikan pada pemuliaan padi hibrida dan produksi benih padi hibrida.

MEKANISME PENYERBUKAN DAN PEMBUAHAN

Morfologi Bunga Padi

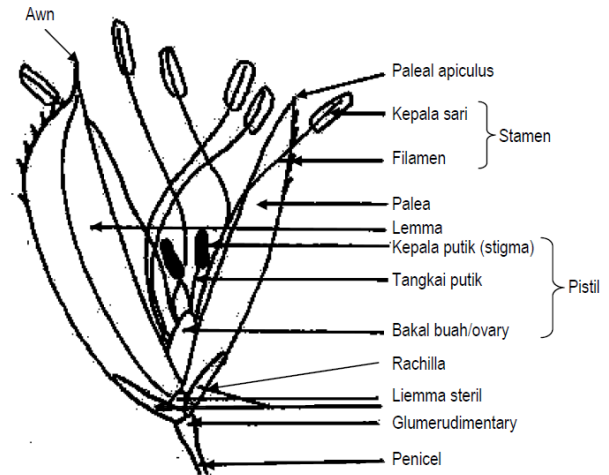
Tanaman padi menghasilkan bunga sempurna. Kumpulan bunga padi disebut malai, yang menopang bunga pada cabang primer dan sekunder. Tiap unit bunga pada malai disebut *spikelet*. Bunga terdiri atas tangkai (*pedicle*), dua buah sekam mahkota (*lemma* dan *palea*), satu organ betina (pistil atau putik), dan enam organ jantan (*stamen* atau benang sari) (Siregar 1981 IRR 2007). Benang sari terdiri atas enam kepala sari (*anther*) yang berisi serbuk sari dan ditopang oleh tangkai sari (*filament*). Kepala sari merupakan empat kantung memanjang tempat penyimpanan serbuk sari. Tangkai sari adalah tangkai memanjang yang menopang kepala sari. Pada bagian ini terdapat jaringan vaskuler yang berfungsi mendistribusikan nutrisi dan air ke kepala sari.

Putik terdiri atas satu bakal buah (*ovule/ovary*) yang menopang dua kepala putik (*stigma*) melalui dua tangkai putik (*stylus*) (Virmani 1994). Kepala putik padi umumnya berwarna putih atau ungu. Pada dasar bunga dekat *palea* terdapat dua struktur transparan yang disebut lodikula (*lodicules*) yang berperan penting dalam membuka dan menutupnya spikelet. *Lemma* dan *palea* merupakan modifikasi batang untuk melindungi organ-organ bunga. *Lemma* relatif lebih besar dibanding *palea*. Pada saat bunga menutup, *lemma* akan menutupi sebagian *palea*. Ujung runcing di atas *lemma* disebut *awn* atau ujung gabah. Morfologi bunga padi dapat dilihat pada Gambar 3.

Pembungaan dan Penyerbukan

Perkembangan bunga padi dapat dibagi menjadi dua tahapan, yaitu tahap prapembungaan dan tahap pembungaan. Tahap prapembungaan didasarkan pada perkembangan organ seksual (jantan dan betina) yang terdiri dari (1) pembentukan serbuk sari, (2) perkembangan ovarium yang merupakan ruang yang menyelubungi bakal biji, pada tahap ini jaringan pada bakal biji terbentuk dan mulai berkembang, (3) pembentukan kantung embrio yang merupakan tempat penyimpanan nutrisi bagi embrio. Pada saat kantung embrio selesai terbentuk, organ-organ bunga lainnya siap untuk pembungaan dan pembuahan.

Pada waktu padi akan berbunga, lodikula mengembang karena menghisap air dari bakal buah. Pada



Gambar 3. Morfologi bunga padi (Puslitbangtan 2006).

saat tertentu seperti hujan, temperatur terlalu rendah atau tinggi, lodikula akan menyusut dan menyebabkan bunga padi menutup. Saat bunga siap mekar, putik dalam kondisi reseptif dan kepala sari telah penuh serbuk sari. Pengembangan lodikula mendorong *lemma* dan *palea* terpisah lalu terbuka. Hal ini memungkinkan benang sari yang memanjang keluar dari bagian atas atau samping bunga yang telah membuka. Terbukanya bunga diikuti oleh pecahnya kepala sari yang kemudian menumpahkan serbuk sarinya. Pecahnya kepala sari dan pemanjangan tangkai sari terjadi secara bersamaan sehingga putik menerima serbuk sari dari bunga yang sama, sehingga terjadi penyerbukan sendiri (*self pollinated*) (Virmani 1994). Sudut membukanya bunga pada saat pembungaan maksimum adalah 25-30°. Setelah pecah dari kepala sari, serbuk sari pada kondisi normal akan kehilangan viabilitasnya dalam 5 menit. Sedangkan pada padi liar, viabilitas serbuk sari dapat bertahan sampai 9 menit (Oka and Morishima 1967). Sesudah serbuk sari ditumpahkan, *lemma* dan *palea* akan menutup kembali. Waktu menutupnya *lemma* dan *palea* mencapai 50-90 menit (Virmani and Athwal 1973). Dengan berpindahannya serbuk sari ke kepala putik, maka selesailah proses penyerbukan dan tahap selanjutnya adalah pembuahan.

Pembuahan

Segera setelah serbuk sari mengendap di kepala putik, proses perkecambahan dimulai. Perkecambahan terjadi 2-3 menit setelah penyerbukan dimana dua inti generatif dan vegetatif bergerak menuju pipa serbuk sari (*pollen tube*) bersama dengan sitoplasma serbuk sari. Dalam waktu kurang lebih 30 menit setelah penyerbukan, satu gamet jantan bersatu dengan dua inti kutub sel telur dan membentuk endosperm dengan jumlah kromosom 3n.

Gamet jantan yang satu lagi akan bersatu dengan satu inti kutub sel telur dan membentuk sel telur yang diploid (2n), sekitar 9 jam setelah penyerbukan pipa serbuk sari mencapai inti mikropil. Sekitar 24 jam setelah penyerbukan akan terdapat kurang lebih 40 inti endosperm dan sel telur menjadi empat. Empat hari setelah pembungaan (*anthesis*), kantung embrio telah terisi oleh jaringan sel-sel endosperm yang berkembang, dan perkembangan embrio sampai membentuk karbohidrat membutuhkan waktu 10 hari (Murata and Matsushima 1978, Vergara 1980, Yoshida 1981, Namai 1987).

Berdasarkan perilaku gen *male sterile*, galur A dibedakan menjadi galur A sporofitik dan gametofitik. Pada galur A sporofitik, sterilitas atau fertilitas tepung sari ditentukan hanya oleh genotipe dari sporofit. Terdapat pada galur A tipe *Wild Abortive* dan *Gambiaca*, kedua galur A tersebut gugurnya tepung sari terjadi pada awal perkembangan mikrospora. Fertilitas galur A gametofitik hanya ditentukan oleh genotipe gametofit (tepung sari), gugurnya tepung sari terjadi di fase akhir perkembangan mikrospora misalnya pada galur A *Boro type* (Satoto dan Rumanti 2011).

PERILAKU PEMBUNGAAN DAN KEMAMPUAN MENYERBUK SILANG

Perilaku Pembungaan

Keberhasilan perakitan padi hibrida ditentukan oleh perilaku pembungaan galur-galur tetuanya yang dapat meningkatkan kemampuan untuk menyerbuk silang. Perilaku pembungaan padi berkaitan erat dengan karakter yang dimiliki tanaman pada fase pembungaan. Malai keluar dari daun bendera 24-36 hari setelah inisiasi primordia.

Periode pembungaan padi bervariasi antara 7-10 hari untuk padi budi daya dan 7-20 hari untuk padi liar. Pada daerah tropis, mekarnya bunga padi tipe *Indica* biasanya mulai pukul 08.30 dan selesai pukul 11.00 sampai 12.00. Puncak mekarnya bunga terjadi antara pukul 10.00 sampai 10.30, bergantung pada morfologi spikelet (Parmer *et al.* 1979). Umumnya bunga padi mekar hanya sekali pada satu hari (Virmani 1994).

Periode dari membuka sampai menutupnya bunga disebut durasi pembungaan. Pada padi budi daya ditemukan durasi berbunga 46-93 menit dan sifat ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan (Virmani and Athwal 1973). Parmer *et al.* (1979) menemukan pembungaan berkisar antara 28-78 menit, dimana pada varietas umur genjah 28-35 menit sedangkan pada varietas umur dalam mencapai 50-70 menit.

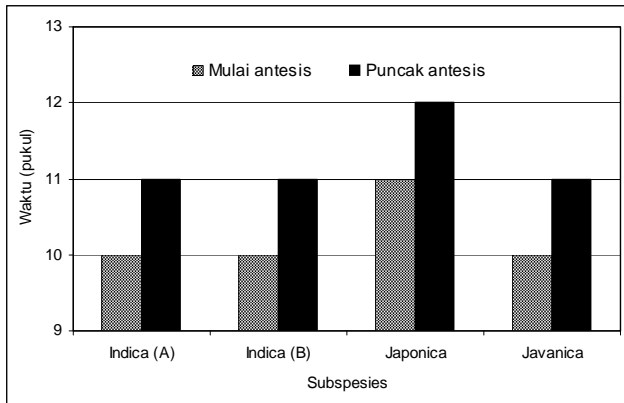
Kepala sari pecah segera setelah spikelet terbuka. Bunga padi dapat membuka selama 1-3 jam dan menutup setelah antesis, setelah itu bunga tidak pernah lagi membuka (Taillebois and Gumairaes 1988). Saran *et al.* (1971) melaporkan bahwa durasi membukanya bunga berkorelasi positif dengan persentase sterilitas. Di IRRI, beberapa galur A yang memperlihatkan sterilitas serbuk sari ditemukan membuka lebih lama daripada galur pelestari yang mempunyai fertilitas serbuk sari (Young 1983). Serbuk sari setelah keluar dari kepala sari umumnya berumur pendek. Pada kondisi umum serbuk sari kehilangan viabilitas dalam waktu 5 menit, kemampuan kepala putik menerima serbuk sari dapat bertahan selama 7 hari. (Koga *et al.* 1971) Sudut membuka bunga dapat mempengaruhi proses penyerbukan silang. Sudut membuka bunga maksimum 30-31°, kondisi ini tercapai 20 menit sejak membukanya bunga.

Keragaman waktu pembungaan pada berbagai tipe padi dapat dilihat pada Tabel 1. Menurut Singh *et al.*

Tabel 1. Perilaku pembungaan beberapa tipe padi.

Kultivar	Waktu antesis (jam:mnt)			Lama antesis per malai (jam:mnt)	Puncak waktu antesis (jam:mnt)	Durasi pembungaan per malai (hari)
	Membuka	Menutup	Durasi			
IR58025A (i)	10:05	11:32	1:27	2:28	11:00	6
IR68888A (i)	10:05	11:27	1:22	2:10	11:00	5
IR73084A (Tj)	10:00	11:25	1:25	2:30	11:10	5
IR58025B (i)	10:15	11:27	1:12	2:50	11:10	5
IR68888B (i)	10:30	11:42	1:12	2:58	11:15	7
IR73084B (Tj)	10:25	11:35	1:10	3:10	11:00	4
Dular (i)	10:45	11:50	1:05	2:50	11:00	4
Dumpalon (Tj)	10:30	11:40	1:10	2:55	11:00	6
Ketan Nangka (Tj)	10:10	11:35	1:25	2:55	11:00	5
9314 (j)	10:45	11:50	1:05	2:20	11:00	4
Taichung 65 (j)	11:30	12:40	1:10	2:10	11:00	4
IR68544-29 (j)	10:15	11:40	1:25	2:40	11:00	5

Sumber: Singh *et al.* (2006)



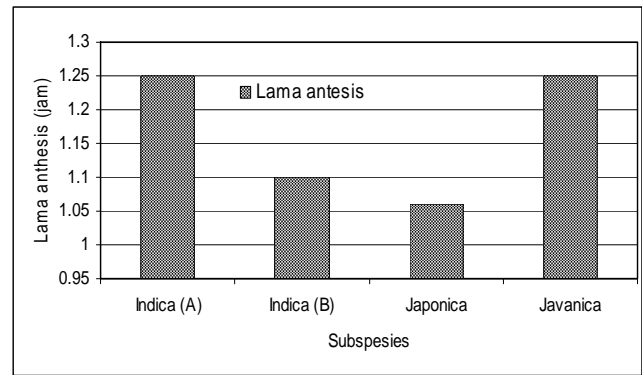
Gambar 4. Waktu pembungaan beberapa tipe padi.

(2006), tipe Indica dengan Javanica hampir bersamaan mulai dan puncak pembungaannya dibanding tipe Japonica. Puncak terjadinya pembungaan pun bervariasi. Pada tipe Indica dan Javanica, puncak pembungaan sekitar pukul 11.00 sedangkan tipe Japonica pukul 12.15. Kesesuaian waktu pembungaan berkaitan dengan upaya perakitan padi hibrida inter-spesies Indica/Japonica yang diharapkan menghasilkan *super hybrid rice*. Kekerabatan yang cukup jauh antara Indica dengan Japonica seringkali menjadi hambatan dalam kegiatan produksi benih padi hibrida (Ikehashi *et al.* 1992). Oleh karena itu, perlu dipastikan kedua tetua mempunyai umur berbunga dan waktu pembungaan yang sama (Gambar 4 dan 5). Galur mandul jantan tipe Indica berbunga lebih lama dibanding galur pelestariannya. Sebagaimana dilaporkan Grist (1953) dimana GMJ lebih lama periode pembungaannya dibanding galur pelestari disebabkan oleh keterlambatan atau kegagalan penyerbukan.

Kecenderungan kepala putik pada galur A untuk tetap berada di luar dan menerima serbuk sari setelah *lemma* dan *palea* menutup turut mempengaruhi tingkat pengisian gabah. Hal ini berkaitan dengan kemampuan kepala putik untuk dapat menerima penyerbukan selama 5-7 hari. Namun menurut penelitian IRRI, eksersi kepala putik merupakan sifat genetis tanaman dan tidak semua galur A memiliki sifat ini. Meskipun demikian sifat ini dapat disisipkan melalui program pemuliaan. Selain sterilitas, beberapa faktor yang dapat memperpanjang waktu membukanya bunga antara lain morfologi atau sudut antara *lemma* dan *palea* dapat membuat spikelet membuka lebih lama.

Kemampuan Menyerbuk Silang

Padi merupakan tanaman menyerbuk sendiri yaitu organ betina dan jantan berada pada bunga yang sama (*autogami*). Alogami atau penyerbukan silang adalah



Gambar 5. Lama membuka bunga beberapa tipe padi.

proses penyerbukan melibatkan serbuk sari dari bunga individu lain tetapi masih dalam satu species/jenis. Kemampuan menyerbuk silang disebut juga *outcrossing*, kemampuan ini secara alami pada padi yang sudah dibudidayakan sangat rendah berkisar 0,5-6,8% terutama pada padi Indica (Sarkar and Miah 1983, Silitonga 1985). Namun beberapa spesies padi liar mempunyai kemampuan serbuk silang yang lebih tinggi, antara lain *O. perennis* (20-45%), *O. sativa f. spontanea* (7-50%), dan *O. longistaminata* yang mencapai 100% (Oka and Morishima 1967, Sakai and Narise 1959, dan Virmani 1994).

Karakter utama dari pembungaan padi spesies alogami yang menyebabkan tingkat serbuk silang alaminya tinggi adalah:

- Kepala putik yang besar dan berbulu (2,5 mm *O. longistaminata*) dengan posisi kepala putik tetap berada di luar setelah antesis.
- Kepala sari yang berukuran besar (5,5 mm) dengan jumlah butir/anter sekitar 7.000 pada *O. longistaminata*.
- Eksersi malai sangat bagus.
- Serbuk sari dengan durasi kesuburan yang tinggi, sampai 9 menit untuk *O. perennis*.

KARAKTERISTIK MORFOLOGI TANAMAN YANG MEMPENGARUHI TINGKAT SERBUK SILANG

Beberapa karakter tanaman padi, baik secara morfologi tanaman (tinggi tanaman, panjang dan sudut daun bendera, eksersi malai, dan lain-lain) maupun karakter bunga padi (ukuran putik dan kepala sari, eksersi malai, dan lain-lain) dapat mempengaruhi tingkat serbuk silang padi. Semua karakter ini harus dapat memfasilitasi

penyebaran serbuk sari dan penerimaan putik terhadap serbuk sari. Menurut beberapa penelitian (Namai and Kato 1988, Virmani 1994, Virmani and Edwards 1983), sejumlah karakteristik morfologi tanaman yang dapat mempengaruhi keberhasilan penyerbukan alami padi antara lain:

1. **Kemampuan membentuk anakan yang banyak.** Jumlah malai/m² dan jumlah spikelet/malai merupakan komponen utama dalam produksi benih, kaitannya dengan ketersediaan serbuk sari dalam jumlah yang lebih banyak. Oleh karena itu, kemampuan membentuk anakan yang banyak dan malai dengan banyak spikelet harus menjadi sifat dasar dari tetua jantan. Selain itu, pada tetua betina, sifat ini akan menentukan banyaknya benih yang akan dipanen. Pada galur A, idealnya jumlah anakan produktif/rumpun adalah 15, sedangkan pada galur B atau R sebaiknya > 15 anakan produktif/rumpun.
2. **Jumlah spikelet/malai.** Pada tetua betina, setiap malai mengandung paling sedikit 100 butir gabah (spikelet). Pada tetua jantan, malai harus panjang dan berisi 125 atau lebih spikelet.
3. **Eksersi malai yang sempurna.** Eksersi malai yang bagus pada tetua jantan (R atau B) dapat meningkatkan kemampuan spikelet untuk menyerbuk silang. Posisi malai yang tidak keluar dari daun bendera pada tetua jantan akan menyebabkan rendahnya jumlah serbuk sari yang lepas ke udara. Menurut Gangashetti *et al.* (2006), daun bendera yang menutupi sebagian atau seluruh bagian malai, akan menghambat terjadinya polinasi secara normal dan akan menurunkan jumlah biji yang terbentuk. Eksersi malai pada tetua betina (galur A) dapat meningkatkan jumlah gabah isi yang terbentuk. Malai pada kedua tetua harus sejauh mungkin keluar dari daun bendera dan tidak tertutup daun bendera.
4. **Daun bendera pendek, sempit, dan horizontal.** Ukuran dan posisi daun bendera diharapkan tidak mengganggu sirkulasi serbuk sari dari tetua jantan ke tetua betina. Daun bendera yang kecil dan horizontal berguna untuk meningkatkan tingkat serbuk silang dibanding daun bendera yang panjang dan tegak. Pengguntingan daun bendera dilakukan apabila tetua memiliki bentuk daun bendera yang panjang dan tegak.
5. **Tinggi tanaman.** Galur mandul jantan (galur A) umumnya memiliki tinggi tanaman ± 80 cm sedangkan galur B atau R sebaiknya memiliki tanaman > 10-20 cm lebih tinggi dibanding galur A. Penampilan tanaman tetua jantan yang lebih tinggi dibanding tetua betina diharapkan mampu mendukung penyebaran serbuk sari dari tetua jantan ke kepala putik.

Karakteristik Pembungaan pada Tetua Betina

Pada produksi benih padi hibrida, tetua betina yang digunakan adalah galur mandul jantan (galur A = CMS). Galur mandul jantan merupakan galur padi yang tidak dapat memproduksi serbuk sari yang fertil karena adanya interaksi antara gen-gen sitoplasma dan gen-gen inti yang disebut *cytoplasmic male sterile* (CMS). Umumnya kepala sari pada galur A berwarna putih pucat dan berkerut. Menurut Namai dan Kato (1988), Taillebois dan Gumairaes (1988), dan Virmani (1994), beberapa karakteristik bunga pada tetua betina yang dapat memfasilitasi tingkat reseptif putik terhadap serbuk sari adalah:

1. **Ukuran kepala putik.** Putik yang besar, panjang, dan berbulu akan memperluas area penerimaan serbuk sari, sehingga akan memperbesar kemungkinan serbuk sari dapat diterima kepala putik.
2. **Tangkai putik yang panjang.** Selain mendukung kepala putik, tangkai putik yang panjang menyebabkan posisi kepala putik keluar dari spikelet dan memperbesar kemungkinan penerimaan serbuk sari dari tetua jantan.
3. **Eksersi kepala putik (eksersi stigma).** Bunga yang sempurna harus mempunyai kepala putik yang tetap berada di luar setelah *lemma* dan *palea* menutup. Kondisi ini dapat meningkatkan kemungkinan penyerbukan oleh tepung sari. Terdapat korelasi yang tinggi antara pengisian gabah dengan eksersi kepala putik pada tanaman galur A. Tanaman galur A dengan 100% stigma eksersi akan menghasilkan setidaknya 80% gabah isi pada kondisi polinasi yang bagus.
4. **Tingkat eksersi kepala putik yang tinggi.** Karakter yang paling dibutuhkan oleh tetua betina terutama jumlah spikelet yang mempunyai eksersi kepala putik/malai yang tinggi (>70%). Semakin tinggi persentase eksersi kepala putik pada satu malai tanaman GMJ semakin besar kemungkinan terbentuknya gabah. Karakter ini sering didapatkan pada padi tipe Indica.
5. **Periode reseptivitas putik yang lama.** Kemampuan putik untuk dapat menerima serbuk sari bervariasi, umumnya berlangsung 3-7 hari.
6. **Sudut membuka bunga besar.** Sudut membuka *lemma* dan *palea* yang besar dapat meningkatkan kemungkinan diterimanya serbuk sari oleh kepala putik. Sudut berbunga pada tetua betina berkisar antara 26°-36° (Sheeba *et al.* 2006).
7. **Lama membuka bunga.** Minimal 30 menit atau lebih. Besarnya rasio panjang dan lebar spikelet berhubungan dengan ukuran kepala putik atau kepala sari dan durasi membuka bunga. Semakin besar ukuran spikelet, semakin lama waktu membuka

bunga. Umumnya bunga galur mandul jantan membuka lebih lama dibandingkan dengan galur pelestari (Tabel 2).

8. **Sterilitas serbuk sari yang stabil dan mantap.** Sterilitas serbuk sari diperlukan untuk menjamin kemurnian benih yang dihasilkan dari produksi benih galur A maupun F_1 hibrida.

Karakteristik Pembungaan pada Tetua Jantan

Pada metode perakitan padi hibrida tiga galur, tetua jantan yang digunakan untuk produksi benih adalah galur pelestari (B) dan galur pemulih kesuburan (R). Galur pelestari mirip dengan galur mandul jantan tetapi serbuk sarinya bersifat fertil. Galur B digunakan sebagai penyerbuk pada produksi benih galur A. Bunga pada galur B biasanya 2-3 hari lebih awal dari galur A pasangannya dengan masa pembungaan berlangsung sekitar 5 hari. Setiap galur padi yang bila disilangkan dengan galur A dapat memulihkan kesuburan serbuk sari pada F_1 , disebut galur pemulih kesuburan ($R = restorer$). Galur R merupakan tetua penghasil tepung sari yang digunakan sebagai penyerbuk pada produksi benih F_1 hibrida. Masa pembungaannya berlangsung sekitar 5

Tabel 2. Lama membuka bunga enam galur A dan pelestari.

Galur	Lama membukanya bunga (menit)	
	Galur mandul jantan	Galur pelestari
IR68897	141 ± 36	56 ± 15
V20	141 ± 45	37 ± 4
Yar Ai Zhao	92 ± 15	61 ± 11
P 203	124 ± 30	33 ± 4
Wu 10	37 ± 6	48 ± 2
577	72 ± 16	58 ± 10

Sumber: Young (1983)

Tabel 3. Penampilan bunga pada galur A dan galur pelestari dari sumber sitoplasma berbeda.

Galur A/B	Tipe sitoplasma	Umur 50% berbunga	Eksersi malai (%)	Sudut membuka lemma dan palea (°)	Ukuran kepala putik (mm ²)	Seed set (%)
IR58025A	WA	86	65	23	0.9	22
IR58025B	WA	83	100	15	0.9	82
IR79156A	WA	86	41	22	0.8	19
IR79156B	WA	84	93	12	0.8	82
IR75596A	Dissi	72	38	19	1.5	19
IR75596B	Dissi	70	95	12	1.3	67
IR80154A	Gambiaca	92	40	22	0.8	19
IR80154B	Gambiaca	90	93	13	0.8	91
IR80155A	Kalinga	86	40	22	1.4	19
IR80155B	Kalinga	84	100	12	1.2	82
KK 5% A		5.5	8.92	2.31	0.21	2.52
KK 5% B		4.9	4.80	3.60	0.30	4.30

Sumber: Salgotra *et al.* (2009).

hari. Menurut Namai dan Kato (1988) dan Parmer *et al.* (1979), beberapa karakter pada galur pelestari dan galur pemulih kesuburan yang dapat memfasilitasi penyebaran serbuk sari antara lain:

1. **Ukuran kepala sari yang besar dan tidak keriput serta mengandung banyak serbuk sari.** Panjang kepala sari dapat mencerminkan jumlah serbuk sari/kepala sari. Karakter ini penting untuk tetua jantan padi hibrida. Virmani dan Edwards (1983) memprediksi kemampuan penumpahan tepung sari masing-masing kultivar bergantung pada jumlah tepung sari/kepala sari, persentase eksersi kepala sari, dan bunga yang fertile/rumpun.
2. **Tangkai sari yang panjang.** Kondisi ini dapat mendukung kepala sari untuk keluar secara sempurna, sehingga sebagian besar serbuk sari dapat tumpah segera setelah keluar dari bunga dan mengenai kepala putik.
3. **Frekuensi eksersi kepala sari.** Joppa *et al.* (1968) melaporkan bahwa eksersi kepala sari pada gandum varietas Durum secara langsung berpengaruh besar terhadap penumpahan tepung sari.
4. **Pembungaan yang konstan** sehingga ketersediaan serbuk sari dapat terjamin pada saat penyerbukan.

Keragaman karakter pembungaan juga ditemukan pada galur mandul jantan dan galur pelestari dari sumber sitoplasma yang berbeda. Salgotra *et al.* (2009) melaporkan bahwa eksersi malai pada galur A tipe WA paling baik dibanding galur A tipe Dissi, Gambiaca, atau Kalinga. Ukuran kepala putik galur A tipe Dissi dan Kalinga lebih besar dibanding galur A tipe WA dan Gambiaca. Karakter pembungaan lainnya pada galur A dan pelestari dengan sumber sitoplasma yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 3.

RAGAM GENETIK KARAKTER BUNGA YANG MEMPENGARUHI TINGKAT SERBUK SILANG

Keragaman Genetik

Beberapa kelompok padi seperti *Indica*, *Japonica*, *Javanica*, maupun jenis padi liar mempunyai perbedaan karakter bunga. Penelitian Sahoo *et al.* (1998) terhadap 75 genotipe padi dengan jenis yang berbeda menunjukkan tingkat keragaman pada karakter bunga yang berpengaruh terhadap tingkat serbuk silang. Widyastuti *et al.* (2007) melaporkan adanya variasi yang besar untuk semua karakter bunga yang diamati dan persentase keluarnya stigma menunjukkan koefisien keragaman genetik tertinggi.

Keragaman genetik dan koefisien korelasi 5 karakter bunga dari 29 kultivar (*Indica*, *Javanica*, dan *Japonica*) dan padi liar telah diteliti oleh Virmani dan Athwal (1973). Variabilitas secara luas pada panjang kepala sari, kepala putik, dan persentase eksersi kepala putik. Persentase eksersi kepala putik menunjukkan korelasi positif yang tinggi dengan panjang kepala putik. Kedua sifat tersebut juga berkorelasi positif dengan panjang spikelet dan kepala sari.

Heritabilitas Karakter Bunga Padi

Estimasi heritabilitas dan kemajuan genetik diperlukan untuk menilai sifat yang diwariskan untuk memperkirakan efektivitas seleksi. Heritabilitas maksimum diperoleh karakter eksersi kepala putik (99,8%) diikuti oleh karakter sudut membuka bunga (99,7%). Umur 50% berbunga dipengaruhi oleh perubahan lingkungan, ditunjukkan oleh nilai heritabilitas yang rendah (Tabel 4).

Heritabilitas dalam arti luas termasuk didalamnya efek aditif dan epistatik, dapat digunakan sebagai kriteria penurunan sifat. Nilai kemajuan genetik yang tinggi dicapai oleh karakter panjang malai, sudut membuka bunga, lebar kepala putik, area penerimaan kepala putik, sterilitas serbuk sari, jumlah bunga per malai, panjang tangkai sari, dan persentase eksersi kepala putik. Tingginya nilai heritabilitas dalam arti luas dan nilai kemajuan genetik menunjukkan adanya dominansi gen aditif sehingga seleksi secara fenotipik pada karakter tersebut lebih efektif.

Korelasi Antarkarakter Bunga Padi

Hubungan antarsifat pembungaan tidak sepenuhnya dipengaruhi oleh lingkungan. Persentase eksersi kepala putik berkorelasi sangat tinggi dengan panjang kepala

Tabel 4. Perkiraan heritabilitas dan kemajuan genetik karakter pembungaan pada GMJ.

Karakter bunga	Heritabilitas (%)	Kemajuan genetik (%)
Panjang malai	99,4	25,9
Sudut membuka bunga	99,7	43,5
Panjang kepala putik	99,2	14,2
Lebar kepala putik	98,4	44,3
Area penerimaan kepala putik	97,6	41,5
Sterilitas serbuk sari	99,7	22,2
Jumlah bunga/malai	98,7	59,7
Panjang kepala putik	93,7	32,5
Sterilitas spikelet	99,7	19,8
% Eksersi malai	97,4	12,5
% Eksersi kepala putik	99,8	59,9
Umur 50% berbunga	16,4	1,9

Sumber: Sheeba *et al.* 2006.

putik. Kedua sifat tersebut juga berkorelasi positif dengan panjang kepala sari, sehingga memungkinkan meningkatkan proporsi eksersi kepala putik dengan meningkatkan panjang kepala putik dan kepala sari. Peningkatan panjang kepala sari dapat meningkatkan persilangan alami, tidak hanya melalui pengaruh eksersi kepala putik tapi juga secara langsung meningkatkan jumlah serbuk sari yang tersedia selama penyerbukan. (Virmani and Athwal 1973).

Sudut membuka bunga berkorelasi positif dengan ukuran kepala putik dan jumlah gabah isi. Area daun bendera, eksersi malai, dan ukuran kepala putik juga berkorelasi positif dengan tingkat pengisian gabah (Salgotra *et al.* 2009). Tingkat eksersi stigma berkorelasi positif dengan panjang stigma. Karakter panjang kepala sari berkorelasi positif dengan durasi membuka bunga dan berkorelasi dengan sudut membuka *lemma* dan *palea*.

METODE PEMULIAAN YANG DAPAT MENINGKATKAN KEMAMPUAN SERBUK SILANG

Persilangan dengan Donor

Metode ini dilakukan melalui pemanfaatan plasma nutfah padi. Donor untuk karakter pembungaan yang mendukung peningkatan *outcrossing* padi dapat diambil dari padi liar, padi lokal, maupun galur/varietas hasil pemuliaan. *Oryza nivara* dan *Oryza rufipogon* merupakan donor untuk karakter kepala sari dan kepala putik yang besar dan tangkai sari yang panjang. Keuntungan menggunakan kedua padi liar tersebut sebagai donor adalah memiliki genom yang sama dengan *Oryza sativa* (AA) sehingga mudah dilakukan persilangan.

Transfer karakteristik alogami dari spesies liar ke *O. sativa* pertama kali dipelajari oleh Virmani dan Athwal (1973). Spesies yang digunakan adalah *O. sativa* f. *spontanea* yang kemudian disilangkan dengan *O. sativa*. Hasilnya berupa individu dengan kepala sari yang lebih pendek, dan kepala putik yang parsial dominan. Tetapi karakteristik spesies liar ini terpaut dengan gen yang mengontrol sifat-sifat yang tidak diinginkan pada padi liar. Untuk mematahkan pautan ini, pendekatan *biparental mating* dapat digunakan.

Transfer sifat stigma panjang dari padi liar *O. longistaminata* kepada *O. sativa* (Indica dan Japonica) dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu *successive backcross* dan seleksi pedigree, selain itu *recurrent selection*. Kepala putik pada *O. longistaminata* merupakan karakter dominan, sedangkan kepala sarinya merupakan karakter parsial dominan. Kepala putik dan kepala sari merupakan karakter yang terpaut. Varietas tertentu yang memiliki penampilan warna kaki ungu dan berujung gabah merah/ungu mempunyai persentase eksersi kepala putik yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan adanya gen pengendali eksersi kepala putik yang terpaut (*linkage*) dengan sifat warna kaki dan ujung gabah ungu/merah. Transfer sifat-sifat tersebut dapat dilakukan melalui seleksi pedigree, *backcross*, atau *recurrent selection*.

Mutasi

Salah satu mutagen yang paling banyak dimanfaatkan untuk merakit galur mandul jantan adalah sinar gamma. Mutasi menggunakan sinar gamma telah dimanfaatkan untuk mendapatkan mutan galur mandul jantan yang mempunyai gen *elongated uppermost internode* (eui), yang mempunyai malai dengan eksersi yang sempurna dan mutan gen dl yang mempunyai putik besar dan lebih dari dua (Liang *et al.* 2008).

Penggunaan gen eui yang merupakan hasil mutasi bersifat resesif dan dikendalikan oleh gen tunggal juga perlu dipertimbangkan. Penelitian menunjukkan gen ini berguna untuk produksi benih padi hibrida. Apabila gen eui disisipkan pada tanaman R maka akan menambah tinggi tanaman sehingga akan meningkatkan efisiensi penyerbukan. Bila disisipkan pada tanaman galur A akan menampilkan eksersi malai yang lebih bagus sehingga mengurangi penggunaan GA₃. Adanya gen eui mengakibatkan malai keluar dari daun bendera. Pendekatan secara konvensional melalui *backcross* maupun secara bioteknologi telah dilakukan beberapa peneliti untuk mentransfer gen eui ke tanaman target (Xu *et al.* 2004, Pawan *et al.* 2009, Wang *et al.* 2007).

Transgenik

Teknik molekuler telah banyak digunakan untuk mempelajari suatu karakter tertentu maupun mendapatkan transgen yang diinginkan. Chu *et al.* (2006) telah mendapatkan transgen dengan tambahan gen fon4 yang mempunyai variasi bunga berupa penambahan jumlah putik, anter, dan lodikula. Transgenik juga telah dimanfaatkan untuk mendapatkan mutan mandul jantan dengan memasukkan gen cms dan atp6 (Eckardt 2006).

Seleksi Tanaman dan Hubungannya dengan Produksi Benih Padi Hibrida

Menurut Virmani (1994), beberapa hal yang perlu diperhatikan pada saat seleksi untuk galur-galur tetua padi hibrida dalam kaitannya dengan keberhasilan produksi benih padi hibrida adalah:

1. Seleksi tetua (galur A, B, dan R) berdasarkan waktu pembungaan (antesis) yang sama.
2. Seleksi tetua betina (galur A) dengan karakteristik bunga berupa putik yang panjang dan keluar (eksersi putik), durasi waktu membuka bunga yang panjang dan sudut membuka bunga yang lebar.
3. Seleksi tetua jantan (galur B dan galur R) dengan karakteristik bunga berupa kepala sari (anter) berukuran besar dan persentase serbuk sari yang tinggi/anter setelah anter keluar.
4. Sinkronisasi waktu pembungaan antara dua tetua dengan waktu semai yang berbeda sesuai dengan periode pertumbuhannya atau memperkirakan kebutuhan akumulasi temperatur untuk inisiasi pembungaan. Sinkronisasi pembungaan dapat diprediksi dengan beberapa cara: data umur berbunga (Xu and Li 1988), jumlah daun (Virmani *et al.* 1998) dan akumulasi temperatur efektif (Prabakaran and Ponnuswamy 1998).
5. Penggunaan tetua jantan secara optimum melalui pengaturan rasio tetua jantan. Bergantung pada bunga dan sifat-sifat morfologi dari tetua dan kondisi lingkungan pada produksi benih, rasio barisan bervariasi dari 6:2 sampai 14:2.
6. Menggunakan tetua jantan dan betina yang memiliki daun bendera kecil dan horizontal atau dengan menggantung daun bendera yang panjang dan tegak (*erect*).
7. Menggunakan *gibberelic acid* (GA₃) untuk meningkatkan eksersi malai dan memperlama durasi membuka bunga. Tertutupnya malai diduga karena malai galur A mempunyai kandungan bioaktif giberelin yang rendah. Giberelin (GA₃) merupakan zat pengatur

tumbuh yang efektif menstimulasi perpanjangan sel. Aplikasi GA_3 pada galur A dapat membantu pemanjangan pangkal malai dan keluar penuh dari pelepah daun bendera (Yin *et al.* 2007). Selain itu GA_3 juga dilaporkan dapat meningkatkan eksersi stigma, mendorong anakan yang kecil untuk tumbuh lebih cepat sehingga pertumbuhan anakan dapat lebih seragam dan membantu dalam menyeragamkan tinggi tanaman (Yuan and Fu 1995). Menurut Tiwari *et al.* (2011), aplikasi GA_3 pada konsentrasi optimum diperlukan untuk meningkatkan kemampuan menyerbuk silang galur A.

- Menanam tetua betina, barisan tetua jantan menyilang dengan arah angin dan gunakan polinasi bantuan dengan tali, atau bambu pada saat kecepatan angin di bawah 2,5 m/detik.

PENGARUH LINGKUNGAN TERHADAP PEMBUNGAAN

Faktor lingkungan mempengaruhi penyerbukan silang padi, termasuk temperatur, kelembaban relatif, intensitas cahaya, dan kecepatan angin. Penelitian IRRI mengindikasikan persentase pengisian gabah dan hasil gabah galur A berkorelasi negatif dengan kelembaban relatif. Hasil tertinggi gabah terdapat pada pertanaman yang pembungaan tetuanya terjadi pada akhir Februari atau awal Maret pada saat kelembaban relatif 50-60% dan kecepatan angin di atas 2,5 m/detik (Virmani 1994) atau 10-15 km/jam. Xu dan Li (1988) melaporkan kondisi yang sesuai untuk pertanaman produksi benih di China, temperatur udara 24-28°C, kelembaban relatif 70-80%, perbedaan temperatur malam dan siang hari 8-10°C dan hari cerah. Terjadinya hujan selama tiga hari berturut-turut dapat menghambat terjadinya pembungaan, sehingga kegiatan produksi benih dianjurkan pada musim kemarau.

Persentase membukanya spikelet umumnya menurun pada saat temperatur tinggi, kelembaban rendah atau temperatur rendah dan kelembaban tinggi. Kondisi tersebut juga menurunkan viabilitas serbuk sari tetua jantan dan reseptivitas putik pada tetua betina.

PENUTUP

Keberhasilan pengembangan padi hibrida ditentukan oleh keunggulan heterosis dari varietas yang dikembangkan dan kemudahan produksi benihnya. Keunggulan heterosis suatu varietas unggul hibrida dibandingkan varietas inbrida dipengaruhi oleh kemampuan adaptasi, reaksi ketahanan terhadap hama penyakit, dan potensi hasilnya. Selain itu dipengaruhi pula oleh faktor kemurnian dan daya tumbuh

benih, kesesuaian wilayah, ketepatan budi daya, dan respons petani dan penangkar terhadap teknologi padi hibrida.

Kemudahan produksi benih dipengaruhi oleh genotipe tetua. Karakter pembungaan tetua jantan yang dapat meningkatkan kemampuan serbuk silang adalah jumlah serbuk sari yang banyak, keserempakan berbunga, dan eksersi malai. Sifat pembungaan tetua betina yang penting antara lain persentase keluarnya kepala putik, sudut membuka bunga, ukuran putik, sterilitas serbuk sari, dan eksersi kepala putik. Karakter-karakter tersebut dapat diperbaiki melalui pemuliaan konvensional maupun bioteknologi. Perbaikan sifat-sifat tersebut diharapkan dapat membantu meningkatkan hasil dari kegiatan produksi benih padi hibrida.

DAFTAR PUSTAKA

- Chu Z, Yuan M, Yao J, ge X, Yuan B, Xu C, Li X, Fu B, Li Z, Bennetzen JL, Zhang Q, and Wang S. 2006. Promoter mutations of an essential gene for pollen development result in disease resistance in rice. *Genes Dev.* 20: 1250-1255.
- Eckard N.A. 2006. Cytoplasmic male sterility and fertility restoration. *The Plant Cell.* 18:515-517.
- Gangashetti M.G., Singh S, Khera P, Kadirvel P. 2006. Development of STS marker linked to elongated uppermost internode (eui-1) gene in rice (*Oryza sativa* L.). *Indian J. Crop Science.* 1 (1-2):113-116.
- Grist D.H. 1953 *Rice*. Longman Green. London.
- Ikehashi H., Jiang S.Z., Pal M.H. and Maruyama K. 1992. Wide compatibility genes and indica/japonica heterosis in rice for temperate countries. In: *Second International Symposium on Hybrid Rice*. IRRI. Manila. pp.21-31.
- IRRI (International Rice Research Institute). 2007. Rice knowledge bank. www.knowledgebank.irri.org/morph/welcome_to_Morphology_of_the_Rice_Plant.htm.
- Joppa, L.R., F.H. McNeal, and M.A. Berg. 1968. Pollen production and pollen shedding of hard red spring (*Triticum aestivum* L. em Thell) and durum (*T. durum* Desf.) wheats. *Crop. Sci.* 8:487-490.
- Koga, Y, T. Akihama, H. Fujimaki, and M. Yokoo. 1971. Studies on the longevity of pollen grains of rice *Oryza sativa* L. I. Morphological changes of pollen grains after shedding. *Cytologia.* 36:104-110.
- Liang, K.J., Yang R.C., Wang N.Y., Chen Q.H. 1991. Comparison of characters of CMS lines and their maintainers in indica hybrid rice. *J. Fujian Agric. Coll.* 20(4):367-373.

- Liang, M., Lixi Deng, L. Junfei, Anna He, and Lainbi Chen. 2008. Interaction between the *eui* gene and thermo-sensitive genic male sterility in rice. *Euphytica*. 164:637-643.
- Murata, Y. and S. Matsushima. 1978. Rice. In Evans L.T. (Ed.). *Crop Physiology*. Cambridge. University Press. Cambridge. p.73-99.
- Namai, H. 1987. Floral structure and behaviour in relation to outcrossing in rice. Lecture Handout, Hybrid Rice Seed Production Training Course. IRRI. Manila, Philippines, Sept. p.1-22.
- Namai H. and Kato H. 1988. Improving pollination characteristic of Japonica rice. In *Hybrid Rice*. IRRI. Manila. Philippines. pp 165-173.
- Oka H.I. and H. Morishima. 1967. Variations in the breeding system of wild rice, *Oryza perennis*. *Evolution* 21:249-258.
- Pawan, K., M. G. Gangashetti, S. Singh, K. Ulaganathan, H. E. Shashidhar and W. H. Freeman. 2009. Identification and genetic mapping of elongated uppermost internode gene 'eui' with microsatellite markers in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 1(10): 336-342.
- Parmer, K.S., E.A. Siddiq and M.S. Swaminathan. 1979. Variation in anther and stigma characteristics in rice. *Indian J. Genet. Plant Breed.* 39:551-559.
- Prabakaran S.R. and A.S. Poonuswamy. 1998. Seasonal influence of flowering behaviour and plant growth characters on parental lines of hybrid rice. *International Rice Research Notes* 23 (2):27-28.
- Puslitbangtan. 2006. Petunjuk teknis produksi benih padi hibrida. Bogor. 83 p.
- Sahoo, S.K., R. Singh, L.C. Prasad, R.M. Singh, and D.K. Singh. 1998. Screening rice germplasm for floral attributes that influence outcrossing, *Int Rice Res. Notes* 23 (1):7.
- Sakai, K.I. and T. Narise. 1959. Further note on natural crossing in wild rice. *Ann. Rep. Nat. Inst. Genet.* 10:65.
- Salgotra, R. K., B.B. Gupta, and S. Singh. 2009. Evaluation of Various Floral Traits in Some Rice CMS lines that influence seed setting under subtropical conditions. *Sabarao Journal of Breeding and Genetics* 41(2) 115-122.
- Saran H.S., S.P. Sahu, and M.Q. Azam. 1971. Sterility due to abnormal functioning of lemma and palea in IR5/189-1-3 rice (*Oryza sativa* L.). *Indian J. Agric. Sci.* 41:515-519.
- Sarkar, H.C. and N.M. Miah. 1983. Local indica rice varieties with desirable floral traits influencing outcrossing. *Int. Rice Res. News* 8(6):7-8.
- Satoto dan I.A. Rumanti. 2011. Peranan galur mandul jantan dalam perakitan dan pengembangan padi hibrida. *Iptek Tanaman Pangan* 6(1):14-29.
- 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.
- Silitonga, T.S. 1985. Natural outcrossing of cytoplasmic male sterile V20a. *Int. Rice Res. Newsl.* 10(6):8-9.
- Singh, R. and B. Singh 1998. Genetic variability in floral traits of 10 cytoplasmic male sterile lines of rice (*Oryza sativa* L.). In *Rice Res. Notes*. 23(3):4.
- 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.
- Siregar, H. 1981. *Budidaya Tanaman Padi di Indonesia*. PT. Sastra Hudaya. Jakarta. 320p.
- Taillebois, J. and E. Gumairaes. 1988. Improving outcrossing rate in rice (*Oryza sativa* L.). In: *Hybrid rice*. IRRI. Los Banos. Philippines. 175-180p.
- Tiwari, D.K., P. Pandey, S.P. Giri, and J.L. Dwivedi. 2011. Effect of GA3 and other plant growth regulators on hybrid rice seed production. *Asian Journal of Plant Sciences.* 10(1):29-42.
- Vergara, B.S. 1980. Rice plant growth and development. In: B.S. Luh (eds.). *Rice: Production and Utilization*. AVI Publishing Company. Westport, Connecticut. p: 75-86.
- Virmani, S.S. 1994. Heterosis and hybrid rice breeding. *Monographs on Theoretical and Applied Genetics* 22. IRRI. 186 p.
- Virmani, S.S. and B. Edwards. 1983. Current status and prospects for breeding rice and wheat. *Adv. Agron.* 36:145-214.
- Virmani, S.S., B.C. Virakhtamath, C.L. Casal, R.S. Toledo, M.T. Lopez, and J.O. Manalo. 1998. *Hybrid rice breeding manual*. IRRI. Los Banos. Philippines.
- Virmani, S.S. and D.S. Athwal. 1973. Genetic variability for floral characters influencing outcrossing in *Oryza sativa* L. *Crop Sci.* 13:66-67.
- Wang C.I., Z. Ling, Z. Zhen, and Z. Ya-dong. 2007. Utilization of *eui* gene from a recessive tall rice mutant 02428h in breeding. *Rice Science* 14(1): 1-6.
- Widyastuti Y, Indrastuti A.R. dan Satoto. 2007. Studi keragaman karakter bunga yang mendukung persilangan alami padi. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 26(1):14-19.

- Xu, S. and B. Li. 1988. Managing hybrid rice seed production. In Hybrid rice. International Rice Research Institute. Manila, Philippines. pp. 157-163.
- Xu, Y.H, Y.Y. Zhu, H.C. Zhou, Q. Li, Z.X. Sun, H.X. Liu, Z.H. Lin, and He. 2004. Identification of a 98-kb dna segment containing the rice eui gene controlling uppermost internode elongation, and construction of a tac transgene sublibrary. *Mol Gen Genomics* 272: 149-155.
- Yadav R.D.S., P.V. Singh, and J.P. Srivastava. 1998. Research developments and challenges in hybrid rice seed production for the 21st century. *Seed Technol. News*. 28(4):16.
- Yin, C., L. Gan, Ng. Denny, X. Zhou, and K. Xia. 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.
- Young, J.B. 1983. Cytoplasmic-genetic male sterility and fertility restoration in rice. MS Thesis. Faculty of the Graduate School. University of the Philippines at Los Banos Laguna. Philippines.
- Yoshida, S. 1981. Fundamentals of rice crop science. International Research Institute. Los Banos. Philippines.
- Yuan, L.P. and X. Fu. 1995. Technology of hybrid rice production. Food and Agriculture Organization of the United nations. Rome. 83p.