
PELUANG MUTASI INDUKSI PADA UPAYA PEMECAHAN HAMBATAN PENINGKATAN PRODUKSI PADI

Sobrizal dan Moch. Ismachin

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi - BATAN, Jakarta

ABSTRAK

PELUANG MUTASI INDUKSI PADA UPAYA PEMECAHAN HAMBATAN PENINGKATAN PRODUKSI PADI. Pada *World Rice Research Conference* yang diselenggarakan di Tsukuba, Jepang, 4-7 November 2004, ramai dibicarakan mengenai upaya peningkatan produksi padi. Umumnya para pemulia sepakat bahwa potensi produksi varietas padi sampai sekarang belum berhasil ditingkatkan secara nyata sejak dilepasnya varietas IR8. Pembentukan varietas baru hanya mampu mempertahankan potensi IR8 dengan memperbaiki umur, dan daya adaptasinya terhadap stres lingkungan. Peningkatan produksi padi bagi para pemulia adalah peningkatan potensi produksi dari suatu varietas. Ada dua pendekatan yang meskipun sudah cukup lama dilaksanakan, tetapi masih tetap belum mencapai sasaran yang diinginkan. Kedua pendekatan tersebut adalah pembuatan padi hibrida dan pembuatan padi tipe baru (*new plant ideotype*). Kedua pendekatan ini merupakan pendekatan utama saat ini yang dipandang mampu untuk meningkatkan potensi produksi varietas padi. Ide pembuatan padi hibrida muncul terdorong oleh keberhasilan tanaman hibrida jagung, sorghum, dan bawang merah dalam meningkatkan produksi. Di antara beberapa negara yang melakukan penelitian tentang padi hibrida, ternyata Cina yang lebih dahulu berhasil membuat varietas padi hibrida, dan telah ditanam secara luas sampai sekarang. Keberhasilan Cina tersebut telah memicu negara lain, termasuk Indonesia, untuk membuat padi hibrida. Sampai saat ini, Indonesia sudah melepas 11 varietas padi hibrida. Ide pembuatan padi tipe baru muncul dari kajian terhadap koleksi varietas padi yang ada dewasa ini yang mempunyai berbagai sifat yang bila digabungkan idealnya akan menjadi padi tipe baru. Sayangnya kedua cara pendekatan yang secara teori bisa diwujudkan, masih ada hambatan, sehingga sampai sekarang sasaran kegiatannya belum sepenuhnya dapat dicapai. Dalam tulisan ini dibahas seberapa besar peluang mutasi induksi dapat menyumbang pada keberhasilan kedua cara pendekatan tersebut.

ABSTRACT

POSSIBLE CONTRIBUTION OF INDUCED MUTATIONS ON BREAKING THE RICE YIELD BARRIER. At The World Rice Research Conference in Tsukuba, Japan, on 4 - 7 November 2004, there was an active discussion on how to increase the world rice yield production. Breeders agreed that after IR8, the yield potential of rice varieties could not increase drastically. From the breeding point of view, there were two approaches that already started in three to one decade ago, but it is still unfinished yet. These two approaches were to do breeding for hybrid rice varieties or breeding for new plant ideotype varieties. The idea to produce hybrid rice was stimulated by the success of hybrid corn, onion, and sorghum on commercial basis. Among the countries that are working for producing hybrid rice varieties, China was the leading one. China produced hybrid rice

varieties and which are planted already in very large area. This success influenced other countries to do the same, including Indonesia. Now Indonesia has already released 11 hybrid rice varieties. Knowing so many characters that are already present in the rice collection, the idea to produce new plant ideotypes appears. It seems not difficult to unite selected characters to become a new plant ideotype. In fact, however, up to now there are still a lot of obstacles that make those two approaches could not reach the real goal. This paper will discuss the possible contribution of induced mutations toward the success of these two approaches.

PENDAHULUAN

Sumbangan mutasi pada budidaya tanaman, khususnya tanaman pangan, sudah mulai dirasakan manfaatnya jauh sebelum ilmu pemuliaan tanaman dipahami manusia. Keragaman genetik di alam disepakati ilmuwan terjadi karena mutasi spontan. Padi sebagai salah satu makanan pokok penduduk dunia, khususnya di Asia, setidaknya tercatat sudah dua kali mendapatkan sumbangan hasil mutasi yang sangat berpengaruh terhadap peningkatan produksi, yakni hasil mutasi spontan. NICOL (1) melaporkan bahwa Kaisar Khang Hi dari Cina yang hidup antara tahun 1662-1723, menemukan serumpun padi yang sangat genjah di antara tanaman padi di sawahnya. Setelah dikembangkan, ternyata padi tersebut dapat ditanam dua kali setahun di bagian selatan dan merupakan satu-satunya varietas padi (dinamakan varietas Ya-mi) yang dapat ditanam di bagian utara Tembok Besar. Meskipun tidak dilaporkan mengenai besarnya produksi, dapat diduga produksi pasti meningkat secara luar biasa karena dapat ditanam dua kali di selatan (biasanya hanya satu kali) dan satu kali di bagian utara (yang tidak pernah ditanami sebelumnya).

Temuan mutan padi *semi-dwarf* oleh ilmuwan Cina dari mutasi spontan pada varietas Dee-geo-woo-gen (DGWG), telah menimbulkan "revolusi hijau"(2). DGWG mempunyai gen resesif *sd₁*, yang mengontrol sifat *semi-dwarf*, yakni berbatang agak pendek dan keras/kuat, responsif terhadap pemupukan, tidak mudah rebah, tidak peka terhadap panjang penyinaran dan gabahnya tidak mengalami dormansi. Keseluruhan sifat tersebut menjadi donor utama pembentukan varietas padi modern yang berdaya hasil tinggi mulai dari varietas IR8. Meskipun potensi hasil IR8 tidak terlampaui oleh varietas modern berikutnya, sampai generasi yang sekarang ini (IR64 - Mira 1), varietas modern yang kemudian terbentuk mampu mempertahankan potensi hasil yang tinggi, terutama dengan perbaikan pada ketahanan terhadap hama dan penyakit serta stres lingkungan.

Di awal mulai dikembangkannya varietas modern, yakni sekitar tahun 1960-an, produksi padi dunia 225 juta ton. Tiga puluh tahun kemudian, tahun 1990-an, produksi padi dunia meningkat sebanyak 300 juta ton hingga menjadi 525 juta ton. Peningkatan produksi tersebut disebabkan oleh penggunaan varietas modern yang berdaya hasil tinggi serta tahan hama dan penyakit, perluasan lahan sawah teririgasi, dan peningkatan penggunaan pupuk (3). Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dunia, terutama di Asia, produksi padi dunia juga harus meningkat agar tidak terjadi kekurangan beras untuk konsumsi penduduk dunia. Diperkirakan pada tahun 2020, produksi padi dunia setidaknya harus naik 300 juta ton lagi atau mencapai sekitar 825 juta ton. Sementara lahan untuk memproduksi padi diduga tidak akan bertambah. Sebagaimana dinyatakan di atas bahwa potensi produksi varietas baru belum ada yang mampu mengatasi potensi IR8, bahkan dikhawatirkan akan menurun, merefleksikan fenomena yang disebut "*yield decline*" (4). Penggunaan pupuk anorganik, yang menjadi donor utama keberhasilan melonjakkan produksi varietas padi modern, mulai dikhawatirkan akan merusak lingkungan yang berdampak menurunkan produksi padi. Teknik budidaya padi mulai diperbaiki untuk mengatasi dampak lingkungan dari pemakaian pupuk anorganik dan insektisida yang berlebihan. Di antara teknik budidaya, teknik SRI (System Rice Intensive) diakui sebagai teknik budidaya padi yang ramah lingkungan dan mampu meningkatkan produksi (5). SISWORO (6) menyarankan penggunaan Azolla sebagai subsidi pengurangan pupuk N-anorganik. Berbagai penelitian tentang penggunaan Azolla (pupuk N-organik) telah diuraikan secara panjang lebar dalam laporan IRRI tahun 1984 (7).

Kenyataan bahwa potensi produksi varietas padi baru hasil persilangan atau mutasi induksi terpaku pada tingkat potensi produksi IR8, merupakan suatu hambatan dan sekaligus tantangan, baik bagi pemulia tanaman maupun bagi pembudidaya tanaman. Pada konferensi internasional tentang penelitian padi (*World Rice Research Conference*) yang diselenggarakan di Tsukuba, Jepang tanggal 4-7 November 2004, terlihat seperti ada kompetisi antara pemulia dan pembudidaya tanaman. Masing-masing mengutarakan keberhasilan penelitiannya untuk meningkatkan produksi padi, meskipun masing-masing sepakat bahwa masih diperlukan inovasi-inovasi yang baik dan terpadu untuk pembuatan varietas unggul maupun untuk teknik budidayanya agar mampu benar-benar memecahkan kebuntuan produksi tersebut. Dari sisi pemuliaan tanaman ada dua pendekatan yang disepakati, yaitu melalui pembuatan padi hibrida, dan atau menciptakan varietas *ideotype* (8).

PENDEKATAN DENGAN PADI HIBRIDA

Efek heterosis pada padi pertama kali dilaporkan oleh JONES (9), seorang peneliti dari Amerika Serikat. Laporan tersebut mendorong para peneliti di Cina untuk membuat padi hibrida. Penelitian tentang padi hibrida dimulai di Cina pada tahun 1964. Dua belas tahun kemudian, yakni pada tahun 1976, padi hibrida pertama dapat dilepas kepada petani (10). Penelitian tentang padi hibrida juga mulai dilaksanakan di beberapa negara sekitar tahun 1970-an. SWAMINATHAN dkk. melaporkan penelitian padi hibrida di India tahun 1972 (11); CARNAHAN dkk. dari Amerika Serikat tahun 1972 (12); ATHWAL dan VIRMANI dari IRRI (International Rice Research Institute) juga melapor pada tahun 1972 (13). Masih banyak lagi hasil penelitian tentang padi hibrida yang dilaporkan terutama dari Jepang dan Cina. Kesulitan untuk memproduksi gabah benih F_1 , kecuali Cina, menyebabkan padi hibrida tidak berkembang di negara lain (10).

Pemuliaan heterosis (*heterosis breeding*), yakni pemuliaan dengan mengeksploitasi fenomena *hybrid vigor*, terbukti telah menjadi metode untuk perbaikan tanaman, dan dapat diaplikasikan awalnya pada tanaman berserbuk silang seperti jagung, sorghum, bawang merah. Kemudian ternyata dapat pula diaplikasikan pada tanaman berserbuk sendiri, termasuk padi. Istilah heterosis sering digunakan sebagai sinonim dari *hybrid vigor*, yakni keunggulan tanaman F_1 dari tetuanya. Keunggulan ini hanya ada pada generasi F_1 saja, sehingga petani harus selalu membeli benih F_1 baru setiap musim tanam. Keunggulan sifat F_1 bisa positif atau negatif. Baik keunggulan positif atau negatif, ke-duanya bisa berguna bagi pemuliaan tergantung tujuan pemuliaan. Keunggulan positif dari F_1 yang berguna misalnya keunggulan dalam produksi, sedang keunggulan negatif yaitu tanaman F_1 menjadi umurnya lebih pendek (genjah) atau batangnya menjadi lebih pendek (*semi-dwarf*), juga sangat berguna bagi pemuliaan (14).

Perkembangan penelitian tentang padi hibrida pertama kali dibahas dalam *The First International Symposium on Hybrid Rice*. Simposium tersebut diselenggarakan di Hunan-Cina pada tahun 1986 dengan jumlah peserta 220 orang dari 17 negara, termasuk Indonesia. Di antara rekomendasi yang dibuat sebagai hasil simposium ada beberapa hal yang menarik untuk dibahas. Pertama mengenai metodologi. Untuk menghasilkan padi hibrida ada 3 metode, yaitu: *Three-line method*, *Two-line method*, dan *One-line method*. Kedua mengenai hambatan. Hambatan yang umum dalam pembuatan padi hibrida antara lain adalah kurang ada galur jantan mandul yang baik sekali dan

stabil terutama di daerah tropis; kurang ada varietas padi hibrida yang menarik dan stabil; kurang ada galur restorer pada padi *japonica* yang efektif. Ketiga mengenai kerjasama. Banyaknya hambatan dalam pembuatan padi hibrida mengharuskan adanya jejaring penelitian antar negara yang melaksanakan kegiatan ini. Tentu saja dalam tingkat nasional perlu dijalin kerjasama multidisiplin dengan peneliti yang bekerja penuh-waktu untuk padi hibrida, terlebih untuk produksi benih F_1 . Kesungguhan dalam pelaksanaan kegiatan perbenihan sangat diperlukan agar tidak terjadi kelambatan dalam penyediaan benih.

Three-line method (Metode Tiga Galur)

Metode ini diramalkan akan tetap mendominasi pelaksanaan pembuatan padi hibrida sampai 10 - 20 tahun mendatang. Metode ini memerlukan 3 galur, yaitu galur CMS (*cytoplasmic male sterile*), galur *maintainer*, dan galur *restorer*. Cina yang sukses membuat padi hibrida menyarankan tiga langkah sebagai berikut:

1. Cara yang paling efektif untuk menghasilkan CMS adalah membuat persilangan dengan tetua yang mempunyai latar-belakang genetik berbeda jauh, yaitu menggunakan padi liar sebagai sumber sitoplasma dan galur padi modern sebagai sumber intinya.
2. Memilih varietas atau galur elit melalui uji-silang dengan galur CMS dalam rangka mendapatkan galur *restorer* dari padi *indica*.
3. Gen *restorer* dan *male sterile* yang terbawa oleh sitoplasma dapat ditransfer ke varietas manapun melalui pemuliaan.

CMS dilaporkan pertama di Jepang oleh Katsuo dan Mizushima pada tahun 1958. Hasil silang balik (*back-crossed*) pertama dari persilangan (*Oryza sativa* f. *spontanea* x *O. Sativa*, cv. Fujisaka 5) x Fujisaka 5, diperoleh tanaman yang 100% jantan mandul, tetapi hasil silang resiprokalnya tidak ditemukan yang jantan mandul (15). CMS juga dapat diperoleh dari persilangan antara varietas yang telah dibudidayakan dari spesies *Oryza sativa* L., seperti yang dilaporkan oleh SHINJYO dan OMURA (16). Jika varietas padi *indica*, Chinsurah Boro II, dikawinkan sebagai induk dengan varietas padi *japonica*, Taichung 65 sebagai pejantannya, maka tepung sari (*pollen*) tanaman F_1 -nya 20% *fertile* sementara resiprokalnya 40% *pollen*-nya *fertile*. Silang balik (B_1F_1) dengan Taichung 65 sebagai pejantan diperoleh 100% jantan mandul (CMS = *cytoplasmic male sterile*). Pembuatan CMS dari persilangan antara dua varietas padi

yang telah dibudidayakan, dikenal sebagai metode Boro, di samping metode persilangan antara padi liar dengan varietas padi yang telah dibudidayakan. Untuk menjamin kemurnian CMS dianjurkan untuk membuat silang-balik sampai 5-6 kali (14), baru dikomersialkan. Beberapa sumber genetik CMS tanaman padi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Beberapa sumber genetik CMS tanaman padi.

KODE NAMA	SUMBER SITOPLASMA	PENDONOR INTI PERTAMA
CMS-WA	Padi liar dengan <i>abortive pollen</i>	Zhen shan 97; V20; dan V41
CMS-DA	Padi liar <i>dwarf</i> dengan <i>abortive pollen</i>	Xue Qin Zhao
CMS-IP	Padi Indonesia	II.32
CMS-DI	Tipe disi	297
CMS-HL	Hong Lian	Lian-Tana Zhao
CMS-KR	<i>Oryza rufipogon</i>	Taichung 65
CMS-BT	Chinsurah Boro II	Taichung 65
CMS-TN	TN1	Pankhari 203
CMS-GAM	Gambiaca	Chao Yang 1
CMS-ARC	Assam Rice Collection IRRI Acc. 13829	IR10179-3-2-1
CMS-O. parennsis	<i>Oriza perennis</i> Acc. 104823	IR64R

Sumber (14)

Pada metode *Three line method* ini masalah *restorer* juga penting di samping masalah sumber sitoplasmik yang masih terbatas. Mengenai kemampuan menjadi *restorer*, hasil pengamatan menunjukkan hal sebagai berikut (14):

- Padi *indica* mempunyai frekwensi sebagai *restorer* lebih banyak dari pada padi *japonica*.
- Di antara padi *indica*, tipe *aman* dan *boro* lebih banyak frekwensi-nya sebagai *restorer* dari pada tipe *aus*.
- Padi bulu frekwensi sebagai *restorer* lebih sedikit dari pada padi cere.
- Padi dataran rendah lebih banyak frekwensi sebagai *restorer* dari pada padi dataran tinggi.

Dari hasil penelitian SHINJYO (17), adanya gen *restorer* dominan pada inti suatu galur, menjadikan tanaman F_1 (persilangan galur tersebut dengan galur CMS) yang *fertile*. Nampaknya pada padi *japonica* dan padi bulu kurang memiliki gen *restorer* yang dominan, sementara pada inti padi liar atau padi yang sudah dibudidayakan yang digunakan sebagai sumber CMS (sumber sitoplasma yang mampu menginduksi jantan mandul) hanya mengandung gen *restorer* resesif. CMS dapat pula menjadi *restorer* bila pada intinya mengandung gen *restorer* yang dominan. Mutasi induksi dapat menjadikan gen resesif menjadi dominan, hanya saja frekuensinya sangat rendah. BROCK (18) melaporkan hasil penelitiannya, bahwa keboleh-jadian satu gen termutasi ke arah dominan dengan tingkat kepercayaan 99% adalah 1 : 465.200 (*genetically effective cell* yang dimutasi dengan mutagen). Meskipun peluang untuk memperoleh mutan dominan sangat kecil, namun dengan menanam tanaman M_1 dalam populasi yang cukup besar, mutan dominan yang diharapkan dapat dihasilkan. Varietas Atomita 1 dan Atomita 2 adalah contoh konkrit hasil seleksi terhadap mutan dominan. Pada awalnya, seleksi di arahkan untuk memperoleh mutan padi yang tahan wereng coklat biotipe 1. Ketahanan terhadap wereng coklat biotipe 1 dikontrol oleh gen dominan *Bph1*, sebagaimana yang terdapat pada varietas Mudgo. Varietas Atomita 1 dan Atomita 2 merupakan varietas yang tahan terhadap wereng coklat biotipe 1 saja. SOBRIZAL (19) melaporkan bahwa benih gabah F_1 hasil silangan galur CMS dengan galur *maintainer*-nya, yang diiradiasi dengan sinar gamma dosis 0,2 kGy, ada beberapa tanaman (F_1) yang malainya mempunyai 1-2 gabah *fertile*. Pada penelitian selanjutnya, tepung sari tanaman yang berasal dari gabah *fertile* tersebut ternyata dapat membuahi putik dari galur CMS aslinya. Ini berarti bahwa mutan CMS dapat menjadi *restorer* galur CMS asalnya. Bila *back-ground* genetik CMS telah diganti dengan genetik varietas/galur *japonica* melalui silang balik dengan varietas/galur *japonica*, kecuali gen *sterile* pada sitoplasma sel inti, maka akan mudah dibuat *restorer* dari padi *japonica*. *Restorer* mutan CMS merupakan sumbangan yang positif untuk meningkatkan frekuensi sebagai *restorer* pada padi *japonica* atau padi bulu atau padi lainnya yang terbatas perannya sebagai *restorer* pembuatan padi hibrida.

Two-line method (Metode Dua Galur)

Pengembangan metode ini memerlukan upaya untuk mengidentifikasi adanya gen yang mengontrol *environment-sensitive genetic male sterile* (EGMS). Ada dua EGMS yang biasa digunakan pada tanaman padi; *photoperiod-sensitive genetic male sterile*

(PGMS) dan *thermo-sensitive genetic male sterile* (TGMS). Keuntungan *two-line method* adalah mudah memproduksi benih MS (*male sterile*), yakni dengan menanam di lahan yang lingkungannya sesuai agar tidak terjadi tanaman yang MS. Begitu pula untuk mendapatkan tanaman yang MS, dengan menanam di lokasi yang lingkungannya sesuai untuk menjadikan tanaman yang MS. Jadi dalam metode ini hanya diperlukan dua galur, yaitu galur MS (sekaligus juga sebagai galur *maintainer*) dan galur *restorer*.

Adanya gen yang mengontrol PGMS dilaporkan oleh LU dan WANG (20); JIN dkk (21) setelah mereka mempelajari galur Hubei Nong-Ken 58. Kode nama galur Hubei *photoperiod-sensitive genic male sterile rice* adalah HPGMR. Sedangkan MS juga dapat disebabkan oleh gen *thermo-sensitive genetic male sterile* (TGMS) (21). Kedua gen tersebut, PGMS dan TGMS secara teori dapat dibuat dengan teknik mutasi induksi. Pada PGMS yang menjadi penyebab MS adalah panjang penyinaran matahari, yang untuk daerah tropis seperti Indonesia sulit diperoleh perbedaan panjang penyinaran yang nyata. Oleh karena itu pembuatan dan aplikasi PGMS nampaknya sulit dilakukan di Indonesia, kecuali dengan rumah kaca yang dapat diatur panjang penyinarannya. Berbeda dengan PGMS, TGMS mungkin dapat dibuat di Indonesia dengan memanfaatkan perbedaan suhu di dataran rendah dan di dataran tinggi. Adanya perbedaan fertilitas galur mutan padi yang ditanam di Jakarta (20m DML) dan di daerah Kuningan-Cirebon (800m DML) pernah dilaporkan oleh ISMACHIN (22). Laporan tersebut mengindikasikan bahwa TGMS dapat dibuat di Indonesia, namun perlu penanganan serius dari pemulia yang penuh-waktu mengerjakannya, dan didukung oleh sarana dan prasarana yang cukup dan berkelanjutan.

***One-line method* (Metode Satu Galur)**

Metoda ini memanfaatkan *apomixis* untuk mempertahankan *hybrid vigour* suatu varietas hibrida. *Apomixis* adalah tipe reproduksi secara *asexual* dimana embrio tanaman tumbuh dari sel telur tanpa terlebih dahulu dibuahi oleh sel jantan. Dengan *apomixis* kita akan dapat meng-klon suatu tanaman secara alami melalui biji, sehingga memungkinkan untuk dapat memproduksi keturunan suatu persilangan/hibrida yang genetiknya identik dengan tanaman hibrida asalnya. Dengan menggunakan metoda ini tidak diperlukan lagi baik galur *maintainer* maupun galur *restorer*. Varietas unggul hibrida yang telah dirakit akan dapat diperbanyak melalui biji dari generasi ke generasi tanpa kehilangan sifat *hybrid vigour* atau sifat unggul lainnya. Hal ini secara ekonomi tentu sangat menguntungkan.

Ada beberapa pendekatan yang telah dilakukan untuk mendapatkan dan mempelajari *apomixis* antara lain (23):

1. Membikin hibrida antara tanaman tertentu dengan kerabat liarnya yang bersifat *apomixis*. Strategi ini sudah dilakukan pada beberapa tanaman seperti jagung, *pearl millet*, gandum, *rye* dan lain-lain. Sejauh ini hasil yang dilaporkan melalui cara ini belum memuaskan karena galur yang didapat tidak stabil, *partial apomictic*, dan bahkan masih hampa.
2. Identifikasi dan *mapping* gen yang mengontrol *apomixis*. Gen tersebut lalu ditransfer pada tanaman tertentu melalui *genetic engineering*. Cara ini sudah berhasil mendapatkan jagung *apomixis* (24).
3. Persilangan dua varietas pada stadia perkembangan sel telur yang berbeda. *Utah State University* telah berhasil mendapatkan tanaman *apomixis* dengan cara ini, saat ini universitas tersebut mendirikan perusahaan untuk mengkomersialkan hasil penemuannya.
4. Melalui mutasi induksi. Cara ini sudah dilakukan pada tanaman padi namun sampai saat ini belum ada laporan tentang keberhasilannya.

Jagung *apomixis* pertama dilaporkan oleh BECKER (24), dan hak patennya dikeluarkan oleh kantor *US-patent and trademark* pada tahun 1998. Jagung *apomixis* pertama ini diperoleh dari hasil bioteknologi, yaitu melalui transformasi gen *apomixis* yang ada pada tanaman *estern gamagrass (Tripsacum dactyloides)* kepada tanaman jagung. Jagung *apomixis* sangat diminati oleh banyak perusahaan perbenihan karena dengan menggunakan jagung *apomixis* dapat menurunkan secara tajam biaya produksi benih jagung hibrida.

PENDEKATAN DENGAN NEW PLANT IDEOTYPE (NPT)

Keterkaitan antara sifat morfologi tertentu dengan kemampuan tanaman menghasilkan gabah, mendorong pemulia tanaman untuk menggunakan konsep atau prototipe tanaman tertentu sebagai pedoman dalam perakitan varietas (25). Seleksi *semi-dwarf* pada padi dan gandum di akhir tahun 1950-an adalah contoh konkrit dari kesuksesan perbaikan tipe tanaman. Dengan memilih tanaman *semi-dwarf*, secara tidak langsung pemulia tanaman juga telah memilih untuk perbaikan arsitektur kanopi, penetrasi cahaya, dan sifat agronomi lain yang berhubungan dengan tipe tanaman. Melalui seleksi semacam ini telah menghasilkan banyak varietas yang disebut sebagai

varietas moderen, dimulai dari varietas IR8, varietas moderen pertama yang dilepas oleh IRRI pada tahun 1966. Sampai saat ini sebagian besar areal pertanaman padi di dunia masih diisi oleh varietas moderen, dan telah menyumbang 80 % lebih dari total produksi padi dunia.

Namun demikian, sebagaimana disebut sebelumnya bahwa potensi produksi varietas baru belum ada yang mampu mengatasi potensi IR8. Untuk meningkatkan potensi produksi padi, pada tahun 1989 para ilmuwan IRRI sepakat untuk memodifikasi arsitektur varietas unggul moderen ke arah yang lebih mendukung peningkatan potensi hasil, dan akhirnya tercipta suatu konsep arsitektur tanaman padi yang dikenal dengan sebutan *New Plant Idiotype* (NPT). Arsitektur tanaman NPT berbeda dengan arsitektur varietas unggul moderen. Walaupun karakteristik yang diusulkan untuk idiotipe NPT datang dari berbagai pandangan (26, 27, 28), namun sebagai komponen utama pada dasarnya sama, yaitu; jumlah anakan tidak terlalu banyak tetapi produktif semua, 200 - 250 gabah/malai, tinggi tanaman 90 - 100 cm, batang kokoh, sistem perakaran dalam dan banyak, tahan terhadap berbagai hama penyakit, umur 110-130 hari, indek panen 0,6 dan potensi hasil 13 - 15 ton/ha. NPT merupakan rencana strategis IRRI (29) yang bertujuan membikin varietas NPT dalam tempo 8 - 10 tahun dengan potensi hasil 30 - 50 % lebih tinggi dari potensi hasil varietas unggul moderen (30). Berdasarkan komponen produksi yang disyaratkan di atas, potensi hasil 13 - 15 ton/ha tidak mungkin dicapai tanpa perubahan jarak tanam. Untuk jarak tanam yang umum digunakan saat ini, yaitu 25 x 25 cm, sehingga populasi tanaman per ha menjadi 160.000 tanaman. Dengan jumlah anakan produktif 10, gabah berukuran besar dengan berat seribu butir sebanyak 30 gram, maka produksi gabah per ha = $250 \times 10 \times 160.000 \times 30 / 1.000$ gram = 12 ton.

Dalam menentukan varietas/galur yang akan dijadikan sebagai bahan induk pada perakitan varietas NPT di IRRI, 2000 entri yang berasal dari bank plasmanutfah IRRI dievaluasi terhadap bermacam-macam sifat (31). Material yang dievaluasi adalah varietas/galur yang mempunyai malai panjang, anakan sedikit, dan batang yang kokoh dan kaku. Ternyata hampir semua dari nomor yang dievaluasi tersebut tergolong kepada padi bulu (sub-spesies *javanica*) yang berasal dari Indonesia. Dibandingkan sub-spesies *Indica*, secara genetik sub-spesies *javanica* sangat dekat dengan sub-spesies *japonica* (32) sehingga persilangan yang dilakukan antara *javanica* dengan *japonica* tidak banyak terganggu oleh fenomena *hybrid barrier*. *Hybrid barrier* ditandai dengan munculnya *sterility* baik secara *gametophytic* maupun *sporophytic*, *weakness*, dan

penyimpangan segregasi akibat perbedaan fertilisasi gamet, pada progeni yang berasal dari persilangan dua tanaman induk yang jarak genetiknya cukup jauh (33). Dengan demikian persilangan antara *javanica* dengan *japonica* dapat menghasilkan tanaman F_1 yang *fertile* dan hampir tidak ada hambatan dalam membentuk rekombinasi genom kedua sub-spesies tersebut. Sebaliknya, persilangan antara *indica* dengan *japonica* menghasilkan tanaman F_1 yang tingkat *sterility* nya sangat beragam sehingga membatasi terjadinya rekombinasi secara random dari kedua genom (34). Berdasarkan hal ini maka material tanaman yang digunakan dalam merakit varietas NPT tahap I di IRRI adalah material yang berasal dari persilangan *javanica* dengan *japonica*.

Untuk sasaran daerah tropis seperti Indonesia, sub-spesies *indica* lebih populer dan lebih mampu beradaptasi dengan baik dibandingkan sub-spesies *japonica*. Oleh karena itu tidak ada salahnya juga kalau untuk Indonesia kita menggunakan persilangan antara sub-spesies *indica* dengan sub-spesies *javanica*, walaupun akan menemukan *hybrid barrier* yang akan membatasi terjadinya rekombinasi kedua genom tanaman induk. Kombinasi tanaman induk seperti ini juga akhirnya digunakan di IRRI dalam merakit tanaman NPT tahap II (9). Setelah kedua tanaman induk disilangkan, dan seterusnya dengan membiarkan progeninya beberapa kali menyerbuk sendiri, *sterility* akan teratasi seiring dengan semakin besarnya porsi genom yang homozigot pada progeni tersebut. Walaupun dengan cara ini *sterility* dapat diatasi, namun *hybrid barrier* tetap akan membatasi terjadinya rekombinasi kedua genom tanaman induk secara random, sehingga kemungkinan beberapa rekombinan yang diinginkan tidak ditemukan. Misalnya kalau gen yang mengontrol sifat genjah *linkage* dengan salah satu gen *hybrid barrier*, seperti *sterility*, maka setiap rekombinan yang membawa gen genjah akan *sterile*, sehingga tanaman genjah tidak ditemukan atau kecil sekali peluang munculnya pada generasi berikut. Memecah *linkage* agar diperoleh rekombinan yang genjah dapat dilakukan dengan mutasi induksi.

Cara lain yang dapat dilakukan dalam membikin varietas NPT yaitu memperbaiki langsung varietas *javanica* melalui pemuliaan mutasi. Varietas *javanica* seperti Pandan Wangi, Rojolele, dan yang lainnya secara umum mempunyai malai panjang dengan jumlah gabah per malai bisa melebihi 300 butir, batang besar dan kokoh, dengan jumlah anakan yang tidak terlalu banyak. Kelemahannya biasanya berumur panjang dan tinggi tanaman yang terlalu tinggi sehingga mudah rebah disaat stadia setelah pengisian biji. Memperbaiki kedua kelemahan ini tidaklah terlalu sulit dengan pemuliaan mutasi.

Kendala lain yang dikeluhkan adalah masih tingginya persentase kehampaan (kesiningan) galur NPT yang telah dihasilkan IRRI (35, 36). Tanaman NPT mampu menghasilkan 250 - 300 biji per malai, tetapi jumlah ini terlalu banyak sehingga tanaman tidak mampu mensuplai karbohidrat dan nutrisi lainnya untuk pengisian biji. Sedangkan pada umumnya varietas unggul moderen saat ini hanya mampu menghasilkan biji sekitar 100 - 150 biji per malai. Dengan tujuan untuk meningkatkan potensi hasil 30 - 50 %, sumber karbohidrat tambahan yang diperlukan untuk mendukung peningkatan hasil masih dipertanyakan. PENG, dkk. (36) berpendapat, untuk meningkatkan suplai karbohidrat dalam rangka meningkatkan hasil tanaman NPT perlu dilakukan beberapa upaya yaitu, menjaga keseimbangan hubungan *source - sink* melalui perbaikan fotosintesis, penundaan pengeringan 3 daun teratas selama masa pematangan biji, dan merendahkan posisi malai dari 3 daun teratas untuk meningkatkan penangkapan cahaya.

Namun menurut SHEEHY (37), ahli ekologi IRRI, satu-satunya jalan untuk mencukupi kebutuhan beras di masa datang adalah dengan mengganti struktur biofisika tanaman padi hingga menjadi lebih efisien dalam menggunakan energi matahari. Hal senada juga dikemukakan oleh CANTRELL and HETTEL (8) bahwa mereka sedang mempelajari keterkaitan antara fotosintesis, hasil, dan efisiensi penggunaan energi matahari. Beberapa ilmuwan telah berkesimpulan bahwa batas tertinggi peningkatan hasil tanaman padi yang dapat dicapai dengan sistim fotosintesis konvensional (sistim C3) hanya 25 % dari hasil saat ini (8), sedangkan untuk memenuhi kebutuhan, peningkatan hasil sudah ditargetkan sebesar 50 % yang akan dicapai pada tahun 2050. Oleh karena itu dipandang perlu melakukan perbaikan terhadap sistim fotosintesis tanaman padi. Tanaman padi mempunyai sistim fotosintesis C3 yang kurang efisien dibandingkan tanaman jagung dengan sistim fotosintesa C4. Untuk meningkatkan efisiensi fotosintesis tanaman padi mungkin dapat dilakukan dengan memasukkan sistim fotosintesis C4 yang ada pada tanaman jagung kedalam tanaman padi.

KESIMPULAN

Dari uraian diatas dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut;

- Para pemulia sepakat bahwa potensi produksi varietas padi sampai sekarang belum berhasil ditingkatkan secara signifikan sejak dilepasnya varietas IR8.

Sedangkan pembentukan varietas baru hanya mampu mempertahankan potensi IR8 dengan memperbaiki umur, dan daya adaptasinya terhadap stres lingkungan.

- Ada dua pendekatan yang saat ini dipandang mampu untuk meningkatkan potensi produksi varietas padi, yaitu pembuatan padi hibrida dan pembuatan padi *new plant ideotype* (NPT). Kedua pendekatan ini meskipun telah cukup lama dilaksanakan, tetapi masih tetap belum mencapai sasaran yang diinginkan.
- Beberapa kendala yang dihadapi kedua pendekatan tersebut untuk mencapai sasaran mungkin dapat diatasi dengan pemuliaan mutasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. NICOL, H. (1930). Early Chinese record of mutation in rice. *In* Hereditas 55 (1966): 313.
2. HARTEN, A.M. VAN. Mutation Breeding. Theory and practical applications, Cmbridge Univ. Press. (1998) 237.
3. LAMPE, K. Foreword on Breaking the Yield Barrier, (CASSMAN, K.G. ed.), Proc. Workshop on Rice Yield Potential in Favorable Environments, IRRI, 1993.
4. KROPFF, M.J., CASSMAN, P., PENG, S., MATTHEWS, R.B., and SETTER, T.L. Quantitative understanding of yield potential. Breaking the Yield Barrier, (CASSMAN, K.G. ed.), Proc. Workshop on Rice Yield Potential in Favorable Environments, IRR (1993) 21.
5. UPHOFF, N. The system of rice intensification: Capitalizing on existing yield potentials by changing management practices to increase rice productivity with reduced inputs and more profitability. World Rice Research Conference (2004) 109.
6. SISWORO, W.H. Swasembada pangan dan pertanian berkelanjutan, tantangan abad dua satu. BATAN (2006) 138.
7. IRRI. Annual Report for 1984 (1985) 273.
8. CANTRELL, R.P., and HETTEL, G.P. Research strategy for rice in the 21st century. World Rice Research Conference (2004) 10.
9. JONES, I.W. Hybrid vigor in rice, J.Am.Soc.Agron. 18 (1926) 423.

10. YUAN, L.P., and VIRMANI, S.S. Status of hybrid rice research and development. *In Hybrid Rice. Proc. Inter. Sym. on Hybrid Rice* (1988) 8.
11. SWAMINATHAN, M.S., SIDDIQ, E.A., and SHARMAN, S.D. Outlook for hybrid rice in India. *In Rice Breeding, IRRI* (1972) 609.
12. CARNAHAN, H.L., ERICKSON, J.R., TSENG, S.T., and RUTGER, J.N. Outlook for hybrid rice in USA. *In Rice Breeding, IRRI* (1972) 603.
13. ATHWAL, D.S., and VIRMANI, S.S. Cytoplasmic male sterility and hybrid breeding in rice. *In Rice Breeding, IRRI* (1972) 615.
14. IRRI, Hybrid Rice Breeding Manual (1997) 2.
15. KATSUO, K., and MIZUSHIMA U. Studies on the cytoplasmic difference among rice varieties, *Oryza sativa* L. I. On the fertility of hybrids obtained reciprocally between cultivated and wild varieties. *Japan J. Breeding* 8 (1958) 1 (dalam bahasa Jepang).
16. SHINJYO, C., and OMURA, T. Cytoplasmic, genetic male sterility in cultivated rice, *Oryza sativa* L. I. Fertility of F_1 , F_2 and offspring obtained from their mutual reciprocal backcrosses; and segregation of completely male sterile plant. *Japan J. Breeding* 16 (supl.1) (1966) 179 (dalam bahasa Jepang).
17. SHINJYO, C. Genetical studies of cytoplasmic male sterility and fertility restoration in rice, *Oryza sativa* L. *Sci. Bull. Coll. Agric. Univ. Ryukyus* 22 (1975) 1.
18. BROCK, R.D. Quantitative variation in *Arabidopsis thaliana* induced by ionizing radiation. *Radiat. Bot.* 7 (1967) 193.
19. SOBRIZAL. Pemuliaan tanaman padi untuk mendapatkan varietas unggul nasional dan unggul hibrida. Laporan Teknis (2005), PATIR-BATAN (tidak dipublikasi).
20. LU, X.G., and WANG, J.L. Fertility transformation and genetic behavior of Hubei photoperiod-sensitive genic male sterile rice. *In Hybrid Rice, IRRI* (1988) 129.
21. JIN, D.M., Li Z.B., and Wan J.M. Use of photoperiod-sensitive genic male sterility in rice breeding. *In Hybrid Rice, IRRI* (1988) 267.
22. ISMACHIN, MOCH. Pengujian daya hasil pendahuluan (DHP) dari mutan Pelita I/1 dan mutan Dewi Ratih. Laporan Tahunan (1975) (tidak diterbitkan).
23. GRAIN. Apomixis: the plant breeder's dream. Seedling, GRAIN Publications, Volume 18, Issue 3 (2001).

-
24. BECKER, H. Revolutionizing hybrid corn production. *Agricultural research* (1998) 10.
 25. YOSHIDA, S. Physiological aspect of grain yield. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 23 (1972) 437.
 26. VERGARA, B.S. Raising the yield potential of rice. *Philipp. Tech. J.* 13 (1988) 3.
 27. JONARIA, M.P. A basic plant ideotype for rice. *Intl. Rice Res. Newsl.* 14(3) (1989) 12.
 28. DINGKHUN, M., PENNING DE VRIES, F.W.T., DE DATTA, S.K., and VAN LAAR, H.H. Concepts for a new plant type for direct seeded flooded tropical rice. In *Direct Seeded Flooded Rice in the Tropics*. IRRI, Los Banos, Philippines (1991) 17.
 29. IRRI-International Rice Research Institute, IRRI towards 2000 and beyond. IRRI, P.O. Box 933, Manila, Philippines (1989) 36.
 30. KHUSH, G.S. Varietal needs for different environments and breeding strategies. In *New Frontiers in Rice Research* (MURALIDHARAN, K. and SIDDIQ, E.A. eds.) Directorate of Rice Research, Hyderabad, India (1990) 68.
 31. PENG, S., KHUSH, G.S. and CASSMAN, K.G. Evolution of the new plant ideotype for increased yield potential. In *Breaking the yield barrier*, (CASSMAN, K.G. ed.) Proc. of workshop on rice yield potential in favorable environments. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines (1994), 5.
 32. GALASZMANN, J.C. Isozymes and classification of Asian rice varieties. *Theor. Appl. Genet.* 74 (1987) 21.
 33. STEBBINS, G.L.JR. Isolation and the origin of species. In *Variation and evolution in plants* (STEBBINS, G.L.JR. ed.) Columbia University Press, New York (1950) 189.
 34. KHUSH, G.S. and AQUINO, R. Breeding tropical japonica for hybrid rice production. In *Proceeding of the 1992 International Rice research Conference*, IRRI, Los Banos, Philippines (1994).
 35. PENG, S., and KHUSH, G.S. Four decades of breeding for varietal improvement of irrigated lowland rice in the International Rice Research Institute. *Plant Prod. Sci.* 6 (2003) 157.

36. PENG, S., LAZA, R.C., VISPERAS, R.M., KHUSH, G.S., and VIRK, P. Progress in breeding the new plant type for yield improvement: a physiological view. (2004) [http://www.irri.org/publications/wrrcPDF/session 4-7.pdf](http://www.irri.org/publications/wrrcPDF/session%204-7.pdf)
37. <http://www.irri.org/publications/annual/pdfs/ar2001/>