

Pembentukan dan Produksi Benih Varietas Hibrida

Muhadji Djali Moentono
Balai Penelitian Tanaman Pangan Sukamandi

PENDAHULUAN **Adopsi Hibrida di Indonesia**

Penelitian penggunaan hibrida di Indonesia pernah dilakukan pada tahun 1913, dengan tujuan meningkatkan produksi. Schrender (59) melaporkan bahwa yang ditanam adalah hibrida varietas (varietal hybrids) dan memberikan hasil yang cukup baik. Kemudian penelitian dilanjutkan oleh Koch (59) mengenai penggunaan hibrida silang ganda, dan dilaporkan bahwa aspek hibrida kurang baik untuk pertanian di Indonesia.

Setelah perang dunia kedua selesai, usaha penanaman hibrida dihidupkan kembali. Roelofsen (59) mengatakan bahwa kemungkinan untuk hibrida di Indonesia masih sangat kecil karena kenaikan daya hasil sebesar 20% tidak dapat mengimbangi harga benih yang mahal. Akhirnya diputuskan untuk menghasilkan jenis varietas bersari bebas karena benihnya lebih murah.

Pada tahun 1983 disusun suatu Rencana Penelitian Jagung Hibrida Nasional yang lalu dimantapkan pada tahun berikutnya. Akan tetapi belum setahun program itu dilaksanakan, sebuah perusahaan swasta memasukkan hibrida C1 ke Indonesia, dan langsung mulai merintis perluasan hibrida secara gencar. Perluasan penanaman hibrida ini merupakan bukti bahwa perusahaan swasta dapat berperan secara efektif membantu pemerintah dalam pendidikan petani dan pembangunan pertanian, melalui media televisi, surat kabar, baik dalam bentuk berita maupun iklan dan petak-petak demonstrasi.

Tidak semua hibrida yang telah dilepas, baik yang dirakit oleh perusahaan swasta maupun badan pemerintah diterima dan ditanam secara luas oleh petani. Dari pemantauan sementara, petani mempunyai tipe tanaman yang mereka senangi (ideotype) antara lain daya hasil tinggi, batang harus tegap, batang dan tongkol tidak terlalu tinggi, dan tahan rebah. Hibrida C1 mempunyai tipe tanaman yang paling mendekati ideotype petani, dan sejak dilepas sampai sekarang tetap merupakan hibrida yang paling populer.

Kkeuntungan dan Kelemahan Hibrida

Hibrida merupakan cara produksi jagung yang belum meluas di Indonesia, meskipun telah banyak mengubah cara produksi jagung di berbagai negara seperti di Amerika Serikat, negara perintis jagung hibrida, serta India, Muangthai, dan Taiwan. Semula, penanaman hibrida secara besar-besaran di negara-negara tersebut dianggap tidak praktis; banyak faktor-faktor yang sudah klasik yang selalu dikemukakan dapat menghambat perluasannya. Banyak yang berpendapat bahwa pembuatan hibrida merupakan pekerjaan yang penuh risiko kegagalan, memerlukan banyak waktu, tenaga, fasilitas, dan perbendaharaan berupa koleksi galur-galur (inbrida) yang sangat besar. Meskipun pembuatan hibrida tidak sulit, untuk memperoleh hibrida unggul diperlukan banyak tenaga dan biaya.

Teknik produksi benih hibrida berbeda dengan teknik produksi benih varietas bersari bebas, setiap kali harus membuat persilangan antara kedua induknya, dan mempergunakan biji generasi pertama (F1) sebagai benih. Biji generasi kedua (F2) tidak lagi memberikan hasil setinggi generasi pertama. Untuk itu diperlukan latihan khusus bagi penangkar benih, dan biaya yang lebih besar daripada biaya produksi benih varietas bersari, bebas. Hal ini menyebabkan harga benih hibrida menjadi relatif lebih mahal daripada harga benih varietas bersari bebas. Umumnya produksi benih paling efisien untuk hibrida-hibrida silang tiga, silang ganda, dan silang puncak ganda, asalkan silang tunggal induk dipakai sebagai induk betina. Keuntungan menanam hibrida, sekalipun beragam dari daerah ke daerah, sudah sering dikemukakan (64).

Di samping itu masih banyak petani yang belum mendapat penyuluhan secara luas tentang hibrida sehingga industri benih swasta ikut memainkan peran penting dalam memperkenalkan teknologi hibrida kepada petani. Keuntungan penanaman hibrida menjadi sangat besar bila daya hasilnya semakin tinggi. Misalnya, kenaikan hasil 20% di atas daya hasil 5 t/ha nilainya 5 kali kenaikan 20% di atas daya hasil 1,5 t/ha. Penanaman hibrida dapat menaikkan produksi tanpa menambah dosis pupuk dan masukan lainnya; tetapi daya hasil akan menjadi lebih tinggi lagi bila pemupukan ditingkatkan.

Pemuliaan tidak hanya membuat varietas yang mempunyai daya hasil tinggi tetapi juga tahan terhadap penyakit utama, terutama penyakit bulai. Salah satu cara yang dapat dimanfaatkan adalah penanaman hibrida yang tahan penyakit utama tersebut.

Penanaman hibrida mungkin dapat menunjang program

pemerintah meningkatkan dan menganeekaragamkan ekspor non-migas. Produksi jagung nasional masih kurang efisien, di samping itu kualitasnya belum dapat bersaing dengan jagung dari negara lain, terutama jagung dari Argentina, yang dalam pasaran internasional terkenal mempunyai mutu biji sangat tinggi, dengan warna, tipe, dan ukuran biji yang seragam. Argentina, di samping telah menerapkan teknologi hibrida, juga membatasi produksinya pada tipe biji semi gigi kuda, tipe biji gigi kuda dianggap kurang tahan bantingan, walaupun hasilnya tinggi.

Macam Hibrida

Hibrida dibuat dengan mempersilangkan dua inbrida yang unggul. Karena itu pembuatan inbrida unggul merupakan langkah pertama dalam pembuatan hibrida. Sebelum membahas pembuatan hibrida, perlu diketahui beberapa definisi berikut:

- Galur (inbrida) adalah strain murni dan telah mengalami penyerbukan sendiri (self pollination) paling sedikit selama enam generasi.
- Hibrida silang-tunggal adalah generasi pertama persilangan antara dua inbrida.
- Hibrida silang-tiga adalah generasi pertama persilangan antara satu inbrida dengan satu hibrida silang-tunggal.
- Hibrida silang-ganda adalah generasi pertama persilangan antara dua hibrida silang-tunggal.
- Hibrida silang-puncak-tunggal adalah generasi pertama persilangan antara satu inbrida dengan varietas bersari bebas.
- Hibrida silang-puncak-ganda adalah generasi pertama persilangan antara varietas bersari bebas dengan hibrida silang-tunggal.
- Hibrida varietas (varietal hybrid) adalah generasi pertama persilangan antara dua varietas bersari bebas.

DASAR-DASAR PEMBUATAN HIBRIDA

Secara singkat, kegiatan-kegiatan yang telah menghasilkan sukses besar jagung hibrida dalam praktek adalah:

1. Seleksi tanaman yang baik dalam populasi bersari bebas.
2. Menyerbuk-sendirikan tanaman-tanaman ini selama beberapa generasi untuk menghasilkan inbrida yang homozygous.
3. Persilangan antara inbrida-inbrida yang terpilih.

Semua ahli sependapat bahwa ketiga kegiatan yang disebut pada permulaan pembahasan ini telah menghasilkan kelebihan daya hasil

sebanyak 20% di atas daya hasil yang diharapkan dari varietas bersari bebas. Dalam interpretasi perolehan produktivitas, ketiga operasi ini sekedar mereproduksi genotipe populasi yang sama yang menandai materi-materi dari mana inbrida-inbrida berasal, jika:

1. Individu yang dijadikan inbrida dipilih secara acak.
2. Tidak terjadi seleksi selama proses inbriding.
3. Inbrida-inbrida disilangkan secara acak, termasuk juga penyerbukan sendiri.

Dengan kata lain, jika varietas bersari bebas diserbuk-sendirikan sampai mencapai fiksasi tanpa seleksi dalam bentuk apapun, dan jika inbrida-inbrida yang diperoleh disilangkan secara acak, maka daur tersebut hanya menghasilkan varietas bersari bebas yang semula. Karena itu perbaikan yang dicapai sesungguhnya disebabkan oleh seleksi selama berlangsungnya kegiatan-kegiatan tersebut.

Depresi Inbriding

Jika tanaman jagung diserbuk sendirikan maka keturunan yang diperoleh (inbrida S1) mempunyai vigor lebih rendah daripada tanaman S0 semula; daya hasil berkurang, tinggi tanaman lebih kecil, tongkol lebih kecil, dan lain-lain. Penurunan vigor ini masih berlanjut jika tanaman inbrida S1 diserbuk sendiri untuk menghasilkan inbrida S2. Turunnya vigor ini disebut depresi inbriding.

Sebaliknya jika dua inbrida yang berbeda disilangkan, maka keturunan yang diperoleh (hibrida F1) mempunyai vigor lebih besar daripada kedua inbrida induknya: daya hasil lebih tinggi, tanaman lebih tinggi, tongkol lebih besar, dan lain-lain. Bertambahnya vigor pada generasi F1 persilangan antara dua inbrida ini disebut gejala heterosis. Karena itu pula jagung hibrida pernah terkenal dengan nama jagung heterosis. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa depresi inbriding merupakan kebalikan dari gejala heterosis.

Walaupun penyerbukan sendiri telah banyak dilakukan pada jagung, tetapi informasi tentang berapa besarnya depresi inbriding untuk berbagai sifat agronomis jagung sangat sedikit. Dari penelitian-penelitian yang paling awal, diketahui pola pengaruh depresi inbriding, antara lain (1) semakin homozygous, vigor dan produktivitas inbrida semakin berkurang, dan sifat-sifat semakin mantap karena mengalami fiksasi; dan (ii) semakin homozygous, perbedaan antar inbrida semakin besar sedangkan variabilitas dalam inbrida semakin kecil. Pengaruh inbriding telah diterangkan berdasarkan teori Mendel (58) sebagai akibat fiksasi allele-allele yang menjadi homozygous. Dalam penelitian-penelitian

tersebut biasanya hanya dilaporkan nilai rata-rata inbrida serta sebaran frekuensinya, sedangkan besarnya depresi inbriding tidak dilaporkan. Selain itu umumnya jumlah inbrida yang diteliti terlalu sedikit dan pengamatan untuk generasi yang berbeda dilakukan dalam musim yang berbeda. Karena itu estimasi yang didapat mengalami bias oleh pengaruh lingkungan dalam tahun yang berbeda, sehingga galat dengan estimasi menjadi besar.

Penelitian klasik tentang depresi inbriding dilakukan oleh Jones (24). Penelitian semula dilakukan dengan 12 penyerbukan sendiri dalam varietas bersari bebas pada tahun 1904 dan laporan yang pertama disampaikan oleh East dan Hayes (10). Jones (23) melaporkan tentang 11 generasi penyerbukan sendiri yang pertama dalam 4 inbrida untuk daya hasil dan tinggi tanaman. Pengukuran dilakukan pada tiap tahun penyerbukan sendiri. Selama penyerbukan sendiri terjadi penurunan daya hasil dan tinggi tanaman secara perlahan, tetapi pengaruh lingkungan untuk estimasi depresi inbriding juga sangat nyata. Misalnya daya hasil inbrida 1/6/1/3 adalah 4,92 t/ha dalam generasi S1 dibanding 1,73 dan 1,59 t/ha dalam generasi ke 5 dan 9 (23).

Penyerbukan sendiri diteruskan sampai generasi ke-30 untuk tiga inbrida dan hasilnya dilaporkan oleh Jones (24). Karena pengaruh lingkungan dalam setiap generasi sangat nyata, ia menggabungkan hasil pengamatan untuk tiap 5 generasi. Kecenderungan menurun untuk daya hasil terjadi terus-menerus selama 30 generasi penyerbukan sendiri, tetapi tingkat tongkol tidak menunjukkan penurunan sesudah 5 generasi. Regresi linier untuk nilai rata-rata terhadap homozygosis tinggi adalah sama untuk masing-masing inbrida untuk daya hasil dan tinggi tanaman. Tinggi tanaman turun 29% dan 'daya hasil turun 79% sesudah 30 generasi penyerbukan sendiri. Pengaruh penyerbukan sendiri terhadap kedua sifat sangat berbeda. Sesudah 5 generasi, tinggi tanaman turun 30% dengan sedikit sekali perubahan sesudahnya; daya hasil turun terus menerus selama penyerbukan sendiri, dan berkurang sebanyak 75% pada generasi 20.

Jones (24) mengutarakan sebab-sebab adanya perbedaan tingkat depresi inbriding untuk kedua sifat tersebut. Karena tingkat heterozygosis berkurang 50 % setiap penyerbukan sendiri, pencapaian stabilitas yang lebih cepat untuk tinggi tanaman disebabkan lebih sederhananya pewarisan tinggi tanaman daripada pewarisan daya hasil.

Estimasi untuk depresi inbriding dihitung dengan membuat regresi nilai rata-rata berbagai generasi inbriding terhadap tingkat homozygositas. Estimasi depresi inbriding untuk daya hasil diberikan dalam kg/ha atau g/tanaman. Untuk daya hasil rata-rata dapat diharapkan penurunan 50 kg/ha atau 1,2 g/tanaman untuk setiap

pertambahan homozygositas sebesar 1 %.

Heterosis

Gejala heterosis atau vigor hibrida telah dimanfaatkan secara luas dalam teknologi hibrida, yaitu generasi pertama (F1) persilangan antara dua inbrida. Ironinya, walaupun pemanfaatan gejala heterosis telah berlangsung dengan sukses sejak tahun 1935, tetapi para ahli genetika belum mengetahui secara pasti dasar-dasar genetis yang menyebabkan gejala heterosis. Sampai saat ini mereka masih berbeda pendapat dan hanya berhasil menyusun hipotesis-hipotesis. Para ahli genetika telah mengemukakan dua hipotesis yang paling utama yang berbeda yaitu hipotesis "dominan" dan hipotesis "overdominan".

Masing-masing hipotesis mempunyai kekuatan dan kelemahan. Hallauer (16) menyatakan bahwa untuk keperluan dalam praktek pemuliaan tanaman, tampaknya banyak kenyataan yang mendukung hipotesis bahwa heterosis disebabkan oleh akumulasi faktor-faktor tumbuh yang baik dan dominan (dominance hypothesis). Hasil-hasil percobaan heterosis beberapa sifat agronomis dan hasil-hasil seleksi bertahap (recurrent selection) yang dilakukan juga mendukung hipotesis dominan (46). Penelitian ini mempergunakan enam genotipe yang berupa populasi asal (C0), populasi daur kedelapan (C8) dari program seleksi bertahap dalam populasi MoSQA dan MoSQB, untuk kekuatan batang dan daya hasil, dan persilangan populasi daur kedelapan (C8) dengan populasi asalnya masing-masing (C0) yaitu: 1) MoSQA. C0; 2) MoSQA.C8; 3) MoSQA. C8 x MoSQA. C0; 4) MoSQB. C0; 5) MoSQB. C8; 6) MoSQB. C8 x MoSQB. C0.

Perbandingan antara generasi pertama (F1) persilangan populasi awal (C0) dan populasi daur delapan (C8) terhadap nilai rata-rata C0 dan C8 (nilai rata-rata kedua induk) menunjukkan perbedaan yang sangat nyata untuk daya hasil dalam MoSQA (12,61%) dan MoSQB (10,62 %); perbedaan nyata untuk bobot biji dalam MoSQA (2,58%); perbedaan sangat nyata untuk bobot biji dalam MoSQB (4,04%); perbedaan sangat nyata untuk ketahanan biji terhadap pecah dalam populasi MoSQA (1,51 %); dan perbedaan nyata untuk tinggi tongkol dalam populasi MoSQA (3,82%). Ini menunjukkan bahwa dalam persilangan (C8 x C0) dari sifat-sifat agronomis yang diteliti yang memperlihatkan gejala heterosis dengan nyata adalah: daya hasil, bobot biji, ketahanan biji terhadap pecah, dan tinggi tongkol. Sedangkan kekuatan batang, berat 5 cm batang, kadar protein, dan persentase rebah tidak memperlihatkan gejala heterosis.

Seleksi bertahap untuk kekuatan batang dan daya hasil pada populasi MoSQA dan MoSQB telah berhasil memperbaiki kekuatan batang dan daya hasil. Selama delapan daur seleksi, kekuatan batang populasi MoSQA naik 242,4 kg atau 74,2%, dan populasi MoSQB naik 224,6 kg atau 78,5 %, dan daya hasil populasi MoSQA naik 0,95 t/ha atau 16,6 %, walaupun kecenderungan ini tidak tampak dalam MoSQB. Ini berarti bahwa seleksi telah menaikkan frekuensi gen atau allele untuk daya hasil dan frekuensi gen atau allele untuk kekuatan batang. Dengan kata lain frekuensi gen untuk daya hasil dan gen untuk kekuatan batang pada populasi C8 lebih tinggi daripada populasi C0.

Falconer (12) mengemukakan bahwa heterosis akan tampak bila terdapat syarat-syarat berikut (i) adanya pengaruh dominan; (ii) adanya perbedaan frekuensi gen di antara kedua induk persilangan. Gejala heterosis tidak akan tampak kalau salah satu atau kedua syarat tersebut tidak terpenuhi. Secara matematik besarnya heterosis adalah:

$$h = (p - r)^2d$$

di mana p adalah frekuensi gen yang baik dan dominan dari salah satu populasi induk; r adalah frekuensi gen yang sama dalam populasi induk yang lain; dan d adalah pengaruh dominan. Jelas bahwa heterosis bergantung pada perbedaan frekuensi gen antara kedua populasi induk, dan adanya pengaruh dominan.

Seleksi bertahap untuk kekuatan batang dan daya hasil pada dua populasi asal MoSQA dan MoSQB pada saat penelitian ini dilakukan telah mencapai daur delapan (C8) dan berhasil memperbaiki kekuatan batang dan daya hasil serta sifat-sifat lainnya yang mempunyai korelasi sangat nyata dan positif dengan kekuatan batang dan daya hasil (40). Ini berarti bahwa frekuensi gen untuk sifat-sifat tersebut dalam populasi C8 lebih tinggi daripada populasi C0, sehingga persilangan (C8 x C0) harus memperlihatkan heterosis untuk sifat-sifat yang mana pengaruh dominan ikut memegang peranan.

Kekuatan batang dan daya hasil yang dalam penelitian ini dipakai sebagai kriteria seleksi, mempunyai pola tingkah laku berbeda walaupun keduanya sama-sama mengalami kenaikan selama delapan daur seleksi. Daya hasil memperlihatkan gejala heterosis dalam persilangan (C8 x C0) sedangkan kekuatan batang tidak. Perbedaan tingkah laku kedua sifat ini hanya dapat diterangkan berdasarkan hipotesis dominan (dominance hypothesis), tentang gejala heterosis. Seleksi bertahap untuk kekuatan batang dan daya hasil telah menaikkan frekuensi gen atau allele untuk daya hasil dan gen atau allele untuk kekuatan batang dalam populasi MoSQA dan MoSQB. Frekuensi gen untuk kekuatan batang dan gen untuk daya hasil pada populasi C8 lebih tinggi daripada populasi C0.

Arnold dan Josephson (4) dalam penelitiannya tentang cara

penurunan sifat-sifat batang dengan metode analisis rata-rata generasi, mendapatkan bahwa pengaruh dominan tidak penting untuk sifat-sifat batang (kekuatan batang dan ketebalan kulit batang). Jadi walaupun ada perbedaan frekuensi gen untuk kekuatan batang antara populasi C8 dan C0 tetapi karena tidak ada pengaruh dominan untuk kekuatan batang maka sifat ini tidak memperlihatkan gejala heterosis dalam persilangan (C8 x C0).

Sebaliknya untuk daya hasil, Hallauer (16) telah membuat ringkasan hasil penelitian tentang pewarisan daya hasil, yang melaporkan bahwa ragam dominan memegang peranan penting dalam pewarisan daya hasil. Hadirnya pengaruh dominan dalam pewarisan daya hasil dan perbedaan frekuensi gen untuk daya hasil populasi C8 dan populasi C0, menyebabkan daya hasil memperlihatkan gejala heterosis. Akibatnya secara tidak langsung penelitian ini mendukung dominance hypothesis; hanya hipotesis dominan yang dapat menerangkan mengapa dalam persilangan (C8 x C0) daya hasil MoSQA maupun MoSQB memperlihatkan gejala heterosis sedangkan kekuatan batang tidak.

Implikasi penemuan ini dalam pembentukan hibrida adalah bahwa ada dua golongan sifat agronomis jagung. Golongan pertama adalah sifat agronomis yang memperlihatkan tanggapan heterosis, dan golongan kedua adalah sifat agronomis yang tidak memperlihatkan tanggapan heterosis. Kenyataan ini harus diketahui oleh pemulia tanaman yang akan memperbaiki sifat tertentu dalam hibrida yang dibentuk. Perbaikan sifat yang termasuk dalam golongan pertama dilakukan di samping dengan cara membuat inbrida induk yang memiliki keunggulan aditif sifat yang dimaksud, juga perbaikan tambahan yang terjadi karena heterosis dalam hibrida F₁. Sebaliknya untuk perbaikan sifat yang termasuk dalam golongan kedua, perbaikan terutama dilakukan dengan cara membuat inbrida yang memiliki keunggulan aditif sifat yang dimaksud, tetapi tidak dapat mengharapkan perbaikan tambahan yang terjadi karena heterosis dalam hibrida F₁.

Plasma Nutfah

Pemilihan plasma nutfah sangat penting dalam program pemuliaan. Pemulia tanaman, berdasarkan pengalaman dan data pengujian, dapat menemukan populasi-populasi yang baik untuk sumber inbrida. Perbedaan-perbedaan antara bahan-bahan pemuliaan disebabkan oleh perbedaan-perbedaan kandungan gen-gen yang telah ada di dalamnya serta seleksi yang telah dilakukan sebelumnya, sehingga menghasilkan kumpulan gen-gen yang baik dengan frekuensi yang lebih

tinggi. Jika gen-gen untuk sifat yang diinginkan memang tidak ada, usaha pemulia tanaman tidak akan berhasil, meskipun seleksi dilakukan dengan sabar dan dengan metode yang baik. Karena itu ada dua keputusan yang penting dari pemulia tanaman dalam program pemuliaan: pada waktu memilih plasma nutfah, dan pada waktu memilih prosedur pemuliaan.

Pemulia tanaman telah menyadari pentingnya diversitas genetik plasma nutfah. Terjadinya gejala heterosis, sangat tergantung pada adanya perbedaan-perbedaan frekuensi gen-gen dari induknya. Dengan adanya tanggapan heterosis yang terjadi dalam persilangan-persilangan pemulia tanaman telah mengutamakan persilangan-persilangan antara bahan-bahan induk atau populasi-populasi yang jauh berbeda. Seleksi-seleksi yang telah lampau, baik seleksi alamiah maupun seleksi oleh manusia, yang terjadi di daerah-daerah yang berbeda, menghasilkan plasma nutfah yang mempunyai bentuk-bentuk fenotipe yang jauh berbeda, dan frekuensi gen-gen yang berbeda untuk sifat-sifat yang sama seperti terbukti dengan terjadinya heterosis dalam persilangan-persilangan.

Banyak cara klasifikasi plasma nutfah telah dikemukakan para ahli, tetapi usaha sungguh-sungguh untuk klasifikasi plasma nutfah baru dilakukan setelah Anderson dan Cutler (3) meneliti keragaman di antara koleksi-koleksi plasma nutfah, dan membuat konsep ras (race of maize). Ras adalah satu gugus yang terdiri dari individu-individu yang memiliki ciri-ciri bersama yang cukup. Untuk lebih jelasnya, satu ras adalah sejumlah varietas-varietas dengan sifat-sifat bersama yang cukup untuk mengenalnya sebagai satu golongan. Jadi mereka telah membuat cara deskripsi yang lebih alamiah. Anderson mempergunakan definisi ini untuk klasifikasi plasma nutfah jagung, dan konsep ini telah dipergunakan secara luas. Klasifikasi Anderson lebih berguna dalam usaha menelusuri asal-usul berbagai ras.

Welhausen (65) menyatakan bahwa semua ahli sependapat bahwa apa yang disebut ras memang betul-betul ada, dan mempunyai ciri-ciri berupa serangkaian sifat-sifat yang membuat satu ras dapat dibedakan dari yang lain. Tingkat perbedaan antar ras tidak selalu sama, tetapi semua ras tampaknya mempertahankan identitas mereka dari generasi ke generasi. Untuk memperbaiki definisi ras, Brieger (5) menyatakan bahwa ras dapat didefinisikan sebagai suatu gugusan populasi-populasi yang mempunyai sejumlah sifat-sifat bersama yang cukup, mempertahankan dirinya melalui persarian bebas dan menempati suatu daerah tertentu. Definisi ini menggambarkan ras sebagai suatu populasi kawin acak yang mempunyai sifat-sifat genetik dan fenotipis tertentu. Kesulitan yang timbul dalam membuat definisi ras sama dengan kesulitan dalam membuat

definisi spesies, yaitu bahwa selalu ada perkecualian dalam definisi umum.

Konsep ras merupakan karya penting dalam usaha membuat klasifikasi plasma nutfah jagung. Tetapi ras ditandai dengan sifat-sifat kuantitatif yang seringkali sangat beragam. Penggunaan sifat kuantitatif dalam sistem klasifikasi lebih alamiah daripada penggunaan sifat-sifat kualitatif, meskipun sifat kuantitatif sangat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan. Sifat-sifat yang paling sedikit dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan dan interaksi dengan faktor-faktor lingkungan adalah sifat-sifat alat produksi, misalnya, tongkol dan biji. Sifat-sifat ini mempunyai komponen keragaman yang lebih besar daripada jumlah komponen keragaman untuk tahun dan interaksi dengan ras. Sifat-sifat vegetatif cenderung mempunyai interaksi dengan faktor lingkungan yang lebih besar. Karena itu sifat-sifat alat produksi tampaknya merupakan indikator ras yang lebih baik daripada sifat-sifat vegetatif.

Populasi jagung biasanya disimpan dan dipelihara dari tahun ke tahun dengan persilangan buatan. Omolo dan Russel (51) dalam percobaannya melaporkan bahwa 200 tanaman cukup untuk memelihara populasi heterogen dengan persilangan buatan. Jika sedikit inbreeding masih diperbolehkan, 80 tanaman saja juga sudah cukup. Hasil percobaan mereka menekankan pentingnya jumlah tanaman (population size) untuk mempertahankan keragaman genetik (genetic variability) yang dimiliki populasi.

Sifat-sifat yang dipergunakan untuk klasifikasi plasma nutfah adalah:

1. Sifat-sifat vegetatif, misalnya, tinggi tanaman, jumlah daun dan jumlah daun di atas tongkol.
2. Sifat-sifat bunga jantan, misalnya panjang bunga jantan, jarak antara cabang-cabang dan jumlah cabang.
3. Sifat-sifat tongkol: diameter tongkol, panjang tongkol, dan jumlah baris biji; diameter dan panjang tangkai tongkol; jumlah kelobot; lebar, tebal, panjang biji, dan lekukan biji (denting), dan diameter janggal.
4. Sifat-sifat fisiologis, genetik dan sitologis, misalnya umur berbunga, warna batang, warna janggal, khromosom knobs, dan khromosom.

Sifat-sifat ini secara garis besar dapat menggambarkan susunan plasma nutfah. Sebanyak 276 ras telah tercatat di benua Amerika (tidak termasuk Amerika Serikat). Sudah tentu ada tumpang tindih ras antar negara dan daerah, tetapi klasifikasi dan koleksi ini berhasil membedakan ras yang memang berbeda. Penggolongan ras ini memberikan informasi tentang hubungan antara ras dan sangat berguna bagi pemulia tanaman dalam memilih plasma nutfah. Varietas-varietas lokal nasional berasal dari populasi yang telah mengalami adaptasi ratusan tahun.

Populasi-populasi ini dibawa oleh orang-orang Portugis dan Spanyol pada abad ke-15 dari Eropa. Karena itu barangkali masuk akal kalau dianggap bahwa varietas-varietas lokal yang lama, mempunyai hubungan langsung dengan salah satu dari ras yang ada di Eropa. Klasifikasi plasma nutfah Eropa sendiri telah dilakukan oleh Leng *et-al.* (27).

Teknik Persilangan

Jagung merupakan tanaman dengan penyerbukan silang (*cross fertilized crop*). Untuk memperoleh persilangan yang diinginkan perludilakukan persilangan buatan. Bunga jantan (*tassel*) ditutup dengan kantong (*tassel bag*). Biasanya bunga jantan keluar beberapa hari sebelum keluarnya rambut tongkol dari tanaman yang sama dan segera menyebarkan tepung sari (*pollen*) selama 3-4 hari atau lebih lama lagi.

Untuk melakukan penyerbukan sendiri (*self pollination*), tongkol ditutup sebelum rambutnya keluar. Setelah rambut keluar, tepung sari (*pollen*) ditaburkan ke atas rambut tongkol, dan tongkol ditutup dengan kantong yang semula dipakai untuk mengumpulkan tepung sari.

Untuk menutup rambut tongkol dipergunakan kantong transparan (*shoot bag*) berukuran 7,5-8 cm lebar dan 25-30 cm panjang. Untuk menutup bunga jantan dipergunakan kantong kertas tebal (*tassel bag*) dengan perekat tahan air, berukuran lebar 25 cm dan panjang 35-40 cm. Dengan memakai kertas transparan untuk menutup tongkol, dapat dilihat apakah rambut tongkol telah keluar atau belum. Di Sukamandi, plastik memberikan hasil yang cukup baik.

Seluruh permukaan rambut merupakan bagian yang subur (*receptive*) untuk tepung sari, dan tidak boleh terbuka untuk tepung sari. Tepung sari yang tidak diinginkan tidak boleh jatuh di atasnya.

Penutupan bunga jantan dilakukan pada waktu panjang rambut tongkol 2,5-5 cm dan tepung sari sudah mulai tersebar. Tutup ini dibiarkan selama 24 jam untuk mengumpulkan tepung sari. Pada saat membuka tutupnya, harus diperhatikan agar tepung sari tidak terhambur-hambur. Tepung sari harus ditaburkan di atas rambut sedemikian rupa sehingga tidak tercemar oleh tepung sari lain yang tidak diinginkan.

Kadang-kadang harus diperhatikan jangan sampai ujung tongkol yang runcing menembus penutup tongkol sehingga rambut yang masih subur terbuka keluar. Tutup bunga jantan yang menutup tongkol yang telah dikawinkan dibiarkan sampai masanya dipungut.

Umur tepung sari berpengaruh terhadap banyaknya biji yang terbentuk pada tongkol. Tepung sari yang terlalu tua dan cuaca yang terlalu panas, menghambat pertumbuhan tabung sari (*pollen tube*) dan akan menghasilkan biji yang tidak berisi yang disebut partenokarpi (*parthenocarp*). Cuaca yang sangat panas dan kering mempunyai pengaruh buruk terhadap tepung sari. Tepung sari mempunyai kadar air kira-kira 57% dan akan kehilangan air dengan cepat bila udara berkelembaban rendah, tetapi tetap hidup pada kadar air 40-50%. Tepung sari yang berada dalam kantong persilangan di lapangan terbuka hanya dapat bertahan selama 3 jam pada suhu 35° C, tetapi pada 30° C akan tahan sampai 30 jam.

Meskipun bunga jantan mengeluarkan tepung sari secara bertahap, saat penyebaran tepung sari dengan saat keluarnya rambut tongkol perlu diperhatikan. Sebagian besar galur (*inbrida*) dan hibrida bersifat protandrous, artinya menyebarkan tepung sari satu atau dua hari sebelum keluar rambut tongkol. Hubungan ini beragam dan merupakan sifat keturunan. Dalam beberapa *inbrida*, keluarnya rambut terlambat sampai semua tepung sari sudah habis terhambur.

Persentase biji pada tongkol dalam silang tunggal tidak menurun sampai rambut berumur 10 hari. Setelah 14 hari, persentase pembentukan biji turun dengan sangat nyata. Ujung tongkol akan kosong jika persilangan dilakukan terlalu awal; sebaliknya hanya bagian ujung tongkol yang berbiji bila persilangan terlambat dilakukan, misalnya pada hari ke-12 atau 14 setelah keluarnya rambut. Rambut tongkol tetap subur sampai kira-kira 10 hari.

Persilangan bisa berhasil kapan saja selama sehari, dalam keadaan yang baik, tetapi bila suhu udara tinggi dan kelembaban rendah, persilangan paling baik dilakukan pada pagi hari. Hal ini berkaitan dengan kadar air rambut tongkol.

SISTEM PEMBUATAN INBRIDA

Pembuatan *inbrida* jagung biasanya dilakukan dengan penyerbukan sendiri karena dengan cara ini homozigositas dapat dicapai lebih cepat. Penyerbukan sendiri merupakan bentuk *inbriding* yang ekstrim di antara cara-cara lain yang lebih moderat untuk menghasilkan *inbrida* yang memiliki vigor lebih baik (17, 26, 28, 32, 63). Secara teori, cara-cara yang moderat menyebabkan fiksasi gen-gen yang merusak lebih lambat daripada penyerbukan sendiri. Sebaran macam zygote keturunan hasil penyerbukan sendiri ditentukan oleh sebaran macam gamet dari tanaman yang diserbukan sendiri. Seleksi selama *inbriding* berikutnya

sudah tertentu dalam batas-batas genotipe tanaman S0 semula yang diserbukkan sendiri. Tetapi jika persilangan antar saudara dipakai untuk inbriding, maka fiksasi allele yang merusak berlangsung lebih lambat dan memberi kesempatan seleksi lebih luas.

Kerugian dan keuntungan inbriding cepat harus dipertimbangkan, yaitu apakah keuntungan seleksi selama inbriding lebih besar daripada keuntungan laju pencapaian homozygositas yang lebih cepat dengan penyerbukan sendiri. Keuntungan penyerbukan inbrida dari inbrida Lain Dengan cara ini, inbrida baru dibuat dengan jalan menyilangkan dua inbrida, dan disebut seleksi kumulatif. Cara ini dimulai dengan pemeliharaan inbrida-inbrida seperti biasa, ditambah dengan serangkaian persilangan antara inbrida-inbrida yang baik. Biasanya inbrida yang diperoleh dari persilangan dua inbrida induk yang mempunyai daya gabung baik, juga mempunyai sifat demikian.

Tahap-tahap pelaksanaan seleksi ini dapat dilakukan sebagai berikut:

- Musim 1 Serbuk sendiri kira-kira 500 tanaman yang terbaik untuk memperoleh biji S1
- Musim 2 Tanam tongkol S1 yang terbaik dari musim 1. Tanaman yang baik diserbuk sendiri lebih lanjut ntuk memperoleh biji S2
- Musim 3 Tanam tongkol S2 yang terbaik dari musim 2, dari tanaman yang terbaik dan tahan penyakit; serbuk sendiri tanaman yang terbaik untuk memperoleh biji S3.
- Musim 4 Tanam tongkol S3 yang terbaik dari tanaman terbaik musim 3. Serbuk sendiri tanaman yang terbaik untuk memperoleh biji S4. Galur-galur sekarang juga disilangkan dengan tester (penguji) tertentu untuk membuat silang-puncak.
- Musim 5 Serbuk sendiri lebih lanjut tanaman S4 dari tongkol musim 4. Lakukan pengujian 'silang-puncak yang dibuat pada musim 4.
- Musim 6 Serbuk sendiri galur S5 yang bijinya berasal dari tanaman S4 musim 5, sehingga diperoleh biji S6. Buat berbagai persilangan antara galur-galur S5 yang berdasarkan pengujian daya hasil silang-puncak menunjukkan hasil tinggi.
- Musim 7 Mulai diadakan penyerbukan sendiri hasil persilangan antar galur S5 yang dibuat pada musim 6.

Seleksi Visual Selama Inbriding

Walaupun biasanya dilakukan seleksi ketat untuk berbagai sifat selama pembuatan galur inbrida, masih ada perbedaan pendapat di antara pemulia tanaman tentang efikasi seleksi ini. Kiesselbach, salah satu peneliti terdahulu yang meneliti masalah ini melaporkan pada tahun 1922 bahwa ada korelasi antara daya hasil galur inbrida dengan daya

hasil hibrida yang mereka hasilkan. Kemudian beberapa peneliti lainnya mengetengahkan bukti bahwa ada korelasi fenotipe yang nyata antara berbagai sifat inbrida dan hibrida (62). Tetapi pada umumnya, korelasi ini terlalu kecil untuk dipakai dalam peramalan. Dua percobaan yang lebih belakangan agak sedikit bertentangan. Sprague dan Miller (62) mendapatkan bukti yang menunjukkan bahwa seleksi visual untuk daya hasil selama inbriding tidak efektif tetapi seleksi untuk ketahanan rebah selama inbriding sangat penting. Sebaliknya, Osler, Welhausen dan Palacios dari percobaan-percobaannya menyimpulkan bahwa seleksi visual selama inbriding dari generasi ke generasi menghasilkan perbaikan nyata, bukan saja penampilan tongkol dan penampilan tanaman dalam sebagian terbesar dari 134 kombinasi hibrida, tetapi juga daya hasil (66).

Terlepas dari perlu tidaknya seleksi dalam perbaikan kemampuan hibrida, para peneliti sependapat bahwa seleksi selama inbriding sangat berguna untuk mencapai tujuan dalam pembuatan galur inbrida. Dengan demikian seleksi sangat efektif dalam memperbaiki sifat-sifat galur inbrida sendiri. Dengan cara ini, seleksi berfungsi memusnahkan galur-galur yang sulit diperbanyak dan karena itu tidak berguna dalam praktek komersial walau mungkin menghasilkan hibrida yang baik.

Berikut ini akan dibahas sumbangan seleksi selama ketiga kegiatan hibrida jagung dibuat. Kegiatan yang pertama, yaitu memilih tanaman yang akan diserbuk sendiri, setara dengan seleksi massa selama satu generasi. Dalam praktek terlihat bahwa varietas-varietas bersari bebas jagung dibuat dengan seleksi massa oleh banyak petani pemulia tanaman, masing-masing memilih tanaman-tanaman terbaiknya. Bila dilakukan selama jumlah generasi yang banyak, cara ini merupakan cara yang efektif untuk memperbaiki sifat-sifat yang heritabilitasnya tinggi dan bahkan barangkali daya hasil. Tetapi banyak bukti menunjukkan bahwa seleksi massa tidak mampu mendatangkan perubahan daya hasil yang cepat dan tidak dapat mengubah daya hasil dengan nyata hanya dalam satu generasi. Karena itu kenaikan daya hasil secara dramatis dengan penggunaan varietas hibrida, tidak dapat hanya disebabkan oleh satu kegiatan dengan mana individu-individu tanaman yang akan dipakai untuk membuat inbrida diisolasi dari populasi bersari bebas. Jadi keberhasilan jagung hibrida bukan karena kenyataan bahwa individu-individu tanaman bahan dasar inbrida diseleksi dengan hati-hati dan tidak diambil secara acak dari populasi bersari bebas.

Juga ada kesulitan untuk menerima pandangan bahwa keberhasilan jagung hibrida adalah berkat seleksi selama proses inbriding. Inbriding sangat efisien dalam membawa gen resesif, yang bila homozygous menurunkan daya hasil sehingga pemulia tanaman dapat memusnahkannya. Tetapi walaupun efisiensi seleksi ini sempurna, masih

diragukan apakah pemurnian stok seperti ini mempunyai banyak pengaruh pada dayahasil. Kesimpulan ini diperkuat oleh hasil persilangan secara acak antara inbrida-inbrida. Pada masa-masa permulaan penelitian jagung hibrida, sudah merupakan kebiasaan untuk membuat dan menguji silang tunggal sebanyak mungkin di antara inbrida-inbrida yang tersedia.

Walaupun semua hibrida antara inbrida-inbrida mempunyai daya hasil lebih tinggi daripada inbrida-inbrida induknya, banyak silang tunggal mempunyai daya hasil lebih rendah daripada varietas bersari bebas asalnya, dan hanya sedikit yang lebih unggul daripada varietas bersari bebas asalnya. Daya hasil rata-rata sekelompok hibrida F1 dari kombinasi acak inbrida-inbrida yang berasal dari satu varietas bersari bebas kira-kira sama dengan daya hasil varietas bersari bebas darimana inbrida-inbrida tersebut berasal. Jadi seleksi dalam tahap 1 dan 2, tanpa seleksi pada tahap 3 dalam pembentukan hibrida hanya menghasilkan sedikit kenaikan produktivitas.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa seleksi yang dilaksanakan selama proses inbriding hanya menyumbang sebagian kecil saja dari perolehan daya hasil yang telah dicapai dalam pembentukan hibrida. Karena itu perbedaan produktivitas antara varietas bersari bebas dan hibrida sekitar 20% disebabkan terutama oleh seleksi selama tahap 3, yaitu seleksi antar inbrida yang akan disilangkan.

Dalam penyusunan metode untuk seleksi inbrida yang dapat berkombinasi dengan baik untuk menghasilkan hibrida unggul, terdapat dua kenyataan. Pertama, kemajuan ke arah pembentukan hibrida silang-ganda yang daya hasilnya tinggi sangat lambat, menunggu sampai tersedia jumlah inbrida yang banyak untuk diuji dalam kombinasi-kombinasi dengan inbrida lain. Kedua, banyak pemulia tanaman masa itu berusaha membentuk hibrida silang ganda dengan mengombinasikan inbrida-inbrida secara acak. Cara ini kadang-kadang dapat menghasilkan hibrida silang ganda unggul; tetapi lebih banyak yang dapat dihasilkan dengan mengombinasikan inbrida-inbrida yang berbeda jauh, dengan metode dan aturan tertentu.

Sesudah dikembangkannya cara pendugaan daya hasil silang-ganda berdasarkan data daya hasil silang-tunggal, seleksi antar inbrida dapat dilaksanakan secara efisien dan laju kemajuan pembentukan silang-ganda menjadi lebih cepat. Dalam menyerbuk silang dengan cara inbriding langsung dari varietas bersari bebas, jumlah inbrida yang dibuat harus banyak. Pembuatan inbrida yang hanya sedikit mengakibatkan berkurangnya kandungan potensi genetik dibanding varietas bersari bebas asalnya. Penurunan kandungan potensi genetik seperti itu tidak akan terjadi, jika jumlah inbrida yang dibuat cukup

banyak. Dalam membuat kombinasi banyak inbrida ini, pemulia tanaman tidak hanya memusnahkan gen-gen resesif yang jelek, seperti pada seleksi selama proses inbriding, tetapi dapat memanfaatkan adanya beberapa, atau barangkali banyak kekuatan-kekuatan genetik yang dapat menghasilkan heterosis. Jadi, baik teori maupun pengalaman dalam praktek menunjukkan bahwa seleksi selama tahap ketiga dalam pembentukan hibrida lebih mendukung kemajuan pemuliaan daripada dalam tahap lainnya.

PENGUJIAN DAYA GABUNG INBRIDA

Contoh pembuatan inbrida untuk pembentukan hibrida dan uraian tentang prosedur pemuliaan yang dipergunakan telah dikemukakan (45). langkah berikutnya dalam perakitan hibrida adalah evaluasi daya gabung inbrida-inbrida dalam kombinasi hibrida.

Hibrida antara dua inbrida yang tidak mempunyai hubungan kerabat, selalu memperlihatkan kenaikan vigor dibanding inbrida-inbrida induknya. Tetapi dari ribuan inbrida yang telah diuji, sangat sedikit yang memperlihatkan heterosis yang cukup menguntungkan secara ekonomi. Pada tahun 1951 diperhitungkan bahwa di antara lebih dari 100.000 inbrida yang telah diuji pada waktu itu, hanya sekitar 60 yang cukup baik untuk pembentukan hibrida komersial. Walaupun saat ini ditanam beratus-ratus hibrida secara komersial, jumlah inbrida untuk membentuk hibrida-hibrida tersebut tidak banyak, dan beberapa inbrida yang populer ikut sebagai pembentuk hibrida-hibrida tersebut.

Nilai suatu inbrida pada akhirnya ditentukan oleh kemampuannya menghasilkan hibrida unggul dalam kombinasi dengan inbrida-inbrida lainnya. Pada mulanya, pengujian daya gabung (produktivitas dalam persilangan-persilangan) dilaksanakan secara langsung, dengan menyilangkan masing-masing inbrida dalam sebanyak mungkin inbrida lain. Mengingat bahwa sebanyak $n(n-1)/2$ silang-tunggal dapat dibuat dari n inbrida (dengan mengabaikan silang resiprokal), jelas pemulia dapat kewalahan jika inbrida yang akan diuji banyak. Kenyataan ini menyadarkan bahwa pembuatan inbrida merupakan masalah kecil dibandingkan dengan evaluasi inbrida, dan kesadaran ini mendorong penelitian besar-besaran untuk menciptakan prosedur pengujian inbrida yang efisien.

Uji daya gabung merupakan salah satu cara menilai kemampuan inbrida berdasarkan daya hasil silang-puncaknya dengan genotipe tertentu (penguji) seperti disarankan oleh Davis (8). Ia mengusulkan penggunaan silang-silang-puncak inbrida x varietas untuk menguji daya

gabung umum inbrida-inbrida. Data yang paling menyeluruh tentang manfaat cara ini dilaporkan oleh Jenkin dan Brunson pada tahun 1932 (19). Cara mereka mengevaluasi prosedur ini adalah membandingkan peringkat inbrida-inbrida seperti yang ditentukan oleh kemampuan silang-puncak inbrida x varietas dengan kemampuan rata-rata dari inbrida-inbrida yang sama dalam sejumlah kombinasi silang-tunggal. Ternyata inbrida-inbrida yang menghasilkan silang-puncak dengan daya hasil rendah juga menghasilkan hibrida-hibrida silang-tunggal dengan daya hasil rendah. Sebaliknya hibrida-hibrida silang-tunggal yang daya hasilnya tertinggi berasal dari persilangan-persilangan antara inbrida-inbrida yang menghasilkan silang-puncak dengan daya hasil tinggi. Korelasi antara daya hasil silang-puncak inbrida x varietas dan daya hasil rata-rata hibrida-hibrida silang-tunggalnya, yaitu antara daya gabung umum dan daya gabung rata-ratanya berkisar antara 0,53 sampai 0,90.

Berdasarkan hasil-hasil penelitian ini Jenkin dan Brunson menyimpulkan bahwa cukup aman untuk membuang setengah dari inbrida-inbrida yang diuji yang daya gabung umumnya rendah, tanpa ada risiko berat akibat hilangnya materi yang berharga. Setengah dari inbrida-inbrida selebihnya kemudian diuji dalam kombinasi silang-tunggal. Penelitian selanjutnya telah memperkuat kesimpulan ini, dan para peneliti telah sependapat bahwa pengujian silang-puncak merupakan cara yang cukup memuaskan untuk evaluasi daya gabung umum inbrida, terutama jika dilakukan dalam beberapa musim di beberapa lokasi.

Lokasi Pengujian

Masalah berikutnya yang dihadapi dalam klasifikasi inbrida untuk pembentukan hibrida adalah memilih lokasi pengujian dan penguji yang efisien untuk evaluasi daya gabung. Lokasi yang ideal adalah yang dapat memberikan variabilitas (sebaran) daya hasil lebih lebar bagi hibrida silang-puncak yang diuji. Parameter yang bisa dipakai sebagai tolok ukur efisiensi yaitu variabilitas (selang daya hasil silang-puncak) yang lebih lebar, dengan koefisien keragaman percobaan yang lebih kecil.

Contoh pengaruh lokasi terhadap pengujian daya gabung adalah yang dilakukan penulis pada tahun 1985 di Sukamandi, Kuningan, dan Magelang (42). Masing-masing lokasi memperlihatkan variabilitas daya hasil hibrida silang-puncak yang nyata. Selang harga untuk Kuningan (63,55%) dan Magelang (61,35%) lebih besar daripada Sukamandi (hanya 28,41 %). Simpangan baku juga memberikan informasi "yang sejalan: untuk Kuningan.(0,292t/ha) dan Magelang (0,242 t/ha) lebih besar daripada untuk Sukamandi (0,174 t/ha). Lokasi yang dapat memperlihatkan variabilitas lebih besar dapat membeda-bedakan

genotipe secara lebih jelas sehingga dapat memberikan klasifikasi inbrida secara lebih teliti dan efisien.

Ketiga lokasi pengujian daya gabung menghasilkan peringkat nisbi hibrida silang-puncak yang berbeda-beda, dan setiap lokasi memberikan inbrida unggul khasnya masing-masing. Sidik ragam gabungan juga menunjukkan adanya interaksi hibrida silang-puncak dengan lokasi yang sangat nyata. Ini berarti, walaupun pengujian daya gabung inbrida bukan merupakan pengujian daya hasil lanjutan, tetapi perlu dilakukan di lebih dari satu lokasi.

Variabilitas kemampuan hibrida silang-puncak dan peringkat nisbi hibrida silang-puncak bergantung pada lokasi. Sebagitu jauh tidak banyak laporan hasil pengujian daya gabung di lebih dari satu lokasi. Loeffel (29) dalam penelitian tentang kemantapan daya gabung inbrida dari generasi ke generasi, membuat kesimpulan berdasarkan percobaan di satu lokasi. Lonquist dan Lindsay (30) serta Horner et al. (18) menyatakan bahwa dalam seleksi untuk daya gabung, syarat yang penting adalah bahwa penguji yang dipakai harus heterogen secara genetis; daya gabung inbrida bukan merupakan sifat tetap, tetapi berubah-ubah tergantung pada susunan genetis penguji. Mereka sama sekali tidak menyebutkan lokasi sebagai faktor yang bisa mempengaruhi daya gabung relatif dari inbrida. Dalam penelitian ini, Moentono (48) berpendapat bahwa peringkat nisbi daya gabung inbrida tergantung pada lokasi. Mungkin baru Lopez dan Perez (31) yang melaporkan pengaruh interaksi hibrida silang-puncak dengan lingkungan. Dia mendapatkan interaksi silang-puncak x lingkungan sebesar setengah ragam antar silang-puncak.

Penguji yang Efisien dan Baik

Di atas telah dibahas hasil evaluasi daya gabung inbrida-inbrida dengan metode silang-puncak (47). Dalam evaluasi tersebut, variabilitas daya gabung inbrida bergantung pada lokasi. Lokasi yang lebih baik dan lebih efisien untuk evaluasi daya gabung adalah yang dapat memberikan variabilitas kemampuan silang-puncak lebih besar. Disamping itu ternyata pula bahwa inbrida berinteraksi dengan lokasi, sehingga masing-masing lokasi memperlihatkan peringkat nisbi daya gabung inbrida yang berbeda.

Masalah lain dalam pengujian daya gabung inbrida adalah memilih penguji (tester) yang lebih efisien, yaitu yang mampu memberikan variabilitas daya hasil hibrida silang-puncak yang lebih besar, sehingga dapat memberikan klasifikasi lebih teliti bagi inbrida yang diuji, dan berarti pula memungkinkan pengujian jumlah inbrida lebih besar (54).

Hasil pengujian hibrida silang-puncak dari seperangkat inbrida yang sama tetapi dengan penguji yang berbeda dapat memberi informasi yang diperlukan untuk menentukan penguji yang lebih baik dan efisien. Telah diuji masing-masing satu perangkat (set) inbrida di Magelang dan Sukamandi, dengan dua penguji (47). Di Sukamandi Pool 4 sebagai penguji, menghasilkan variabilitas daya hasil hibrida silang-puncak sebesar $4,2 \text{ t/ha} - 2,9 \text{ t/ha} = 1,3 \text{ t/ha}$, atau $124,9\% - 77,4\% = 47,5\%$ dari hibrida Cl; ini lebih besar daripada variabilitas daya hasil hibrida silang-puncak yang dihasilkan oleh populasi Cl sebagai penguji, sebesar $4,2 \text{ t/ha} - 3,2 \text{ t/ha} = 1,0 \text{ t/ha}$, atau $123,5\% - 94,0\% = 29,5\%$ dari populasi Cl.

Hasil yang sama juga diperoleh dari Magelang. Pool 4 menghasilkan variabilitas daya hasil hibrida silang-puncak sebesar $5,0 \text{ t/ha} - 3,6 \text{ t/ha} = 1,4 \text{ t/ha}$, atau $135,0\% - 98,0\% = 37,0\%$; ini lebih besar daripada variabilitas daya hasil hibrida silang-puncak yang dihasilkan oleh populasi Cl sebesar $5,0 \text{ t/ha} - 3,7 \text{ t/ha} = 1,2 \text{ t/ha}$, atau $119,9\% - 90,2\% = 29,7\%$.

Ternyata, baik dengan 54 inbrida dari set 1 yang diuji di Sukamandi maupun dengan 40 inbrida dari set 2 yang diuji di Magelang, penguji Pool 4 memberikan variabilitas daya hasil hibrida silang-puncak lebih besar daripada populasi Cl. Dengan kemampuan Pool 4 memberikan variabilitas daya hasil hibrida silang-puncak yang lebih besar, jumlah inbrida yang diuji dapat diperbesar tanpa mengorbankan kemampuan ketelitian membedakan inbrida yang diuji, sehingga efisiensi penguji lebih tinggi.

Rawling dan Thompson (54) menyatakan bahwa syarat bagi penguji yang baik adalah ketelitiannya dalam membedakan inbrida yang diuji; dengan dana dan daya tertentu mampu memberikan klasifikasi

paling teliti dari genotipe yang diuji sehingga memungkinkan pengujian jumlah inbrida yang lebih besar untuk tingkat ketelitian yang sama. Untuk membandingkan efisiensi nisbi beberapa penguji, dia juga mempergunakan variabilitas genotipe yang diuji sebagai tolok ukur, dan mengatakan bahwa penguji yang baik adalah yang dapat memberikan klasifikasi kemampuan nisbi inbrida dengan teliti, dan membeda-bedakan inbrida yang diuji secara efisien.

Pool 4 sebagai penguji untuk dua set inbrida (set 1 dan set 2) secara tetap menghasilkan variabilitas daya hasil hibrida silang-puncak lebih besar daripada populasi Cl; dengan kata lain, Pool 4 lebih efisien daripada populasi Cl.

Syarat lain yang harus dipenuhi oleh penguji yang baik adalah kemampuan memberikan daya hasil harapan maksimum paling tinggi bagi hibrida silang-puncaknya atau hibrida hasil persilangan inbrida-inbrida hasil seleksinya. Di Sukamandi, daya hasil maksimum hibrida silang-puncak yang dihasilkan oleh Pool 4 adalah 4,3 t /ha atau 127,8% dari hibrida Cl; sedangkan daya hasil maksimum hibrida silang-puncak yang dihasilkan oleh populasi Cl hanya 4,2 t/ha, atau 123,5% dari hibrida Cl. Pengujian di Magelang juga menunjukkan bahwa daya hasil maksimum hibrida silang-puncak yang dihasilkan oleh Pool 4 lebih besar daripada yang dihasilkan oleh populasi Cl. Daya hasil maksimum hibrida silang-puncak Pool 4 adalah 5,0 t /ha atau 135,0% dari hibrida Cl, sedangkan daya hasil maksimum hibrida silang-puncak yang dihasilkan oleh populasi -C1 hanya 5,0 t/ha atau 119,9% dari hibrida Cl.

Untuk pembentukan varietas bersari bebas, Allison dan Curnow (2) menyatakan bahwa penguji yang terbaik adalah yang dapat memberikan daya hasil setinggi-tingginya bagi populasi hasil persarian bebas genotipe-genotipe hasil seleksi. Sedangkan untuk pembentukan hibrida, mereka menyatakan bahwa penguji yang terbaik adalah penguji yang dapat memberikan daya hasil harapan paling tinggi bagi hibrida silang-puncaknya, atau hibrida hasil persilangan inbrida hasil seleksi.

Dengan kata-kata yang sedikit berbeda, Hallauer (15) menyatakan bahwa secara umum, penguji yang tepat harus dapat memberi informasi yang dapat membuat klasifikasi inbrida dengan tepat dan teliti dan bisa mendapat perolehan genetik (*genetic gain*) setinggi-tingginya.

Pool 4 sebagai penguji untuk 54 inbrida dari set 1 dan 40 inbrida dari set 2 memberikan daya hasil silang-puncak maksimum lebih tinggi daripada daya hasil maksimum hibrida silang-puncak yang dihasilkan oleh populasi Cl. Dengan kata lain, Pool 4 merupakan penguji yang lebih baik daripada populasi generasi lanjut hibrida Cl.

Cress (7) menyatakan bahwa memilih penguji yang baik adalah berdasarkan nilai rata-rata daya hasil hibrida silang-puncak yang dihasilkan. Jadi harus dipilih penguji yang bisa menghasilkan hibrida silang-puncak dengan daya hasil rata-rata paling tinggi, terutama jika silang-puncak itu sendiri yang akan dilepas untuk petani. Tetapi ia menyatakan lebih lanjut bahwa cara ini bisa keliru karena memberi penekanan terhadap tanggapan heterosis. Tanggapan heterosis hanya sedikit sekali mencerminkan potensi genetik dari satu genotipe.

Jika dibandingkan hasil pengujian hibrida silang-puncak set 1A dengan set 1B di Sukamandi, dan set 2A dan set 2B di Magelang, ternyata bahwa penguji Pool 4 dan populasi C1 memberikan peringkat yang berbeda. Bahkan setiap penguji menghasilkan hibrida silang-puncak unggul masing-masing, yang satu sama lain berbeda. Ini menunjukkan bahwa ada interaksi antara inbrida dengan penguji. Sidik ragam pengujian hibrida silang-puncak set 1A dan set 1B di Sukamandi maupun pengujian hibrida silang-puncak set 2A dan set 2B di Magelang, juga menunjukkan adanya interaksi inbrida x penguji yang nyata.

Adanya interaksi antara inbrida yang diuji dengan penguji juga dilaporkan oleh Green (14), yang membandingkan kemampuan relatif dua penguji. Ia mendapatkan bahwa kedua penguji yang ia teliti memberikan peringkat yang berbeda bagi segregat F₂ yang diuji. Ia menyarankan bahwa nilai dugaan (estimasi) yang lebih baik untuk daya gabung inbrida diperoleh dengan menghitung nilai rata-rata daya hasil hibrida silang-puncaknya dengan kedua penguji.

Generasi yang Efektif dan Efisien untuk Pengujian

Efisiensi dan ketepatan evaluasi daya gabung inbrida tergantung pada lokasi pengujian dan penguji yang dipakai. Lokasi yang lebih baik dan lebih efisien untuk evaluasi daya gabung inbrida memberikan selang harga atau variabilitas daya hasil silang-puncak yang lebih besar, sehingga memungkinkan pengujian jumlah inbrida yang lebih besar (48). Penguji (tester) yang lebih baik dan lebih efisien dapat menggolong-golongkan kemampuan nisbi inbrida-inbrida secara lebih tepat, dan membedakan inbrida yang diuji secara efisien (54) dan memungkinkan pengujian jumlah inbrida yang lebih besar untuk tingkat ketelitian tertentu (50). Masalah berikutnya yang paling penting yang masih saja diperdebatkan dalam pustaka, adalah dalam generasi inbriding lanjut yang mana, inbrida-inbrida itu harus diuji daya gabungnya. Uji perbandingan silang-puncak dari inbrida-inbrida dengan generasi inbriding yang berbeda telah dilakukan oleh Jenkin pada tahun 1939 (20). Pada waktu itu, masalah yang utama adalah menentukan

apakah kemampuan inbrida pada generasi inbriding awal dapat dipakai untuk menduga kemampuannya pada generasi inbriding lanjut. Keberhasilan dan efisiensi isolasi inbrida unggul dari populasi sumber bergantung pada jumlah sampel yang cukup, dan kemampuan membuang inbrida yang tidak unggul dalam generasi inbriding yang seawal mungkin. Jenkin menyatakan bahwa suatu inbrida telah memperoleh sifat-sifat individualitasnya sebagai induk silang-puncak sejak awal dari proses inbriding dan tidak akan berubah dalam generasi-generasi selanjutnya (20). Sprague (61) melaporkan bahwa tanaman SO yang memperlihatkan daya gabung tinggi mewariskan sifat ini kepada keturunan S1-nya, dan datanya mendukung pernyataan Jenkin bahwa pengujian daya gabung inbrida pada generasi inbriding awal, mungkin merupakan sarana sangat tepat dan berguna dalam program pemuliaan.

Rickey (55), sesudah menganalisis ulang data Jenkin, menyimpulkan bahwa pengujian pada generasi awal tidak dapat dipertanggung-jawabkan. Bahkan, Singleton dan Nelson (57) menyatakan bahwa pengujian pada generasi awal tidak efektif. Begitu pula Payne dan Hayes (52) menyimpulkan bahwa pengujian tanaman SO memberi hasil yang sangat meragukan; tetapi data mereka, sesudah diinterpretasi ulang oleh Sprague. (62) menunjukkan bahwa tanaman-tanaman SO dengan daya gabung tertinggi menghasilkan inbrida S1 dengan daya gabung tinggi, dalam persentase lebih besar daripada tanaman SO dengan daya gabung rendah. Hallauer dan Lopez-Perez (16, 31) membandingkan daya hasil silang-puncak dari inbrida-inbrida yang sama pada generasi inbriding S1 dan S8. Mereka melaporkan bahwa korelasi antara silang-puncak S1 dan S8 terlalu kecil untuk memungkinkan pendugaan secara tepat daya hasil silang-puncak S1 yang daya hasilnya tertinggi, biasanya silang-puncak S1nya mempunyai daya hasil lebih tinggi.

Dengan adanya kontroversi ini, Hallauer dan Miranda (16) menyatakan bahwa suatu bentuk pengujian pada generasi awal paling banyak dipakai dalam praktek pemuliaan. Dalam kebanyakan kasus, pembuatan silang-puncak dilakukan pada generasi inbriding pertengahan. Pembuatan silang-puncak ini dapat disebut pengujian pada generasi awal, tetapi dapat ditunda sampai generasi inbriding S2 atau S3. Dalam hal ini pengujian pada generasi awal bukan lagi dirancang untuk pendugaan daya gabung inbrida generasi lanjut, tetapi dirancang untuk memisahkan populasi inbrida ke dalam kelompok dengan daya gabung tinggi dan kelompok dengan daya gabung rendah.

Jika pengujian pada generasi awal dapat menggolong-golongkan inbrida ke dalam kelompok unggul dan kelompok kurang unggul secara efektif, maka titik berat seleksi dan pengujian pada generasi lanjut dapat dikhususkan bagi inbrida-inbrida dari kelompok unggul saja. Jadi

sekarang pengujian pada generasi awal dirancang untuk memperkecil biaya dan sumberdaya yang diperlukan untuk inbriding inbrida generasi lanjut, yaitu generasi S4, S5, S6, atau S7 yang kurang unggul. Pengujian pada generasi lanjut, dengan demikian dirancang untuk mengevaluasi daya gabung inbrida dari kelompok unggul.

Penulis sedang melakukan uji perbandingan silang-puncak S5 dan S6nya. Dari penelitian ini akan diketahui apakah kemampuan silang puncak S4 dapat dipakai untuk menduga kemampuan silang-puncak S5, dan bahkan S6. Logikanya, pengujian pada generasi lanjut mungkin akan menjadi lebih efisien dan murah, jika seandainya dapat dilakukan dalam generasi inbriding S4, atau S5, daripada dalam generasi S6 atau S7.

Adaptasi Hibrida

Pertanyaan yang mungkin paling sering diajukan oleh petani adalah hibrida yang mana yang paling sesuai untuk daerahnya. Hasil pengujian Balai Penelitian atau pengujian multilokasi Direktorat Bina Produksi Tanaman Pangan merupakan petunjuk berharga dalam menjawab pertanyaan tersebut. Jenkin (20) menyatakan bahwa hibrida mempunyai adaptasi terhadap jenis tanah dan iklim yang sangat khusus, tidak seperti halnya varietas bersari bebas, dan hanya akan memberi hasil memuaskan bila ditanam pada keadaan tempat hibrida tersebut mempunyai adaptasi. Daerah adaptasi suatu hibrida tidak tergantung pada tempat hibrida tersebut dibuat.

Varietas bersari bebas yang tidak sesuai untuk suatu daerah dapat menjadi sesuai setelah diseleksi selama beberapa tahun. Hal ini tidak berlaku untuk hibrida yang merupakan kombinasi antara dua inbrida tertentu, dan kombinasi ini tidak berubah-ubah dan tidak tergantung di mana hibrida tersebut dibuat (*naturally true*). Yang perlu diperhatikan adalah apakah kombinasi tersebut cocok untuk keadaan lingkungan di daerah tempat hibrida tersebut akan ditanam.

Daya hasil hibrida tidak sama bila ditanam dalam keadaan yang berbeda-beda. Satu hibrida yang unggul harus mempunyai daya hasil yang tinggi, baik bila ditanam di tempat yang sesuai maupun di tempat yang tidak sesuai. Tidak ada satu hibrida pun yang sesuai untuk semua keadaan. Yang terpenting, hibrida yang ditanam bisa memberi hasil yang mantap, sebab suatu hibrida yang mempunyai daya hasil tinggi dalam keadaan cuaca dan kesuburan tanah yang baik, daya hasilnya bisa turun sama sekali bila kekeringan. Pertanaman hibrida yang menyebarkan tepung sarinya kebetulan pada waktu cuaca panas dan kering akan memberi hasil rendah, sedangkan varietas bersari bebas, karena

heterogen, penyebaran tepung sarinya juga heterogen, lebih dapat menghindari pengaruh pada waktu cuaca buruk, dan memberi hasil lebih tinggi. Pada masa-masa lalu, hibrida dibuat pada lingkungan tumbuh yang baik. Hibrida masa kini dibuat secara khusus untuk lingkungan-lingkungan tanah yang kurang baik, sehingga telah memperluas daerah adaptasi hibrida. Adaptasi suatu hibrida hanya dapat diketahui dengan cara pengujian.

PEMBENTUKAN HIBRIDA

Hibrida merupakan generasi pertama (F1) dari persilangan antara dua inbrida. Yang pertama kali mengetahui adanya kenaikan daya hasil generasi pertama dari persilangan inbrida-inbrida pada jagung adalah Shull pada tahun 1909, dan cara-cara yang disarankannya masih tetap dipakai sampai sekarang. Pada saat mencari inbrida yang terbaik harus dilakukan penyerbukan sendiri sebanyak-banyaknya, dan meneruskan dari musim ke musim sampai tercapai keadaan homozygous. Setelah itu dibuat semua kombinasi yang mungkin antara inbrida-inbrida dan generasi pertamanya diuji secara ear to row, sehingga tiap baris mewakili satu persilangan. Dari pengujian ini akan bisa diketahui bahwa suatu persilangan tertentu cocok untuk tujuan tertentu. Bila misalnya inbrida-inbrida dinyatakan dengan abjad, akan didapatkan persilangan C x H menghasilkan 5 t/ha jagung pipilan dengan kadar protein yang tinggi; persilangan F x L memberikan daya hasil yang sama tetapi dengan kadar protein yang rendah, atau persilangan K x C mempunyai daya hasil tinggi, serta kadar minyak tertinggi, dan sebagainya.

Sesudah mendapatkan pasangan inbrida yang tepat, produksi benihnya mudah dilaksanakan. Untuk itu diperlukan dua bidang lahan yang berjauhan (berisolasi jarak), yang disebut saja Petak 1 dan Petak 2. Di atas Petak 1, dari tahun ke tahun ditanam inbrida yang dipergunakan sebagai induk betina. Jadi seperti contoh di atas, kalau persilangan C x H mempunyai daya hasil tertinggi, maka dalam Petak 1 ditanam inbrida C. Dalam Petak 2 ditanam inbrida C dan H dalam baris-baris berselang-seling, dan semua bunga jantan inbrida C dibuang. Semua biji yang berasal dari tanaman induk betina, yaitu yang bunga jantannya dibuang (inbrida C), adalah benih hibrida yang diinginkan, dan biji yang berasal dari tanaman induk jantan, yaitu bunga jantannya tidak dibuang (inbrida H), merupakan biji inbrida H untuk dipergunakan tahun berikutnya.

Pada hibrida silang-tunggal, benih F1 (benih hibrida) dihasilkan oleh tanaman inbrida betina; karena induk betinanya merupakan inbrida,

maka hasilnya rendah; begitu pula produksi tepung-sarinya akan sedikit. Hal ini menyebabkan produksi benih menjadi tidak efisien sehingga biaya produksi benih menjadi mahal karena produksi per satuan luas memang kecil. Kenyataan ini merupakan salah satu hambatan yang utama mengapa hibrida tidak cepat populer. Baru setelah Jones pada tahun 1922 menyarankan digunakannya silang-ganda, hibrida mulai semakin populer. Hibrida silang-ganda dibuat dengan mempersilangkan dua silang-tunggal sebagai induk-induknya; benih hibrida silang-ganda dihasilkan oleh tanaman hibrida silang-tunggal, sehingga produksi benih per hektarnya tinggi. Biaya produksi hibrida silang-ganda ini dapat lebih rendah daripada hibrida silang-tunggal. Lagi pula produksi tepung-sarinya juga berlimpah, sehingga perbandingan jumlah baris pertanaman induk betina terhadap jumlah baris pertanaman induk jantan dapat diperbesar dari 2 : 1 menjadi 4 : 1 atau 6 : 1. Akibatnya hasil benih per hektar menjadi lebih tinggi lagi, sehingga biaya produksi menjadi lebih rendah, dan orang lebih menyukai hibrida silang-ganda.

Pembentukan Hibrida dari Inbrida

Pembentukan hibrida dari bahan berupa inbrida-inbrida pada dasarnya dapat dilukiskan secara singkat sebagai berikut:

- Musim 1 Penyerbukan sendiri kira-kira 10 tanaman yang terbaik dari masing-masing inbrida. Silangkan tanaman ini dengan tester yang berupa silang-tunggal.
- Musim 2 Penyerbukan sendiri inbrida-inbrida lebih lanjut dan pengujian silang-tiga yang dibuat musim 1 dalam uji daya hasil
- Musim 3 Buat semua kombinasi silang-tunggal antara 10 atau 15 galur yang berdasarkan pengujian musim 2 menunjukkan sifat-sifat unggul.
- Musim 4 Uji silang-tunggal yang dibuat pada musim 3. Hibrida silang-tunggal yang unggul dapat dilepas untuk petani
- Musim 5 Dua silang-tunggal yang terbaik berdasarkan pengujian musim 4 dipersilangkan untuk membuat hibrida silang-ganda; hibrida silang-ganda inilah yang dilepas untuk petani

Pembentukan Hibrida dari Varietas Bersari Bebas

Metode seleksi ini dilakukan seperti disarankan oleh Comstock-Robinson, dan Harvey (6). Cara ini mirip dengan seleksi bertahap, tetapi menggunakan dua varietas bersari bebas atau varietas sintetik, dan terkenal dengan sebutan reciprocal recurrent selection. Bahan-bahan induk sedapat mungkin mempunyai sifat-sifat genetik yang jauh berbeda

(divergent), tetapi dapat mengadakan kombinasi secara baik, karena hibrida yang akan dibuat merupakan persilangan antara galur-galur dari kedua bahan tersebut. Tanaman dari varietas A diserbuk sendiri (selfing) dan dalam waktu yang sama disilangkan pula dengan beberapa tanaman dari varietas B. Dengan cara yang sama tanaman dari varietas B diserbuk sendiri dan dalam waktu yang sama disilangkan dengan beberapa tanaman dari varietas A.

Seleksi dilakukan berdasarkan pengujian daya hasil silang-puncak. Inbrida-inbrida yang terpilih saling disilangkan pada tahun ketiga, dengan menggunakan biji hasil selfing tahun pertama. Daur ini diulang lagi pada tahun keempat.

Tahap-tahap pelaksanaan seleksi adalah sebagai berikut:

- Musim 1 Penyerbukan sendiri kira-kira 200 tanaman dari varietas A dan sejumlah yang sama dari varietas B untuk memperoleh biji inbrida galur S1. Silangkan tiap-tiap tanaman dari varietas A yang diserbuk sendiri tadi dengan 4-5 tanaman varietas B untuk membuat silang-puncak. Begitu pula silangkan tiap-tiap tanaman dari varietas B yang diserbuk sendiri dengan 4-5 tanaman dari varietas A untuk membuat silang-puncaknya
- Musim 2 Pengujian hasil-hasil persilangan musim 1 (silang-puncak) untuk evaluasi GCA (daya gabung umum) dari inbrida-inbrida untuk mengetahui inbrida-inbrida mana yang akan terus diserbuk sendiri. Persilangan-persilangan dari satu inbrida dengan beberapa tanaman harus dicampur. Dengan demikian terdapat 200 silang-puncak untuk masing-masing percobaan dari dua pengujian gca. Inbrida-inbrida diserbuk sendiri lebih lanjut untuk memperoleh biji inbrida S2 atau ditunda dulu menunggu hasil pengujian silang-puncak.
- Musim 3 Biji sari inbrida-inbrida yang silang-puncaknya ternyata unggul dalam pengujian musim 2 ditanam ear to row, secara terpisah untuk inbrida-inbrida varietas A dan B. Semua tanaman yang baik diserbuk sendiri lebih lanjut untuk memperoleh inbrida S2.
- Musim 4 Biji-biji inbrida S2, baik dari sumber A maupun B ditanam. Tanaman S2 yang baik diserbuk sendiri untuk melanjutkan inbriding.

Setelah mencapai homozygous, inbrida terbaik dari varietas A disilangkan dengan inbrida terbaik dari varietas B, membentuk hibrida silang-tunggal yang dilepas untuk petani. Begitu pula dua inbrida dari varietas A disilangkan untuk membentuk silang-tunggal. Dengan cara yang sama, dua inbrida dari varietas B disilangkan untuk membentuk silang-tunggal. Kedua silang ini disilangkan untuk

membentuk hibrida silang-ganda yang dilepas untuk petani.

Pembentukan Hibrida Silang-Ganda

Silang-puncak terbukti merupakan berkah yang besar dalam pengujian daya gabung inbrida karena dengan penggunaan silang-puncak, dapat ditentukan inbrida-inbrida yang lebih unggul dari sekelompok n inbrida dengan hanya membuat n persilangan dan bukan $n(n-1)/2$ persilangan. Sesudah inbrida-inbrida yang lebih unggul diseleksi berdasarkan daya gabung umum, seperti yang ditentukan dengan silang-puncak dengan pengujian yang sesuai dengan dasar genetik luas, maka ditentukan hibrida-hibrida silang-tunggal, silang-ganda atau silang-tiga, yang akan mempunyai daya hasil tertinggi. Aspek daya gabung ini disebut daya gabung khusus oleh Sprague dan Tatum (60). Jumlah susunan kombinasi 4 inbrida yang mungkin dibuat dari n inbrida untuk membentuk silang-ganda, bertambah dengan cepat bila n semakin besar. Dengan demikian, 20 inbrida dapat berkombinasi membentuk $n(n-1)/2 = 190$ hibrida. Silang-tunggal dan $3n!/(4!(n-4)!) = 14.535$ hibrida silang-ganda, tidak termasuk silang resiprokal. Pekerjaan yang harus dilakukan oleh pemulia tanaman tampak tidak mungkin dilaksanakan jika tidak dicari suatu cara untuk memperkirakan daya hasil hibrida silang-ganda berdasarkan daya hasil silang-tunggal.

Meski demikian, harus diingat pula bahwa hibrida silang-ganda yang terbaik berdasarkan hasil pendugaan ini harus selalu diuji dengan teliti di lapangan sebelum dipergunakan dalam produksi.

Jenkin (21) mengembangkan 4 macam cara pendugaan daya hasil silang-ganda yaitu: Mempergunakan nilai-rata-rata enam kombinasi antara hibrida silang-tunggal yang mungkin dibuat dari empat inbrida. Cara ini mempunyai korelasi +0,75, dengan korelasi +0,39 sangat nyata. Mempergunakan nilai rata-rata empat silang-tunggal yang bukan merupakan induk dari silang-ganda dari empat inbrida. Cara ini mempunyai dasar genetik dan dapat memberi keterangan tentang daya hasil dari ketiga kombinasi hibrida silang-ganda dari empat buah inbrida. Korelasi adalah +0,76 dengan korelasi +0,39 sangat nyata. Mempergunakan nilai rata-rata dari semua silang-tunggal dengan inbrida tersebut merupakan salah satu induknya. Cara ini mempunyai korelasi +0,73 dengan korelasi +0,39 sangat nyata.

Nilai rata-rata dari silang-puncak untuk empat inbrida tertentu. Cara ini mempunyai korelasi +0,61 dengan korelasi +0,39 sangat nyata. Daya hasil dugaan ini kemudian dibandingkan dengan daya hasil

sebenarnya dari silang-silang-ganda, yang ditentukan dalam uji daya hasil berulang, di tempat daya hasil silang-tunggal ditentukan. Perbandingan ini menunjukkan bahwa korelasi antara daya hasil sesungguhnya dengan daya hasil dugaan tampak erat. Penggunaan daya hasil silang-tunggal untuk pendugaan daya hasil silang-ganda telah menjadi prosedur pemuliaan yang baku.

Jadi korelasi daya hasil pada cara 1, 2, 3, dan 4 berturut-turut adalah +0,75, +0,76, +0,73, dan +0,61 dengan korelasi +0,39 sudah sangat nyata. Cara 1, 3, dan 4 ditentukan oleh gen-gen aditif, dengan satu gen yang disumbangkan oleh satu inbrida akan memberikan pengaruhnya tanpa tergantung pada susunan pasangan-pasangan. Cara 2 merupakan pengaruh gen secara non-aditif, yang timbul karena peristiwa dominan dan epistasis.

Sekitar 80% dari hibrida varietas pada jagung mempunyai daya hasil lebih tinggi daripada rata-rata kedua induknya, dan lagi pula, heterosis (vigor hibrida) terbesar diperoleh jika varietas-varietas induknya mempunyai tipe yang jelas berbeda. Kenyataan ini mendorong adanya harapan bahwa persilangan-persilangan antara inbrida-inbrida yang berasal dari varietas-varietas sumber yang berbeda akan cenderung lebih produktif daripada persilangan-persilangan antara inbrida yang berasal dari varietas-varietas sumber yang sama atau serupa. Kebenaran anggapan ini terbukti dalam pengalaman-pengalaman praktek banyak pemulia tanaman. Peranan diversitas genetik dalam menentukan kemampuan hibrida telah diteliti secara mendalam oleh banyak peneliti (62) yang semuanya telah menekankan peran diversitas genetik dalam pembentukan hibrida unggul.

Susunan pemasangan inbrida-inbrida dalam silang-ganda juga merupakan aspek lain dari diversitas genetik yang memegang peran penting dalam menentukan produktivitas hibrida. Hal ini pertama kali diteliti secara intensif oleh Eckhard dan Bryan (11). Mereka mendapatkan bahwa jika inbrida A dan B berasal dari satu sumber dan inbrida Y dan Z dari sumber yang lain, daya hasil yang tertinggi dapat diharapkan diperoleh dengan susunan pasangan $(A \times B) \times (Y \times Z)$.

Semua ini berarti bahwa cara membuat pasangan-pasangan inbrida dalam silang-ganda sangat berpengaruh pada daya hasil dugaan dan daya hasil sesungguhnya. Silang-ganda yang mempunyai daya hasil tertinggi adalah silang-ganda yang pada , satu sisinya (silang-tunggal induknya) mempunyai dua inbrida yang berasal dari satu varietas bersari bebas.

Dalam praktek pembuatan dan pengujian semua kombinasi hibrida silang-ganda dari sejumlah galur merupakan pekerjaan berat dan

memerlukan biaya besar. Dari 100 galur misalnya, dapat dibuat 100 silang-puncak, 4.950 silang-tunggal, dan 11.763.625 silang-ganda. Ini merupakan jumlah yang terlalu besar untuk diuji.

Silang-puncak dapat dipakai untuk evaluasi inbrida dengan cepat. Sejumlah 100 inbrida dapat disilangkan dengan varietas bersari bebas; inbrida-inbrida sebagai induk betina dan seluruh bunga jantannya dicabut. Silang-puncak ini diuji dalam musim berikutnya untuk evaluasi daya gabung.

Seringkali 10 inbrida terbaik yang dipilih berdasarkan pengujian silang-puncak saling disilangkan (diallel cross), dan diperoleh 45 silang-tunggal. Silang-tunggal ini diuji dalam percobaan daya hasil dan datanya dipergunakan untuk melakukan pendugaan daya hasil dari 630 silang-ganda yang mungkin dapat dibuat dari 10 inbrida tersebut. Untuk ini dibuat formulir seperti terlihat pada Tabel 1. Daya hasil dugaan silang-ganda $(A \times B) \times (C \times D)$ dalam contoh itu adalah 4,28 t /ha.

Tabel 1. Contoh pendugaan daya hasil hibrida silang-ganda $(A \times B) \times (C \times D)$.

Hibrida No.....	(AXB) (CxD)
Silang tunggal bukan induk	Daya hasil (t/ha)
A x C	4,32
A x D	4,33
B x C	4,28
B x D	4,19
Jumlah	17,12
Rata-rata	4,28

Seleksi Bertahap dalam Pembuatan Hibrida

Seleksi bertahap (recurrent selection) sangat berguna dalam perbaikan genetik sumber inbrida secara bertahap; bukan untuk mengganti cara pembuatan hibrida melainkan untuk diintegrasikan ke dalamnya. Dasar-dasar pembuatan hibrida seperti yang telah dibicarakan dalam bab-bab terdahulu dikembangkan oleh Shull, pada tahun 1910. Banyak bukti yang menunjukkan bahwa perbaikan genetik telah dicapai dalam penggunaan jagung hibrida; hal ini telah dikemukakan oleh Russel (56) dan Duvick (9). Kedua peneliti ini menggunakan tiga jarak tanam, yaitu jarak yang banyak dipakai oleh petani saat itu, jarak tanam untuk hibrida genjah, dan jarak tanam yang lebih tinggi daripada yang biasa dipakai petani saat itu. Semua pengujian menunjukkan bahwa perbaikan genetik telah terjadi selama penggunaan hibrida. Hasil analisis Russel menunjukkan bahwa kenaikan daya hasil hibrida yang disebabkan oleh

perbaikan hibrida adalah 63,2% dari kenaikan total. Dalam penelitian lain, Duvick juga melaporkan kenaikan daya hasil karena pemuliaan hibrida 57 dan 60% dari kenaikan total. Russel lebih lanjut melaporkan bahwa jika jagung masih ditanam dengan jarak tanam seperti yang biasa dipakai pada saat-saat permulaan penggunaan hibrida, hanya diperoleh kenaikan hasil yang kecil. Karena itu perbaikan genetis bergantung juga pada cara bertanam. Tanggapan kenaikan daya hasil hibrida bergantung pada tanggapan terkait (correlated respons) dari kekuatan akar dan batang, ketahanan yang lebih tinggi terhadap hama dan penyakit, dan ketahanan terhadap kehampaan (barrenness) pada kerapatan tanam tinggi. Produksi jagung masa kini memerlukan hibrida dengan perakaran dan batang yang kuat. Jika benar-benar ada gen-gen untuk daya hasil, gen-gen tersebut harus dimasukkan ke dalam genotipe yang mempunyai gen-gen yang menyumbangkan sifat-sifat akar dan batang yang kuat, tongkol yang kuat, dan vigor yang baik.

Meskipun dengan laju yang lambat, dalam penggunaan hibrida diperoleh perbaikan genetis terus-menerus; yang harus dipikirkan adalah apakah kemajuan yang sama dapat diperoleh pada masa-masa mendatang. Tampaknya perbaikan genetis pada jagung masih dapat diharapkan dengan cara memperluas dan memperbaiki teknik pemuliaan, antara lain dengan mengintegrasikan seleksi bertahap ke dalam pembentukan hibrida, dan memperbanyak penggunaan plasma nutfah yang tersedia. Konsep pembentukan hibrida yang diusulkan oleh Shull, pada dasarnya masih tetap dipakai secara luas.

Program pemuliaan mencakup tiga tahap, yaitu (i) pemilihan plasma nutfah, (ii) perbaikan berkala (cyclical improvement) plasma nutfah yang terpilih, dan (iii) isolasi inbrida untuk induk pembentukan hibrida dari plasma nutfah yang telah diperbaiki secara berkala tersebut. Pemilihan plasma nutfah menentukan potensi perbaikan genetis yang maksimum yang bisa diharapkan dari pemuliaan, sedangkan cara atau prosedur pemuliaan yang dipakai menentukan sampai berapa jauh potensi maksimum ini dapat dicapai.

Sesudah memilih plasma nutfah, tahap selanjutnya adalah melaksanakan program seleksi bertahap untuk memperbaiki sifat-sifat yang umum, misalnya umur, kekuatan akar dan batang, ketahanan terhadap hama dan penyakit, atau daya hasil. Setelah itu disusul dengan pembua.tan inbrida dari populasi yang telah diperbaiki dengan seleksi bertahap tersebut. Keturunan unggul yang dipilih dan diisolasi dari populasi yang mempunyai faktor-faktor genetis yang diinginkan oleh pemulia tanaman, dianggap lebih unggul daripada contoh yang diambil secara acak dari populasi tersebut. Rekombinasi keturunan unggul akan menaikkan frekuensi gen-gen yang diinginkan, sehingga dalam tahap-

tahap berikutnya akan memperbesar peluang untuk mengisolasi keturunan yang unggul. Dalam istilah genetis, frekuensi yang lebih tinggi dari gen-gen yang diinginkan. Biasanya perbaikan genetis tidak dapat dicapai hanya dalam satu daur saja, melainkan beberapa seleksi dan rekomendasi. Efikasi seleksi bertahap berkala tergantung pada adanya keragaman genetis, frekuensi gen dalam populasi asal, dan heritabilitas sifat yang sedang diperbaiki. Misalnya Penny (53) melaporkan bahwa seleksi bertahap untuk ketahanan terhadap penggerek batang selama tiga daur sangat efektif untuk membuat populasi menjadi lebih tahan. Berdasarkan skala penilaian dari 1 (tahan) sampai 9 (peka), rata-rata 484 inbrida S1 untuk populasi daur pertama (CO), dari lima varietas adalah sedang (5,5), sedangkan rata-rata dari 484 inbrida Si untuk daur 5 (C5) dari kelima varietas berada dalam golongan tahan (2,5).

Seleksi bertahap juga dipakai oleh Jinahyon dan Russel (22) untuk membuat varietas yang tahan terhadap *Diplodia zea*. Untuk mengevaluasi kemajuan pemuliaan, dipakai 100 inbrida-inbrida S1 daur 0 (CO) dan daur 3 (C3). Skala penilaian adalah 0,5 untuk yang tahan, dan 5,0 untuk yang peka. Ketahanan rata-rata 100 inbrida Si adalah 4,1 untuk populasi daur 0 (CO) dan 2,4 untuk populasi daur 3 (C3). Dalam kedua contoh di atas, seleksi bertahap selama tiga daur berdasarkan evaluasi inbrida S1 sangat efektif. Heritabilitas ketahanan terhadap penggerek batang dan ketahanan terhadap *Diplodia zea*, lebih tinggi daripada heritabilitas untuk daya hasil karena dilakukan infestasi hama dan infeksi penyakit tersebut secara buatan. Pengembangan inokulasi buatan bisa memperkecil escape dan memperbesar heritabilitas, sehingga menambah efektivitas seleksi. Tanggapan terhadap seleksi lebih besar daripada kalau hanya mengandalkan infestasi alami.

Selanjutnya, Moentono, Darrah dan Zuber (40) melaporkan juga bahwa seleksi bertahap selama 8 daur sangat efektif untuk menaikkan kekuatan batang dari dua varietas sintetik MoSQA dan MoSQB. Kekuatan batang dinyatakan sebagai gaya vertikal (dalam kg) yang diperlukan untuk meremukkan potongan batang sepanjang 5 cm dalam posisi tegak berdiri. Potongan batang diambil dari ruas kedua atau ketiga. Mereka melaporkan bahwa seleksi bertahap untuk kekuatan batang selama 8 daur mampu mempertinggi kekuatan batang dari 321,6 kg dalam daur 0 menjadi 569,0 kg dalam daur 8 (kenaikan 76 %) untuk MoSQA, dan dari 286,2 kg dalam daur 0 menjadi 550,4 kg dalam daur 8 (kenaikan 102 %) untuk MoSQB.

Contoh terakhir ini menunjukkan bahwa sifat-sifat kuantitatif (yang dapat diukur) dapat diperbaiki dengan mempergunakan metode seleksi bertahap. Kekuatan batang mempunyai korelasi positif dengan ketahanan rebah. Pengukuran kekuatan batang tidak dipengaruhi oleh keadaan lingkungan, sedangkan pengamatan rebah batang sangat

bergantung pada keadaan lingkungan seperti kuat angin, hujan, dan lain-lain. Akibatnya heritabilitas dalam seleksi kekuatan batang lebih tinggi daripada dalam seleksi rebah batang. Seleksi selama 8 daur telah mempertinggi kekuatan batang; ini berarti bahwa dari varietas sintetis yang telah diseleksi selama 8 daur dapat diisolasi lebih banyak inbrida dengan kekuatan batang yang tinggi daripada varietas sintetis asalnya. Dalam istilah genetis, dalam varietas sintetis yang telah mengalami seleksi terdapat inbrida-inbrida berkekuatan batang tinggi dalam frekuensi yang lebih tinggi. Dalam pelaksanaan metode seleksi bertahap, seleksi dilakukan atas dasar evaluasi keturunannya. Bergantung pada macam keturunan yang dievaluasi, dikenal tiga seleksi bertahap yang paling banyak digunakan yaitu: seleksi bertahap inbrida S1, seleksi bertahap inbrida S2, dan seleksi bertahap silang-saudara-tiri.

PRODUKSI BENIH JAGUNG HIBRIDA

Daya hasil satu hibrida tidak berubah dari tahun ke tahun bila ditanam dalam keadaan lingkungan yang sama, dan mempergunakan inbrida-inbrida induk yang sama pula. Pemeliharaan inbrida harus dilaksanakan untuk mencegah adanya perubahan-perubahan sifat-sifat, yang dapat disebabkan oleh segregasi terlambat, mutasi, dan pencemaran oleh tepung sari tanaman. Pada umumnya keadaan heterozygous suatu inbrida berkurang 50% setiap satu generasi penyerbukan sendiri (inbriding). Karena itu tanaman-tanaman tipe lain yang terdapat di dalam inbrida kelihatan sebagai akibat segregasi terlambat. Mutasi juga dapat mengubah inbrida. Jagung merupakan tanaman yang menyerbuk silang, dan tepung sarinya bisa terbawa oleh angin, serangga, dan burung, melalui jarak yang cukup jauh. Bunga dan biji lain dalam alat pengolahan dapat menyebabkan terjadinya out cross dan pencemaran.

Benih dasar yang dipergunakan dalam pembuatan hibrida (inbrida-inbrida cukup banyak. Kebanyakan hibrida yang diproduksi secara besar-induk), harus tersedia dalam jumlah yang seimbang dan besaran adalah hibrida silang-ganda yang terdiri dari 4 inbrida induk. Produksi benih sebar akan mengalami kesulitan bila benih dasar dari 3 inbrida tersedia dalam jumlah banyak dan berlebihan, sedangkan benih dasar inbrida lainnya tersedia dalam jumlah sedikit.

Pemeliharaan inbrida dapat dilakukan dengan penyerbukan sendiri, persilangan saudara sekandung, atau gabungan dari keduanya. Penanaman inbrida dalam koleksi dapat dalam bentuk ear to row atau dalam bentuk bulk. Tanaman tipe lain akan lebih mudah terlihat bila

penanaman dilakukan secara ear to row daripada bila ditanam secara bulk. Perbanyak inbrida secara persilangan saudara dilakukan dengan persilangan buatan atau persarian bebas dalam petak berisolasi. Beberapa ahli menganjurkan pemeliharaan inbrida dilakukan berganti-ganti antara selfing dan sibbing. Selfing menjaga agar inbrida selalu dalam keadaan murni. Sebaliknya sibbing mencegah turunnya vigor yang berlebihan. Karena itu biasanya pemulia jagung lebih menyukai sibbing karena tidak menurunkan vigor secara berlebihan. Tetapi jika terlihat adanya perubahan sifat, maka pemeliharaan benih harus dilakukan dengan selfing untuk memantapkan inbrida.

Belum ada data mengenai berapa sebaiknya jumlah tanaman untuk memelihara inbrida; pemeliharaan inbrida tidak boleh hanya mempergunakan jumlah tongkol yang sedikit. Setiap tongkol benih hasil selfing atau sibbing harus diperiksa dengan teliti. Tongkol yang jelas-jelas tampak sebagai tipe simpang atau tampak kurang baik, atau menunjukkan kelainan-kelainan sifat, misalnya tekstur dan warna, besar biji, warna dedak, besar dan bentuk tongkol, harus dibuang. Setiap tongkol hasil selfing atau sibbing kemudian dipipil secara terpisah, dan ditanam ear to row atau semua tongkol dari masing-masing inbrida dicampur untuk diperbanyak pada musim berikutnya. Keuntungan penanaman ear to row adalah bahwa tipe-simpang akan dapat terlihat lebih jelas daripada penanaman secara bulk. Benih yang dihasilkan dengan persilangan buatan harus ditanam pada lahan subur yang bersih. Perbanyak benih sedapat mungkin dilakukan di daerah di mana benih itu akan disebar-luaskan.

Dalam tahap ini isolasi pertanaman sangat penting, baik berupa isolasi jarak maupun isolasi waktu. Semua pemulia tanaman sependapat bahwa persyaratan isolasi jarak produksi benih penjenis lebih ketat daripada untuk produksi benih kelas berikutnya. Cara menanam inbrida tidak berbeda dengan cara menanam jagung konsumsi, kecuali persyaratan isolasi. Tetapi, barangkali yang paling penting adalah bahwa inbrida harus diberi lingkungan tumbuh yang baik sehingga mempunyai kesempatan menunjukkan kemampuan genetisnya.

Sesudah suatu hibrida diuji dan keunggulannya diketahui, harus diperbanyak benih inbrida induk-induknya (memperbanyak benih penjenis menjadi benih dasar). Benih penjenis masing-masing inbrida dapat diperbanyak dengan persilangan buatan atau persarian bebas dalam petak berisolasi. Cara yang dapat dilakukan adalah dengan cara bertahap, benih hasil persilangan buatan dipergunakan untuk memperbanyak dalam petak persarian bebas. Benih dasar yang diperoleh dari petak persarian bebas ini dipergunakan untuk pembuatan hibrida silang-tunggal.

Inbrida merupakan galur murni, karena itu roguing tanaman-tanaman tipe-simpang harus dilakukan sebelum berbunga. Pencabutan tanaman yang tinggi dan yang vigornya mencolok harus sudah dimulai pada saat pertanaman setinggi lutut.

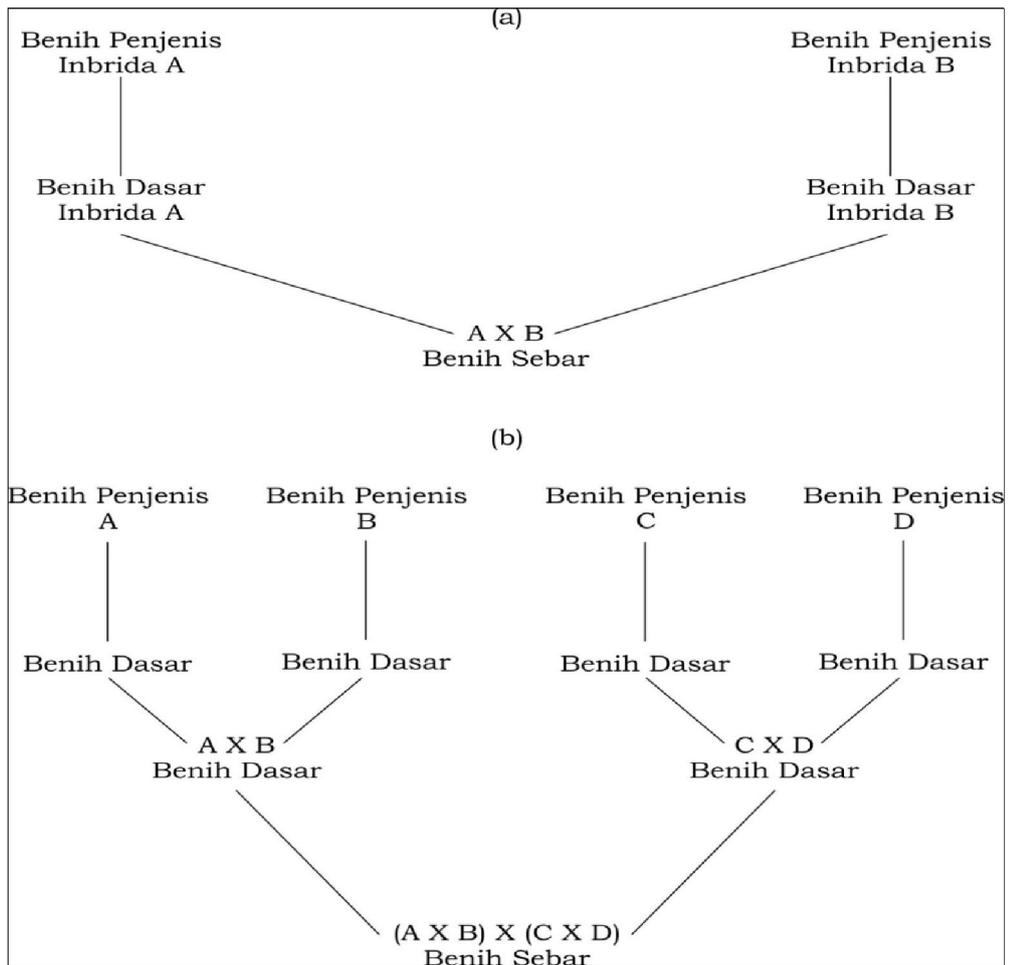
Benih Sebar Hibrida Silang-Tunggal

Tahap kedua dalam produksi benih hibrida (Gambar 1) adalah produksi benih sebar (persilangan antara dua hibrida induk). Persilangan percobaan boleh dilakukan dengan persilangan buatan. Persilangan besar-besaran dibuat dengan menanam induk-induknya berselang-seling dalam petak berisolasi dan mencabut semua bunga jantan (*detasseling*) dari induk betina. Dalam petak persilangan ini hibrida yang memberikan tepung sari disebut induk jantan dan inbrida yang bunga jantannya dicabut disebut induk betina. Perbandingan jumlah baris pertanaman induk jantan dan induk betina tergantung pada banyaknya produksi tepung sari oleh induk jantan. Biasanya vigor dan produksi tepung sari inbrida sangat kurang, dan bila dipakai untuk induk jantan, yang paling baik adalah menanam satu baris induk jantan untuk setiap dua baris induk betina atau dua baris induk jantan untuk setiap empat baris induk betina.

Untuk produksi benih sebar yang bermutu baik, petak persilangan harus terisolasi dari pertanaman jagung lain, untuk mencegah terjadinya pencemaran oleh tepung sari lain. Semua bunga jantan dari baris induk betina harus dicabut sebelum sempat menyebarkan tepung sari. Ini diperlukan agar tongkol-tongkol yang dihasilkan pada tanaman ini betul-betul merupakan persilangan induk betina dengan induk jantan yang diinginkan. Seluruh bagian dari petak pertanaman produksi benih harus diperiksa dengan teliti setiap hari sampai pencabutan bunga jantan selesai. Biasanya pekerjaan ini memerlukan waktu sekitar dua minggu. Benih sebar hibrida yang dihasilkan dalam petak persilangan dengan pencabutan bunga jantan dari induk betina tidak dilakukan dengan baik, akan memberikan tanaman hibrida yang daya hasilnya turun.

Pencabutan bunga jantan biasanya dilakukan pada saat bunga jantan sudah keluar dari kuncup, kira-kira dua hari setelah pertama kali terlihat keluar. Bila pencabutan dilakukan terlalu cepat, maka akan ada satu atau dua daun yang terbawa, atau bunganya akan putus sehingga tidak tercabut dengan sempurna. Berkurangnya daun akan menurunkan hasil benih, dan pencabutan bunga jantan yang kurang sempurna sangat mengurangi mutu benih. Jika 90-95 % dari semua bunga jantan telah dicabut maka lebih ekonomis bila pencabutan selanjutnya dilakukan

sekaligus meskipun masih muda dan terpaksa ada dua daun yang terbawa. Turunnya hasil akibat pencabutan demikian, tidak akan mengimbangi waktu dan tenaga yang dihemat. Bunga jantan pada anakan tidak perlu diperlakukan dengan cermat. Pucuknya boleh dicabut, tidak peduli ada daun yang terbawa. Produksi benih memang akan sedikit turun jika anakan dicabut, tetapi diragukan apakah turunnya hasil ini nilainya lebih besar daripada waktu dan tenaga yang diperlukan untuk pencabutan dengan hati-hati.



Gambar 1. Tahapan-tahapan produksi benih hibrida silang-tunggal (a) dan hibrida silang-ganda (b).

Benih Dasar Silang-Tunggal

Di samping memproduksi benih sebar hibrida silang-tunggal,

kadangkadang juga diproduksi benih dasar silang-tunggal untuk memproduksi benih sebar hibrida silang-ganda. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk membandingkan penggunaan silang-tunggal generasi pertama (F1) dan silang-tunggal generasi kedua (F2), sebagai dasar untuk induk-induk dalam pembuatan hibrida silang-ganda.

Kieselbach pada tahun 1930 mendapatkan bahwa hibrida silang-ganda yang dibuat dari silang-tunggal F2 mempunyai daya hasil yang setaraf dengan yang dibuat dari silang-tunggal F1. Hal ini dapat dimengerti, sebab keragaman di antara garnet-garnet yang dihasilkan oleh tanaman F2 hanya sedikit lebih besar daripada keragaman garnet-garnet yang dihasilkan oleh tanaman F1, sehingga hanya terjadi perubahan sedikit saja dalam frekuensi gen. Akan tetapi dalam keadaan-keadaan tertentu perubahan frekuensi gen sangat menentukan. Silang-ganda yang dibuat dari benih dasar silang-tunggal generasi F3, F2, dan F1 memberikan hasil dalam perbandingan 100 : 103 : 112. Penjelasan tentang hal ini harus dijawab berdasarkan perubahan dalam frekuensi gen. Silang-tunggal generasi kedua atau ketiga tidak dipergunakan sebagai benih dasar dalam produksi benih hibrida silang-ganda dalam industri benih.

Pencabutan bunga jantan dapat dilakukan sebagai berikut. Sambil memegang batang dengan tangan kiri, sedikit di bawah tassel, peganglah seluruh tassel dengan tangan kanan kuat-kuat. Cabut tassel dengan cara menarik ke atas dengan tarikan yang mantap dan buanglah tassel tersebut ke tanah pada saat berjalan. Bila pegangan pada tassel kurang kuat, sebagian dari tassel dapat tertinggal di pucuk batang. Bagian yang tertinggal ini sulit terlihat, dan akan menyebarkan tepung sari pencemar jika dibiarkan. Usahakan tidak merobek atau mencabut daun, sebab akan menurunkan hasil dan kualitas benih. Peganglah seluruh tassel sehingga semua bagian yang berisi tepung sari tercabut dengan sempurna. Hindari pencabutan tassel yang masih terlalu muda. Ini akan menyebabkan sebagian tassel tertinggal dalam batang, yang nantinya akan tumbuh terus dan menyebarkan tepung sari. Lagi pula daun teratas akan selalu ikut tercabut, sehingga akan menurunkan hasil. Sekali dimulai, detasseling harus diulang setiap hari. Setiap hari mulailah detasseling dari sisi yang sama dari pertanaman. Untuk memudahkan pekerjaan, berilah tanda berupa patok pada kedua ujung dari baris jantan. Periksa dengan teliti kalau-kalau ada anakan dan tanaman rebah dalam baris induk betina.

Benih Sebar Hibrida Silang-Ganda

Benih sebar hibrida silang-ganda dihasilkan oleh silang-tunggal

yang dipakai sebagai induk betina. Pola penanaman yang biasa dilakukan adalah 6-8 baris induk betina untuk setiap dua baris induk jantan. Silang-tunggal induk betina dicabut bunga jantannya sebelum penyebaran tepung sari. Benih hanya dipungut dari induk betina.

Biji pertanaman hibrida silang-ganda (biji generasi kedua) sebaiknya jangan dipergunakan sebagai benih tahun berikutnya. Pengujian-pengujian telah menunjukkan bahwa benih dari generasi lanjut cenderung mempunyai daya hasil 10-20% lebih rendah daripada benih hibrida langsung dari persilangan (generasi pertama). Generasi kedua rata-rata mempunyai daya hasil yang sama atau lebih rendah daripada hasil varietas bersari bebas. Benih generasi kedua memang mempunyai daya tumbuh tinggi, dan menghasilkan pertanaman yang tampaknya baik, tetapi produksinya mengecewakan.

DAFTAR PUSTAKA

1. **Allard, R.W. 1960.** Principles of plant breeding. John Wiley & Sons, New York.
2. **Allison, J.C.S., R.W. Curnow. 1966.** On the choice of tester parent for the breeding of synthetic varieties of maize. *Crop Sci.* 6: 541-544.
3. **Anderson, F., and H.C. Cutler. 1942.** Races of *Zea mays*: I. Their recognition and classification. *Annual Missouri Botanical Garden* 29: 69-89.
4. **Arnold, J.M., and L.M. Josephson. 1974.** Inheritance of stalk quality characteristics in maize. *Crop Sci.* 15: 338-340.
5. **Brieger, F.G. 1958.** Races of maize in Brazil and other eastern South American countries. NAS-NRC Publ. 593.
6. **Comstock, R.F., H.F. Robinson, and P.H. Harvey. 1949.** A breeding procedure designed to make use of both general and specific combining ability. *Agron. J.* 41: 360-367.
7. **Cress, C.E. 1966.** Heterosis of the hybrids to gene frequency differences between two populations. *Genetic* 53: 269-374.
8. **Davis, R.L. 1927.** Report of the plant breeder. Rep. Puerto Rico. *Agric. Exp. Stn.* pp. 14-15.
9. **Duvick, D.N. 1977.** Genetic rates of gain in hybrid maize yields during the past 40 years. *Maydica* 22: 187-196.
10. **East, E.M., and H.K. Hayes. 1912.** Heterozygosis in evolution and in plant breeding. USDA. *Bur. Plant Ind. Bull.* 243.
11. **Eckhard, R.C., and A.A. Bryan. 1940.** Effect of method of combining the four inbred lines of a double cross of maize upon the yield and variability of the resulting hybrid. *J. Am. Soc. Agron.* 32: 347-353.

12. **Falconer, D.S.** 1960. Introduction to quantitative genetics. Ronald Bress. New York.
13. **Good, R.L., and A.R. Hanauer.** 1977. Inbreeding depression in maize by selfing and full sibbing. *Crop Sci.* 17: 935-940.
14. **Green, J.M.** 1948. Relative value of two testers for estimating top cross performance in segregating maize populations. *J. Am.Soc. Agron.* 40: 45-57.
15. **Hallauer, A.R.** 1975. Relation of gene action and type of tester in maize breeding procedures. *Proceeding Annual Corn Sorghum Research Conference.* 30: 150-165.
16. **Hallauer, A.R.** 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State University Press, Ames.
17. **Harvey, P.H., and J.A. Rigney.** 1947. Inbreeding studies with prolific corn varieties. Dept. Agron. North Carolina State Univ., Raleigh.
18. **Homer, E.S., W.H. Chopman, M.C. Lutrich, and H.W. Lunday.** 1969. Comparison of selection based on yield of top cross progenies and S2 progenies in maze. *Crop Sci.* p: 539-543.
19. **Jenkin, M.T., and A.M. Brunson.** 1932. Methods of testing inbred lines of maize in cross bred combinations. *J. Am. Soc. Agron.* 24:523-530.
20. **Jenkin, M.T.** 1934. Method of estimating the performance of double crosses in corn. *J. Am. Soc. Agron*
21. **Jenkin, M.T.** 1978. Maize breeding during the development and early years of hybrid maize. Dalam: D.E. Walder, (ed)., *Maize Breeding and Genetics.* p..13-28. Wiley, New York.
22. **Jinahyon, S., and W.A. Russel.** 1969. Evaluation of recurrent selection for stalk rot resistance in an open pollinated variety of maize. *Iowa State J. Sci.* 43: 229-237.
23. **Jones.** 1918. The effects of inbreeding and cross breeding upon development. *Connecticut Agric. Exp. Sta. Bull.* 207: 5-100.
24. **Jones.** 1938. Continued inbreeding in maze. *Genetics* 24: 462-473.
25. **Jugenheimer, R.M.** 1958. Hybrid maize breeding and seed production. F. A.O., Rome.
26. **Kinman, M.L.** 1952. Composite sibbing versus selfing in development of corn inbred lines. *Agron. J.* 44: 209-241.
27. **Leng, E., R.A. Tavcar, and. V. Trifunovic.** 1962. Maize of south eastern Europe and its potential value in breeding program elsewhere. *Euphytica* 11: 263-272.
28. **Lindstorm, E.W.** 1939. Analysis of modern maize breeding principles and methods. *Proc. Seventh Int. Genet. Congr.* 7: 191-196.
29. **Loeffel, F.A.** 1964. Si crosses compared with crosses of homozygous lines. *Proc. Annu. Corn Sorghum Res. Conf.* 19: 95-104.
30. **Lonnquist, J.H., and M.F. Lindsay.** 1964. Top cross versus S1 lines performance in corn. *Crop Sci.* 4: 580-584.
31. **Lopez-Perez, E.** 1979. Comparison among five different testers for

the evaluation of unselected lines of maize. Ph.D. Dissertation. Iowa State Univ.

32. **Macanlay, T.B.** 1928. The improvement of corn by selection and plot inbreeding J. Hered. 19: 57-72.
33. **Mengelsdorf; P.C.** 1974. Corn: its origin. Evolution and Improvement. Harvard Univ. Press, Cambridge.
34. **Moentono, M.D.** 1983. Pengembangan jagung hibrida. Lokakarya Perumusan Rencana Penelitian Tingkat Peneliti, Denpasar 24-29 November. Badan Litbang Pertanian.
35. **Moentono, M.D.** 1984. Program penelitian pengembangan jagung hibrida. Pertemuan Teknis Perumusan Program Penelitian Tanaman Pangan. Balai Penelitian Tanaman Pangan Sukamandi, 18-19 April.
36. **Moentono, M.D.** 1984. Kerangka acuan penelitian dan pengembangan jagung hibrida. Pertemuan Teknis Pemantapan Program Penelitian Tanaman Palawija, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor, 15-17 November.

37. Moentono, M.D. 1984. Pengembangan jagung hibrida di Indonesia. Bahan Latihan Staf Teknik Proyek Benih II di Sukamandi 29 Januari-11 Februari. Makalah No. 13/LST/Benih 11/84.
38. Moentono, M.D. 1984. Produksi benih jagung. Bahan Latihan Staf Teknik Proyek Benih II di Sukamandi 29 Januari - 11 Februari 1984. Makalah No. 12/LST/Benih 11/84.
39. Moentono, M.D. 1984. Produksi benih jagung hibrida. Latihan Staf Teknik Proyek Benih II No. 06/LST/Benih 11/84.
40. Moentono, M.D., L.L. Darrah, M.S. Zuber, and G.F. Krause. 1984. Effects of selection for stalk strength on responses to plant density and level of nitrogen application in maize. *Maydica*. XXIV: 431-452.
41. Moentono, M.D. 1984. Pembuatan dan produksi benih jagung hibrida. *Bulletin Teknik* No. 8. Puslitbangtan.
42. Moentono, M.D. dan E. Sulaminingsih. 1985. Status penelitian jagung hibrida. *Risalah Rapat Teknis Hasil Penelitian Jagung, Sorgum dan Terigu*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor, 28-29 Maret. 123-143.
43. Moentono, M.D. 1986. Benih murni jagung hibrida dan varietas bersari bebas. *Direktorat Bina Produksi Tanaman Pangan*. No.-16/ LIL /B11/V111/1986.
44. Moentono, M.D. 1986. Penerapan teknologi pra-panen untuk peningkatan mutu benih jagung. *Direktorat Bina Produksi Tanaman Pangan*. No. 13/LPRS/BII/II/1986.
45. Moentono, M.D., E. Sulaminingsih, dan M. Suherman. 1986. Inbrida jagung tahan bulai. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* Vol. V. No 2: 41-49.
46. Moentono, M.D., and L.L Darrah. 1987. Heterosis beberapa sifat agronomis jagung dan hasil seleksi bertahap yang mendukung hipotesis dominan. *Media Penelitian Sukamandi* 4: 1-4.
47. Moentono, M.D. 1987. Kemampuan inbrida tahan bulai dalam perakitan hibrida jagung. *Media Penelitian Sukamandi* 5.
48. Moentono, M.D. 1987. Selection of corn inbred lines for high combining abilities for grain yield and root lodging resistance. *Indonesian Journal of Crop Science*.
49. Moentono, M.D. 1987. Efficient tester for evaluation of combining ability of downy mildew resistant inbred lines in the development of hybrid corn.
50. Moentono, M.D. 1987. Appropriate later generation of inbreeding for late testing of maize inbred lines.
51. Omolo, W., and W.A. Russel. 1971. Genetic effects of population size in the reproduction of two heterogenous maize population. *Iowa State Journal of Science* 45: 499-512.
52. Payne, K.T., and H.K. Hayes. 1949. A comparison of combining ability in F3 and F2 lines of corn. *Agron. J.* 41: 383-388.
53. Penny, L.H. 1967. Recurrent selection for European corn borer

- resistance. *Crop Sci.* 7: 407-409.
54. Rawling, J.O., and D.L. Thompson. 1962. Performance level as criterion for the choice of maize testers. *Crop Sci.* 2: 217-220.
 55. Richey, F.D. 1945. Isolating better foundation inbreds for use in corn hybrids. *Genetics* 30: 455-471.
 56. Russel, W.A. 1974. Comparative performance for maize hybrids representing different eras of maize breeding. *Proc. Annu. Corn Sorghum Conf.* 29: 81-101.
 57. Singleton, W.R., and O.E. Nelson. 1945. The improvement of naturally cross pollinated plants by selection in self fertilized lines. *Connecticut Agric. Exp. Sta. Bull.* 490: 458-498.
 58. Shull, G.H. 1978. The composition of field of maize. *Am. Breeders Assoc. Rep.* 4.
 59. Soeharsono. 1958. Kultur jagung heterosis dan kemungkinan untuk Indonesia. *Kongres Ilmu Pengetahuan Nasional*, Malang, 1 Agustus.
 60. Sprague, G.F., and L.A. Tatum. 1942. General vs specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* 34: 923-932.
 61. Sprague, G.F. 1946. Early testing of inbred lines of corn. *J. Am Soc. Agron.* 38: 108-117.
 62. Sprague, G.F. 1955. Corn breeding. Dalam: G.F. Sprague (ed.), *Corn and Corn Improvement*. Academic Press, New York. p: 221-292.
 63. Stringfield, G.H. 1950. Heterozygosis and hybrid vigor in maize *Agron. J.* 42: 145-151.
 64. Subandi. 1985. Perkembangan jagung hibrida di Indonesia. *Bulletin Penelitian* 2: 1-12.
 65. Wellhausen, E.J., and P.C. Mengelsdorf. 1952. *Races of maize in Mexico*. Bussey Inst. Harvard Univ. Press, Cambridge.
 66. Wellhausen, E.J. 1978. Recent developments in maize breeding in the tropics. Dalam: D.B. Walden (ed.), *Maize Breeding and Genetics*, Wiley, New York. p. 59-84.
 67. Zuber, M.S. 1975. Corn germplasm base in the United States: is it narrowing, widening, or static? *Proc. Annu. Corn Sorghum Res. Conf.* 30: 277-286.