

PROSPEK PENGEMBANGAN VARIETAS PADI HIBRIDA

Satoto, B. Sutaryo, dan B. Suprihatno

Balai Besar Penelitian Tanaman Padi

1. PENDAHULUAN

Varietas hibrida mengandung makna bahwa benih yang digunakan untuk pertanaman produksi adalah benih generasi pertama (F1) yang berasal dari hasil persilangan antara tetua berbeda yang dipilih melalui seleksi. Secara individu susunan genetik tanaman hibrida bersifat heterozigot pada semua atau sebagian besar lokus, tetapi secara fenotip satu populasi hibrida akan nampak seragam sehingga pertanaman hibrida bersifat heterozigot homogen (*heterozygous homogenous*). Jika varietas hibrida ditanam dalam skala luas penampilannya akan seragam sebagaimana galur murni atau varietas inbrida. Karena tanaman hibrida secara genetik bersifat heterozigot maka jika hasil panen dari pertanaman F1 hibrida ditanam kembali pada generasi berikutnya, turunannya akan beragam (heterogen) akibat terjadinya fenomena segregasi. Oleh karena itu, tidak direkomendasikan untuk menggunakan hasil panen dari pertanaman F1 hibrida sebagai benih untuk pertanaman berikutnya. Berkaitan dengan hal tersebut benih F1 hibrida harus selalu diproduksi setiap tahun.

Perakitan atau pemuliaan tanaman hibrida dilandasi oleh adanya fenomena genetika yang disebut vigor hibrida atau heterosis yaitu suatu kecenderungan bahwa individu atau populasi F1 akan tampil lebih baik dibandingkan dengan salah satu tetua atau rata-rata kedua tetua pembentuknya. Pada skala komersial, besar atau kecilnya tingkat heterosis diukur oleh suatu besaran yang disebut standar heterosis. Ukuran tersebut dinilai lebih relevan dibandingkan kedua tipe ukuran heterosis yang disebut terdahulu karena menunjukkan keunggulan varietas hibrida terhadap varietas pembanding baku (varietas yang menjadi unggulan petani).

Fenomena heterosis sudah lama dikenal dan diketahui, kurang lebih 200 tahun yang lalu. J.G. Koelreuter pada tahun 1763 melihat pertumbuhan yang lebih subur (*luxurius*) pada tanaman tembakau hasil persilangan dua varietas yang berbeda. Pada umumnya apabila dua tanaman yang berkerabat jauh (*unrelated or distantly related individuals*) disilangkan, maka turunannya sering memperlihatkan pertumbuhan yang lebih subur, buah lebih banyak, dan lain-lain, gejala ini disebut heterosis atau vigor hibrida.

Keberhasilan teknologi hibrida pada tanaman apa pun, setidaknya-tidaknya ditentukan oleh dua syarat utama yaitu nilai heterosis varietas hibrida yang

bersangkutan nyata dan produksi benih F1 hibrida baik dalam skala komersial maupun dalam skala penelitian dapat dilakukan secara ekonomis. Pemanfaatan gejala heterosis pada padi baru dapat dilakukan setelah kurang lebih 50 tahun sejak gejalanya pertama kali dilaporkan. Padi pada dasarnya adalah tanaman menyerbuk sendiri, kebutuhan benih per satuan luas cukup banyak, hasil per satuan luas dari varietas inbridanya sudah cukup tinggi, bahkan lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman sereal lainya. Di samping itu, padi adalah komoditas yang "kurang" mempunyai nilai ekonomi. Hal ini merupakan salah satu alasan mengapa heterosis pada tanaman padi belum dapat dieksploitasi secara maksimal meskipun sudah dilaporkan sejak tahun 1926.

Pada sorgum, tanaman yang menyerbuk sendiri, kebutuhan benih hanya 8–10 kg/ha sedangkan pada padi kebutuhan benihnya 15–20 kg/ha. Tingkat persilangan alami pada sorgum lebih tinggi dibandingkan dengan padi, karena itu hasil benih hibrida per satuan luas pada tanaman sorgum lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman padi yaitu antara 2,5–3,0 t/ha. Sebaliknya pada kapas, yang juga termasuk tanaman menyerbuk sendiri, benih hibrida dapat diproduksi secara ekonomis walaupun dengan persilangan secara manual karena jumlah benih yang dihasilkan dari setiap polinasi sangat banyak sedangkan kebutuhan benih per satuan luas sedikit. Oleh sebab itu, pada kedua spesies tanaman menyerbuk sendiri tersebut benih hibrida dapat diproduksi secara ekonomis. Dalam hal yang sama, produksi benih padi hibrida memerlukan upaya yang lebih intensif untuk dapat mengembangkan teknik produksi yang layak agar dapat mengeksploitasi fenomena heterosis secara maksimal.

Pengembangan varietas hibrida pada berbagai macam spesies tanaman telah banyak menghasilkan inovasi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi maupun dari segi ekonomi, yang paling menonjol diperoleh dari varietas jagung hibrida. Selain itu, pada tanaman sereal lainya, tanaman hortikultura, dan tanaman industri telah banyak juga dihasilkan tanaman hibrida.

2. TEORI HETEROSIS

2.1 Depresi *Inbreeding*

Silang dalam (*inbreeding*) didefinisikan sebagai persilangan dalam suatu populasi antara individu tanaman yang berkerabat lebih dekat dibandingkan persilangan antar individu yang terjadi secara acak (Fehr, 1987). Bentuk paling ekstrim dari *inbreeding* adalah persilangan pada suatu individu tanaman melalui mekanisme polinasi sendiri (*self pollination*). Persilangan antarindividu yang berkerabat dekat akan meningkatkan homosigositas, yang diakibatkan oleh alil-alil identik berada pada lokus yang sama, sehingga karakter yang dikendalikan oleh gen resesif akan muncul. Jika karakter yang dikendalikan oleh gen resesif

merupakan karakter tidak diinginkan (tidak baik) maka secara keseluruhan ekspresi karakter-karakter tersebut pada individu dan populasi tanaman akan meningkat. Penurunan atau penyimpangan keragaman karakter tanaman dari apa yang diharapkan pemulia (seleksionis) akibat *inbreeding* disebut depresi *inbreeding*.

Produksi benih hibrida komersial sangat bergantung pada ketersediaan tetua (*inbrida*). Dalam kaitan dengan itu proses *inbreeding* digunakan untuk mengurangi keberadaan atau frekuensi alel resesif yang "merusak" pada genotipe yang akan dijadikan tetua pada pembentukan varietas sintetik, varietas hibrida atau varietas yang diperbanyak secara vegetatif. *Inbreeding* juga akan meningkatkan keragaman genetik antarindividu tanaman dalam populasi. Keragaman genetik antarturunan galur murni (*inbreed*) yang besar, akan meningkatkan efektivitas seleksi dan kemajuan genetik dalam program pemuliaan.

2.2 Vigor Hibrida atau Heterosis

George Harrison Shull adalah orang pertama yang mengajukan teori gejala heterosis. Dalam upaya memanfaatkan keunggulan khusus "vigor hibrida" dari hasil persilangan dia mengembangkan galur-galur murni jagung, dia juga orang pertama yang memperkenalkan istilah heterosis sebagai singkatan dari kata heterozygosis. Ada dua hal yang terkait dengan gejala heterosis yang perlu dijelaskan, yaitu (1) kenyataan bahwa apabila dua galur homozigot disilangkan akan menghasilkan genotipe hibrida yang penampilannya melebihi tetuanya, dan (2) tidak terdapat kemungkinan mendapatkan individu yang sama seperti penampilan individu hibrida F₁, dengan cara menyeleksi genotipe tanaman F₂ atau pada generasi selanjutnya yang homozigot.

2.3 Mengukur Besaran Heterosis

Gejala heterosis dapat diamati dan diukur berdasarkan penampilan karakter atau sifat tanaman yang ingin dipelajari (*target seleksi*), seperti tinggi tanaman, hasil per ha, kandungan minyak, kandungan protein, dan karakter lainnya. Pengukuran kuantitatif heterosis dapat dilakukan dengan tiga cara, dan pemilihan pemakaiannya bergantung pada pemakai itu sendiri. Biasanya heterosis dinyatakan dalam persen. Ketiga cara tersebut adalah sebagai berikut:

1. Heterosis rata-rata tetua (*Mid-parent heterosis*) yaitu penampilan hibrida dibandingkan dengan penampilan rata-rata kedua tetua.

$$H = \frac{F_1 - (P_1 + P_2)/2}{(P_1 + P_2)/2} \times 100\%$$

2. Heterosis tetua tertinggi (*High-parent heterosis*) dikenal pula dengan nama heterobeltiosis.

$$H = \frac{F_1 - \text{Tetua tertinggi}}{\text{Tetua tertinggi}} \times 100 \%$$

3. Heterosis standar (*Standard heterosis*)

$$H = \frac{F1 - \text{Varietas komersial}}{\text{Varietas komersial}} \times 100\%$$

Rumus-rumus tersebut dapat digunakan baik untuk tanaman menyerbuk sendiri maupun menyerbuk silang. Sudah pasti bahwa hibrida yang mempunyai penampilan lebih baik dibandingkan tetua terbaik atau melebihi varietas komersial yang digunakan sebagai pembanding akan memiliki nilai praktis ekonomi yang tinggi.

2.4 Landasan Genetik Heterosis

Ada dua konsep (hipotesis) yang dapat menjelaskan gejala heterosis. Konsep yang mendapat dukungan luas adalah heterosis atau vigor hibrida merupakan hasil terkumpulnya gen-gen dominan yang baik (*favourable dominant genes*) dalam suatu genotipe tanaman dan dikenal sebagai hipotesis dominant. Hipotesis ini diajukan oleh Davenport (1908), ia menyatakan bahwa heterosis merupakan hasil aksi dan interaksi gen-gen dominan yang baik dan terkumpul dalam genotipe F1 hasil persilangan tetua yang berbeda.

Konsep kedua berdasarkan hipotesis bahwa heterosis merupakan hasil penampilan superioritas heterozigositas terhadap homozigositas, artinya bahwa individu yang berpenampilan superior adalah individu yang mempunyai jumlah alil dalam keadaan heterozigot yang paling banyak. Hipotesis dikenal sebagai hipotesis *over dominant*.

2.5 Pemanfaatan Heterosis sebagai Dasar Pembentukan Varietas

Penampilan gejala heterosis atau vigor hibrida dapat dinyatakan dengan berbagai indikator, seperti hasil, tinggi tanaman, sistem perakaran, jumlah malai, jumlah biji, kandungan lemak, kandungan protein, besar tongkol, dan sebagainya. Pemanfaatan gejala heterosis dalam produksi tanaman pertanian secara komersial adalah pembentukan varietas hibrida, sebagai

Tabel 1. Tipe Hibrida Komersial

Tipe hibrida	Persilangan	Tetua yang digunakan
<i>Single cross</i>	A/B	Galur murni
<i>Sister line</i>	A/B'//B/B'	Galur murni
<i>Three way cross</i>	A/B//C	Galur murni
<i>Double cross</i>	A/B//C/D	Galur murni
<i>Multiple cross</i>	(ABCD)/(EFGH)	Galur murni
<i>Back cross</i>	A/B//A//C/D//C	Galur murni
<i>Single back cross</i>	A/B//C/D//C	Galur murni
<i>Variety cross</i>	Syn B/Syn C	Populasi acak
<i>Single top cross</i>	A/B//Syn C	Populasi acak

salah satu varietas yang dikembangkan melalui metode pemuliaan. Varietas hibrida dapat dibentuk dengan menggunakan dua atau lebih galur murni, terutama pada jagung. Dalam kaitannya dengan pembentukan varietas hibrida semacam ini, maka pembuatan galur-galur murni dari populasi bersegregasi menjadi sangat penting.

Galur tetua yang digunakan dalam pembuatan varietas hibrida dapat berupa galur murni (*inbred line*), galur murni parsial, *single cross*, klon, atau populasi tanaman yang bersilang secara random. Berdasarkan tingkat kompleksitas dan banyaknya, serta tetua yang digunakan dikenal beberapa tipe hibrida komersial seperti terlihat pada Tabel 1.

Pada varietas hibrida yang menggunakan galur murni (*inbred line*) sebagai tetuanya ada tiga tipe dasar yaitu *single cross*, *double cross*, dan *three way cross* dengan berbagai modifikasi. Pemilihan tipe varietas hibrida yang akan dikembangkan pada umumnya didasarkan pada empat aspek yaitu: keseragaman, hasil, stabilitas, dan kemudahan relatif dalam seleksi dan pengujian (Schnell, 1973). Sedangkan landasan keputusan untuk membuat atau mengembangkan varietas hibrida adalah (1) terdapat mekanisme genetik untuk menangani persilangan buatan dalam skala besar, (2) terdapat teknik perbanyakan yang murah bagi tanaman yang dikembangkan secara vegetatif, (3) terdapat teknik produksi benih yang ekonomis, dan (4) produksi varietas hibrida yang dilepas harus superior terhadap produksi varietas lainnya.

2.6 Perbedaan Varietas Murni dengan Hibrida

Varietas murni dapat juga diartikan sebagai varietas inbrida yang perbanyakan benihnya dilakukan melalui penyerbukan sendiri. Perbedaan antara varietas murni dengan hibrida diasikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbedaan Varietas Murni dengan Hibrida

Varietas hibrida	Varietas murni (Inbrida)
• Komposisi genetik heterozigot homogen • Produksi benih dihasilkan dari persilangan dua galur yang berbeda • Benih yang digunakan untuk pertanaman konsumsi berupa benih F₁ • Ada keunggulan yang disebabkan oleh fenomena heterosis • Tanaman lebih seragam (homogenus) • Hasil panen dari pertanaman sebelumnya jika ditanam lagi akan bersegregasi	• Komposisi genetik homozigot homogen • Produksi benih dihasilkan penyerbukan sendiri • Benih yang digunakan berupa benih turunan generasi lanjut yang sudah homozigot dan homogen (>F₁₂) • Tidak terdapat fenomena heterosis • Ketidakseragaman lebih mungkin terjadi (akibat produksi benih yang kurang baik) • Hasil panen dari pertanaman sebelumnya jika ditanam lagi tidak bersegregasi

2.7 Sejarah Varietas Padi Hibrida

Seorang ahli botani berkebangsaan Jerman, Koelreuter, merupakan orang pertama yang melakukan studi hibridisasi secara sistematis, mengamati adanya peningkatan vigor pada turunan hasil persilangannya. Hasil pengamatannya merupakan publikasi pertama mengenai vigor hibrida (Burton, 1983). Mendel (1865) dan Darwin (1877) dalam percobaannya mengamati vigor hibrida pada beberapa tanaman. Darwin dari percobaannya menyimpulkan bahwa pembuahan silang pada umumnya mempunyai banyak keunggulan sedangkan pembuahan sendiri mempunyai kelemahan.

Pada padi, heterosis pertama kali dilaporkan oleh Jones (1926) dalam Kim dan Rutger (1988) yang mengamati bahwa beberapa hibrida mempunyai jumlah batang yang lebih banyak dan hasil yang lebih tinggi dibandingkan tetuanya. Kurang lebih sepuluh sampai tiga puluh tahun kemudian beberapa peneliti juga mendapatkan fenomena yang sama pada spesies tanaman yang menyerbuk sendiri (Idsumi, 1936; Kadam *et al.*, 1937; Capinpin dan Singh, 1938; Brown, 1953; Oka, 1957; Sen dan Mitra, 1958). Namun, tidak seorang pun dari peneliti tersebut yang meneruskan usahanya untuk mengeksploitasi fenomena ini secara komersial. Pada tahun 1960 an, beberapa peneliti menyarankan untuk mengeksploitasi gejala heterosis pada padi secara komersial (Richaria, 1962; Stansel dan Craigmiles, 1966; Shinjyo dan Omura, 1966; Yuan, 1966). Namun hanya peneliti Cina yang kemudian tetap melanjutkan penelitiannya dan berhasil secara komersial pada tahun 1976.

Sejumlah literatur tentang heterosis pada padi antara lain telah dibuat oleh Chang *et al.* (1973), Davis dan Rutger (1976), Virmani dan Edwards (1983), dan Kim dan Rutger (1988). Semua publikasi tersebut menyimpulkan bahwa

heterosis pada padi dapat dieksploitasi secara komersial dengan mengembangkan padi hibrida.

3. PERAKITAN VARIETAS HIBRIDA

3.1 Pembentukan Tetua Betina (*Seed/Female Parent*)

Pembungaan, pembuahan, dan perkembangan biji adalah fungsi reproduksi yang penting pada tanaman. Fase tersebut terjadi melalui mekanisme yang sistematis dan sudah ditentukan sejak awal perkembangan tanaman (*pre-determined*). Perubahan atau penyimpangan proses-proses tersebut dalam kenyataannya dapat terjadi secara alami atau buatan. Hal tersebut misalnya dapat terjadi akibat adanya mutasi yang menyebabkan mandul betina (*female sterile*) atau mandul jantan (*male sterile*). Mandul jantan adalah fenomena yang sering terjadi dan mempunyai beberapa implikasi yang dapat dimanfaatkan dalam perbaikan atau perakitan varietas misalnya, kegagalan tanaman untuk menghasilkan tepungsari yang normal dan berfungsi. Dalam kaitan dengan pengembangan varietas hibrida, penyediaan tetua mandul jantan dilakukan melalui dua pengendali penyerbukan. Dua metode yang banyak digunakan untuk maksud tersebut adalah emaskulasi bunga jantan secara manual, dan mutasi genetik yang mencegah perkembangan polen secara normal (William, 1995). Mandul jantan dapat dihasilkan oleh aktivitas gen-gen inti, gen-gen sitoplasma, atau interaksi antara keduanya (Virmani, 1994). Mandul jantan sitoplasma (CMS) berkaitan dengan perubahan dalam organisasi dan ekspresi genom mitokondria (Schnable dan Wise, 1998).

Selama proses evolusi, tanaman mengembangkan suatu mekanisme untuk meningkatkan persilangan alami dan mandul jantan adalah salah satu dari mekanisme tersebut. Mandul jantan berbeda dengan inkompatibilitas. Pada inkompatibilitas, tepung sari normal dan berfungsi tetapi gagal membuahi (tidak terjadi fertilisasi) disebabkan oleh adanya halangan fisik atau biokimia, sementara pada mandul jantan gamet jantan memang tidak berfungsi.

Langkah awal dalam pembentukan galur mandul jantan (GMJ) adalah mendapatkan tanaman mandul jantan yang sifat kemandulannya dapat diwariskan, dan mengusahakan kemajuan sifat kemandulan pada suatu genotipe tertentu. Saat ini ada dua cara utama untuk mendapatkan tanaman mandul jantan, yaitu:

- Melakukan persilangan kerabat jauh.
 - Persilangan antarspesies (*O. sativa* x *O. glaberrima*).
 - Persilangan antarras (indika x japonika).
 - Persilangan antarvarietas yang sangat berbeda sumber asalnya.
- Identifikasi tanaman mandul jantan alami.

Tanaman mandul jantan alami biasanya merupakan hasil dari mutasi gen sehingga tidak ada tanaman pelestari yang bisa ditemukan.

Setelah diperoleh tanaman mandul jantan, langkah selanjutnya adalah memantapkan kemandulannya untuk mendapatkan GMJ. Pada program pemuliaan padi hibrida yang dirakit dengan metode tiga galur, pada umumnya bahan dasar GMJ telah tersedia. Masalah utamanya yang adalah bahwa GMJ yang tersedia masih memiliki banyak kekurangan dari aspek penampilan karakter-karakter lain, walaupun sifat kemandulannya telah mantap. Untuk memperbaiki GMJ tersebut dilakukan dengan jalan pemindahan sistem kemandulan sitoplasma ke varietas atau galur lain yang mempunyai sifat agronomis yang lebih baik. Pemindahan sistem kemandulan tadi dilakukan melalui proses silang balik (*back cross*).

Sejumlah varietas atau galur harapan yang mempunyai sifat unggul disilangkan dengan GMJ. Sepuluh sampai 20 F1 dari masing-masing persilangan ditanam dan tingkat kesuburan (fertilitas) dari masing-masing tanaman F1 diamati secara seksama. Tanaman yang menunjukkan sterilitas (kemandulan) yang tinggi disilang-balikan dengan tetua jantannya. Proses silang balik tersebut terus berlangsung sampai diperoleh populasi yang benar-benar memiliki sterilitas tinggi (100%). Bila sterilitasnya sudah mantap, maka telah diperoleh GMJ baru yang sudah merupakan perbaikan dari GMJ asalnya dengan latar belakang genetik yang sama dengan tetua jantan yang digunakan. Pada saat yang sama, tetua jantan yang kita gunakan sudah merupakan galur pelestari dari GMJ baru tersebut.

3.2 Peran Mandul Jantan dalam Perakitan Varietas Hibrida

Mandul jantan akan meningkatkan terjadinya persilangan alami antara dua tetua pembentuk hibrida, sehingga mengakibatkan perubahan komposisi gen secara cepat, meningkatkan keragaman, heterozigositas, dan vigor hibrida. Mekanisme tersebut mempunyai implikasi yang sangat besar pada pemuliaan heterosis sejumlah tanaman, terutama tanaman menyerbuk sendiri seperti padi. Pada tanaman lain seperti tomat dan kapas benih hibrida komersial dapat dengan mudah diproduksi secara manual karena setiap pembuahan (fertilisasi) akan menghasilkan benih yang banyak sekali. Pada padi, produksi benih hibrida komersial hampir "tidak mungkin" dilakukan secara manual karena setiap pembuahan hanya menghasilkan satu butir benih. Karena itu ketersediaan sistem mandul jantan merupakan keharusan untuk mengeksploitasi heterosis pada padi secara komersial. Hal ini terbukti oleh panjangnya rentang waktu yang dibutuhkan untuk pemanfaatan heterosis padi hibrida saat pertama kali dilaporkan Jones pada tahun 1926, sampai saat eksploitasi heterosis pada skala komersial berhasil dilakukan setelah para peneliti Cina menemukan sistem

mandul jantan pada tahun 1970. Penemuan sistem mandul jantan tersebut merupakan tonggak sejarah atau titik balik dalam sejarah padi hibrida. Terjadinya mandul jantan yang dikendalikan secara genetik yang diakibatkan oleh mutasi spontan atau mutasi terinduksi sangat lazim dan telah dilaporkan terjadi pada kurang lebih 620 spesies tanaman.

3.3 Klasifikasi Mandul Jantan

Pada umumnya mandul jantan dapat diklasifikasikan ke dalam empat tipe yaitu mandul jantan genetik (*genetic male sterility*), mandul jantan sitoplasmik-genetik (*cytoplasmic-genetic male sterility*), mandul jantan sensitif faktor lingkungan (*environment sensitive genetic male sterility*), dan mandul jantan nongenetik atau karena perlakuan kimiawi (*non genetic or chemically induced male sterility*).

3.3.1 Mandul Jantan Genetik (*Genetic Male Sterility*)

Mandul jantan genetik juga disebut *nuclear male sterility* karena dikendalikan oleh gen yang ada di inti (*nucleus*). Ekspresi fenotipe mandul jantan genetik tidak dipengaruhi oleh sitoplasma maupun oleh lingkungan. Karena itu pola ekspresi dan pewarisan mandul jantan genetik tidak menunjukkan adanya perbedaan pada persilangan resiproknya, sehingga mandul jantan tipe ini stabil, dapat dipercaya, dan dapat diulang. Mandul jantan tipe genetik sulit dilestarikan karena tidak mempunyai galur pelestari (*maintainer line*). Tipe mandul jantan genetik dikendalikan oleh gen resesif tetapi dalam beberapa kasus juga dilaporkan dikendalikan gen dominan. Gugurnya tepung sari (*pollen abortion*) pada mandul jantan genetik dikendalikan oleh gen resesif. Lewis dan Crowe (1956) melaporkan bahwa mandul jantan genetik dikendalikan secara monogenik, namun dalam beberapa kasus karakter ini dikendalikan oleh dua gen atau lebih (Duvick, 1966). Gen mandul jantan resesif dilaporkan terdapat pada tomat, barley, sorghum, padi, gandum, bunga matahari, dan brassica. Sedangkan gen mandul jantan dominan dilaporkan terdapat pada kapas, gandum, dan padi (Virmani, 1994).

3.3.2 Mandul Jantan Sitoplasmik-Genetik dan Galur Pelestari (*Maintainer Line*) Pasangannya

Sifat mandul jantan pada sistem ini dikendalikan oleh interaksi antara gen sitoplasma dengan gen inti, ditemukan pada bawang merah oleh Jones dan Emsweller (1937). Sistem mandul jantan sitoplasmik-genetik merupakan sistem mandul jantan yang paling banyak digunakan untuk mengembangkan hibrida

komersial pada banyak tanaman karena mudah dan efisien (Govinda dan Virmani, 1988). Keberadaan gen inti resesif homozigot untuk pemulihan kesuburan ditambah dengan adanya faktor inti di sitoplasma yang merupakan bagian dari DNA mitokondria (Kadowaki *et al.*, 1986) menyebabkan tanaman menjadi mandul. Jika faktor genetik yang menginduksi kemandulan tersebut tidak ada dalam sitoplasma maka tanaman menjadi normal (*male fertile*). Jika pada sitoplasma normal semacam itu gen inti yang memulihkan kesuburan bersifat resesif, maka tanaman akan dapat mempertahankan sifat mandul jantan tersebut. Tanaman atau galur yang dijelaskan terakhir disebut galur pelestari (*maintainer line*) yaitu suatu galur yang berfungsi untuk melestarikan keberadaan GMJ pasangannya. Pada sistem GMJ sitoplasmik-genetik, masing-masing GMJ mempunyai pasangan galur pelestari. Jika gen inti yang berkaitan dengan pemulihan kesuburan bersifat dominan dengan atau tanpa gen sterilitas dalam sitoplasma, maka tanaman tersebut akan mampu memulihkan kesuburan pada hibrida turunan persilangan antara GMJ dengan tanaman tersebut yang kemudian dikenal dengan nama *restorer*. Konstitusi sitoplasmik-genetik dari masing-masing galur tersebut adalah S rfrf (mandul, GMJ atau CMS), N rfrf (fertil atau normal, galur pelestari atau *maintainer*), S atau N RfRf (normal, *restorer*), dan S Rfrf (normal, hibrida).

3.3.3 Pemulihan Kesuburan (*Fertility Restoration*) Mandul Jantan Sitoplasmik-Genetik pada Padi

Pengembangan padi hibrida menggunakan sistem GMJ sitoplasmik-genetik mutlak memerlukan tetua jantan yang disebut galur pemulih kesuburan (*restorer line*). Pada padi, sekitar 20% plasma nutfah termasuk ke dalam golongan *restorer*. Karakter pemulihan kesuburan dikendalikan oleh gen dominan tunggal 'Rf' yang mempunyai pengaruh gametofitik. Shinjyo (1972) telah melakukan penelitian tentang penyebaran gen Rf pada padi varietas lokal dan varietas introduksi di Jepang dan melaporkan bahwa varietas yang tergolong *restorer* efektif pada umumnya adalah padi indika yang banyak di tanam di daerah tropik. Sedangkan varietas dari Jepang atau daerah subtropik lainnya pada umumnya tidak termasuk golongan *restorer*. Dengan kata lain, *restorer* pada umumnya lebih banyak terdapat pada padi indika dibandingkan pada padi japonika. Di antara padi indika *restorer* lebih banyak berupa galur-galur atau varietas yang berumur panjang dibandingkan dengan yang berumur genjah. Diduga varietas berumur panjang mempunyai kekerabatan lebih dekat dengan padi liar (Yuan, 1985). Namun demikian, belum ada bukti bahwa ada hubungan antara umur varietas dengan keberadaan gen Rf (Yuan dan Virmani, 1988).

3.3.4 Sistem Mandul Jantan yang Dipengaruhi Faktor Lingkungan (*Environment Sensitive Genetic Male Sterile*-EGMS)

Dalam sistem ini kemandulan tepung sari dipengaruhi oleh dua faktor lingkungan yaitu panjang hari dan atau temperatur (Virmani, 1994). Genotipe yang mempunyai kemandulan dipengaruhi oleh panjang hari disebut *Photoperiod-Sensitive Genetic Male Sterility* (PGMS) (Lu *et al.*, 1994), jika perubahan dari subur menjadi mandul tersebut dipengaruhi oleh temperatur disebut *Thermo-Sensitive Genetic Male Sterility* (TGMS) (Maruyama *et al.*, 1991). *Environment Genetic Male Sterility* (EGMS) dapat terjadi karena mutasi alami atau mutasi buatan. Shen *et al.* (1998) telah mencoba untuk mendapatkan EGMS melalui mutasi buatan dengan sinar ^{60}Co pada dosis 290 Gy.

Di negara tropik seperti Indonesia, perbedaan panjang hari tidak terlalu banyak sehingga penggunaan sistem PGMS kemungkinan tidak akan efektif. Sebaliknya perbedaan temperatur yang konsisten dapat dijumpai di daerah-daerah tertentu yang mempunyai ketinggian berbeda, dengan penggunaan sistem TGMS kemungkinan akan lebih efektif dan mudah diterapkan, lebih dari itu TGMS tidak memerlukan galur pelestari (*maintainer*) untuk memperbanyak benihnya sehingga dibandingkan dengan CMS, TGMS lebih mudah untuk diperbanyak. Untuk memproduksi benih hibrida F1 tidak perlu galur-galur yang mempunyai gen pemulih kesuburan (*restorer*), hanya diperlukan galur TGMS dan tetua jantannya, sehingga sistem ini juga dikenal dengan nama sistem dua galur.

Tanaman PGMS pertama kali ditemukan pada tahun 1973 oleh Shi Ming Song di antara pertanaman padi japonika varietas Nongken 58 di Provinsi Hubei, Cina (Virmani, 1994). Tanaman tersebut jika fase berbunganya bertepatan dengan hari panjang akan mandul, sedangkan jika berbunga pada periode hari pendek tanaman akan subur (fertil). Derajat kemandulan berkisar antara 90–100% pada penyinaran buatan lebih dari 14 jam dan akan subur kembali pada penyinaran 13 jam 45 menit. Mutan mandul jantan ini kemudian diberi nama *Hubei-photoperiod-sensitive genetics male sterile rice* (HPG-MS). Studi lebih lanjut menunjukkan bahwa fase kritis dari transformasi fertilitas adalah tanggal 1 atau 2 September di Wuhan (30–31° N, 30 m dpl), jika tanaman berbunga pada periode 5 Agustus sampai 1–2 September kemandulan berkisar antara 99–100%, tetapi jika tanaman berbunga setelah 1–2 September, kemandulan ini berkurang 20% dan pembentukan biji yang terjadi berkisar antara 10–40%. Perilaku mutan ini tidak berubah walau ditanam di daerah lain.

Maruyama *et al.* (1991) menginduksi varietas Remei (japonika) dengan sinar gamma 20 krad dan menghasilkan suatu mutan mandul jantan H89-1.

Mutan tersebut tidak mampu membentuk biji pada temperatur siang hari 31° C dan temperatur malam hari 24° C, parsial fertil pada 28/21° C, dan fertil sepenuhnya pada 25/18° C dan kemandulan tepung sari mutan ini tidak berubah dengan perubahan panjang hari.

Sejak Shi (1981) melaporkan PGMS Hubei, beberapa pemulia berhasil mendapatkan galur dengan perubahan kesuburan tepung sari. Perubahan tersebut terjadi karena mutasi spontan, mutasi dengan induksi penyinaran, atau dari hasil seleksi pada populasi bersegregasi persilangan-persilangan tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa TGMS dan PGMS adalah fenomena alam yang terjadi secara luas dan dapat diperoleh melalui beberapa cara. Beberapa galur PGMS dan TGMS yang berhasil dikembangkan di Cina, Jepang, Amerika, dan IRRI dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Galur-galur PGMS dan TGMS yang Dikembangkan di Cina, Jepang, Amerika, dan IRRI

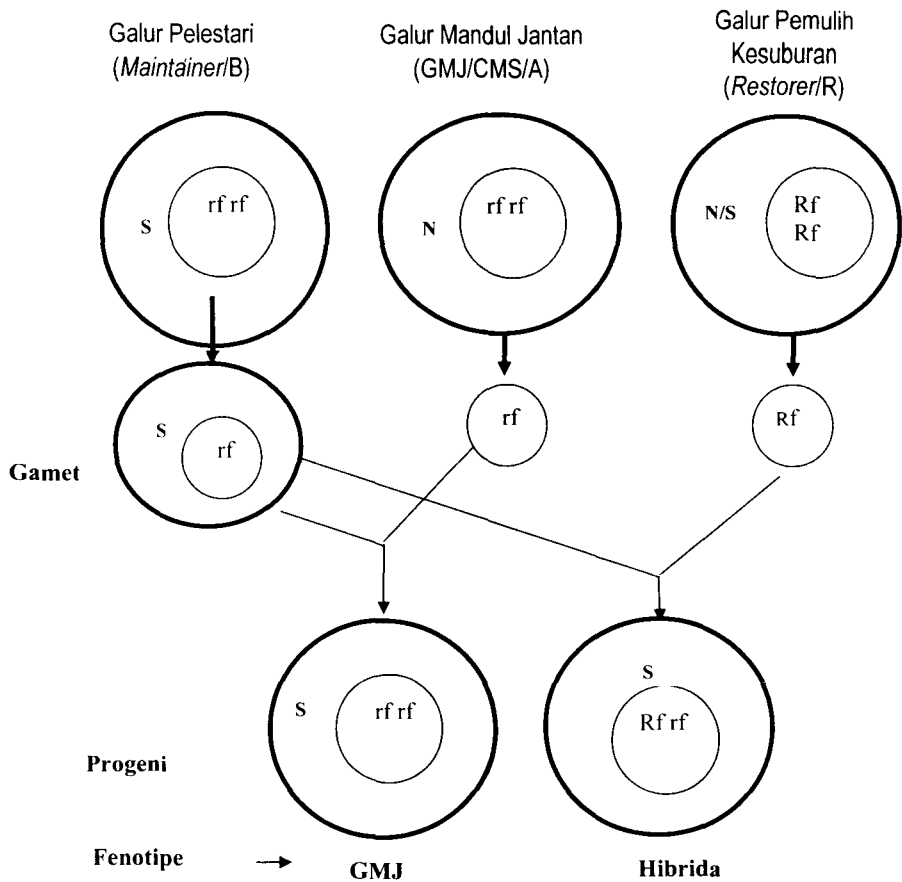
Galur	Golongan	Teknik	Asal	Kondisi perubahan kesuburan
Nongken 58S	Japonika	Mutasi spontan	Hubei, China	Hari panjang 14 jam
Annong S	Indika	Mutasi spontan	Hunan, China	Suhu tinggi 27° C
Henlong S	Indika	Persilangan	Hunan, China	Suhu tinggi
5460 S	Indika	Iradiasi	Fujian, China	Suhu tinggi 28-29° C
R59T S	Indika	Iradiasi	Fujian, China	Suhu tinggi
IR32364-20-1-3-2B	Indika	Iradiasi	IRRI	Suhu tinggi 27° C
PoNorin PL 12	Japonika	Iradiasi	Jepang	Suhu tinggi 28° C
IVA	Indika	Persilangan	Yunnan, China	Suhu rendah 24° C
Dianxin 1A	Japonika		Yunnan, China	Suhu rendah 22° C
EGMS	Japonika		USA	Hari panjang
X88	Japonika	Persilangan	Jepang	Hari panjang 13,75 jam

3.4 Padi Hibrida Tiga Galur

Tidak seperti pada kapas, pada padi benih hibrida tidak dapat dihasilkan lebih dari satu butir untuk setiap anak bunga (spikelet) yang dipolinasi (*hand pollination*). Oleh sebab itu, tidak memungkinkan untuk menghasilkan benih hibrida melalui penyerbukan manual (*hand pollination*) dalam jumlah yang banyak.

Sebagai tanaman yang menyerbuk sendiri, untuk memproduksi F1 hibrida padi mutlak memerlukan tetua mandul jantan. Selain itu untuk pengembangan padi hibrida yang menggunakan sistem mandul jantan sitoplasmik-genetik diperlukan pula tetua yang dapat memulihkan sifat fertilitas tepung sari (*restorer*). Selain kedua galur tersebut (GMJ dan R), ada galur lain yang sangat diperlukan untuk memperbanyak benih GMJ dalam jumlah banyak tanpa harus mengubah genotipe atau fenotipe GMJ yang bersangkutan, galur ini disebut galur pelestari (*maintainer line*). Dengan kata lain tiga komponen utama yang diperlukan keberadaannya dalam produksi benih hibrida sistem tiga galur adalah GMJ, galur pelestari, dan galur atau varietas pemulih kesuburan. Hibrida yang dirakit menggunakan sistem ini disebut hibrida tiga galur.

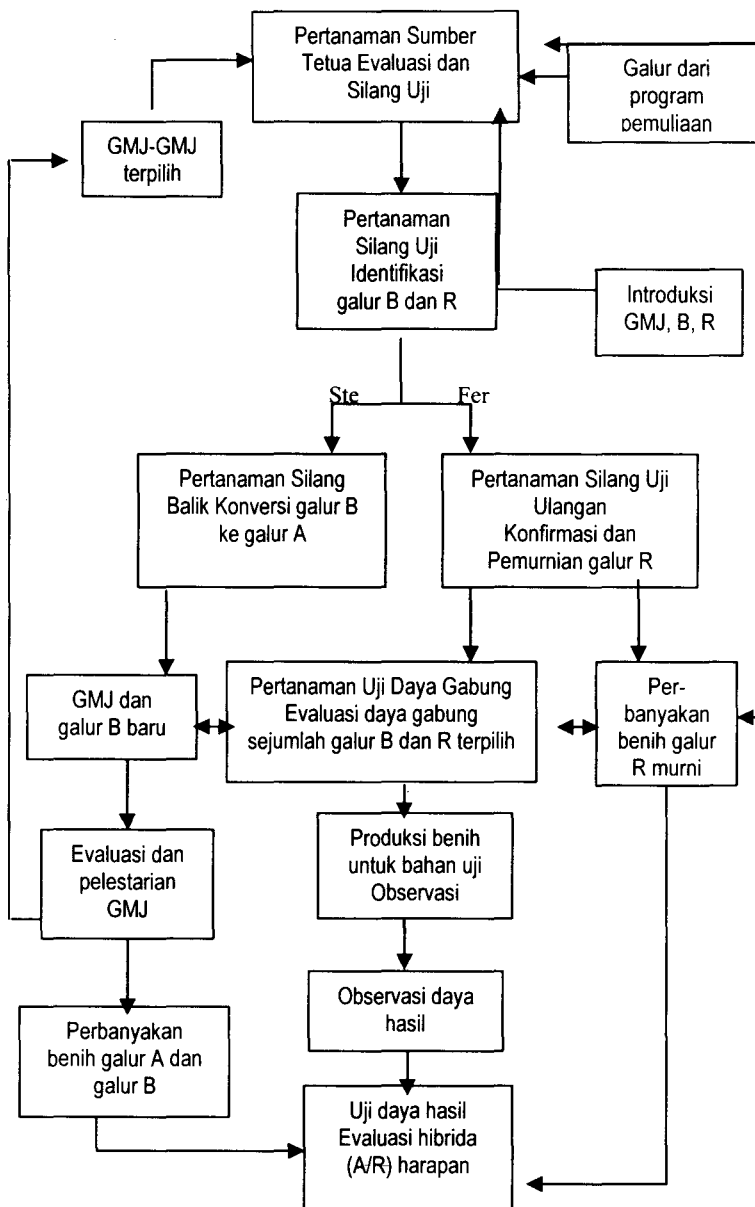
GMJ atau yang biasa disebut galur 'A' dalam pembuatan hibrida digunakan sebagai tetua betina, mempunyai sitoplasma mandul dan gen inti pengendali kesuburan yang resesif sehingga galur ini akan tetap menghasilkan tepung sari yang mandul. Galur pelestari (*maintainer*) atau yang biasa disebut galur 'B' mempunyai gen inti resesif tetapi sitoplasmanya normal (*male fertile*) sehingga dapat membentuk biji. Kedua galur ini (galur A dan B) pada prinsipnya merupakan galur yang sama kecuali pada sitoplasmanya. Sedangkan galur restorer mempunyai gen inti untuk pemulihan kesuburan dominan dan sitoplasma yang pada umumnya normal. Jika GMJ disilangkan dengan galur B pasangannya turunan (F1)-nya akan mewarisi sitoplasma dari tetua betina (GMJ) dan gen inti dari kedua tetua. Dengan demikian konstitusi genetik dari tanaman F1 tersebut persis sama dengan GMJ demikian juga fenotipenya. Persilangan antara galur A dengan galur B disebut perbanyakan galur GMJ (*CMS seed multiplication*). Dengan dasar ini pula galur B disebut galur pelestari karena fungsinya melestarikan sifat mandul dari tetua betina (galur A). Jika galur A disilangkan dengan galur R maka turunan (F1) nya mewarisi sitoplasma dari tetua betina (GMJ) tetapi gen intinya menjadi heterozigot dan karena gen dominan mengendalikan sifat pemulihan kesuburan maka tanaman F1 tersebut menjadi normal walaupun mempunyai sitoplasma yang mandul. Tanaman F1 tersebut dikenal dengan tanaman hibrida. Hubungan antara tiga galur komponen utama pembentuk padi hibrida diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan antara tiga galur komponen utama pembentuk padi hibrida pembentuk padi hibrida.

3.5 Identifikasi dan Pembentukan Galur-galur Tetua

Proses identifikasi dan pembentukan galur-galur tetua dan hibrida dari plasma nutfah atau materi program pemuliaan inbrida meliputi beberapa kegiatan yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan pemuliaan padi hibrida.

4. PEMILIHAN VARIETAS HIBRIDA

4.1 Uji Kemampuan Daya Gabung

Uji kemampuan daya gabung galur tetua berguna dalam program pemuliaan hibrida, khususnya bila kombinasi hibrida yang diuji dalam jumlah banyak. Untuk mendapatkan hibrida unggul, kemampuan daya gabung antargalur tetua perlu diidentifikasi menggunakan analisis lini x tester (Kempthorne, 1957; Chaudhary, 1979). Uji daya gabung mengacu kepada kemampuan genotipe untuk mewariskan karakter baiknya kepada turunannya. Uji daya gabung terdiri atas daya gabung umum (DGU) dan daya gabung khusus (DGK). DGU merupakan rata-rata penampilan suatu tetua di dalam suatu seri persilangan. DGK adalah penyimpangan penampilan hibrida yang diprediksi berdasarkan pada kemampuan daya gabung tetuanya.

Galur-galur tetua yang dievaluasi untuk daya gabung adalah GMJ yang memiliki keunggulan karakter agronomis dan tingkat persilangan alaminya, serta galur pemulih kesuburan (R) yang beradaptasi baik pada suatu wilayah target.

4.1.1 Prosedur Persilangan Lini x Tester

Semua persilangan $l(R) \times t(GMJ)$ ditanam bersama tetuanya. Misalnya, ada 5 R dan 4 GMJ, maka 20 hasil persilangan ini ditanam bersama dengan 5 R dan 4 GMJ, sehingga ada 29 nomor, dan dirancang dalam rancangan acak kelompok dengan tiga ulangan. Jumlah ulangan disesuaikan agar derajat bebas untuk galat minimal 12.

4.1.2 Interpretasi Hasil

- Tetua dengan nilai pengaruh DGU tinggi dikategorikan sebagai penggabung umum yang baik. GMJ dan R dengan DGU tinggi sangat berguna untuk pengembangan materi pertanaman observasi daya hasil.
- Hibrida yang memiliki pengaruh DGK tinggi dikelompokkan sebagai hibrida unggul, dan dipilih untuk percobaan uji daya hasil pendahuluan.

4.2 Uji Heterosis

Heterosis telah terbukti dapat menjadi metode praktis untuk pengembangan pertanian, terutama untuk meningkatkan potensi hasil berbagai tanaman. Adopsi teknologi hibrida pada tanaman padi dahulu dianggap tidak praktis karena sifat menyerbuk sendiri dari tanaman ini, dan kecilnya kemungkinan untuk memproduksi benih padi hibrida dalam skala komersial. Namun demikian,

pemulia padi telah berhasil menangani kesulitan tersebut dengan memanfaatkan sifat sterilitas sitoplasma-genetis jantan (*cytoplasmic-genetic male sterility*) dan paket untuk produksi benih yang efisien dan ekonomis.

Cina merupakan negara pertama yang secara komersial mengeksploitasi heterosis pada tanaman padi; penelitian tentang ini mulai tahun 1964. Galur-galur yang diperlukan (CMS, *maintainer*, dan *restorer*) untuk mendapatkan hibrida F1 berhasil dikembangkan tahun 1973. Hibrida-hibrida padi dengan heterosis yang kuat diidentifikasi tahun 1974 dan teknik-teknik produksi benih ditetapkan tahun 1975. Tahun 1975, hibrida padi dilepas ke petani pada saat IRRI belum memulai penelitian tentang hibrida padi (Yuan dan Virmani, 1988).

Menurut Virmani *et al.* (1997), saat ini lebih dari 50% total area penanaman padi di Cina telah ditanami dengan padi hibrida, dan banyak lagi negara di luar Cina mulai mengembangkan dan mengeksploitasi teknologi padi hibrida ini. Ditambahkan bahwa istilah heterosis merupakan superioritas dari hibrida F1 terhadap tetuanya. Ekspresi heterosis dapat bernilai positif ataupun negatif; namun keduanya berguna untuk maksud pengembangan tanaman, tergantung pada tujuan pemuliaan (Virmani *et al.*, 1997). Komersialisasi teknologi hibrida padi di daerah tropis mulai tahun 1994, setelah beberapa hibrida padi dilepas di India, Vietnam, Filipina, Bangladesh, dan Indonesia (Virmani, 2003). Keunggulan hibrida dibanding varietas konvensional secara agronomis adalah adanya heterosis pada hasil gabah, yang berhubungan dengan heterosis yang ada pada komponen pertumbuhan (seperti akar dan daun) dan komponen hasil (seperti jumlah malai per satuan luas dan jumlah gabah per malai). Informasi hubungan antara heterosis pada hasil gabah dengan heterosis yang terdapat pada komponen pertumbuhan dan komponen hasil akan sangat membantu dalam mendapatkan tetua-tetua yang paling baik untuk mendapatkan produksi gabah padi hibrida yang tinggi. Akita (1988) telah melaporkan bahwa pada awal vegetatif hibrida F1 dilaporkan adanya peningkatan aktivitas heterosis, namun heterosis ini berkurang pada fase pertumbuhan lebih lanjut. Keuntungan fisiologis lain dari hibrida F1 adalah penampilannya yang lebih baik pada lingkungan yang kurang menguntungkan. Hibrida F1 dapat lebih efektif dari varietas konvensional pada lingkungan yang kurang menguntungkan seperti radiasi matahari rendah, tadah hujan, kondisi salin, di mana penanganan agronomis yang sempurna tidak bisa dilakukan.

4.3 Heterosis pada Padi Hibrida (Heterosis vs. Lingkungan Tumbuh)

Adanya heterosis pada padi hibrida merupakan hal utama yang perlu diketahui karena dengan sifat inilah padi hibrida menjadi lebih unggul dibanding padi inbrida. Berkaitan dengan heterosis pada padi hibrida ini, perlu ditentukan komponen pertumbuhan dan komponen hasil apa saja yang benar-benar

berpengaruh langsung terhadap derajat heterosis yang terjadi pada hasil gabah. Informasi yang didapat dari tingkat heterobeltiosis pada padi hibrida dapat digunakan untuk memilih tetua-tetua yang dapat menghasilkan turunan yang memberikan heterosis tinggi dan relatif stabil. Dengan melakukan evaluasi sifat-sifat tersebut pada berbagai lingkungan tumbuh, akan didapatkan ideotipe padi hibrida pada kondisi tumbuh yang berbeda.

Kim dan Rutger (1988) melaporkan bahwa dari beberapa penelitian di Davis California (tanam padi dengan tabela), 11 dari 153 hibrida F1 yang diuji memperlihatkan standar heterosis untuk hasil gabah yang bervariasi antara 16% sampai 63% dengan rata-rata 41%. Namun, pada tahun 1981 Virmani (dalam Kim dan Rutger 1988) mendapatkan heterobeltiosis antara 369% sampai -91% untuk hasil gabah, 55% sampai -70% untuk gabah/malai, 14% sampai -31% untuk berat gabah dan 505% sampai -45% untuk jumlah malai/tanaman. Selanjutnya, pada pengujian 4 hibrida di Korea tahun 1984 terlihat heterosis positif yang nyata sampai 92%, heterobeltiosis sampai 48%, dan standar heterosis sampai 43% pada hasil gabah dengan 3 tingkat pemberian pupuk N (120, 180, dan 240 kgN/ha); dan didapat rata-rata hasil gabah selama 2 tahun sebesar 10,4 t/ha. Menurut Yuan dan Virmani (1988), beberapa hibrida padi unggul berangsur-angsur kehilangan resistensinya terhadap hama dan penyakit akibat terjadinya perubahan mekanisme fisiologis dari hama yang bersangkutan, demikian pula sterilitas jantan tidak stabil pada berbagai lingkungan.

Pada dasarnya hasil gabah adalah produk dari akumulasi bahan kering dan indeks panen. Telah diketahui bahwa pada hibrida F1 terdapat akumulasi bahan kering yang tinggi. Yamauchi (1994) telah melaporkan adanya heterosis pada indeks panen, tapi lebih jarang dibanding heterosis pada akumulasi bahan kering. Karena itu, dapat dikatakan bahwa heterosis pada hasil gabah lebih disebabkan oleh heterosis pada akumulasi bahan kering. Heterosis pada kecepatan fotosintesis juga telah dilaporkan. Laju asimilasi bersih (*Net Assimilation Rate* atau NAR) pada hibrida F1 lebih tinggi dibanding galur tetuanya. Namun beberapa laporan menunjukkan bahwa tingginya akumulasi bahan kering ini disebabkan oleh adanya pertumbuhan luas daun yang lebih cepat.

Pada kenyataannya, heterosis pada akumulasi bahan kering tertekan pada saat pembungaan. Bila penekanan heterosis saat berbunga ini bisa dihindarkan dan dipertahankan seperti tingkat stadia vegetatif, maka heterosis pada hasil gabah dapat lebih ditingkatkan. Lebih jauh, Kim dan Rutger (1988) melaporkan bahwa tingginya hasil gabah pada hibrida F1 disebabkan oleh heterosis yang ada pada jumlah malai dan gabah, sedangkan heterosis dalam hal bobot 1000 biji tidak berperan besar. Dalam studi pertumbuhan hibrida di IRRI, Korea pada 5 tingkat pemupukan N terdapat heterobeltiosis positif dalam bobot tanaman, yang meningkat linier dari pemupukan 0 kg sampai 150 kg N/ha.

Tertekannya heterosis dalam akumulasi bahan kering saat berbunga, di mana pengelolaan hara konvensional yang dilakukan, kemungkinan disebabkan oleh kurangnya pemberian pupuk nitrogen (Yamauchi, 1994). Davis dan Rutger pada tahun 1976 juga melaporkan heterosis yang lebih tinggi pada jarak tanam 30 cm x 30 cm dan 30 cm x 45 cm dibandingkan pada 15 cm x 15 cm. Penggunaan jarak tanam lebih lebar bagi hibrida F1 akan mengurangi kebutuhan benih dan biaya pindah tanam. Cara tersebut dipraktekkan di Jepang dengan hasil yang memuaskan.

4.4 Uji Adaptasi

Tujuan utama uji adaptasi adalah untuk mengidentifikasi hibrida-hibrida yang memiliki daya adaptasi luas atau adaptasi sempit terhadap serangkaian lokasi pengujian tertentu. Pengujian ini penting untuk mengetahui penampilan hibrida yang berbeda pada lingkungan tumbuh yang berbeda. Pemilihan lokasi untuk produksi padi hibrida didasarkan atas keberadaan cekaman biotik yang rendah. Hibrida-hibrida harapan yang teridentifikasi dalam uji daya hasil lanjut diuji bersama dengan tiga varietas pembanding yang memiliki perbedaan umur (genjah, sedang, dan dalam). Pedoman pelaksanaan percobaan:

1. Rancangan : Acak Kelompok
2. Jumlah perlakuan : 12 genotip (9 yang diuji dan 3 pembanding)
3. Jumlah ulangan : 4 (empat) ulangan
4. Ukuran petak : 4 m x 5 m (20 m²)
5. Umur bibit : 15–18 hari (stadia 5–6 helai daun)
6. Jumlah bibit : 1 batang per rumpun
7. Jarak tanam : 20 cm x 20 cm
8. Pengolahan tanah : Optimal
9. Pemupukan :

Pemupukan di pesemaian:

Waktu pemberian	Urea (g/m ²)	SP36 (g/m ²)	KCl (g/m ²)	Pupuk Kandang
1 hari sebelum sebar	5	5	5	2 kg
10 hari setelah sebar	10	-	-	

Pemupukan di pertanaman:

Waktu pemberian	Urea (kg/ha)	Phonska (kg/ha)	KCl (kg/ha)
7 – 14 HST	100	100	-
21 – 24 HST	100	100	-
35 – 42 HST	50	-	25

10. Pengendalian hama dan penyakit : Optimal
11. Penyulaman : Maksimum 1 MST
12. Variabel pengamatan : Jumlah rumpun per petak, umur tanaman pada fase berbunga (hari sejak semai sampai 50% tanaman berbunga) dan masak (hari sejak semai sampai 75% malai menguning), tinggi tanaman (cm), jumlah malai (anakan produktif) per rumpun, jumlah gabah isi per malai, jumlah gabah hampa per malai, panjang malai (cm), hasil gabah per petak (kg/petak), yang kemudian dikonversikan ke t/ha dengan KA 14%, jumlah rumpun tanaman yang dipanen, bobot 1.000 butir gabah isi (g), intensitas serangan hama dan penyakit tanaman secara visual di lapangan (pengamatan kualitatif keberadaan dan keparahan hama dan penyakit pada daun, batang, malai dan gabah), data-data lingkungan (curah hujan, suhu harian, kelembaban relatif, dsb.), preferensi petani dan petugas pelaksana).

4.5 Uji Daya Hasil

Hibrida-hibrida yang menunjukkan superiotas dalam hal potensi hasil perlu diuji daya adaptasinya di sejumlah lahan petani (*on-farm testing*) pada lokasi yang berbeda. Hibrida yang akan dilepas ditanam berdampingan dengan hibrida yang sudah dilepas terdahulu dan varietas inbrida yang sedang populer sebagai pembanding. Budi daya penanaman mengacu kepada teknologi Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT). Hibrida yang unggul dalam potensi hasil dan daya adaptasi dibandingkan dengan "hibrida lama" dan VUB inbrida diusulkan untuk dilepas.

4.6 Uji Pembentukan Benih (*Seed Set Ability*)

Produksi benih hibrida merupakan faktor utama yang menyebabkan lambatnya perkembangan padi hibrida ke tingkat petani. Kendala utama dalam implementasi produksi benih hibrida adalah sinkronisasi pembungaan, rendahnya persilangan alami (*out-crossing*) yang terjadi antara tetua pembentuk hibrida, dan perlu teknik budi daya yang sesuai terutama pengelolaan hara, khususnya NPK. Usaha-usaha yang dilakukan untuk meningkatkan produksi benih hibrida dan mengurangi biaya produksi benih masih perlu diteliti karena akan sangat membantu dalam pengembangan padi hibrida di Indonesia.

Produksi benih padi hibrida adalah salah satu komponen utama dalam pengembangan padi hibrida. Dalam proses produksi hibrida melibatkan dua galur atau varietas yang berbeda (A dan R), sehingga untuk keberhasilannya memerlukan teknik dan keahlian khusus. Hasil benih hibrida yang dicapai relatif lebih rendah yang disebabkan oleh beberapa hal, seperti kurangnya

kompatibilitas antara tetua jantan dan betina sehingga penyerbukan silang (*out-crossing*) menjadi rendah. Rendahnya *out-crossing* dapat juga disebabkan oleh berbagai hal lainnya, misalnya pembungaan yang tidak serempak antara tetua ataupun di dalam suatu populasi tetua yang sama atau kurangnya serbuk sari yang fertil untuk menyerbuki CMS.

Secara teoritis, bila tingkat *out-crossing* dari benih galur-galur tetua dapat mencapai 50%, dan pertumbuhan tanaman sama dengan kebanyakan varietas unggul biasa, maka hasil benih padi hibrida akan dapat menyamai 35–40% dari hasil varietas unggul biasa. Setelah usaha lebih dari 20 tahun, rata-rata hasil benih hibrida nasional di Cina telah mencapai 2,5–2,7 t/ha, 40–50% dari hasil rata-rata varietas inbrida nasional. Rata-rata produksi benih hibrida di Vietnam dilaporkan telah mencapai 2,2 t/ha. Sedangkan di India rata-rata hasil benih hibrida mencapai 1,5 t/ha, dengan hasil tertinggi yang pernah dicapai sekitar 4–4,8 t/ha. Di Filipina, rata-rata hasil benih hibrida di musim kering sekitar 1,5–2,0 t/ha dan di musim hujan sekitar 0,7–0,9 t/ha. Di negara tropis lain hasil benih hibrida dari plot-plot kecil adalah 1–2 t/ha. Virmani (2003) melaporkan bahwa hasil benih hibrida padi pada sejumlah penelitian rata-rata 0,75–1,5 t/ha dan hasil biji tertinggi (2,5–4,0 t/ha) telah dilaporkan di negara tropis yang telah mengembangkan hibrida padi secara komersial.

Dalam upaya meningkatkan produksi benih hibrida, hal pertama sekali yang harus dilakukan adalah mengatur keserempakan berbunga individu tanaman di dalam suatu populasi dan antara kedua populasi tetua, meningkatkan *out-crossing* yang terjadi, baik secara genetis maupun morfo-fisiologis.

Berbagai usaha lain dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi produksi benih walaupun beberapa di antaranya masih memerlukan penelitian klarifikasi. Gibberellin (asam giberelat) sudah lama terbukti berperan dalam proses pembungaan dan fertilisasi, serta perkembangan biji dan buah. Kemampuan asam giberelat meningkatkan jumlah tepung sari (*pollen*) pada beberapa tanaman perlu dimanfaatkan seandainya fenomena ini juga terjadi pada spesies *Oryza sativa*.

Peran positif ethylene untuk keserempakan berbunga telah digunakan secara komersial pada beberapa komoditas buah-buahan. Bahan aktif ethylene dalam bentuk Ethrel dan telah lama digunakan, walaupun demikian adanya hubungan antara aktivitas auxin dan ethylene dalam tanaman padi perlu diteliti lebih lanjut untuk meningkatkan sinkronisasi pembungaan dan *out-crossing*.

Yuan dan Virmani (1988) menyatakan bahwa produksi benih hibrida meliputi perbanyakan GMJ, *restorer*, dan produksi benih hibrida F₁. Pada saat ini, nisbah area lapang antara perbanyakan CMS, produksi benih hibrida dan produksi komersial padi hibrida adalah kira-kira 1 : 50 : 2500. Menurut Lin dan Yuan (1980), peningkatan hasil produksi benih hibrida tahun-tahun terakhir ini berhubungan dengan adanya pemanfaatan teknik-teknik produksi berikut secara konsisten:

- a. Menanam 2 bibit per rumpun untuk CMS, bukan satu sebagaimana dipraktekkan sebelumnya.
- b. Meningkatkan nisbah antara tetua jantan dan betina dari 1 : 6 hingga 2 : 8 menjadi 1 : 8 hingga 2 : 12, atau bahkan lebih besar.
- c. Menggunakan dosis GA3 lebih tinggi (75 g/ha) agar keseluruhan malai tumbuh lebih tinggi dari daun bendera, untuk menghindari pemotongan daun bendera (*leaf clipping*).
- d. Penanganan lapangan secara khusus untuk memberikan pertumbuhan yang vigor.

Yuan dan Virmani (1988) menambahkan bahwa bunga padi mencapai puncak pembungaan antara jam 09.00 dan 11.30 pada hari cerah. Spesies-spesies padi memiliki waktu puncak pembungaan yang berbeda; kira-kira 60% gabah. *O. glaberrima* berbunga pada jam 09.00 tetapi pada *O. sativa* cv IR36 persentase pembungaan padi saat itu kurang dari 5%. Pada umumnya CMS mempunyai masa pembukaan anak bunga (florete) lebih lama daripada tanaman *maintainer* yang fertil.

Berbagai cara dapat dilakukan untuk memodifikasi pembungaan tanaman padi. Menurut Peijin *et al.* (1994) penggunaan bibit berumur 16 hari mempercepat pembungaan sekitar 2,5 hari dibanding bibit berumur 21 hari. Sedangkan bibit berumur 31 hari berbunga lebih lambat sekitar 4,5 hari. Selanjutnya mereka menyatakan bahwa aplikasi urea dan 2,4 D pada saat inisiasi malai rata-rata memperlambat waktu pembungaan selama 1 hari pada hampir semua galur CMS dan *restorer*. Sedangkan aplikasi asam borat, KNO₃, IAA, CCC, dan Ethrel mempercepat pembungaan antara 1,8–2,8 hari. Dalam percobaan di Tsukuba ternyata perbedaan kerapatan tanam dan jumlah bibit dapat menyebabkan perbedaan umur berbunga sampai 2,1 hari.

Temperatur tinggi dapat memperlambat anthesis dan sedikit menambah periode pembukaan anak bunga (florete) (IRRI, 1983; Yuan dan Virmani, 1988). Sedangkan Salisbury dan Ross (1978) menyatakan bahwa pemberian auxin sering menambah persentase bunga betina sedangkan gibberellin meningkatkan jumlah bunga jantan.

Menurut Salisbury dan Ross (1978) defisiensi Bo mengurangi sintesis DNA karena rendahnya konsentrasi cytosin dan thymine. Sering pula ditemui bahwa unsur ini berperan penting pada germinasi pollen tube. Lebih jauh dikatakan bahwa berbagai bahan penghambat pertumbuhan (*growth retardant*) yang tersedia secara komersial seperti Phospon D, CCC, Amo-1618 dan B995 (N dimethylamino succinamic acid) menghambat pertumbuhan batang. Penghambatan ini kadang-kadang diiringi oleh inisiasi tunas bunga yang lebih cepat atau bertambahnya jumlah bunga per tanaman.

Menurut Salisbury dan Ross (1978), pada tahun 1940 telah diketahui bahwa 2,4 D mempunyai aktivitas auxin, dan selanjutnya bahan ini dapat digunakan

sebagai herbisida. Empat macam herbisida auxin yang sering digunakan adalah 2,4 D; 2,4,5-T; MCPA, dan derivat-derivat dari asam picolinic seperti picloran (dijual dengan nama dagang Tordon). Salah satu sifat umum dari senyawa-senyawa auxin adalah memacu produksi ethylene. Suatu bahan yang bisa menghasilkan ethylene disebut Ethrel (nama dagang) tersedia secara komersial, merupakan senyawa 2-chlorethyl phosphonic acid yang cepat dipecah dalam air dan pada pH netral dan alkali akan membentuk ethylene, C_1^- dan $H_2PO_4^-$.

Praktek yang sudah lama dilakukan oleh petani nenas di Puerto Rico, dan petani mangga di Filipina untuk inisiasi dan sinkronisasi pembungaan adalah dengan membuat unggun api di sekitar pertanamannya. Ternyata ethylene yang terdapat di dalam asap merupakan bahan aktif untuk inisiasi dan sinkronisasi pembungaan ini (Salisbury dan Ross, 1978). Hal yang sama juga sudah lama dipraktekkan oleh petani nenas di Provinsi Riau.

4.7 Ketahanan Hibrida terhadap OPT

Hama dan penyakit utama tanaman padi yang daerah penyebarannya luas adalah wereng batang cokelat (WBC), hawar daun bakteri (HDB), dan virus tungro. Perakitan galur-galur tetua yang tahan hama dan penyakit tersebut dilakukan melalui proses skrining buatan yang dilaksanakan sesuai dengan metode yang dianjurkan SES (IRRI, 1996).

4.7.1 Evaluasi Ketahanan terhadap WBC

Evaluasi ketahanan terhadap WBC dilakukan secara massal. Galur yang diuji ditanam bersamaan dengan varietas pembanding tahan dan rentan pada bak kayu berukuran 180 cm x 45 cm x 10 cm yang bermedia tanah. Varietas pembanding tahan yang digunakan adalah Ratu Heenati, PTB33, dan Swarnalata; sedangkan varietas pembanding rentan adalah TN1 dan IR26. Tiap galur ditanam dalam satu baris yang berisi 10–15 tanaman dengan jarak antarbaris 5 cm. Infestasi nimfa wereng cokelat instar 2–3 sebanyak 5 ekor per tanaman dilakukan pada saat bibit berumur 7 hari. Skoring tingkat ketahanan dilakukan setelah tanaman pembanding yang rentan, mati. Baku penilaian tingkat ketahanan tanaman terhadap WBC berdasarkan *Standard Evaluation System for Rice* (IRRI, 1996) adalah nilai 1 = tidak ada kerusakan, kelas sangat tahan; 3 = daun pertama kuning sebagian, tahan; 5 = daun pertama dan kedua kuning sebagian, tanaman kuning dan kerdil atau 25% jumlah tanaman menjadi layu atau mati, agak tahan; 7 = lebih dari separuh tanaman menjadi layu atau mati, agak rentan; 9 = semua tanaman mati, rentan.

Tabel 4. Skala Keparahan Penyakit dan Kategori Ketahanan terhadap Penyakit HDB

Nilai	Persentase serangan (%)	Tingkat ketahanan	Kelas
1	1–3	Sangat tahan	HR
2	4–6	Tahan	R
3	7 – 12	Agak tahan	MR
4	13 – 25		
5	26 – 50	Agak rentan	MS
6	51 – 75		
7	76 – 87	Rentan	S
8	88 – 94		
9	95 – 100	Sangat rentan	HS

4.7.2 Evaluasi Ketahanan terhadap Penyakit HDB

Evaluasi ketahanan terhadap penyakit HDB dilaksanakan dengan inokulasi buatan di rumah kaca. Benih disebar pada kotak plastik, kemudian dipelihara dengan kultur teknis baku yaitu dipupuk urea dan TSP masing-masing dengan dosis 100 kg N/ha dan 60 kg P_2O_5 . Inokulasi buatan dilakukan dengan cara pengguntingan daun pada 10 rumpun contoh tanaman yang berumur 30 hari setelah sebar (HSS). Biakan murni yang diinokulasikan adalah bakteri *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. Pengamatan keparahan penyakit dilakukan 2 minggu setelah inokulasi. Baku penilaian tingkat ketahanan tanaman terhadap HDB merujuk pada sistem *Standard Evaluation System for Rice* (IRRI, 1996) (Tabel 4).

4.7.3 Evaluasi Ketahanan terhadap Penyakit Tungro

Evaluasi ketahanan terhadap penyakit tungro dilakukan dengan cara menginfeksi partikel virus tungro secara buatan. Infeksi buatan dilakukan dengan memberi kesempatan imago wereng hijau yang mengandung virus tungro untuk menginfestasi tanaman galur-galur yang diuji yang ditempatkan pada tabung reaksi selama 24 jam. Responss tanaman yang diuji dibandingkan dengan varietas pembanding rentan (TN-1) dan pembanding tahan (Utri Merah). Pengujian tersebut dilakukan terhadap 10 bibit contoh dari masing-masing bahan tanaman. Pengamatan ketahanan terhadap penyakit tungro dilakukan pada umur dua minggu setelah inokulasi buatan. Insiden penyakit tungro diamati pada semua rumpun tanaman, sedangkan keparahan penyakit dievaluasi merujuk pada baku *Standard Evaluation System for Rice* (IRRI, 1996) sebagai berikut: nilai 1 = serangan 0%, tidak ada gejala (sehat); nilai 3 = serangan 1–10%, tanaman mengalami pemendekan, daun tidak kuning; nilai 5 = serangan 11–30%, ada pemendekan, daun tidak kuning; nilai 7 = serangan 31–50% ada pemendekan, daun kuning; nilai 9 = serangan >50%, ada pemendekan, daun kuning.

Berdasarkan skala keparahan penyakit tersebut kemudian dihitung indeks penyakit tungro dengan rumus sebagai berikut (IRRI, 1996):

$$D_i = \frac{n(1) + n(3) + n(5) + n(7) + n(9)}{tn}$$

di mana,

D_i , indeks penyakit tungro

n , jumlah tanaman yang terserang tungro dengan skala tertentu

tn , total rumpun yang diskor.

Kriteria ketahanan penyakit tungro digolongkan berdasarkan indeks penyakit tungro (D_i) menurut *Standard Evaluation System for Rice* sebagai berikut: tahan ($R = 0-3$), moderat ($M = 4-6$), dan rentan ($S = 7-9$) (IRRI, 1996).

4.8 Uji Mutu Beras - Rasa Nasi

4.8.1 Sifat Kimiawi Beras

Karakteristik yang diamati sebagai penciri sifat kimiawi beras adalah uji alkali dan kandungan amilosa. Nilai pengamatan kedua peubah tersebut digolongkan ke dalam kelas tinggi, sedang, dan rendah.

4.8.2 Uji Organoleptik

Variabel yang diamati dalam uji ini adalah tekstur nasi, aroma, dan rasa nasi setelah dimasak. Penilaian aroma nasi dikelompokkan ke dalam kelas aroma kuat, sedang, dan lemah, sedangkan untuk rasa nasi dikelompokkan berdasarkan rasa enak, sedang, dan tidak enak. Tekstur nasi dikelompokkan menjadi: sangat pulen nilai $<1,5$; pulen nilai $1,5-2,4$; sedang nilai $2,5-3,4$; pera nilai $3,5-4,0$.

4.8.3 Uji Rendemen

Analisis rendemen beras pecah kulit, beras putih (sosoh), dan beras kepala dilakukan di laboratorium menggunakan mesin giling berukuran kecil.

Penetapan rendemen beras giling dilakukan dengan menimbang 125 gram gabah, dimasukkan ke dalam mesin penggiling kecil dan diamati:

$$\text{Persentase rendemen beras giling} = \frac{\text{Berat total gabah yang digiling (gram)}}{125 \text{ gram}} \times 100$$

$$\text{Persentase beras kepala} = \frac{\text{Berat beras utuh (gram)}}{\text{Berat total gabah yang digiling (gram)}} \times 100$$

4.8.4 Sifat Fisik Gabah

Terdapat tiga sifat fisik yang diamati, yaitu panjang dan bentuk gabah, serta persentase butir kapur. Sampel diukur dan dikelompokkan sebagai berikut: Panjang gabah: panjang (*long*) = 6,61–7,50 mm, sedang (*medium*) = 5,51–6,60 mm, dan pendek (*short*) = 5,50 mm). Bentuk gabah (panjang/lebar): bulat (*bold*) = < 2,0 mm, sedang (*medium*) = 2,0–3,0 mm, dan ramping (*slender*) = >3,0 mm. Persentase butir kapur pada beras: besar (*large*) = >20%, sedang (*medium*) = 10–20%, dan kecil (*small*) = <10%.

5. PELEPASAN VARIETAS HIBRIDA

5.1 Usulan Pelepasan

Syarat-syarat pengusulan varietas diatur dalam Peraturan Menteri Pertanian Nomor 37/Permentan/OT.140/8/2006. Pelepasan varietas adalah pengakuan pemerintah terhadap suatu varietas hasil pemuliaan di dalam negeri dan atau introduksi yang dinyatakan dalam keputusan Menteri Pertanian bahwa varietas tersebut merupakan suatu varietas unggul yang dapat disebarluaskan (Pasal 1 ayat 1). Varietas hasil pemuliaan di dalam negeri, atau introduksi yang diusulkan untuk dilepas harus melalui uji multilokasi bagi tanaman semusim atau uji observasi bagi tanaman tahunan (Pasal 4 ayat 1). Uji Multilokasi dan Uji Observasi yang dilakukan harus sesuai dengan Metode Baku Uji Adaptasi dan Observasi (Lampiran Permentan Nomor 37). Padi hibrida dikategorikan sebagai tanaman semusim dengan klasifikasi padi sawah sehingga untuk pengusulan pelepasannya harus diuji dahulu pada Uji Multilokasi sebanyak minimal 16 unit percobaan pada dua musim tanam. Lokasi pengujian dipilih sehingga merupakan agroekologi yang paling sesuai untuk budi daya dan mewakili karakteristik agroekologi wilayah sentra produksi padi. Hasil uji multilokasi tersebut kemudian disusun dalam bentuk proposal usulan pelepasan varietas dan diajukan ke Tim Penilai dan Pelepas Varietas (TP2V).

Calon varietas yang diusulkan untuk dilepas dapat diperoleh melalui pemuliaan di dalam negeri atau introduksi (Pasal 11 ayat 1) yang dapat berupa

galur murni, komposit, klon, mutan, hibrida, transgenik dan atau hasil teknik pemuliaan lain (Pasal 11 ayat 2). Calon varietas dapat dilepas jika memenuhi syarat antara lain mempunyai silsilah yang jelas, tersedia deskripsi yang lengkap dan jelas, menunjukkan keunggulan terhadap varietas pembanding, unik, seragam, stabil (Pasal 11 ayat 3). Untuk tanaman hibrida selain memenuhi persyaratan pada ayat 3, deskripsi tetua harus dilampirkan (Pasal 11 ayat 5).

5.2 Hak Pemilikan Varietas dan Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)

Setiap usulan pelepasan varietas, pada umumnya selain mencantumkan nama pemulia calon varietas yang diusulkan juga instansi pengusul. Jika calon varietas tersebut kemudian dilepas maka instansi pengusul yang bersangkutan merupakan pemilik dari varietas tersebut. Jika varietas merupakan hasil kerja sama dua lembaga maka kepemilikan varietas diatur sesuai kesepakatan dari lembaga yang mengadakan kerja sama tersebut.

Perlindungan Varietas Tanaman (PVT) diatur dalam Undang-Undang Nomor 29 Tahun 2000 tentang Perlindungan Varietas Tanaman. PVT adalah perlindungan khusus yang diberikan negara, yang dalam hal ini diwakili oleh Pemerintah dan pelaksanaannya dilakukan oleh Kantor Perlindungan Varietas Tanaman, terhadap varietas tanaman yang dihasilkan oleh pemulia tanaman melalui kegiatan pemuliaan tanaman (Pasal 1 ayat 1). Varietas yang dapat diberi PVT meliputi varietas dari jenis atau spesies tanaman yang baru, unik, seragam, stabil, dan diberi nama (Pasal 2 ayat 1), sedangkan varietas yang tidak dapat diberi PVT adalah varietas yang penggunaannya bertentangan dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku, ketertiban umum, kesusilaan, norma-norma agama, kesehatan, dan kelestarian lingkungan hidup (Pasal 3). Secara teknis varietas padi hibrida tiga galur sebetulnya mampu melindungi dirinya melalui penguasaan galur pelestari (*maintainer*).

5.3 Mempertahankan dan Penyediaan Benih Tetua

Perencanaan perbenihan yang baik merupakan salah satu kunci keberhasilan pengembangan varietas padi hibrida. Varietas padi hibrida secara umum dapat dikategorikan ke dalam dua kategori, yaitu varietas padi hibrida publik dan varietas padi swasta. Penyediaan benih tetua untuk varietas hibrida swasta menjadi tanggung jawab perusahaan pemilik varietas yang bersangkutan, sedangkan untuk varietas hibrida publik penyediaan benih tetua kelas NS (*nucleus seed*) dan BS (*breeder seed*) menjadi tanggung jawab pemulia dan lembaga pemilik varietas, sementara produksi benih F1 komersial menjadi tanggung jawab produsen pemegang lisensi dari varietas yang bersangkutan.

5.4 Hak Pemindahan Kepemilikan

Hak kepemilikan varietas dapat dipindahkan ke pihak lain dengan persetujuan pemilik yang pertama demikian juga hak perlindungan varietas. Hak kepemilikan dapat dipindahkan ke pihak lain, jika misalnya institusi pemilik yang pertama sudah tidak berfungsi lagi atau bergabung (*merger*) dengan institusi lain. Hak PVT dapat beralih atau dialihkan karena pewarisan, hibah, wasiat, perjanjian dalam bentuk akta notaris, atau sebab lain yang dibenarkan oleh undang-undang (UU No. 29 Th. 2000, Pasal 40 ayat 1). Pengalihan hak PVT tidak menghapus hak pemulia untuk tetap dicantumkan nama dan identitas lainnya dalam sertifikat hak PVT yang bersangkutan serta hak memperoleh imbalan (UU No. 29 Th. 2000 Pasal 41).

6. PERKEMBANGAN VARIETAS PADI HIBRIDA DI INDONESIA

6.1 Varietas yang Telah Dilepas

Program perakitan varietas padi hibrida BB Padi telah memotivasi beberapa instansi pemerintah seperti BB Biogen, Direktorat Serealia, dan Direktorat Perbenihan, serta sejumlah perusahaan swasta untuk ikut terlibat dalam pengembangan teknologi padi hibrida. Sampai tahun 2008 ada 35 varietas padi hibrida yang sudah dilepas sejak tahun 2001, terdiri atas 6 padi hibrida publik yang dilepas oleh BB Padi dan 25 padi hibrida swasta (Tabel 5).

6.2 Daya Hasil dan Adaptasi

Demonstrasi dan uji coba pengembangan padi hibrida yang dilepas Badan Litbang Pertanian melalui Program Peningkatan Produktivitas Padi Terpadu (P3T) di 13 kabupaten pada tahun 2002–2003, padi hibrida tersebut memberikan hasil rata-rata 7,35 t/ha atau 16% lebih tinggi dibanding varietas pembanding inbrida. Bahkan di lokasi dan teknologi yang cocok, hasilnya bisa mencapai >9 t/ha, tetapi di beberapa lokasi lain ada juga yang hasilnya lebih rendah dibanding varietas inbrida, terutama karena adanya serangan hama, penyakit, dan ketidaktepatan teknologi.

Varietas hibrida Maro dan Rokan mampu menghasilkan 1,0–1,5 t/ha gabah lebih tinggi dibandingkan varietas IR64 pada kondisi yang cocok. Hampir di semua lokasi pengujian kedua hibrida tersebut mampu menghasilkan gabah lebih tinggi dibanding varietas pembanding yang digunakan di lokasi yang bersangkutan. Hasil tertinggi varietas Rokan sebesar 11,06 t/ha atau setara dengan 15,7% lebih tinggi dibanding Ciherang dicapai di Blitar pada MK 2002. Sementara varietas Maro memberikan hasil tertinggi di Maros pada MK 2002 sebesar 9,8 t/ha atau setara dengan 33,2% lebih tinggi dibandingkan dengan Ciliwung (Tabel 6).

Tabel 5. Varietas Padi Hibrida yang Telah Dilepas di Indonesia

No.	Varietas hibrida	Sifat	Institusi Pemilik	Tahun Pelepasan
1.	Intani 1	Hibrida swasta	PT BISI	2001
2.	Intani 2	Hibrida swasta	PT BISI	2001
3.	Miki 1	Hibrida swasta	PT Kondo	2001
4.	Miki 2	Hibrida swasta	PT Kondo	2001
5.	Miki 3	Hibrida swasta	PT Kondo	2001
6.	Maro	Hibrida publik	BALITPA	2002
7.	Rokan	Hibrida publik	BALITPA	2002
8.	Longping Pusaka 1	Hibrida swasta	PT Bangun Pusaka	2002
9.	Longping Pusaka 2	Hibrida swasta	PT Bangun Pusaka	2002
10.	Hibrindo R1	Hibrida swasta	PT Bayer Crop Science	2003
11.	Hibrindo R2	Hibrida swasta	PT Bayer Crop Science	2003
12.	Batang Kampar	Hibrida swasta	PT KNB Mandiri	2003
13.	Batang Samo	Hibrida swasta	PT KNB Mandiri	2003
14.	Hipa 3	Hibrida publik	BALITPA	2004
15.	Hipa 4	Hibrida publik	BALITPA	2004
16.	Manis 4	Hibrida swasta	PT Kondo	2004
17.	Manis 5	Hibrida swasta	PT Kondo	2004
18.	Segara Anak	Hibrida swasta	PT Makmur Sejahtera	2005
19.	Brang Biji	Hibrida swasta	PT Makmur Sejahtera	2005
20.	Adirasa 1	Hibrida swasta	PT Triusaha Saritani	2005
21.	Adirasa 64	Hibrida swasta	PT Triusaha Saritani	2005
22.	PP 1	Hibrida swasta	PT Dupont	2005
23.	PP 2	Hibrida swasta	PT Dupont	2005
24.	Bernas Super	Hibrida swasta	PT SAS	2006
25.	Bernas Prima	Hibrida swasta	PT SAS	2006
26.	SL-8-SHS	Hibrida swasta	SL Agritech	2006
27.	SL-11-SHS	Hibrida swasta	SL Agritech	2006
28.	Mapan P-02	Hibrida swasta	PT Primasid	2006
29.	Mapan P-04	Hibrida swasta	PT Primasid	2006
30.	Hipa5 Ceva	Hibrida publik	BB Padi	2006
31.	Hipa6 Jete	Hibrida publik	BB Padi	2006
32.	Sembada B3	Hibrida swasta	PT Biogen Plantation	2008
33.	Sembada B5	Hibrida swasta	PT Biogen Plantation	2008
34.	Sembada B8	Hibrida swasta	PT Biogen Plantation	2008
35.	Sembada B9	Hibrida swasta	PT Biogen Plantation	2008

Di Bali penanaman padi hibrida Maro dan Rokan di lahan petani pada MH 2005/2006 memberikan hasil 1,7–2,10 t/ha atau 29,0–34,1% lebih tinggi dari IR64 dengan hasil rata-rata 6,15 t/ha GKG, atau 0,5–1,2 t/ha GKG lebih tinggi dari VUB populer Cimelati dan Ciherang. Pada MK 2005 masih di Bali (Kabupaten Tabanan) varietas Maro memberikan hasil 8,0 t/ha, Rokan 8,3 t/ha, dan Hipa 38,1 t/ha atau berturut-turut 31%, 36%, dan 33% lebih tinggi dibanding IR64 (Tabel 7). Data lain di Takalar, Sulawesi Selatan menunjukkan hal serupa (Tabel 8).

Tabel 6. Rata-rata Hasil Gabah dan Standar Heterosis (%) Maro dan Rokan di Beberapa Lokasi Pengembangan PTT, MK 2002

Lokasi	Musim	Hibrida	Jarak tanam	Hasil (t/ha)	Varietas pembanding	St. het. (%)
Subang	MK 2002	Maro	Legowo-2	7,20	Ciherang	2,8
		Rokan	Legowo-2	7,90	Ciherang	12,8
Majalengka	MH 02/03	Maro	Legowo-2	8,30	-	-
	MK 2003	Maro	Legowo-2	6,80	-	-
Sragen	MK 2002	Maro	-	7,83	-	-
		Rokan	-	9,57	-	-
Cilacap	MK 2002	Rokan	-	6,05		
Bojonegoro	MK 2002	Rokan	-	7,52	WA Buru	7,3
	MH 02/03	Maro	-	8,90	Ciherang	22
	MK 2003	Maro	-	8,40	Ciherang	8,4
Blitar	MK 2002	Rokan	-	11,06	Ciherang	15,7
		Maro	-	10,30	Ciherang	15,7
		Rokan	-	9,40	Ciherang	5,6
Asahan	MK 2002	Maro	20 cm x 20 cm	6,08	Ciherang	21,6
		Maro	20 cm x 20 cm	6,89	Ciherang	9,0
Simalungun	MK 2002	Maro	20 cm x 20 cm	5,04	IR64	-5,3
		Rokan	20 cm x 20 cm	6,27	IR64	17,8
Tanah Datar	Mk I 2002	Maro	Legowo 4:1	5,60	Cisokan	1,8
		Rokan	Legowo 4:1	5,52	Cisokan	0,4
Lampung Sel.	MK I 2002	Maro	22 cm x 22 cm	7,30	IR64	32,7
		Rokan	22 cm x 22 cm	7,40	IR64	34,5
	MK II 2002	Maro	22 cm x 22 cm	7,48	Ciherang	46,1
		Rokan	22 cm x 22 cm	6,27	Ciherang	22,5
Gowa	MK 2002	Maro	20 cm x 20 cm	7,09	Ciliwung	8,9
		Rokan	20 cm x 20 cm	7,53	Ciliwung	15,7
	MH 02/03	Maro	20 cm x 20 cm	8,32	-	-
Maros	MK 2002	Maro	20 cm x 20 cm	9,80	Ciliwung	33,2
		Rokan	20 cm x 20 cm	9,20	Ciliwung	25,0
	MH 02/03	Maro	20 cm x 20 cm	7,73		39,3
Pontianak	MK 2002	Maro	20 cm x 20 cm	5,30	Ciherang	-10,2
		Rokan	20 cm x 20 cm	5,60	Ciherang	-5,1
	MH 02/03	Maro	20 cm x 20 cm	6,63	IR64	10,7
Musirawas	MK 2002	Maro	20 cm x 20 cm	6,34	Ciherang	8,9
		Rokan	20 cm x 20 cm	7,30	Ciherang	25,4
	MH 02/03	Maro	20 cm x 20 cm	6,08	Ciherang	2,2
		Rokan	20 cm x 20 cm	6,22	Ciherang	4,5

Sumber: Puslitbangtan, 2003.

Tabel 7. Keragaan VUB dan VUH di Tabanan Bali, MK 2005

VUB-VUH	Hasil GKG (t/ha)	Peningkatan hasil dibanding IR64 (%)
IR64	6,1	-
Kalimas	7,1	16
Memberamo	7,2	18
Way Apo Buru	7,2	18
Situ Bagendit	7,6	25
Maro	8,0	31
Rokan	8,3	36
Hipa 3	8,1	33
Batutegi	7,2	18

Tabel 8. Keragaan VUB dan VUH dalam PTT di Takalar, Sulsel 2004

VUB-VUH	Hasil GKG (t/ha)	Peningkatan hasil dibanding IR64(%)
IR64	6,78	-
Ciherang	7,80	15
Memberamo	7,52	11
Way Apo Buru	6,69	3
Bondoyudo	7,96	17
Tukad Balian	6,84	1
Maro (hibrida)	9,05	33
Rokan (hibrida)	8,87	31
Sintanur	7,55	11

Padi hibrida mempunyai potensi hasil lebih tinggi dibandingkan dengan varietas padi inbrida. Oleh sebab itu, tingkat hasil yang dapat dicapai padi hibrida dengan pemanfaatan teknik budi daya yang sesuai akan lebih tinggi dibandingkan dengan padi inbrida. Pada demonstrasi penerapan teknologi pegelolaan tanaman terpadu (PTT) yang dilakukan di 28 kabupaten, varietas padi hibrida Maro dan Rokan menunjukkan rata-rata hasil 9,05 dan 8,87 t/ha, sedangkan varietas Fatmawati menunjukkan rata-rata hasil sebesar 8,35 t/ha, dan varietas inbrida lainnya memberikan rata-rata hasil kurang dari 8,0 t/ha (Tabel 9).

Selain Maro dan Rokan, telah dilepas juga dua varietas padi hibrida Hipa 3 dan Hipa 4 pada tahun 2004 dan Hipa 5 Ceva serta Hipa 6 Jete pada tahun 2007. Varietas hibrida Hipa 3 dan Hipa 4 mempunyai ketahanan terhadap hama dan penyakit yang lebih baik dibandingkan dengan Maro dan Rokan karena bereaksi tahan terhadap wereng cokelat biotipe 2 dan agak tahan hawar daun bakteri (Satoto dkk., 2004). Demikian pula varietas hibrida Hipa 5 Ceva tahan wereng cokelat biotipe 2 serta agak tahan HDB (Satoto dkk., 2007).

Tabel 9. Rata-rata Hasil Beberapa Varietas Padi Hibrida dan Inbrida pada Demonstrasi Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) di 28 Lokasi, 2003

Varietas	Hasil (t/ha)		Peningkatan (%)
	Non-PTT	PTT	
Fatmawati (PTB)	6,83	8,35	22,2
Rokan (hibrida)	7,98	9,05	13,4
Maro (hibrida)	7,77	8,87	14,1
Sintanur	5,83	7,55	29,5
Code	6,92	7,65	9,8
Batang Gadis	7,02	7,97	13,4
Towuti	5,92	7,12	20,2
Cirata	5,70	6,98	22,5

6.3 Prospek Pengembangan

Padi hibrida dapat ditanam sebagai padi sawah pada dataran rendah dan dataran sedang yang memiliki sistem irigasi dan drainase yang baik, tanah bertekstur ringan-sedang, petani maju dan apresiatif serta responssif terhadap teknologi baru.

Selain faktor genetis, keragaman dan ketidakstabilan hasil padi hibrida juga sangat terkait dengan kesesuaian agroklimat, agronomis, gangguan hama dan penyakit. Identifikasi tersebut terutama terkait dengan kondisi agroklimat yang sangat dominan terhadap produktivitas padi hibrida, terutama peranannya terhadap sinkronisasi masa berbunga tetua jantan dan betina pada saat produksi benih. Faktor selanjutnya adalah risiko gangguan hama dan penyakit karena sebagian besar varietas padi hibrida yang ada saat ini tidak tahan terhadap hama dan penyakit utama.

BB Padi bekerja sama dengan Puslittanak telah melakukan survei untuk mengidentifikasi areal yang potensial untuk pengembangan areal pertanaman padi hibrida. Berdasarkan kriteria parameter biofisik daerah pengembangan padi hibrida (Tabel 10), di Indonesia, khususnya di Jawa dan Bali telah diidentifikasi daerah yang cocok, baik untuk produksi benih hibrida maupun untuk pengembangan pertanaman padi hibrida.

Dengan kriteria di atas, telah diidentifikasi daerah yang potensial untuk pengembangan padi hibrida di Jawa dan Bali. Pada MH, luas maksimal daerah potensial untuk pengembangan padi hibrida mencakup 692.301 ha, 445.445 ha, dan 517.416 ha, berturut-turut untuk Jabar, Jateng, dan Jatim. Sedangkan pada MK, mencakup 752.303 ha, 342.241 ha, dan 517.416 ha, masing-masing untuk Jabar, Jateng, dan Jatim. Total areal potensial untuk pengembangan di Jawa adalah 1.655.162 ha pada MK (Widiarta dkk., 2005).

Tabel 10. Parameter Biofisik Daerah Pengembangan Padi Hibrida

Syarat tumbuh	Potensial	Tidak potensial
Sawah irigasi bebas kekeringan/banjir	Irigasi teknis, tanam 2 kali /tahun	Irigasi teknis, tanam 1 kali/tahun
Lahan subur, adopsi tinggi	Produktivitas >4,5 t/ha	Produktivitas <4,5 t/ha
Suhu harian 28°C, pada fase pembunga 24–29°C,	Dataran sedang	Dataran rendah
Bukan daerah endemik WBC, HDB, tungro	Aman	Potensial s.d, endemik

Identifikasi lahan potensial untuk padi hibrida tersebut dilakukan berdasarkan sifat-sifat varietas padi hibrida Maro dan Rokan yang rentan terhadap wereng cokelat, hawar daun bakteri dan tungro. Calon padi hibrida H-4, H-6, dan H-9 mempunyai ketahanan yang lebih baik terhadap hama dan penyakit utama tersebut dibandingkan dengan varietas Maro dan Rokan. Dengan demikian, pemanfaatan hibrida-hibrida tahan hama dan penyakit tersebut akan memperluas potensi areal pengembangan padi hibrida.

6.4 Masalah yang Dihadapi

Padi hibrida dengan keunggulan heterosisnya memiliki daya hasil 10–25% lebih tinggi dibanding varietas padi inbrida yang ada saat ini, seperti IR64, Ciherang, Way Apo Buru dan lain-lain. Namun untuk mengaktualisasikan potensi genetis keunggulan heterosis tersebut perlu lingkungan yang sesuai dengan teknologi budi daya yang tepat. Oleh sebab itu, penelitian padi hibrida perlu didukung oleh penelitian identifikasi wilayah pengembangan dan teknologi budi dayanya. Selain itu, karena padi hibrida harus selalu ditanam dengan benih F1 dengan tingkat produktivitas benih sangat labil, maka diperlukan identifikasi teknologi produksi benih yang tepat dan lebih efisien.

Secara umum masalah-masalah dalam pengembangan padi hibrida di Indonesia saat ini antara lain: (a) masih terbatasnya jumlah varietas padi hibrida yang telah dilepas; (b) sistem dan teknologi perbenihan yang belum berkembang, padahal ketersediaan dan harga benih sangat menentukan; (c) varietas padi hibrida yang telah dilepas pada umumnya masih rentan terhadap berbagai hama penyakit utama padi di Indonesia; (d) harapan petani yang sangat tinggi; (e) beberapa varietas padi hibrida mempunyai mutu beras kurang baik dibandingkan dengan beras premium; (f) keragaan yang tidak stabil yang disebabkan manajemen budi daya yang kurang cocok; (g) ketersediaan benih murni tetua atau F1 hibrida kurang memadai; (h) hasil belum stabil dan harga benih agak mahal; (i) kebiasaan petani untuk menggunakan benih mereka sendiri (benih

F2); dan (j) perencanaan luas pertanaman dan produksi benih kurang matang sesuai dengan luas yang ditargetkan.

Kendala utama yang aktual ada di lapangan saat ini adalah beberapa varietas padi hibrida yang sekarang ada bersifat rentan terhadap beberapa hama penyakit utama dan benih sulit diperoleh, padahal para petani di berbagai daerah sentra produksi padi sangat berminat menanam padi hibrida.

6.5 Perintisan Pengembangan dan Adopsi

Kemitraan litbang publik dan swasta serta kolaborasi dengan lembaga internasional perlu diperkuat. BB Padi telah bekerja sama dengan beberapa perusahaan benih swasta dalam pengembangan padi hibrida terutama dalam pemanfaatan tenaga peneliti BB Padi untuk pengujian materi-materi introduksi. Seyogyanya kerja sama juga menyangkut pertukaran plasma nutfah atau breeding materials dengan pola saling menguntungkan perlu diperkuat. Kolaborasi dengan IRRI perlu dilanjutkan lebih intensif terutama dalam perbaikan genetika terhadap materi yang ada. Tidak kalah pentingnya adalah penelitian dan pengembangan teknologi produksi padi hibrida dan sistem perbenihan.

Program litbang nasional padi hibrida yang terpadu sudah waktunya diwujudkan. Riset pemuliaan dalam upaya mencari galur-galur baru yang lebih unggul tetap dilakukan oleh BB Padi. Namun, untuk pengkajian dan pengembangan lebih luas perlu suatu koordinasi melibatkan BPTP, direktorat teknis di pusat dan dinas pertanian di daerah serta industri perbenihan perlu diperkuat. Sosialisasi teknologi padi hibrida ke berbagai pihak dan petani sangat penting dilakukan. Kajian-kajian sosial ekonomi tentang pengembangan padi hibrida diperlukan, misalnya harga benih yang layak-menguntungkan produsen benih dan tidak memberatkan kepada petani.

DAFTAR PUSTAKA

- Akita, S. 1988. "Physiological Basis of Heterosis in Rice". Proceeding of International Symposium of Hybrid Rice. p. 67–77.
- Burton, G.W. 1983. "Utilization of Hybrid Vigor". In Wood, D.R. (Ed.), Crop Breeding. Madison Wisconsin: American Society Agronomy and CSSA.
- Brown, F.B. 1953. "Hybrid Vigor in Rice". Malay. Agric. J. 36: 226–236.
- Capinpin, J.N. and P. Singh. 1938. "A Study of Varietal Crosses and Hybrid Vigor in Rice". Philipp. Agric., 27: 255–277.

- Chang, T.T. *et al.* 1973. "Genetic Correlation, Heterosis, Inbreeding Depression and Transgressive Segregation of Agronomic Traits in a Diallel Cross of Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars". Bot. Bull. Acad. Sin. (Taipei), 14: 83–93.
- Chaudhary, B.D. 1979. Biometrical Method in Quantitative Genetic Analysis. Ludhiana, New Delhi: Kalyani Publisher,. 304 p.
- Davis, M.D. and J.N. Rutger. 1976. "Yield of F₁, F₂, and F₃ Hybrids of Rice (*Oryza sativa* L.)". Euphytica, 25: 587–595.
- Duvick, D.N. 1966. "Influence of morphology and sterility on breeding methodology". In Frey K.J. (Ed.) Plant Breeding. p. 85–138. Ames. IA: Iowa State Univ. Press.
- Fehr, W.R. 1987. Principles of Cultivar Development, Theory and Techniques Vol. 1. Mc. Graw–Hill Inc. 536 p.
- Govinda, R.K. and S.S. Virmani. 1988. "Genetics of Fertility Restoration of WA Type Cytoplasmic Male Sterility in Rice". Crop Sci., 28: 787–792.
- Idsumi, Y. 1936. "Investigation in Heterosis of Rice Plant (First report)". Proc. Crop Sci. Soc. Japan, 8 (4): 504–515.
- International Rice Research Institute (IRRI). 1996. Standard Evaluation System for Rice. Los Banos: Intl. Rice Res. Inst.
- International Rice Research Institute (IRRI). 1983. "Annual report for 19882. Section: Hybrid Rice". Manila: Intl. Rice Res. Inst. p. 123–134.
- Jones, J.W. 1926. "Hybrid Vigor in Rice". J. Am. Soc Agron., 18: 424–428.
- Kadam, B.S. *et al.* 1937. "Heterosis in Rice". Indian J. Agric. Sci., 7: 118–126.
- Kadowaki, K. *et al.* 1986. "Differences in the Characteristics of Mitochondrial DNA Below a Normal and Male Sterile Cytoplasm of Japonica Rice". Japan J. Breeding, 36: 333–339.
- Kempthorne, O. 1957. An Introduction to Genetic Statistics. New York: John Wiley.
- Kim, C.H. and J.N. Rutger. 1988. "Heterosis in Rice". Proceeding of International Symposium of Hybrid Rice. p. 40–54.
- Lu, X.G. *et al.* 1994. "Current Status of Two Line Method of Hybrid Rice Breeding". In Hybrid Rice Technology-New Development and Future Prospects. Selected Papers from The Intl. Rice Res. Conf., IRRI, Los Banos, Phil. 37–49.
- Lewis, D. and L.K. Crowe, 1956. "The Genetics and Evolution of Gynodiocy". Evolution, 10: 115–125.

- Lin, S.C. and L.P. Yuan. 1980. "Hybrid Rice Breeding in Cina. Innovative Approaches to Rice Breeding". Selected papers from the 1979 Intl. Rice Res. Conf., Intl. Rice Res. Inst., Los Banos, Philippines. p. 35–51.
- Maruyama, K. *et al.* 1991. "Thermo-sensitive genetic male sterility induced by irradiation". In Rice Genetics II. Manila, Philippines: Intl. Rice Res. Inst. p. 227–232.
- Oka, H.I. 1957. "Phylogenetic Differentiation of the Cultivated Rice. XVIII. Sterility and Vigor of Lines Derived from Hybrids between Distant Varieties of Rice in Crosses with Parental Varieties". Jpn. J. Breed., 1: 7–11.
- Peijin, H. *et al.* 1994. "Advances in Hybrid Rice Seed Production Technology". In Virmani, S.S. *et al.* (Ed.), Hybrid Rice Technology. Selected Papers from the International Rice Research Institute . p: 63–70. IRRI, Los Banos, Laguna, Philippines.
- Peraturan Menteri Pertanian Nomor 37/Permentan/OT.140/8/2006. Tentang Pengujian, Penilaian, Pelepasan, dan Penarikan Varietas. Badan Benih Nasional–Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, Departemen Pertanian
- Richharia, R.H. 1962. "Clonal Propagation as a Practical Means of Exploiting Hybrid Vigor in Rice. Nature (Lond.), 194: 598.
- Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1978. Plant Physiology Second Edition. Belmont, California: Wadsworth Publishing Company, Inc. 422 p.
- Satoto, dkk. 2007. "Hipa5 Ceva dan Hipa6 Jete Hibrida Berdaya Hasil Tinggi Aromatik dan Tahan Wereng Cokelat". Warta Litbang. Vol 29 No. 5: 1–3.
- Satoto, dkk. 2004. "Hipa-3 dan Hipa-4: Dua Varietas Unggul Baru Padi Hibrida". Berita Puslitbangtan, 31 Desember 2004: 1–3.
- Schnable, P.S. and R.P. Wise. 1998. "The Molecular Bases of Cytoplasmic Male Sterility and Fertility Restoration". Trends in Plant Science, 3 (5): 175–180.
- Schnell, F.W. 1973. "Type of Variety in Hybrid Maize". Ann. Genet.
- Sen, P.K. and G.N. Mitra, 1958. "Inheritance of Photoperiod Reaction in Rice". Nature (Lond.), 182: 119.
- Shen, Y. *et al.* 1998. "A Novel Environment-Induced Genic Male Sterile (EGMS) Mutant in Indica Rice". Euphytica, 76: 89–96.
- Shi, M.S. 1981. "Preliminary Report of Later Japonica Natural 2-Lines and Applications". Hubei Agric. Sci. 7.
- Shinjyo. 1972. "Distribution of Male Sterility Inducing Cytoplasm and Fertility Restoring Genes in Rice. Jpn. J. Genet., 47: 237–243.

- Shinjo, C. and T. Omura, 1966. "Cytoplasmic Male Sterility in Cultivated Rice, *Oryza sativa* L. I. Fertilities of F1, F2, and off Springs Obtained from their Mutual Reciprocal Back-Crosses and Segregation of Completely Male Sterile Plant". Jpn. J. Breed. 16 (Suppl 1): 179–180.
- Stansel, J.W. and J.P. Craigmile. 1966. "Hybrid Rice: Problems and Potentials". Rice J., 679 (5): 145.
- Virmani, S.S. 2003. "Advances in Hybrid Rice Research and Development in the Tropics". In Virmani, S.S. *et al* (Ed.), Proceeding of International Symposium of Hybrid Rice p: 7–20 International Rice Research Institute. Los Banos, Laguna, Philippines. 407 p.
- Virmani, S.S. *et al*. 1997. "Hybrid Rice Breeding Manual". International Rice Research Institute. Los Banos, Laguna, Philippines. 151 p.
- Virmani, S.S. 1994. "Heterosis and Hybrid Rice Breeding". In Frankel *et al*. (Ed), Monograph on Theoretical and Applied Genetics 22. Springer-Verlag, Berlin, NY, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest–Intl. Rice Res. Inst. Philipp. 189 p.
- Virmani, S.S. and I.B. Edwards. 1983. Current Status and Future Prospects for Breeding Hybrid Rice and Wheat. Adv. Agron. 36: 145–214.
- Widiarta, I.N. dkk.. 2005. "Potensi Pengembangan Padi Hibrida di Jawa dan Bali". Berita Puslitbangtan No. 33, Oktober 2005. hal: 1–5.
- William, M.F. 1995. "Genetic Engineering for Pollination Control". TibTech 13: 344–349.
- Undang-Undang RI Nomor 29 Tahun 2000. Tentang Perlindungan Varietas Tanaman. Pusat Perlindungan Varietas Tanaman, Departemen Pertanian.
- Yamauchi, M. 1994. "Physiological Basis of Higher Yield Potential in F1 Hybrid". In Virmani, S.S. (Ed.), Hybrid Rice Technology. Selected Papers from the International Rice Research Institute. p: 71–80. IRRI Los Banos, Laguna, Philippines.
- Yuan, L.P. and S.S. Virmani. 1988. Status of Hybrid Rice Research and Development. Proceeding of International Symposium of Hybrid Rice. p: 7–24.
- Yuan, L.P. 1985. A Concise Course in Hybrid Rice. Hunan Technol. Press, Cina, 168 p.
- Yuan, L.P. 1966. "A Preliminary Report on Male Sterility in Rice". Sci. Bull. 4:32–34.

