

Pembentukan Varietas Jagung Hibrida

Andi Takdir M., Sri Sunarti, dan Made J. Mejaya
Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros

PENDAHULUAN

Tanaman jagung mempunyai komposisi genetik yang sangat dinamis karena cara penyerbukan bunganya menyilang. Fiksasi gen-gen unggul (*favorable genes*) pada genotipe yang homozigot justru akan berakibat depresi *inbreeding* yang menghasilkan tanaman kerdil dan daya hasilnya rendah. Tanaman yang vigor, tumbuh cepat, subur, dan hasilnya tinggi justru diperoleh dari tanaman yang komposisi genetiknya heterozigot.

Shull (1908) yang pertama kali menemukan bahwa silangan sendiri tanaman jagung mengakibatkan terjadinya depresi *inbreeding*, dan silangan dua tetua yang homozigot menghasilkan F1 yang sangat vigor. Jones (1918) melanjutkan penelitian tentang adanya gejala lebih vigor tanaman F1 jagung tersebut, yang selanjutnya memanfaatkannya pada bentuk varietas hibrida tanaman jagung. Pemanfaatan varietas jagung hibrida di Amerika Serikat dimulai pada tahun 1930an, dan sejak awal tahun 1960an seluruh areal pertanaman jagung di Amerika Serikat telah menggunakan benih hibrida.

Varietas hibrida merupakan generasi pertama hasil persilangan antara tetua berupa galur inbrida. Varietas hibrida dapat dibentuk pada tanaman menyerbuk sendiri maupun menyerbuk silang. Jagung merupakan tanaman pertama yang dibentuk menghasilkan varietas hibrida secara komersial, dan telah berkembang di Amerika Serikat sejak 1930an (Hallauer and Miranda 1987). Kini benih jagung hibrida telah ditanam di sebagian besar areal jagung di dunia.

Jagung hibrida di Indonesia mulai diteliti pada tahun 1913, dan dilanjutkan pada tahun 1950an. Galur diekstrak dari varietas lokal dan introduksi berumur genjah berdaya hasil masih rendah tetapi hasil hibridanya mencapai dua kali lebih tinggi dari hasil galur murninya. Pada tahun 1960an, Dr. Subandi (pemulia jagung Badan Litbang Pertanian) mengembangkan galur dari beberapa sumber plasma nutfah dan mengevaluasi daya gabung galur dengan tetua penguji varietas Harapan, namun tidak dilanjutkan sampai memperoleh varietas hibrida. Galur-galur yang daya gabungnya baik dibentuk menjadi varietas sintetik dan menghasilkan varietas Permadi. Pada awal tahun 1980an, perusahaan swasta multinasional mulai mengevaluasi jagung hibrida di Indonesia. Dr. Marsum M. Dahlan, pemulia jagung Badan Litbang Pertanian, mulai melakukan penelitian jagung hibrida pada awal tahun 1980an dan penelitian diintensifkan sejak 1987.

Varietas jagung hibrida di Indonesia pertama kali dilepas pada tahun 1983 yang dihasilkan oleh PT BISI, yaitu varietas C-1 yang merupakan hibrida silang puncak (*topcross hybrid*), yaitu persilangan antara populasi bersari bebas dengan silang tunggal dari Cargill. Selanjutnya pada tahun 1980an PT BISI melepas CPI-1, Pioneer melepas hibrida P-1 dan P-2, dan IPB melepas hibrida IPB-4. Pada awalnya hibrida yang dilepas di Indonesia adalah hibrida silang ganda atau *double cross hybrid*, namun sekarang lebih banyak hibrida silang tunggal dan modifikasi silang tunggal. Hibrida silang tunggal mempunyai potensi hasil yang tinggi dengan fenotipe tanaman lebih seragam daripada hibrida silang ganda atau silang puncak.

Benih jagung hibrida yang dikembangkan petani mampu memberi hasil 6-7 t/ha. Hal ini berarti peningkatan produksi jagung di Indonesia lebih banyak ditentukan oleh peningkatan produktivitas daripada perluasan areal tanam. Sejak tahun 1995 penanaman varietas jagung hibrida di Indonesia mengalami perkembangan pesat. Hingga tahun 2006 terdapat enam perusahaan benih jagung hibrida swasta dan BUMN, yaitu PT Sang Hyang Seri (BUMN), PT Pertani, PT BISI, PT Pioneer, PT Monagro Kimia, dan Syngenta. Badan Litbang Pertanian maupun perusahaan benih swasta telah melepas varietas jagung hibrida dengan potensi hasil 9,0-10,0 t/ha. Balai Penelitian Tanaman Serealia (Balitsereal) pada awal tahun 2007 telah melepas dua varietas jagung hibrida silang tunggal, yaitu Bima-2 Bantimurung dan Bima-3 Bantimurung, masing-masing mampu ber-produksi 11 t dan 10 t/ha pipilan kering, toleran terhadap penyakit bulai, dan dapat beradaptasi pada lahan optimal maupun suboptimal (Deptan 2007a; Deptan 2007b).

Areal pertanaman varietas jagung hibrida hingga tahun 2005 masih didominasi oleh hibrida yang dihasilkan oleh perusahaan multinasional. Varietas yang populer adalah BISI, Pioneer, dan NK. Salah satu perusahaan benih nasional, PT Sang Hyang Seri, pada tahun 1991 mampu memproduksi benih jagung hibrida sebanyak 279 ton dengan volume penjualan 255 ton dan pada tahun 2002 mengalami peningkatan produksi mencapai 500 ton dan terserap semua oleh petani. Empat perusahaan benih berskala besar pada tahun 2000 memiliki kapasitas produksi sebesar 2.985 ton dan diharapkan akan terus meningkat. Penyebaran penggunaan varietas jagung pada tahun 2002 adalah 28% hibrida, 47% komposit unggul, dan 25% komposit lokal (Damardjati *et al.* 2005).

Untuk mewujudkan Indonesia sebagai produsen jagung yang tangguh dan mandiri, strategi kebijakan diutamakan pada peningkatan produktivitas dengan memperluas penggunaan benih bermutu di tingkat petani yang direalisasikan melalui program pengembangan jagung komposit dan hibrida. Pada tahun 2010 penggunaan benih jagung hibrida diproyeksikan 50% dan pada tahun 2025 sebesar 75%. Dukungan juga diberikan kepada

upaya pembentukan varietas hibrida melalui penelitian bioteknologi, kebijakan harga, dan stabilisasi harga jagung dalam negeri.

SUMBER GENETIK

Pada awal penggunaan jagung hibrida, varietas yang dilepas adalah hibrida silang puncak ganda, namun sekarang lebih banyak hibrida silang tunggal. Pembentukan galur inbrida berasal dari materi populasi dasar berupa varietas bersari bebas, hibrida, varietas lokal, dan plasma nutfah introduksi.

Keragaman genetik plasma nutfah berperan penting dalam program pemuliaan. Paliwal (2000) menyatakan bahwa faktor terpenting dalam pembentukan hibrida adalah pemilihan plasma nutfah pembentuk populasi dasar yang akan menentukan tersedianya tetua unggul. Tetua yang berasal dari plasma nutfah superior dengan karakter agronomi ideal akan menghasilkan galur yang memiliki daya gabung umum dan daya gabung khusus yang tinggi. Dalam proses perakitan hibrida dibutuhkan sedikitnya dua populasi yang memiliki latar belakang plasma nutfah dengan keragaman genetik yang luas, penampilan persilangan menonjol, dan menunjukkan tingkat heterosis tinggi. Populasi yang digunakan juga harus memiliki toleransi terhadap cekaman silang dalam (*inbreeding stress*) dan mampu menghasilkan galur inbrida berdaya hasil tinggi. Adanya perbedaan frekuensi gen-gen yang berbeda dari masing-masing inbrida sebagai tetua, berperan penting dalam memperoleh heterosis yang tinggi. Dalam pembentukan hibrida diutamakan persilangan-persilangan antara bahan genetik atau populasi yang kontras atau berbeda sumber plasma nutfahnya.

Efisiensi pemilihan populasi sebagai sumber genetik inbrida dalam pembentukan hibrida bergantung kepada kemampuan populasi untuk menghasilkan vigor yang tinggi, karakter ideotipe yang stabil, galur *inbred* produktif dengan penampilan baik dan daya gabung yang tinggi. Seleksi dari populasi yang tidak memiliki gen-gen yang diinginkan tidak menjamin keberhasilan program pemuliaan meskipun secara teliti dengan metode yang baik.

PERBAIKAN POPULASI

Langkah awal dalam program hibrida adalah mencari populasi-populasi superior yang merupakan pasangan heterotik (*heterotic pattern*) dan atau melakukan pembentukan populasi baru. Pembentukan populasi dan program seleksi bertujuan untuk memaksimalkan karakter penting, selain mempertahankan karakter lain pada tingkat yang sama, atau di atas standar

minimum untuk diterima sebagai varietas komersial. Misalnya, kalau karakter hasil yang menjadi tujuan utama, maka populasi harus memiliki daya hasil yang beragam, tetapi karakter lainnya seperti saat berbunga, umur panen, ketahanan terhadap penyakit, dan kualitas hasil harus lebih seragam. Hal tersebut dapat dicapai dengan prosedur berikut:

1. Persilangan dilakukan hanya di antara populasi yang terseleksi, yakni populasi dengan fenotipe sama untuk karakter kedua (saat berbunga, umur panen, dan lain-lain), tetapi dengan fenotipe yang berbeda untuk karakter yang diutamakan (seperti hasil).
2. Persilangan antarpopulasi dibatasi oleh individu-individu dari populasi tetua yang mempunyai fenotipe yang sama, dengan memperhatikan karakter kedua terpenting.
3. Memperbaiki populasi-populasi asal yang berbeda dalam karakter kedua terpenting sebelum dilakukan persilangan di antara populasi tersebut, kemudian dilanjutkan dengan program utama seleksi.

Untuk mendapatkan populasi superior, perbaikan populasi dilakukan secara kontinu melalui perbaikan dalam populasi (*intrapopulation improvement*) dan perbaikan antarpopulasi (*interpopulation improvement*). Perbaikan dalam populasi bertujuan untuk memperbaiki populasi secara langsung, sedangkan perbaikan antarpopulasi bertujuan untuk memperbaiki persilangan antarpopulasi atau memperbaiki galur hibrida yang berasal dari dua populasi terpilih secara timbal balik untuk meningkatkan hasil populasi dan heterosis antara dua populasi. Prinsip dasar perbaikan populasi adalah meningkatkan frekuensi gen yang baik (*desirable genes*), sehingga akan meningkatkan rata-rata populasi untuk karakter yang ditentukan. Pada tanaman menyerbuk silang seperti jagung, bahan genetik yang beraneka ragam sering dimasukkan ke dalam satu populasi menjadi suatu pool. CIMMYT banyak membuat pool dan selanjutnya diperbaiki untuk memperoleh populasi baru. Puslitbang Tanaman Pangan juga telah membentuk pool 1, 2, 3, 4, dan 5. Seleksi berulang (*recurrent selection*) dalam perbaikan populasi, yang juga melibatkan seleksi generasi silang diri (*selfing*), akan membantu meningkatkan toleransi terhadap *inbreeding* dan meningkatkan kapasitas populasi untuk menghasilkan galur-galur yang lebih vigor dan unggul. Beberapa peneliti telah melaporkan kemajuan seleksi jagung menggunakan seleksi berulang bolak-balik (*reciprocal recurrent selection*). Dari seleksi berulang bolak-balik ini, Badan Litbang Pertanian telah menghasilkan tiga varietas unggul jagung bersari bebas dan delapan hibrida.

SELEKSI BERULANG TIMBAL BALIK

Prosedur seleksi berulang timbal balik adalah sebagai berikut:

Musim 1: Pembuatan galur S₁

Dimulai dengan penanaman populasi dasar A(C₀) dan B(C₀), masing-masing 3-5 ribu tanaman, dibuat silang diri atau *selfing* sebanyak 350-400 tanaman yang mempunyai karakter yang diinginkan (tegap, berbunga sinkron, tahan hama penyakit). Pada saat panen dipilih 300 tongkol dari hasil silang diri yang masih memenuhi karakter yang diinginkan, dan masing-masing tongkol dipilip terpisah. Apabila populasi dasar memiliki keragaman yang besar (populasi belum pernah diperbaiki), jumlah silang diri lebih dari 400 tanaman.

Musim 2: Pembuatan silang puncak (*topcross*)

Tanaman galur S₁ populasi A digunakan sebagai tetua betina, ditanam masing-masing satu baris dengan 10 tanaman dalam blok terisolasi. Pada tiap empat baris tetua betina ditanam populasi B(C₀) sebagai tetua jantan. Kemudian dibuat persilangan S₁ populasi B dengan populasi A(C₀) dalam blok terisolasi. Dipilih 200-250 galur tetua betina yang berpenampilan baik dan hasil bijinya cukup untuk evaluasi silang puncak. Bersamaan dengan pembuatan silang puncak ditanam galur-galur S₁ A dan B masing-masing satu baris dengan 10-15 tanaman. Dibuat silang diri 3-5 tanaman dari tiap galur yang mempunyai karakter diinginkan. Pada waktu panen dipilih 1-3 tongkol dari hasil silang diri untuk setiap galur terpilih. Tongkol terpilih dipilip dan dicampurkan biji dari tiap galur sehingga diperoleh galur S₂ bulk.

Musim 3: Evaluasi silang puncak

Sebanyak 200-250 hasil silang puncak yang penampilan galurnya baik dan memiliki benih S₂ dievaluasi dalam percobaan berulang. Evaluasi dilakukan pada 1-3 lokasi. Bersamaan dengan evaluasi silang puncak dibuat galur S₃ bulk seperti pada musim 2.

Musim 4: Rekombinasi galur terpilih

Berdasarkan hasil evaluasi silang puncak dipilih 15-20 galur yang memiliki kombinasi yang baik dengan populasi pasangannya. Rekombinasi galur terpilih menggunakan galur S₃ bulk. Dibuat persilangan diallel antara galur terpilih. Untuk memperoleh populasi baru, A(C₁)F₁ dan B(C₁)F₁ dicampur dengan jumlah benih yang sama dari hasil persilangan. Rekombinasi dapat dilakukan dengan silang acak (*random mating, open pollination*), galur-galur ditanam sebagai tetua betina, masing-masing satu baris 10-25 tanaman. Tetua jantan adalah campuran biji dari galur-galur yang digunakan sebagai tetua betina. Pada saat berbunga dicabut malai bunga jantan dari tetua betina sebelum menghasilkan tepung sari.

Musim 5: Pembuatan galur S1

Ditanam benih A(C1)F₁ dan B(C1)F₁ dan dibuat persilangan seperti pada musim pertama. Pada musim kelima dapat dilakukan persilangan dalam populasi untuk memperoleh benih F₂ dan baru pada musim keenam dilakukan persilangan S₁, sehingga satu daur seleksi memerlukan lima musim, dan apabila menggunakan benih F₁ hanya memerlukan empat musim. Jika pembuatan galur S₂ bulk dan S₃ bulk tidak dilakukan maka rekombinasi menggunakan galur S₁. Galur S₃ bulk diteruskan untuk mendapatkan galur murni dengan metode baku.

PEMBENTUKAN GALUR INBRIDA

Inbrida sebagai tetua hibrida memiliki tingkat homozigositas yang tinggi. Inbrida jagung diperoleh melalui penyerbukan sendiri (*selfing*) atau melalui persilangan antarsaudara. Inbrida dapat dibentuk menggunakan bahan dasar varietas bersari bebas atau hibrida dan inbrida lain. Pembentukan inbrida dari varietas bersari bebas atau hibrida pada dasarnya melalui seleksi tanaman dan tongkol selama silang diri. Seleksi dilakukan berdasarkan bentuk tanaman yang baik dan ketahanan terhadap hama dan penyakit utama. Pembentukan inbrida dari inbrida lain dilakukan dengan cara menyilangkan dua inbrida yang disebut seleksi kumulatif, atau persilangan galur dengan populasi. Hibrida hasil persilangan ini dapat digunakan sebagai populasi dasar dalam pembentukan galur. Galur dapat diperbaiki dengan menggunakan galur lain atau populasi donor gen yang tidak terdapat dalam galur yang akan diperbaiki. Perbaikan dapat menggunakan silang balik (*backcross*) beberapa kali, sehingga karakter galur yang diperbaiki muncul kembali dan ditambah dengan karakter dari galur donor

Dalam pembentukan inbrida perlu dipertimbangkan antara kemajuan seleksi dengan pencapaian homozigositas. Persilangan antarsaudara dalam pembentukan inbrida akan memperlambat fiksasi alel yang merusak dan memberi kesempatan seleksi lebih luas. Keuntungan persilangan sendiri dalam pembentukan inbrida yang relatif homozigot dapat dilihat dari laju *inbreeding*. Untuk memperoleh tingkat *inbreeding* yang sama dengan satu generasi penyerbukan sendiri diperlukan tiga generasi persilangan sekandung (*fullsib*) atau enam generasi persilangan saudara tiri (*halfsib*). Seleksi selama pembentukan galur pada persilangan sendiri lebih terbatas, yaitu dalam batas-batas genotipe tanaman S₀ yang menyerbuk sendiri (Moentono 1988). Seleksi selama pembentukan galur sangat efektif dalam memperbaiki sifat-sifat galur inbrida, dan berfungsi mengeliminasi pemusnahan galur-galur yang tongkolnya kecil dan bijinya sulit diperbanyak, sehingga menghambat pembentukan benih.

Tabel 1. Galur inbrida dan silang tunggal materi induk penyusun hibrida Semar dan hibrida Bima yang dihasilkan oleh Balitsereal.

Nama hibrida	Galur inbrida		Benih materi induk/inbrida	
	Induk betina (A)	Induk jantan (B)	Induk betina (AB)	Induk jantan (C)
Semar-1	GM12	GM19	ST1219	GM15
Semar-2	GM25	GM30	ST2530	GM27
Semar-3	GM26	GM30	ST2630	GM15
Semar-4	Mr01	Mr02	ST0102	Mr03
Semar-5	Mr05	Mr06	ST0506	Mr04
Semar-6	Mr07	Mr08	ST0708	Mr04
Semar-7	Mr08	Mr06	ST0806	Mr04
Semar-8	Mr09	Mr10	ST0910	GM15 DMR
Semar-9	Mr11	Mr12	ST1112	GM15 DMR
Semar-10	Mr13	Mr04	ST1304	Mr14
Bima 1	Mr4	Mr14	ST414	-
Bima 2 Bantimurung	B11-209	Mr14	STB11-209/14	-
Bima 3 Bantimurung	Nei9008	Mr14	STNei9008/14	-

Pembentukan inbrida yang dikembangkan oleh Balitsereal, misal Galur B11-209, merupakan ekstrak dari galur S_6 (*bulk selfing* S_9), introduksi dari *Tropical Asean Maize Network* (TAMNET) dalam set percobaan *Late Line Evaluation Trial for Banded Leaf and Sheath Blight*. Galur Nei9008 merupakan galur S_6 (*bulk selfing* S_9) introduksi dari Departemen Pertanian Thailand (kebun percobaan di TAKFA). Galur Mr-14 adalah galur SW3-3 yang dikembangkan dari populasi Suwan 3. Galur B11-209 dan Nei9008 diperoleh melalui seleksi pedigree sampai generasi ke-6, selanjutnya dengan *bulk selfing* tiga generasi. Mr-14 diperoleh melalui seleksi pedigree sampai generasi ke-9, selanjutnya dengan *bulk selfing*.

METODE SELEKSI GALUR

Prosedur seleksi untuk menghasilkan galur adalah sebagai berikut:

Seleksi Massa (*Mass Selection*)

Seleksi massa adalah pemilihan individu secara visual untuk karakter-karakter yang diinginkan. Seleksi massa tidak melibatkan evaluasi famili. Seleksi massa dapat dijadikan dasar untuk domestikasi tanaman menyerbuk silang dan dasar pemeliharaan bentuk asal (*true type*) dari spesies tanaman yang menyerbuk silang, sebelum dikembangkan program perbaikan tanaman.

Seleksi massa efektif untuk karakter yang mempunyai heritabilitas tinggi, karena pemilihan hanya berdasarkan genotipe individu-individu tanaman pada satu lokasi dan satu musim. Pada tanaman jagung, seleksi massa dipilih berdasarkan tetua betina karena genotipe tetua betina diketahui dengan pasti. Untuk karakter yang dipilih sebelum berbunga, seleksi dapat dilakukan terhadap kedua tetua jantan maupun tetua betina. Tanaman yang tidak terpilih dibuang atau dibuat persilangan buatan antara tanaman terpilih. Seleksi berdasarkan kedua tetua akan memberikan kemajuan seleksi yang lebih besar daripada seleksi berdasarkan satu tetua saja.

Gardner dan Snusta (1981) telah berhasil meningkatkan hasil biji jagung varietas Hays-Golden dengan total respon kenaikan 23% dari populasi asal selama 10 generasi seleksi massa (di atas 10 tahun), dan respon tiap generasi adalah 2,8%, dengan beberapa teknik untuk memperbaiki efisiensi seleksi individu tanaman.

- Seleksi dibatasi pada hasil saja, pengukuran yang lebih teliti pada biji-biji yang telah dikeringkan sampai kadar air konstan.
- Luas lahan percobaan 0,2-0,3 ha, tanaman dipelihara dengan pemberian pupuk, irigasi, dan pengendalian gulma untuk memperkecil keragaman lingkungan.
- Lahan percobaan dibagi menjadi petak-petak yang lebih kecil dengan ukuran $\pm 4 \text{ m} \times 5 \text{ m}$.
- Petak-petak seleksi terdiri atas empat baris, masing-masing 10 tanaman.
- Intensitas seleksi 10% dilakukan secara seragam terhadap 4.000-5.000 tanaman, empat tanaman unggul dipilih dari masing-masing petak kecil yang terdiri atas 40 tanaman.

Seleksi Satu Tongkol Satu Baris (*Ear-to-Row*)

Seleksi satu tongkol satu baris pada jagung, yang pada tanaman lain disebut *head-to-row*, atau satu malai satu baris, merupakan *halfsib selection* yang awalnya dirancang oleh Hopkins (1899) dalam Dahlan (1994) di Universitas Illinois untuk menyeleksi kandungan minyak dan protein pada jagung. Teknik seleksi ini merupakan modifikasi dari teknik seleksi massa yang menggunakan pengujian keturunan (*progeny test*) dari tanaman yang terseleksi, untuk membantu memperlancar seleksi yang didasarkan atas keadaan fenotipe individu tanaman. Kelemahan seleksi ini adalah kemungkinan terjadinya silang dalam cukup besar karena pemilihan pada satu tongkol hanya satu baris. Timbulnya *inbreeding* akan mengurangi kemajuan genetik pada proses seleksi.

Dalam seleksi, setelah pencampuran biji-biji tetua, diseleksi kembali fenotipe-fenotipe individu tanaman yang baik untuk diteruskan ke siklus berikutnya. Tanaman di dalam baris-baris keturunan adalah saudara tiri

(*half sibs*). Dengan demikian, metode ini memasukkan pengujian tanpa ulangan dari keturunan-keturunan bersari bebas dari tanaman terpilih.

Seleksi Pedigri (*Pedigree Selection*)

- Musim 1: Ditanam populasi dasar sekitar 3.000-5.000 tanaman, dipilih 300-400 tanaman dengan karakter yang dikehendaki dan dibuat silang diri untuk menghasilkan galur S_1 . Panen dilakukan secara terpisah dari masing-masing tanaman hasil silang diri yang mempunyai karakter yang diinginkan.
- Musim 2: Biji yang diperoleh pada musim 1 (S_1) dari tiap tongkol ditanam satu baris, ± 25 tanaman. Seleksi secara visual dilakukan antara famili dan dalam famili (baris), dan dipilih 3-5 tanaman dari baris yang terpilih untuk dilakukan silang diri. Panen dilakukan secara terpisah untuk masing-masing tongkol, dipilih 1-3 tongkol hasil silang diri untuk tiap baris terpilih dan diperoleh biji S_2 .
- Musim 3: Biji S_2 ditanam satu tongkol satu baris dengan 15-25 tanaman. Seleksi diteruskan antara baris dan dalam baris. Pilih 3-5 tanaman dari baris yang terpilih untuk dibuat silang diri. Panen dilakukan secara terpisah untuk masing-masing tongkol dan akan diperoleh biji S_3 .
- Musim 4: Biji (S_3) yang terpilih ditanam kembali seperti pada musim 3. Silang diri dilakukan sampai generasi keenam (S_6) untuk memperoleh galur yang mendekati homozigot.

Dalam pembentukan galur dapat dilakukan seleksi terhadap hama dan penyakit utama dengan inokulasi buatan.

Seleksi Curah (*Bulk Selection*)

Seleksi dengan metode curah dilakukan dengan mencampurkan biji dari tongkol hasil silang diri dalam jumlah yang sama. Seleksi dilakukan sampai empat generasi dan evaluasi daya gabungannya dilakukan pada galur S_4 . Modifikasi dapat dilakukan dengan mengevaluasi daya gabung pada S_1 dan galur terpilih digunakan untuk silang diri, tetapi biji dari 1-3 tongkol hasil silang diri dari galur terpilih dicampur dan silang diri dilanjutkan hingga mencapai homozigot. Seleksi curah dapat menghemat biaya dan dapat dilakukan dengan banyak populasi sekaligus.

Modifikasi Seleksi Pedigree

Metode seleksi ini merupakan kombinasi antara seleksi pedigree dan seleksi curah. Dari populasi dasar dipilih tanaman yang diinginkan (300-400 tanaman), dan dilakukan silang diri. Pada saat panen dipilih tongkol yang

baik dari tanaman hasil silang diri. Generasi selanjutnya ditanam satu baris 10-25 tanaman tiap tongkol, dan dipilih baris tanaman dengan karakter yang diinginkan. Dibuat silangdiri 3-5 tanaman dari baris terpilih. Setelah panen dari tiap baris terseleksi dipilih 1-3 tongkol dan diambil biji yang sama tiap tongkol untuk ditanam dalam satu baris 10-25 tanaman. Seleksi curah dalam famili dilakukan beberapa generasi berikutnya. Seleksi pedigree dilakukan lagi apabila galur akan dievaluasi daya gabungannya. Dapat pula diseling antara metode seleksi pedigree dan seleksi curah.

Prosedur lainnya, biji S_1 ditanam satu baris satu tongkol (*ear to row*), seleksi dilakukan antarbaris dan dalam baris. Biji-biji hasil silang diri diambil dengan jumlah yang sama, dicampur sebagai populasi S_2 . Seleksi curah diteruskan sampai dilakukan evaluasi galur. Dalam seleksi curah ada kemungkinan tanaman yang pendek akan tersingkir karena persaingan dengan tanaman yang lebih tinggi, sehingga pertumbuhannya kurang maksimal dan akan diperoleh galur yang tanamannya tinggi.

Seleksi Dapur Tunggal (*Single Hill Selection, Single Seed Descent*)

Metode seleksi dapur tunggal berfungsi mempertahankan keragaman dan dapat digunakan untuk pembentukan RIL (*Recombinant Inbred Lines*). RIL digunakan untuk kajian genetik dan analisis molekuler. Dalam seleksi ini, tiap tanaman hanya diambil satu biji untuk generasi berikutnya. Dari populasi dasar dipilih tanaman yang mempunyai karakter yang diinginkan untuk disilangdirikan. Setelah panen, diambil satu biji dari tiap tongkol dan dicampur menjadi satu. Biji campuran ini ditanam lagi dan dibuat silang diri dari masing-masing tanaman. Seleksi dilakukan tanpa membuat silang diri tanaman yang terserang hama penyakit, rebah, dan yang memiliki karakter lain yang tidak diinginkan. Setelah panen, diambil lagi satu biji dari tiap tongkol dan dicampur. Pekerjaan ini dilakukan beberapa generasi sampai tahap evaluasi galur. Apabila mula-mula dilakukan silang diri 500 tanaman, maka dari generasi ke generasi berikutnya jumlah tanaman yang berkurang hanya sedikit.

Seleksi Fenotipe Berulang (*Phenotypic Recurrent Selection*)

Seleksi fenotipe berulang adalah seleksi dari generasi ke generasi dengan diselingi oleh persilangan antara tanaman-tanaman terseleksi agar terjadi rekombinasi. Sparague dan Brimhall (1952) telah menggunakan prosedur seleksi ini dalam meningkatkan kadar minyak yang tinggi pada varietas jagung *Stiff Stalk Synthetic*. Langkah-langkah pelaksanaan seleksi fenotipe berulang adalah:

- Musim 1: Ditanam ± 100 tanaman S_0 dan dilakukan persilangan sendiri (*selfing*), bijinya diuji untuk menentukan kandungan minyaknya.
- Musim 2: Seleksi 10% tongkol S_1 dengan persentase minyak tertinggi ditanam satu tongkol satu baris dan saling silang (*intercrossing*). Biji-biji dengan jumlah yang sama dari tiap tongkol dicampur dan ditanam kembali untuk diseleksi pada generasi berikutnya.

Seleksi Berulang untuk Daya Gabung Umum (*Recurrent Selection for General Combining Ability*)

Seleksi ini awalnya disarankan oleh Jenkins (1978), dengan anggapan bahwa daya gabung dapat ditentukan sejak dini. Prosedur seleksi adalah sebagai berikut:

- Musim 1: Dipilih tanaman dari populasi dasar dengan karakter yang diinginkan. Tanaman terpilih kemudian disilangdirikan (*selfing*) untuk memperoleh galur S_1 . Pada saat panen hanya dipilih tanaman yang masih menunjukkan karakter yang diinginkan.
- Musim 2: Sebagian benih S_1 digunakan untuk pembuatan persilangan antara galur S_1 dengan populasi asal (silang puncak). Populasi digunakan sebagai tetua penguji. Sisa benih S_1 disimpan untuk digunakan dalam rekombinasi.
- Musim 3: Evaluasi famili saudara tiri (silang puncak) dilakukan dalam rancangan acak kelompok atau latis umum (*generalized lattice*) dengan 2-4 ulangan pada 1-3 lokasi. Berdasarkan evaluasi ini dipilih famili superior.
- Musim 4: Rekombinasi famili terpilih menggunakan biji S_1 dengan cara disaling-silangkan untuk membentuk populasi baru (C1).
- Musim 5: Populasi hasil rekombinasi pada musim 4 dibuat silang diri seperti pada musim I untuk membentuk daur kedua (C2) dan seterusnya.

Seleksi Berulang Timbal Balik (*Reciprocal Recurrent Selection*)

Seleksi berulang timbal balik memerlukan lima musim tanam dengan prosedur yang sama dengan yang telah dijelaskan pada perbaikan populasi, yaitu musim 1: pembuatan galur S_1 , musim 2: pembuatan silang puncak (*topcross*), musim 3: evaluasi silang puncak, musim 4: rekombinasi galur terpilih, musim 5: pembuatan galur S_1 .

Seleksi Silang Balik (*Backcross*)

Prosedur seleksi silang balik digunakan untuk memperbaiki galur yang sudah ada tetapi perlu menambah karakter yang lain seperti ketahanan terhadap hama penyakit. Galur yang hendak diperbaiki adalah tetua

pengulang (*recurrent parent*), karakter-karakternya tetap dipertahankan, kecuali karakter yang hendak diintrogressikan dari tetua donor. Galur A (tetua pengulang) disilangkan dengan galur donor X, selanjutnya F_1 atau F_2 disilangkan kembali dengan galur A. Dari beberapa silang balik dengan galur A akan diperoleh galur A' yang karakternya sama dengan galur A, tetapi mengandung gen yang diinginkan yang berasal dari galur X. Dalam silang balik harus jelas karakter yang diinginkan sehingga dapat diikuti selama proses seleksi. Tanaman F_1 mengandung 50% gen-gen galur A, silang balik 1 (BC_1) 75%, bc_2 meningkat menjadi 87,5%, bc_3 menjadi 93,8%, dan bc_4 meningkat menjadi 96,9%. Namun dalam proses *back cross* harus diikuti oleh kemampuan daya gabungannya agar tidak sampai berubah dari galur pasangannya dalam pembuatan hibrida.

Seleksi Gamit (*Gameet Selection*)

Seleksi gamit dianjurkan oleh Stadler pada tahun 1974 (Jugenheimer 1985). Apabila frekuensi zigot p^2 maka frekuensi gamit adalah p , sehingga seleksi gamit lebih efisien karena $p > p^2$. Prosedur untuk memperbaiki galur A adalah dengan populasi P, sehingga silang tunggal A'/B memiliki karakter lebih unggul dibanding persilangan A/B sebagai berikut:

- Musim 1: Tanaman terpilih dari populasi P dikumpulkan dan dicampur tepung sarinya untuk menyerbuki tanaman galur A. Satu tongkol hasil persilangan merupakan famili tiri (*half sib*) dari banyak tetua jantan.
- Musim 2: Gunakan tepungsari tanaman F_1 untuk silang diri dan menyerbuki tanaman galur B.
- Musim 3: Evaluasi silang puncak hasil persilangan pada musim 1 dengan menggunakan pembandingan hibrida A/B. Dipilih galur-galur yang memiliki hasil silang puncak lebih tinggi dari hasil hibrida A/B.
- Musim 4: Galur S_2 terpilih disilangdirikan, proses ini diteruskan hingga diperoleh galur murni.

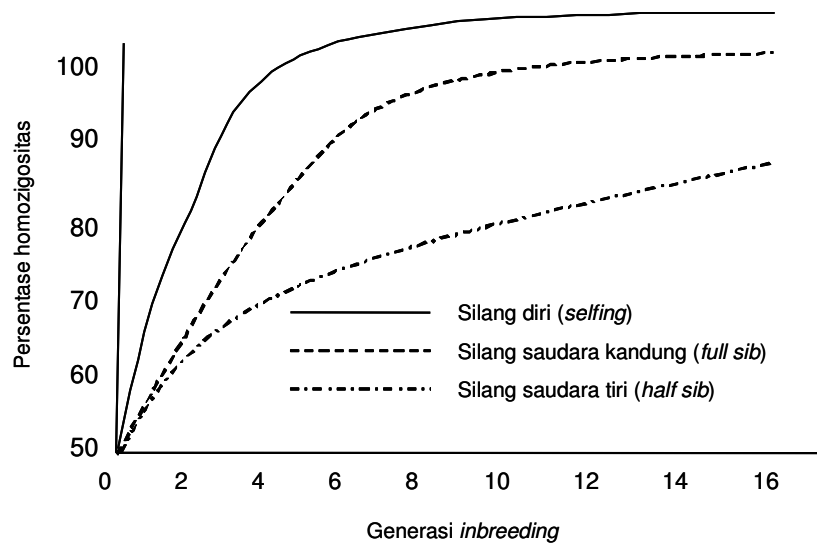
DEPRESI SILANG DALAM

Penyerbukan sendiri atau silang dalam pada tanaman menyerbuk silang akan mengakibatkan terjadinya segregasi pada lokus yang heterozigot, frekuensi genotipe yang homozigot bertambah, dan genotipe heterozigot berkurang. Hal tersebut akan menyebabkan penurunan vigor dan produktivitas tanaman, atau disebut juga depresi silang dalam (*inbreeding depression*).

Jagung adalah tanaman yang menyerbuk silang, sehingga peluang terjadinya silang diri secara alami sangat kecil (<5%), sehingga pada tanaman ini terjadi kawin acak. Pada umumnya gen-gen pada tanaman yang mengalami kawin acak belum terfiksasi sempurna (frekuensi gen tidak sama dengan 1,0). Apabila frekuensi gen A adalah p maka frekuensi gen a adalah $1 - p = q$ sehingga sebaran genotipe menjadi $f(AA) = p^2$, $f(Aa) = 2pq$, dan $f(aa) = q^2$. Jika terdapat dua lokus maka ada sembilan genotipe, 10 lokus memiliki 59.049 genotipe. Terdapat ribuan lokus pada tanaman jagung, sehingga dalam populasi jagung terdapat genotipe dalam jumlah yang sangat besar dan antara tanaman dalam populasi memiliki perbedaan genotipe.

Silang diri akan mengakibatkan terjadinya segregasi pada lokus yang heterozigot, frekuensi genotipe yang homozigot bertambah dan heterozigot berkurang. Apabila pada populasi $f(A) = f(a) = 0,5$ sehingga $f(Aa) = 0,5$, maka dengan silang diri satu kali $f(Aa)$ berkurang setengahnya menjadi 0,25 dan dengan silang diri enam kali $f(Aa)$ tinggal 0,0078, sehingga dengan enam kali silang diri tanaman sudah dapat diasumsikan telah homozigot. Silang diri memperbesar peluang dua alel dalam suatu lokus berasal dari gen yang sama. Dalam populasi di atas $f(AA) = f(aa) = 0,25$, genotipe AA tidak dapat dipastikan kedua alel A berasal dari gen yang sama, demikian pula genotipe aa, sehingga dari populasi tersebut tidak ada lokus yang mengandung alel yang berasal dari gen yang sama. Besarnya peluang dua alel dalam lokus yang berasal dari multiplikasi alel yang sama disebut koefisien silang dalam. Jadi koefisien silang dalam populasi asal ini adalah 0. Setelah silang diri diperoleh genotipe AA yang berasal dari Aa, maka kedua alel A berasal alel yang sama hasil keturunan Aa, demikian pula genotipe aa yang berasal dari Aa. Sedangkan AA memberikan keturunan AA dan aa keturunannya juga aa, sehingga keturunan AA yang berasal dari alel yang sama adalah setengahnya, demikian pula dari aa, sehingga peluang dua alel dalam lokus yang berasal dari alel yang sama setelah satu kali silang diri besarnya $(0,5)(0,5) = 0,125$ dari AA, $(0,5)(0,25) = 0,125$ dari aa, $(0,5)(0,5) = 0,25$ dari Aa, sehingga koefisien *inbreedingnya* = 0,5.

Gambar 1 memperlihatkan persentase homozigositas dari empat generasi silang diri (*selfing*), hampir sama dengan 10 generasi silang saudara tiri (*half sib*). Melalui penyerbukan sendiri, pada generasi delapan telah tercapai 100% homozigositas (dengan peluang 99,6%), yang berarti terbentuk galur murni. Namun adakalanya terjadi segregasi lambat, sehingga karakter yang ditentukan oleh gen resesif baru nampak pada generasi lanjut. Hal ini terlihat pada penurunan hasil biji dengan silang diri yang masih terus berlangsung, walaupun sudah mencapai generasi lanjut. Pada generasi 6-10, penurunan hasil 53% dan pada generasi 25-30 mencapai 79% (Hallauer and Miranda 1987). Galur-galur murni tersebut pada umumnya telah stabil



Gambar 1. Persentase homozigositas tanaman jagung pada generasi berurutan melalui penyerbukan sendiri dan perkawinan sedarah (Poehlman and Sleper 1995).

dalam karakter morfologi dan fisiologi, sehingga tidak akan terjadi lagi kehilangan vigor. Dengan demikian dapat dikatakan genotipenya dapat dipertahankan sampai waktu yang tidak terbatas.

Efek dari silang dalam (*inbreeding*) pada tanaman adalah:

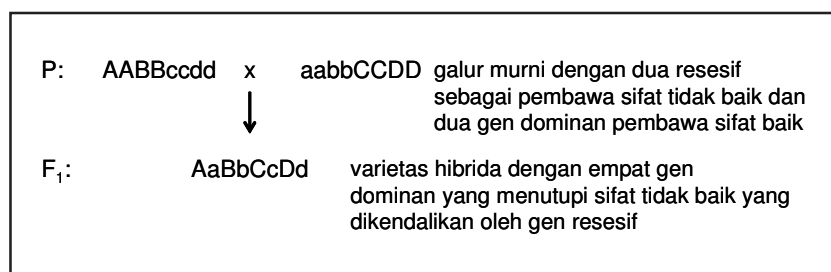
1. Timbul keragaman fenotipe, penampilan tanaman kurang baik dibanding tanaman asalnya, seperti hasil lebih rendah, tanaman lebih pendek, defisiensi klorofil yang nampak dengan timbulnya noda-noda pada daun tanaman. Sifat lain yang jarang terjadi adalah timbulnya endosperm yang tidak berguna dan resistensi terhadap beberapa penyakit seperti karat, hawar, dan bercak daun *Helminthosporium*. Keragaman fenotipe sangat berguna untuk memilih tanaman yang dikehendaki.
2. Silang dalam beberapa generasi akan mengakibatkan adanya perbedaan antargalur, tetapi antartanaman dalam galur yang sama akan semakin seragam.
3. Ciri utama akibat silang dalam adalah berkurangnya vigor yang diikuti oleh pengurangan hasil, dan ini berhubungan erat dengan pengurangan tinggi tanaman, panjang tongkol, dan beberapa karakter lain. Pengurangan hasil akan berlangsung terus meskipun pengurangan ukuran tanaman sudah tidak nampak.

- Adanya perbaikan dalam populasi dan perbaikan galur (*recycle breeding*), penampilan galur semakin baik, dapat diperoleh galur dengan hasil 2-4 t/ha, tanaman tegap, daun hijau, tahan rebah, tahan hama dan penyakit.

HETEROSIS

J.G. Koelreuter merupakan orang pertama yang memperhatikan dan mencatat gejala heterosis ketika ia melihat pertumbuhan yang sangat baik dari tembakau hasil persilangan dua varietas yang berbeda (Baihaki 1989). Secara umum, jika dua genotipe yang berlainan (*unrelated or distantly related individuals*) dari satu spesies tanaman disilangkan maka keturunannya sering lebih baik dari kedua tetuanya atau memperlihatkan gejala heterosis dan sering disebut sebagai vigor atau ketegapan hibrida (*hybrid vigour*). Ketegapan hibrida adalah penambahan ukuran atau vigor pada hibrida F_1 yang melebihi tetua-tetuanya atau melebihi rata-rata tetuanya. Tanaman F_1 yang memperlihatkan gejala heterosis atau ketegapan hibrida berarti mengalami peningkatan karakteristik, seperti ukuran tanaman, ketegapan atau produktivitas yang lebih tinggi, dibanding dengan kedua tetuanya (Poehlman and Sleper 1995).

Shull (1908) merupakan orang pertama yang mengajukan teori mengenai gejala heterosis dan memperkenalkan istilah heterosis. Konsep heterosis dikembangkan melalui galur murni jagung dalam upaya pemanfaatan keunggulan khusus vigor hibrida dari hasil persilangan. Terdapat dua hipotesis utama yang dapat menjelaskan mekanisme gejala heterosis, yaitu hipotesis dominan dan hipotesis *over* dominan. Hipotesis dominan (Gambar 2) menjelaskan bahwa akumulasi gen-gen dominan yang baik (*favorable dominant genes*) dalam satu genotipe tanaman menyebabkan munculnya fenomena heterosis, sedangkan penampilan gen-gen resesifnya akan tertutupi atau hilang (Poehlman and Sleper 1995). Hipotesis ini merupakan landasan pemikiran yang paling luas penerimaannya.



Gambar 2. Fenomena heterosis menurut landasan hipotesis dominan.

Fenomena heterosis merupakan aksi dan interaksi gen-gen dominan yang baik yang terkumpul dalam satu genotipe F_1 sebagai hasil persilangan dua tetua. Persilangan antarindividu yang berbeda homozigot akan menghilangkan penampilan sifat yang tidak baik, sekaligus memunculkan akumulasi gen-gen dominan dengan sifat baik yang selanjutnya menimbulkan fenomena heterosis (Baihaki 1989).

Hipotesis *over* dominan menjelaskan bahwa ketegapan hibrida merupakan penampilan superioritas heterozigositas terhadap homozigositas. Artinya, individu yang berpenampilan superior merupakan individu yang memiliki konstitusi gen heterozigot terbanyak. Genotipe yang heterozigot memiliki tingkat superioritas yang lebih tinggi dibanding dengan genotipe homozigot (Fehr 1987). Menurut Poehlman dan Sleper (1995), heterosis terjadi karena adanya interaksi antargen pada lokus yang sama. Studi genetik kuantitatif menunjukkan efek epistasis kecil atau tidak nyata. Studi lain menunjukkan gen a_1 menghasilkan substansi yang berbeda dengan yang dihasilkan oleh gen a_2 . Dalam keadaan heterozigot, keduanya menghasilkan substansi yang berbeda, kedua substansi meningkatkan metabolisme. Genotipe heterozigot mempunyai warna yang lebih kuat. Gambar 3 mengilustrasikan landasan hipotesis *over* dominan bagi fenomena heterosis.

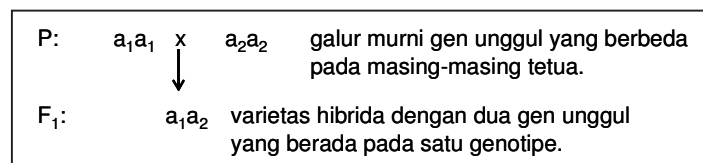
Gejala heterosis dapat dilihat dan diukur berdasarkan penampilan karakter atau sifat tanaman, seperti tinggi tanaman, hasil, kandungan minyak, dan protein. Terdapat tiga cara pendugaan kuantitatif heterosis:

1. Heterosis rata-rata tetua (*mid-parent heterosis*), yakni penampilan hibrida dibanding penampilan rata-rata kedua tetua.

$$h = \left[\frac{\bar{F}_1 - (\bar{P}_1 + \bar{P}_2)/2}{(\bar{P}_1 + \bar{P}_2)/2} \right] \times 100\%$$

2. Heterosis tetua tertinggi (*high-parent heterosis*)

$$h = \left[\frac{\bar{F}_1 - \overline{HP}}{\overline{HP}} \right] \times 100\%$$



Gambar 3. Fenomena heterosis menurut landasan hipotesis *over* dominan.

3. Perbandingan antara rata-rata F_1 dengan rata-rata F_2 dari hibrida yang bersangkutan (Halloran *et al.* 1979).

$$h = \left[\frac{\bar{F}_1 - \bar{F}_2}{\bar{F}_2} \right] \times 100\%$$

\bar{F}_1 = rata-rata penampilan hibrida,

\bar{P}_1 = rata-rata penampilan tetua pertama,

\bar{P}_2 = rata-rata penampilan tetua kedua,

\bar{HP} = rata-rata penampilan tetua tertinggi,

F_2 = rata-rata penampilan populasi F_2 hibrida yang bersangkutan.

Dalam praktek, dicari F_1 yang hasilnya lebih tinggi daripada hasil kedua tetua. Perlu diingat heterosis F_1 yang tinggi belum tentu memberi hasil lebih tinggi dari hasil F_1 yang heterosisnya rendah. Dalam pembuatan hibrida dicari dua populasi yang hasilnya tinggi dan heterosis antara kedua populasi juga tinggi. Heterosis yang tinggi dari dua galur tetapi hasilnya rendah tidak ada manfaatnya dalam pembentukan hibrida. Heterosis digunakan untuk menggolongkan populasi atau galur dalam pola heterosis (*heterotic pattern*). Pola heterotik dapat dibentuk sehingga dua populasi heterosisnya tinggi, yaitu dengan seleksi berulang timbal balik (*reciprocal recurrent selection*).

Di Indonesia, sejak 1993 telah dilakukan kegiatan peningkatan heterosis populasi dasar jagung untuk pembentukan varietas hibrida. Badan Litbang Pertanian membentuk pola heterosis dua pasangan populasi, yaitu pasangan Malang Sintetik (MS) J1 dengan J2 versi umur dalam, dan pasangan MS K1 dengan K2 versi umur genjah (Dahlan *et al.* 1996). Prosedur seleksi yang digunakan untuk meningkatkan heterosis kedua pasang populasi adalah modifikasi seleksi berulang timbal balik (*reciprocal recurrent selection*), yaitu satu daur terdiri dari empat musim tanam atau generasi. Dari kegiatan daur ke-1 dan ke-2, dalam periode 1999-2002, telah dilepas tiga varietas unggul jagung bersari bebas Palakka, Lamuru, dan Gumarang masing-masing berasal dari populasi MSJ2C1, MSJ2C2, dan MSK2C2 dan delapan varietas unggul jagung hibrida dengan potensi hasil 7,6-9,0 t/ha. Semar-4, Semar-5, Semar-6, Semar-7, Semar-8, Semar-9, dan Semar-10 tergolong hibrida silang tiga jalur (STJ), sedangkan Bima-1 tergolong hibrida silang tunggal (ST).

Bioteknologi sebagai pendukung dalam program perbaikan populasi memberikan kontribusi yang penting. Koefisien kemiripan dan jarak genetik berdasarkan markah molekuler (SSR) galur-galur penyusun hibrida tersebut sesuai dengan informasi pedigree. Dua galur terbaik sebagai tetua hibrida Bima-1 yaitu Mr04 (berasal dari MSJ1) dan Mr14 (berasal dari Suwan3 = MSJ2) memiliki potensi sebagai penguji daya gabung galur-galur yang berasal

dari luar kelompok heterosis MSJ1 dan MSJ2. Hibrida silang tunggal N161 x Mr04 memiliki daya hasil 13,46 t/ha, atau 123% dan 87% masing-masing di atas hibrida Bima-1 dan NK33. Galur-galur yang memiliki daya gabung khusus yang baik dapat diintrogresikan untuk meningkatkan keragaman genetik pasangan populasi MSJ1 dan MSJ2. Populasi MSJ2C5 memberikan hasil 7,38 t/ha, atau 16% lebih tinggi dibanding varietas Lamuru (MSJ2C2) atau terjadi kemajuan seleksi sebesar 339 kg/daur (Mejaya *et al.* 2004).

EVALUASI GALUR

Evaluasi galur inbrida dapat digolongkan menjadi dua, yaitu galur dievaluasi berdasarkan galur *per se* (galur itu sendiri) dan penampilan keturunannya. Pada evaluasi pertama, galur dilihat penampilan atau responnya seperti daya hasil, umur berbunga, sinkronisasi berbunga, tinggi tanaman dan tongkol, ketahanan terhadap hama dan penyakit, dan interaksi galur dengan lingkungan. Informasi ini diperlukan dalam pembuatan hibrida komersial. Evaluasi kedua adalah menilai daya gabung untuk memilih galur-galur yang mempunyai potensi untuk pembuatan hibrida. Masalah yang dihadapi dalam evaluasi galur adalah jumlah galur murni yang dihasilkan lebih banyak dibanding yang dapat diuji dalam kombinasi hibrida (Tabel 2).

Terdapat dua teknik dalam mengevaluasi galur-galur inbrida yakni:

1. Jenkins *et al.* (1954) menganjurkan pembuatan persilangan antara galur dengan populasi (tetua penguji) yang mempunyai keragaman genetik yang luas. Hasil persilangan (*topcross*) dievaluasi untuk menentukan galur-galur yang memberi harapan untuk digunakan dalam pembuatan hibrida. Selanjutnya dibuat persilangan diallel antara galur terpilih. Dari

Tabel 2. Hubungan antara jumlah kombinasi hibrida yang berbeda dengan jumlah galur inbrida.

Jumlah galur murni	Jumlah hibrida yang mungkin dibuat		
	Hibrida silang puncak	Hibrida silang tunggal	Hibrida silang ganda
5	5	10	15
10	10	45	630
20	20	190	14535
100	100	4950	11763625
500	500	124750	7.72E+09
n		$\frac{n(n-1)}{2}$	$\frac{3n!}{4!(n-4!)}$

Sumber: Halloran *et al.* (1979)

evaluasi persilangan diallel dapat diketahui galur yang dapat digunakan untuk pembentukan hibrida, yaitu galur yang memiliki hasil yang lebih baik daripada hibrida pembandingan. Untuk tetua pengujian dapat digunakan varietas bersari bebas, hibrida silang tunggal, silang tiga jalur, silang ganda, dan galur inbrida. Galur pengujian adalah galur yang memiliki daya gabung umum yang baik. Untuk tetua pengujian digunakan galur yang telah digunakan dalam pembentukan hibrida, sehingga dari evaluasi tersebut diperoleh galur pasangan dengan galur pengujian yang menghasilkan hibrida yang lebih baik dari hibrida pembandingan. Evaluasi dengan hibrida silang tunggal memberikan gambaran pasangan yang tepat dengan salah satu galur penyusun hibrida tetua pengujian.

2. Jenkins (1978) mengembangkan metode pendugaan hasil hibrida silang ganda dari data pengujian silang tunggal. Dengan cara ini tidak perlu menguji semua kombinasi silang tiga jalur dan silang ganda. Dari empat galur inbrida dapat dibentuk enam silang tunggal hibrida, 12 hibrida silang tiga jalur, dan tiga hibrida silang ganda. Hasil hibrida silang tiga jalur diduga dari rata-rata dua silang tunggal, dan hasil hibrida silang ganda diduga dari rata-rata hasil empat hibrida silang tunggal. Pendugaan ini berdasarkan efek aditif. Seperti tampak pada Tabel 1, dari 10 galur inbrida dapat dibuat 630 silang ganda dan 360 silang tiga jalur. Pendugaan ini dapat didasarkan pada data silang diallel. Dari data silang diallel dicari galur-galur yang daya gabung umumnya baik, dari galur ini dapat dicari silang tunggal yang hasilnya tinggi, sehingga dapat dibentuk silang tiga jalur. Untuk silang ganda dicari dua galur yang daya gabungannya baik dan silang tunggal yang hasilnya tinggi dibandingkan dengan galur tersebut.

Varietas hibrida merupakan generasi pertama (F_1) hasil persilangan antara tetua berupa galur inbrida atau varietas bersari bebas yang berbeda genotipe. Hal yang perlu dilakukan dalam pemuliaan varietas hibrida adalah pembuatan galur inbrida, yakni galur tetua yang homozigot melalui silang dalam (*inbreeding*) pada tanaman menyerbuk silang. Dalam pembuatan varietas hibrida dua galur yang homozigot disilangkan dan diperoleh generasi F_1 yang heterozigot, kemudian ditanam sebagai varietas hibrida.

Terdapat tiga langkah dalam pembentukan varietas hibrida:

1. Membentuk galur inbrida, secara normal dengan melakukan beberapa generasi silang dalam (*inbreeding*) pada spesies tanaman menyerbuk silang.
2. Penilaian galur *inbreed* berdasarkan uji daya gabung umum dan daya gabung khusus untuk menentukan kombinasi-kombinasi varietas hibrida.
3. Menyilangkan pasangan galur murni yang tidak berkerabat untuk membentuk varietas hibrida F_1 .

Tabel 3. Jenis hibrida.

Sistem	Jenis hibrida	Persilangan
Dua tetua	Silang tunggal	A x B
	Silang puncak	A x Var 1
	Silang varietas	Var 1 x Var 2
Tiga tetua	Modifikasi silang tunggal	(A x A') x B
	Silang puncak ganda	(A x B) x Var 3
	Silang tiga jalur	(A x B) x C
Empat tetua	Modifikasi silang tiga jalur	(A x B) x (C x C')
	Silang ganda	(A x B) x (C x D)

Var: varietas bersari bebas

A': galur sedarah (sister line) A

C': galur sedarah (sister line) C

Terdapat beberapa jenis jagung hibrida, yaitu silang puncak, silang tunggal, modifikasi silang tunggal, silang tiga jalur dan silang ganda (Tabel 3). Hibrida silang ganda memiliki hasil lebih rendah dan fenotipe tanaman kurang seragam dibanding silang tunggal. Di Indonesia hanya ada satu hibrida silang ganda yang telah dilepas yaitu P-3. Hibrida silang tunggal memiliki hasil dan daya adaptasi lingkungan yang tinggi. Hibrida silang tiga jalur dan modifikasi silang tunggal lebih banyak dipasarkan. Untuk membuat silang ganda diperlukan dua hibrida silang tunggal dari empat galur inbrida yang berbeda dan hasilnya tinggi. Untuk pembentukan hibrida silang tiga jalur diperlukan satu hibrida silang tunggal dan satu inbrida. Varietas Semar termasuk hibrida silang tiga jalur, yaitu dibentuk dari tiga galur inbrida (AxB)xC. Silang tunggal (AxB) mempunyai interaksi genotipe x lingkungan yang lebih besar dari silang ganda maupun silang tiga jalur, namun produktivitas benih hibrida silang tunggalnya sedikit karena produktivitas galur inbridanya rendah (1-3 t/ha), dan harga benih menjadi lebih mahal.

DAFTAR PUSTAKA

- Baihaki, A. 1989. Phenomena heterosis. *Dalam* Kumpulan Materi Perkuliahan Latihan Teknik Pemuliaan Tanaman dan Hibrida. Balittan Sukamandi, Balitbang Pertanian Deptan, dan Fakultas Pertanian UNPAD. *Tidak Dipublikasikan*.
- Dahlan, M.M. 1994. Pemuliaan tanaman. Diktat Bahan Kuliah Pemuliaan Tanaman. Fakultas Pertanian. Universitas Putra Bangsa, Surabaya. 95 p.
- Dahlan, M.M., S. Slamet, M.J. Mejaya, Mudjiono, J.A. Bety, dan F. Kasim. 1996. Peningkatan heterosis populasi jagung untuk pembentukan varietas hibrida. Balitjas. Maros. p. 50.

- Damardjati, D.S., Subandi, K. Kariyasa, Zubachtirodin, S. Saenong. 2005. Prospek dan arah pengembangan agribisnis jagung. Balitbang Pertanian, Departemen Pertanian. Jakarta.
- Deptan. 2007a. Surat Keputusan Menteri Pertanian tentang pelepasan galur jagung hibrida ST B11-209/Mr 14 sebagai varietas unggul dengan nama Bima-2 Bantimurung
- Deptan. 2007b. Surat Keputusan Menteri Pertanian tentang pelepasan galur jagung hibrida st Nei 9008/Mr 14 sebagai varietas unggul dengan nama Bima-2 Bantimurung
- Fehr, W.R. 1987. Principles of Cultivar Development. Volume 1. Theory and Technique. Macmillan Publishing Company. New York.
- Gardner, E.J. and D.P. Snusta. 1981. Principles of Genetic. Six Edition. John Wiley and Sons. New York.
- Hallauer A.R. and J.B. Miranda FO. 1987. Quantitative Genetics in Maize Breeding (2nd edition). Iowa State Univ. Press.
- Halloran, G.M., R. Knight, K.S. Mc Whirter and D.H.B. Sparrow. 1979. Plant Breeding. Australian Vice-Chancellors' Committee.
- Jenkins, M. T. 1978. Maize Breeding During the Development and Early Years of Hybrid Maize. Maize Breeding dan Genetics. John Wiley and Sons, Inc. Canada.
- Jenkins, M. T., A.L. Robertand and W.R. Findley. 1954. Recurrent selection as a method for concentrating genesfor resistance to *Helminthosporium turcicum* leaf blight in corn. Agron. Jour. 46:476-481.
- Jones, D.F. 1918. The effect of inbreeding and cross breeding upon development of maize. Corn. Agric. Exp. Station Bulletin. O. 207.
- Jugenheimer, R.W.1985. Corn Improvement, Seed production, and Uses. John Wiley, New York.
- Mejaya, M.J., M. Dahlan, M. Pabendon. 2004. Pola heterosis dalam pembentukan varietas unggul jagung bersari bebas dan hibrida. Seminar Puslitbangtan, Bogor
- Moentono, M.D. 1988. Pembentukan dan produksi benih varietas hibrida. Jagung. Puslitbangtan, Bogor.
- Paliwal, R.L. 2000. Hybrid maize breeding. In: Paliwal, R.L., G. Granados, H.R. Lafitte, and A.D. Violic (Eds.). Tropical Maize: Improvement And Production. FAO, Rome, Italy.

Poehlman, J.M. and D.A. Sleeper. 1995. Breeding field crops. 4th ed. Iowa State University Press/Ames.

Shull, G.H. 1908. The composition of field maize. Report of American Breeder's Association, 4: 296-301.

Shull, G.H. 1948. What is heterosis?. *Genetics*, 33:439-446.

Sparague and Brimhall. 1952. Relative effectiveness of two system of selection for oil content of the corn kernel. *Agron. J.* 42:83-88.

Stanfiel, W.D. 1991. *Genetika*. Penerbit Erlangga. Jakarta.