

Pembentukan Varietas Unggul Jagung Bersari Bebas

Made J. Mejaya, M. Azrai, dan R. Neni Iriany
Balai Penelitian Tanaman Serealia, Maros

PENDAHULUAN

Di Indonesia, jagung dibudidayakan pada lingkungan yang beragam. Luas areal panen jagung sekitar 3,3 juta ha/tahun, 80% di antaranya ditanami varietas unggul yang terdiri atas 56% jagung bersari bebas (komposit) dan 24% hibrida, sedang sisanya varietas lokal (Pingali 2001). Data Nugraha *et al.* (2002), menunjukkan, luas areal tanam jagung varietas unggul telah mencapai 75% (48% bersari bebas, 27% hibrida). Dari data tersebut nampak bahwa sebagian besar petani masih menggunakan benih jagung bersari bebas. Hal ini terkait dengan harga benih jagung bersari bebas lebih murah daripada benih jagung hibrida, atau karena benih hibrida sukar diperoleh, terutama di daerah terpencil.

Varietas unggul yang dihasilkan dari kegiatan perbaikan populasi akan berdampak pada peningkatan produksi dan nilai tambah usahatani jagung, karena daerah produksi jagung di Indonesia sangat beragam sifat agroklimatnya, yang masing-masing membutuhkan varietas yang sesuai. Varietas yang toleran terhadap cekaman lingkungan (penyakit, hama dan kekeringan) merupakan komponen penting dalam stabilitas hasil jagung.

Penanaman satu varietas dalam skala luas secara terus-menerus menyebabkan penurunan hasil. Program pemuliaan diarahkan untuk menghasilkan varietas yang beradaptasi spesifik pada wilayah dengan iklim dan jenis tanah tertentu. Pergiliran varietas diperlukan untuk mempertahankan ketahanan varietas terhadap hama dan penyakit tertentu.

Varietas jagung yang dihasilkan melalui perbaikan populasi perlu diuji pada daerah-daerah pertanaman yang mempunyai agroklimat yang berbeda untuk mengetahui tanggapannya terhadap lingkungan setempat. Adanya interaksi genotipe dengan lingkungan akan memperkecil kemajuan seleksi (Hallauer and Miranda 1981). Untuk memperkecil pengaruh interaksi ini, evaluasi genotipe perlu dilakukan pada dua lingkungan atau lebih.

Program pemuliaan tanaman terdiri atas tiga tahapan, yaitu: (a) pembentukan populasi dasar, (b) perbaikan berulang populasi dasar, dan (c) pembuatan galur untuk induk hibrida, sintetik dari populasi dasar yang telah diperbaiki.

POPULASI DASAR

Keluaran jangka panjang (lima tahun) yang diharapkan dari pemuliaan jagung pada umumnya adalah varietas unggul berumur genjah (90 hari), tahan terhadap cekaman biotik (hama, penyakit), abiotik (kekeringan, lahan masam, N rendah), dan hasil stabil. Keluaran jangka pendek adalah tersedianya populasi dasar untuk membentuk varietas komposit dan sintetis, dan tersedianya famili yang tahan terhadap cekaman lingkungan. Selain itu, juga dilakukan pemuliaan tanaman untuk memperbaiki varietas jagung pulut, jagung manis, dan jagung biomas agar mempunyai batang tegap, tongkol besar, kadar nutrisi biji tinggi, dan potensi hasil dan biomas tinggi.

Pembentukan populasi dasar didahului oleh pemilihan plasma nutfah untuk menentukan potensi perbaikan genetik sesuai dengan yang diharapkan dari program pemuliaan, sedangkan cara atau prosedur pemuliaan menentukan potensi maksimum yang bisa dicapai. Populasi dasar jagung yang digunakan di Malang pada periode 1980-1995 untuk seleksi hasil tinggi adalah MC.B, MC.C, dan MC.D; seleksi untuk ketahanan terhadap penyakit busuk pelepah adalah Arjuna, Rama dan Pop.28; seleksi untuk umur genjah yaitu MC.A, MC.F, ACER, dan Pop.31; dan seleksi untuk toleran kekeringan adalah Pool-2 dan Malang Komposit-9.

Plasma nutfah merupakan sumber gen yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan keragaman tanaman, sehingga ada peluang untuk memperbaiki karakter suatu populasi dan membentuk varietas jagung. Indonesia miskin plasma nutfah jagung, sehingga dalam pemuliaan perlu menjalin kerja sama dengan negara lain untuk memperkaya plasma nutfah. Tanpa plasma nutfah yang mengandung gen-gen yang baik, pemuliaan tanaman tidak akan menghasilkan varietas unggul yang diinginkan. Untuk memperbesar keragaman genetik perlu adanya introduksi varietas/galur dari luar negeri dan koleksi dari pusat-pusat produksi di dalam negeri. Koleksi ini perlu dilestarikan dan dilakukan karakterisasi sehingga sewaktu-waktu dapat digunakan dalam program pemuliaan. CIMMYT (Meksico) merupakan sumber utama plasma nutfah jagung di dunia.

Dari koleksi plasma nutfah dikembangkan pool gen (gen pool) yang merupakan campuran/komposit dari varietas-varietas bersari bebas, sintetis, komposit, dan hibrida. Pool gen ini mengandung gen-gen yang diinginkan yang mungkin frekuensinya masih rendah. Varietas atau hibrida hasil program pemuliaan dapat dimasukkan ke dalam pool yang telah ada (Subandi *et al.* 1988). Sebagai bahan untuk pembentukan varietas sintetis diperlukan galur-galur inbrida yang memiliki daya gabung yang baik, sedangkan untuk varietas komposit diperlukan galur yang berdaya gabung umum yang baik dan atau varietas yang memiliki variabilitas genetik yang luas.

PERBAIKAN POPULASI

Pemuliaan tanaman antara lain bertujuan untuk membentuk genotipe unggul dengan jalan menggabungkan gen-gen dari berbagai sumber atau tetua, atau mengaktifkan gen yang laten (Sumarno 2003). Strategi pemuliaan tanaman jagung untuk mendapatkan varietas unggul baru adalah dengan cara persilangan dan seleksi berulang sebagai usaha pemuliaan jangka panjang, introduksi dari luar negeri dan perbaikan populasi, serta seleksi untuk stabilitas hasil dilakukan pada berbagai sentra produksi jagung.

Seleksi Berulang

Prinsip seleksi berulang adalah memilih famili yang diinginkan dan membuat persilangan antara famili terpilih (rekombinasi), dan menanam kembali benih hasil rekombinasi untuk diseleksi lagi. Dengan cara ini akan diperoleh populasi yang lebih baik dari populasi awal.

Pada umumnya satu daur seleksi memerlukan tiga musim, yaitu persilangan untuk pembuatan famili, percobaan untuk mengevaluasi penampilan famili, dan memilih famili yang dikehendaki. Selanjutnya dilakukan pembuatan persilangan antarfamili terpilih.

Kemajuan seleksi bergantung pada keragaman genetik populasi awal yang digunakan dalam seleksi dan jenis famili yang digunakan untuk evaluasi, namun yang sangat menentukan adalah bagaimana evaluasi famili dilakukan. Percobaan harus dilakukan dengan baik, lahan dalam satu ulangan seragam, jumlah tanaman dalam satu petak cukup, pengamatan dan pengukuran dilakukan dengan baik. Adanya perbedaan tanaman antar-petak akan menyulitkan dalam pemilihan famili untuk pembentukan populasi baru. Evaluasi yang kurang tepat tidak akan memberikan hasil seperti yang diharapkan karena tingginya koefisien keragaman sehingga sulit membedakan galur yang baik dengan yang kurang baik. Kesulitan mengidentifikasi galur baik dapat disebabkan oleh faktor genetik atau lingkungan.

Ragam genetik terdiri atas ragam aditif, dominan, dan epistasi atau interaksi antara gen. Besarnya ragam genetik ditentukan oleh proporsi ragam aditif terhadap ragam total atau ragam fenotipe (σ_A^2/σ_p^2), disebut heritabilitas. Heritabilitas menentukan gen-gen yang diwariskan kepada turunannya. Komponen ragam dapat diduga dengan rancangan persilangan. Dengan mengetahui besarnya ragam aditif relatif terhadap ragam total dapat dipilih seleksi yang dapat memberikan kemajuan terbesar. Seleksi akan meningkatkan frekuensi gen karakter yang diinginkan pemulia. Pemilihan prosedur seleksi ditentukan oleh dana, fasilitas, dan tenaga.

Populasi yang telah diperbaiki dapat digunakan sebagai sumber gen untuk pembuatan hibrida. Hibrida akan memberikan hasil tinggi apabila populasi sumber galur mempunyai potensi hasil yang tinggi. Seleksi juga dapat diprogramkan untuk memperoleh galur-galur yang daya gabungannya baik untuk pembentukan varietas hibrida, seperti pada seleksi saudara tiri dengan menggunakan galur sebagai tetua penguji. Jika galur S1 disilangkan dengan suatu galur, misalnya dengan galur Mr 14, maka yang akan dipilih adalah galur-galur yang daya gabungannya baik dengan Mr 14. Indikator yang digunakan adalah jika hasilnya lebih tinggi daripada hibrida pembanding. Prosedur lain adalah seleksi berulang timbal balik, yaitu galur dari populasi A diuji dengan populasi B dan sebaliknya galur B diuji daya gabungannya dengan populasi A. Dengan seleksi ini akan diperoleh galur-galur dari populasi A yang daya gabungannya baik dengan galur-galur dari populasi B. Seleksi dapat menghasilkan populasi yang produktivitasnya lebih tinggi daripada populasi awal, sehingga dapat dilepas sebagai varietas bersari bebas. Varietas yang dihasilkan dengan prosedur ini adalah varietas Gumarang, Lamuru, dan Palaka.

Perbaikan populasi jagung dilakukan dengan seleksi berulang yaitu seleksi dilakukan berulang-ulang sampai beberapa generasi. Tujuannya adalah untuk meningkatkan frekuensi gen yang baik, sehingga dapat meningkatkan nilai tengah populasi dan mempertahankan keragaman genetik populasi (Dahlan dan Slamet 1992). Seleksi berulang terdiri atas tiga tahapan kegiatan, yaitu pembuatan famili, evaluasi famili, dan rekombinasi famili terpilih. Populasi yang diperbaiki dapat berupa varietas bersari bebas, sintetik, komposit, dan pool.

Rekombinasi keturunan unggul akan meningkatkan frekuensi gen-gen yang diinginkan, sehingga dalam tahap berikutnya akan memperbesar peluang untuk mengisolasi keturunan yang unggul. Biasanya perbaikan genetik tidak bisa dicapai hanya dalam satu siklus. Perbaikan genetik menjadi sangat nyata setelah 10 siklus seleksi dan rekombinasi. Efektivitas seleksi berkala bergantung kepada adanya keragaman genetik, frekuensi gen dalam populasi asal, dan heritabilitas sifat yang sedang diperbaiki. Seleksi berulang dapat dibedakan menjadi:

1. Seleksi massa: seleksi berdasarkan pengamatan secara visual individu tanaman tanpa evaluasi famili.
2. Seleksi barisan-satu-tongkol (*ear-to-row*): modifikasi seleksi massa dengan mengevaluasi famili saudara tiri.
3. Seleksi saudara kandung (*full-sib*): seleksi berdasarkan evaluasi famili hasil persilangan sejoli 1x2, 3x4, 5,6 dan seterusnya dan atau timbal baliknya (*reciprocal*).

4. Seleksi saudara tiri (*half-sib*): seleksi berdasarkan evaluasi hasil persilangan galur S0 atau S1 dengan varietas atau hibrida lain yang disebut penguji (*tester*).
5. Seleksi S1: seleksi berdasarkan evaluasi keturunan yang diperoleh dari satu kali persilangan-dalam (S1).
6. Seleksi S2: sama dengan seleksi S1, kecuali seleksi dilakukan berdasarkan evaluasi keturunan yang diperoleh dari dua kali persilangan dalam (S2).
7. Seleksi berulang timbal-balik: seleksi berdasarkan evaluasi hasil persilangan dua populasi, populasi yang satu digunakan sebagai tetua penguji populasi yang lain dan sebaliknya.
8. Seleksi saudara kandung timbal-balik: seleksi berdasarkan hasil evaluasi saudara kandung yang berasal dari persilangan dua populasi yang prolific, populasi yang satu digunakan sebagai tetua penguji populasi yang lain dan sebaliknya.

Tahapan Seleksi Berulang

Seleksi Massa

Tahap-tahapan seleksi ini pada dasarnya dapat dilukiskan sebagai berikut: Tanam 100 biji pada petak-petak kecil. Tanaman yang tidak diinginkan dibuang malainya sebelum menghasilkan tepung sari. Pemilihan dilakukan terhadap induk jantan dan betina, kemudian dilakukan perkawinan antara tanaman terpilih dengan membagi populasi menjadi dua grup. Tepung sari grup A untuk menyerbuki tanaman grup B sehingga terhindari kawin sendiri.

Seleksi massa hanya diperlukan satu musim karena tidak ada pembuatan persilangan, sehingga seleksi massa akan selesai dalam tiga generasi, sedangkan untuk daur seleksi lainnya baru selesai satu daur. Petani pada prinsipnya telah melakukan seleksi massa, yaitu memilih tanaman yang dikehendaki, biji dari tongkol terpilih dicampur untuk pertanaman berikutnya. Seorang petani di Malang melakukan pemilihan benih varietas Harapan untuk tanaman berikutnya. Setelah beberapa tahun ternyata hasilnya lebih tinggi dari hasil varietas Harapan yang asli, tetapi di lokasi lain hasilnya tidak lebih baik. Hal ini menunjukkan bahwa seleksi pada lingkungan spesifik dapat menghasilkan varietas yang khusus untuk lokasi tertentu.

Pada umumnya petani mempunyai lahan yang sempit sehingga benih yang diperlukan tidak banyak. Pada lahan 10 are diperlukan benih 2 kg, atau 20-40 tongkol. Kadang-kadang petani hanya menanam di pematang sawah pada musim hujan untuk benih musim kemarau. Untuk pertanaman ini hanya diperlukan 3-10 tongkol, dan persilangan tidak bebas lagi, sehingga terjadi perkawinan "sedarah". Akibat yang ditimbulkan dari perkawinan

tersebut adalah beberapa lokus menjadi homozigot dan tanaman menjadi seragam. Tidak jarang ditemukan varietas yang seragam, terutama bentuk tongkol, warna biji, rambut, dan anther. Akibat perkawinan sedarah ini hasil akan menurun. Untuk menghindari persilangan sedarah pada seleksi berulang dipilih 15-20 famili dan tiap famili sedikitnya dibuat persilangan 19 tanaman per famili dari hasil persilangan dengan famili lain, sehingga terdapat 380 pasangan persilangan. Karakter tertentu akan terlihat karena adanya seleksi oleh petani dan jumlah tanaman sedikit seperti biji ungu, tahan terhadap hama penyakit setempat. Seleksi ini dapat terjadi karena keterlibatan tangan petani atau terjadi secara alamiah. Dengan demikian varietas lokal dapat menjadi sumber gen yang baik karena adanya seleksi yang terus menerus.

Seleksi Barisan-Satu-Tongkol (*ear to row*)

Tahapan seleksi barisan-satu-tongkol adalah sebagai berikut:

- Musim 1: Sama seperti seleksi massa, ditanam populasi dasar materi seleksi, dibuat persilangan *half-sib*.
- Musim 2: Evaluasi famili saudara tiri dalam percobaan berulang, pilih 20-30 famili.
- Musim 3: Famili-famili terpilih disilangkan sesamanya (kawin acak) untuk membentuk famili saudara tiri baru sebagai bahan untuk dievaluasi pada daur berikutnya.

Seleksi Antargalur Saudara Kandung

Famili saudara kandung (*full sib*) dibentuk dengan membuat persilangan antara tanaman dalam populasi, sehingga tanaman yang berasal dari satu tongkol memiliki tetua jantan dan betina yang sama. Seleksi ini disebut seleksi saudara kandung. Tahapan seleksi pada dasarnya adalah sebagai berikut:

- Musim 1: Dari tanaman populasi dasar dilakukan persilangan sejoli antara tanaman 1 x 2, 3 x 4, 5 x 6 dan seterusnya. Demikian juga persilangan timbal balik (2 x 1, 4 x 3, 6 x 5 dan seterusnya) untuk membentuk famili saudara kandung. Seleksi pertama dilakukan pada saat melakukan persilangan dan seleksi kedua pada saat panen.
- Musim 2: Sebanyak 100-300 famili saudara kandung dievaluasi pada percobaan berulang, dari famili terbaik dipilih 20-30 famili untuk direkombinasi.
- Musim 3: Dibuat persilangan antarfamili tersebut atau rekombinasi (*intercross*) untuk memperoleh populasi siklus 1 (C1). Rekombinasi dan pembentukan famili dapat disatukan sehingga mengurangi satu musim, sehingga satu daur (siklus) terdiri dari dua musim.

Seleksi Antargalur Saudara Tiri

Seleksi saudara tiri (*half sib*) dilakukan berdasarkan evaluasi terhadap hasil persilangan galur-galur S0 (populasi awal) atau S1 dengan tetua penguji berupa varietas atau galur lain. Kemampuan galur dinilai dari daya gabung dengan genotipe lain. Seleksi galur saudara tiri bertujuan untuk menyeleksi sifat-sifat yang dipengaruhi oleh gen-gen dengan dominasi yang berlebihan (*over dominance*). Dari populasi, dipilih tongkol tanaman yang dikehendaki. Tanaman-tanaman yang berasal dari satu tongkol adalah saudara tiri karena induknya sama tetapi tetua jantannya berbeda. Saudara tiri juga dapat dibuat melalui persilangan antara galur S1 dengan populasi asalnya. Seleksi pertama adalah seleksi baris per tongkol yang hanya memerlukan waktu dua musim untuk satu daur, sedang seleksi kedua memerlukan dua atau tiga musim. Apabila persilangan dengan populasi dasar dilakukan pada musim berikutnya maka diperlukan tiga musim untuk setiap satu daur seleksi. Varietas yang dibentuk menggunakan teknis seleksi saudara tiri contohnya adalah varietas Kalingga, Bisma, Lagaligo, Lamuru, dan Palaka.

Tahapan seleksi saudara tiri adalah sebagai berikut:

- Musim 1: Dari tanaman populasi dasar dibuat *selfing* 300-600 tanaman S0. Seleksi dilakukan pada saat melaksanakan persilangan sendiri saat panen. Tongkol hasil persilangan sendiri ditanam terpisah.
- Musim 2: Tanam 300-600 galur S1 dalam petak skrining, sesuai tujuan pemuliaan. Buat persilangan antartanaman terpilih dari galur-galur S1 dengan tetua penguji. Panen tongkol hasil persilangan secara terpisah.
- Musim 3: Evaluasi 100-200 silang-uji menggunakan pengujian berulang, kemudian pilih 20-30 galur S1 untuk direkombinasi. Pada petak yang berlainan, disilang sendiri (*selfing*) galur-galur S1 untuk membentuk galur S2.
- Musim 4: Rekombinasi galur-galur terpilih dengan menggunakan biji galur S1 atau sisa benih silang uji untuk menghasilkan populasi siklus 1 (C1)

Seleksi S1

Seleksi S1 menggunakan galur S1, yaitu dengan membuat silang diri dari suatu populasi. Tepung sari yang digunakan untuk menyerbuki rambut tongkol berasal dari tanaman itu sendiri. Varietas yang dibentuk dari seleksi S1 antara lain adalah Rama, Kresna, dan Sukmaraga.

Tahapan prosedur seleksi berulang S1 adalah sebagai berikut:

- Musim 1: Tanam 2.000 biji populasi dasar (C0). Lakukan persilangan sendiri (*selfing*) 300-600 tanaman S0. Seleksi pertama di antara tanaman

S0 dilakukan pada saat persilangan pada saat panen tongkol-tongkol S1 secara terpisah untuk pengujian.

- Musim 2: Evaluasi galur-galur S1 di dua lokasi atau lebih. Dari pengujian ini, pilih 20-30 galur S1 yang akan direkombinasi untuk membentuk populasi siklus 1 (C1).
- Musim 3: Rekombinasi semua galur S1 yang terpilih untuk membentuk populasi siklus 1 (C1). Ambil benih tiap tongkol dalam jumlah yang sama, kemudian dicampur (*bulk*).
- Musim 4-6: Ulang prosedur musim 1-3 untuk menghasilkan populasi siklus 2 (C2), dan demikian seterusnya.

Seleksi S2

Pada seleksi S2, dilakukan silang diri (*selfing*) galur S1 untuk mendapatkan galur S2. Tujuan pembentukan galur S2 adalah membuang individu-individu galur S1 yang peka terhadap hama dan penyakit utama, sebelum melakukan pengujian galur-galur S2. Materi yang dievaluasi adalah galur-galur S2 sehingga diperlukan empat musim per daur seleksi. Tahapannya adalah pembuatan galur S1 dan galur S2, evaluasi galur-galur S2 dan rekombinasi galur S2, terpilih untuk membentuk populasi siklus 1 (C1).

Seleksi Berulang Timbal Balik (*Reciprocal Recurrent Selection*)

Kemajuan seleksi pada jagung menggunakan seleksi berulang timbal balik (berbalasan) cukup baik. Moli dan Hanson (1984) melakukan seleksi berulang berbalasan antara populasi Jarvis dan Indian Chief selama 10 daur dan meningkatkan hasil 24,3% pada Jarvis dan 20,3% pada persilangan Jarvis x Indian Chief. Sebaliknya untuk populasi pasangannya, Indian Chief, terjadi penurunan hasil 9,3%. Jarvis yang semula hasilnya lebih rendah dari Indian Chief, setelah 10 daur seleksi menjadi lebih tinggi. Keertanijakal dan Lamkey (1993) melakukan seleksi berulang berbalasan antara populasi Iowa Stiff Stalk Synthetic (BSSS ®) dan Iowa Corn Borer Synthetic M1 (BSCB1 ®) selama 11 daur dan meningkatkan hasil 6,95% (atau 0,28 t/ha) per daur pada persilangan antara kedua populasi. Hasil BSCB1 ® juga meningkat 1,94% (atau 0,06 t/ha) per daur, sedangkan hasil BSSS ® tidak berubah. Heterosis nilai tengah tetua meningkat dari 25% pada Co) menjadi 76% pada C11. Hasil kedua populasi tersebut pada daur ketujuh meningkat 15,5% untuk BSSS, 5,1% untuk BSCB1, dan heterosis untuk hasil biji kedua kelompok pasangan populasi pada daur keenam dan kedelapan disajikan pada Tabel 1.

Seleksi berulang berbalasan antara populasi *dent composite* dan *flint composite* selama tiga daur meningkatkan hasil 3,5% per daur pada persilangan antara kedua populasi. Peningkatan hasil pada persilangan antara populasi RSSSC dan RBS 10 selama enam daur mencapai 51%. Dalam

Tabel 1. Ukuran petak dan jarak tanam untuk mendapatkan populasi 53.000 tanaman/ha dengan 22 tanaman per baris.

Jarak antarbaris (cm)	Satu tanaman/lubang		Dua tanaman/lubang	
	Jarak dalam baris (cm)	Panjang baris (m)	Jarak dalam baris (cm)	Panjang baris (m)
65	29	6,09	58	5,8
70	27	5,67	54	5,4
75	25	5,25	50	5,0
80	24	5,04	48	4,8
85	22	4,62	44	4,4
90	21	4,41	42	4,2
95	20	4,20	40	4,0
100	19	3,99	38	3,8

Sumber: CIMMYT (1986).

satu daur seleksi berulang timbal balik diperlukan tiga musim tanam atau generasi untuk (1) pembentukan galur S1 (silang sendiri) dan silang puncak dari masing-masing populasi, (2) evaluasi silang puncak, dan (3) rekombinasi galur-galur terpilih.

Tahapan seleksi berulang timbal balik pada dasarnya adalah sebagai berikut:

- Musim 1: Persilangan sendiri tanaman populasi dasar untuk mendapatkan galur S1 pada kedua populasi (A dan B). Panen tongkol hasil persilangan sendiri secara terpisah.
- Musim 2: Persilangan galur S1 yang diinginkan dari populasi A x B dan sebaliknya. Seleksi pertama dilakukan pada saat melakukan persilangan dan seleksi kedua pada saat panen.
- Musim 3: Evaluasi 100-300 silang puncak dalam percobaan berulang, pilih 20-30 famili S1 untuk direkombinasi.
- Musim 4: Rekombinasi galur famili S1 terpilih untuk memperoleh populasi siklus 1 (C1).

Di Indonesia telah dicoba teknik seleksi ini. Populasi yang digunakan dalam seleksi berulang timbal balik adalah pasangan Malang Sintetik J1 dengan J2 versi umur dalam, dan pasangan Malang Sintetik K1 dengan K2 versi umur genjah, dengan kriteria sebagai berikut (Dahlan *et al.* 1996):

1. Malang Sintetik J1: tersusun atas 13 galur S0 yang berasal dari populasi atau varietas Malang Komposit 9, Kalingga, Wiyasa, Harapan, Rama, Muneng Sintetik 3, Populasi 27, dan Populasi 28. Galur-galur penyusun mempunyai daya gabung umum baik dengan GM15, biji berwarna kuning, dan tipe biji mutiara. Umur varietas sekitar 100 hari.

2. Malang Sintetik J2: tersusun atas 20 galur S3 dan S4 yang berasal dari populasi atau varietas Genteng Kuning, Populasi 24, Suwan 3, Populasi 28. Galur-galur penyusun ini mempunyai biji berwarna kuning, tipe biji gigi kuda, dan daya gabungannya baik dengan Suwan 1. Sintetik ini berumur sekitar 100 hari.
3. Malang Sintetik K1: tersusun atas 24 galur S0 yang berasal dari populasi atau varietas Malang Komposit (MK) A, MK.F, Acer, Populasi 31, Pool 1, dan Pool 2 yang daya gabungannya baik dengan Suwan 2. Warna biji kuning dan tipe biji mutiara. Umur varietas sekitar 90 hari.
4. Malang Sintetik K2: tersusun atas 20 galur S3 yang berasal dari populasi Suwan 2. Galur-galur penyusun ini mempunyai biji berwarna kuning, tipe biji gigi kuda, dan daya gabungannya baik dengan GM 15. Sintetik ini berumur sekitar 90 hari.

Prosedur seleksi yang digunakan untuk meningkatkan heterosis kedua pasang populasi adalah melalui modifikasi seleksi berulang timbal balik, yaitu satu daur terdiri dari empat musim tanam atau generasi. Dalam satu tahun hanya dapat ditanam tiga kali dengan tahapan seleksi : (1) pembentukan galur S1 (silang sendiri), (2) pembentukan silang puncak galur S1 menggunakan penguji populasi pasangannya, (3) evaluasi silang puncak, dan (4) rekombinasi galur-galur terpilih.

Malang Sintetik (MS) J1 berpasangan dengan MS J2, sedangkan MS K1 berpasangan dengan MS K2. Galur dari populasi J1 dievaluasi daya gabungannya dengan populasi J2. Sebaliknya, galur dari J2 dievaluasi dengan populasi J1. Galur-galur yang daya gabungannya baik digunakan untuk membuat populasi baru. Dengan cara ini akan terjadi akumulasi gen-gen baik yang saling mengisi kedua populasi tersebut. Seleksi dapat meningkatkan heterosis antara kedua populasi. Prosedur seleksi adalah sebagai berikut:

Tahun 1:

Musim 1: Seleksi daur ke-1

- Pembuatan silang sendiri populasi asal (daur ke-0 atau C0) untuk mendapatkan galur S1.

Musim 2:

- Penyaringan galur S1 (C0) terhadap hama/penyakit dan silang sendiri tanaman tahan untuk mendapat galur S2 (C0).
- Pembuatan silang puncak menggunakan galur S1 (C0) dengan populasi pasangannya.

Musim 3:

- Evaluasi silang puncak (empat populasi)
- Silang sendiri galur S2 untuk memperoleh galur S3

Tahun 2:

Musim 4: Lanjutan seleksi daur ke-1

- Rekombinasi galur S2 superior untuk mendapatkan populasi baru daur ke-1 (seleksi daur ke-1)
- Silang sendiri galur S3 untuk memperoleh galur S4.

Musim 1: Seleksi daur ke-2.

- Pembuatan silang sendiri populasi baru daur ke-1 untuk memperoleh galur S1.
- Pembuatan silang tunggal secara faktorial menggunakan galur S4.

Musim 2:

- Evaluasi galur S1 populasi daur ke-1 dan silang sendiri untuk memperoleh galur S2.
- Pembuatan silang puncak menggunakan galur S1.
- Evaluasi silang tunggal faktorial.

Tahun 3:

Musim 3: Lanjutan seleksi daur ke-2

- Evaluasi silang puncak
- Silang sendiri galur S2 untuk memperoleh galur S3
- Pembentukan hibrida silang tiga jalur

Musim 4:

- Rekombinasi galur S2 superior untuk mendapatkan populasi baru daur ke-2 (selesai daur ke-2).
- Pembuatan silang sendiri galur S3 untuk memperoleh galur S4.
- Evaluasi pendahuluan hibrida silang tiga jalur.

Musim 5: Seleksi daur ke-3

- Evaluasi lanjutan hibrida silang tiga jalur.

Uji silang (silang puncak) dilakukan pada galur S1 dan pada tahap ini dilakukan seleksi galur. Hanya galur yang mempunyai karakter yang diinginkan yang diteruskan pada evaluasi silang puncak. Ketahanan terhadap penyakit utama dapat ditingkatkan dengan mengevaluasi ketahanan galur S1 dan tanaman silang puncaknya sendiri. Rekombinasi dilakukan menggunakan tanaman pada galur yang tahan penyakit tersebut. Ketahanan terhadap kekeringan berkorelasi dengan interval antara keluar rambut tongkol dan keluar tepungsari, makin pendek interval berbunga makin toleran terhadap kekeringan. Selain itu, genotipe yang toleran populasi tinggi juga tahan terhadap kekeringan.

Selama silang sendiri dapat diidentifikasi galur-galur yang membawa gen-gen yang diinginkan. Dari 20 galur S2 yang terpilih dibuat persilangan sesamanya (*intercross*) untuk membuat populasi baru dan dari 10 galur S2 yang baik dibuat calon varietas atau dibuat hibrida dengan galur dari populasi pasangannya.

Hasil penelitian menunjukkan heterosis dari empat lokasi antara K1 C0 dengan K2 C0 rata-rata 28% dan antara J1 C0 dengan J2 C0 rata-rata 0,5%. Setelah satu daur seleksi berulang berbalasan terjadi rerata heterosis dari empat lokasi antara K1 C1 dengan K2 C1 rata-rata 0,7% dan antara J1 C1 dengan J2 C1 rata-rata 8,9%. Kemajuan karena seleksi yaitu kenaikan hasil biji setelah satu daur seleksi untuk silang tunggal populasi K1 C1 x K2 C1 dan J1 C1 x J2 C1, masing-masing 1,0% dan 4,7%. Kemajuan langsung seleksi berulang berbalasan dapat dilihat dari kenaikan heterosis dan kenaikan hasil silang populasinya. Kemajuan tidak langsung adalah kenaikan hasil dari populasi itu sendiri. Tujuan utama seleksi berulang berbalasan adalah meningkatkan hasil hibrida yang diperoleh dari populasi yang diperbaiki. Pengaruh langsung akibat satu daur seleksi berulang berbalasan pada pasangan populasi J1 dan J2 lebih besar daripada pasangan K1 dan K2, berupa peningkatan hasil (kemajuan seleksi) silang populasi J1 x J2 vs K1 x K2 sebesar 4,7% vs 1,0%; dan kenaikan heterosis sebesar 8,4% vs -27,5%. Pengaruh tidak langsung pada populasi K1 dan K2 lebih besar dibanding J1 dan J2, yaitu berupa peningkatan hasil dari tiap populasi dari daur ke-0 (populasi asal) ke populasi daur ke-1 masing-masing 12,7% dan 48,5% vs 7,9% dan 1,6% (Dahlan *et al.* 1996).

Seleksi Saudara Kandung Timbal-Balik (*Reciprocal Full-Sib Selection*)

Tahapan seleksi ini adalah sebagai berikut:

Musim 1: Persilangan sendiri tanaman bertongkol ganda (dua) pada tongkol kedua untuk mendapatkan galur S1 dan tongkol pertama diserbuki dari tanaman populasi lain untuk menghasilkan famili saudara kandung, pada kedua populasi (A dan B).

Musim 2: Evaluasi 100-300 famili saudara kandung dalam petak berulang, pilih 20- 30 famili S1 untuk direkombinasi.

Musim 3: Rekombinasi famili S1 terpilih untuk memperoleh populasi siklus 1 (C1).

Prosedur selanjutnya sama dengan prosedur seleksi lainnya.

PERAKITAN VARIETAS SINTETIK DAN KOMPOSIT

Varietas jagung bersari bebas dapat berupa varietas sintetik maupun komposit. Varietas sintetik dibentuk dari beberapa galur inbrida yang memiliki daya gabung umum yang baik, sedangkan varietas komposit dibentuk dari galur inbrida, varietas bersari bebas, dan hibrida. Dalam pembentukan varietas bersari bebas yang perlu diperhatikan adalah populasi dasar yang akan diperbaiki dan metode yang digunakan dalam perbaikan populasi tersebut. Varietas sintetik adalah populasi bersari bebas yang berasal dari silang sesamanya (*intercross*) antargalur inbrida, yang diikuti oleh perbaikan melalui seleksi. Pembentukan varietas sintetik diawali dengan pengujian silang puncak (persilangan galur dengan penguji) untuk menguji galur, terutama untuk menentukan daya gabung umum galur-galur yang jumlahnya banyak. Oleh karena itu varietas sintetik merupakan hasil sementara dari program pembentukan hibrida.

Silang puncak dapat dibuat di dalam petak terisolasi, di mana semua bunga jantan dari galur-galur yang akan diuji dicabut dan penguji berfungsi sebagai induk jantan. Jenis penguji yang dipakai bergantung pada evaluasi yang diinginkan, yaitu untuk daya gabung umum (DGU) atau daya gabung khusus (DGK). Nilai daya gabung memberi informasi tentang galur-galur yang dapat membentuk hibrida-hibrida yang baik, bila disilangkan dengan galur yang lain.

Galur-galur yang daya gabungnya baik juga dapat digunakan dalam perakitan varietas sintetik. Produksi benih varietas sintetik lebih mudah dan petani dapat menggunakan benih dari hasil pertanamannya sendiri. Untuk varietas hibrida, petani harus membeli benih setiap kali tanam, sehingga menambah biaya produksi.

Hasil biji varietas sintetik diduga berdasarkan formula: $Y_2 = Y_1 - (Y_1 - Y_0)/n$, di mana: Y_2 = rata-rata varietas sintetik yang didapat dari kawin acak (*intercross*) semua silang tunggal dari n galur murni; Y_1 = rata-rata nilai semua silang tunggal dari n galur murni; dan Y_0 = rata-rata nilai dari n tetua (galur murni).

Varietas komposit dibentuk dari galur, populasi, dan atau varietas yang tidak dilakukan uji daya gabung terlebih dahulu. Sebagian bahan untuk pembentukan komposit berasal dari galur dan varietas. Varietas atau hibrida dapat dimasukkan ke dalam komposit yang telah ada. Tahapan pembentukan komposit adalah sebagai berikut: (a) masing-masing bahan penyusun digunakan sebagai induk betina, (b) induk jantannya campuran dari sebagian atau seluruh bahan penyusun, dan (c) diadakan seleksi dari generasi ke generasi.

Tanaman jagung termasuk tanaman menyerbuk silang dan peluang menyerbuk sendiri kurang dari 5%, sehingga tanaman mendapat serbuk sari dari tanaman jagung yang ada di sekitarnya. Tepung sari dapat diterbangkan sampai ratusan meter, bergantung pada kecepatan angin. Karakteristik ini membuka peluang bagi tanaman jagung untuk dapat membentuk komposit atau sintetik dari plasma nutfah terpilih. Varietas Arjuna yang berasal dari Thai Composite Early DMR merupakan campuran dari 37 plasma nutfah yang tersebar dari beberapa kontinen. Bogor Pool 4 merupakan komposit dari plasma nutfah umur dalam yang disilangkan dengan Suwan 1. Bogor Pool 4 adalah sumber populasi dari varietas Kalingga dan Bisma. Plasma nutfah bahan penyusun komposit mempunyai karakter yang berbeda dalam banyak hal, seperti warna rambut (merah, pink, dan putih). Demikian pula warna anther, sehingga dapat dimengerti bahwa varietas komposit nampak tidak seragam. Varietas sintetik dibentuk dari beberapa galur. Varietas Lamuru dan Palaka, misalnya dibentuk dari 20 galur yang berasal dari Malang Sintetik J2 (MSJ2). Sintetik MSJ2 dibuat dari galur-galur GM 4, 11, 12, 15, dan tiga galur dari Genteng Kuning, lima galur dari Suwan-1, dan delapan galur dari Suwan-3. Dengan demikian dapat dimengerti kalau varietas Lamuru dan Palaka memilih warna rambut dan anther yang bermacam-macam. Demikian pula gen-gen yang menentukan hasil atau karakter lainnya. Jagung komposit dan sintetik dapat digunakan sebagai populasi dasar dalam pembentukan varietas baru. Keragaman jagung komposit genetik lebih luas daripada jagung sintetik.

Dalam kegiatan sertifikasi terhadap varietas sintetik dan komposit, sifat-sifat kualitatif seperti warna rambut atau warna bunga jantan tidak dapat dipakai sebagai kriteria kemurnian varietas, karena segregasi yang menunjukkan warna lain akan terus terjadi, walaupun telah dimurnikan. Petugas inspeksi benih perlu memahami bahwa komposisi genetik varietas sintetik dan komposit adalah heterozigot dengan frekuensi gen-gen tertentu yang ditingkatkan. Oleh karena itu, segregasi akan terjadi, dan itu bukan berarti terdapat campuran (cvl).

Tahapan pembentukan varietas baru jagung sintetik adalah sebagai berikut:

- Pilih galur inbrida yang memberikan penampilan baik. Jumlah inbrida yang dipilih sedikitnya 10 galur. varietas sintetik juga dapat dibentuk dari rekombinasi hibrida yang baik.
- Sebagai contoh, varietas Maros Sintetik-3 dibentuk dari BARI Hybrid Maize 3, NSX 982013, NSX 022026, NTX 032001, KSX 4452, KSX 4505, KSX 4507, KSX 4601, NT 6621 (Syngenta), LCH 9, Semar 10, dan Bima 1.
- Hibrida yang berasal dari Bangladesh dan Vietnam rentan terhadap penyakit bulai, tetapi potensi hasilnya tinggi. Semar 10 dan Bima-1 terbentuk dari galur yang sama, tetapi berbeda komposisi gennya.

- Dari masing-masing hibrida diambil 50 biji untuk ditanam satu baris dengan 25 lubang tanam. Benih digunakan sebagai tetua betina.
- Diambil lagi 25 biji dan campur menjadi satu dari semua hibrida ditanam untuk digunakan sebagai tanaman tetua jantan.
- Tanam dengan perbandingan satu tetua jantan dan dua tetua betina, sehingga ada 14 baris tetua betina dan sedikitnya tujuh baris tetua jantan. Malai tetua betina dicabut sebelum menghasilkan tepungsari.
- Tanaman dari bahan persilangan tersebut harus terpisah/terisolasi dari tanaman jagung lain, di rumah kawat, dibuat dua baris tiap tetua betina, dengan tetap memperhatikan rasio jantan : betina = 1:2. Tidak perlu harus 25 lubang tanam, sedikitnya 10 lubang tanam.
- Panen tetua betina dan biji diambil dalam jumlah yang sama dari masing-masing tanaman tetua betina untuk pertanaman berikutnya. Sintetik ini dapat digunakan sebagai sumber galur.
- Varietas Maros Sintetik-4 dibentuk dari galur yang daya gabungannya baik dengan GM 27, Maros Sintetik-5 dari galur yang daya gabungannya baik dengan Mr-4, dan Maros Sintetik-6 dari galur yang daya gabungannya baik dengan Mr-14.

EVALUASI KETURUNAN

Kemajuan seleksi bergantung pada kualitas genotipe populasi dasar dan keragaman genetik populasi awal yang kita gunakan dalam seleksi dan famili yang digunakan untuk evaluasi. Namun, yang juga ikut menentukan adalah bagaimana evaluasi famili dilakukan. Percobaan harus baik, lahan dalam satu ulangan seragam, jumlah tanaman dalam satu petak memadai, pengamatan dan pengukuran dilakukan baik. Adanya perbedaan tanaman antarpetak akan menyulitkan pada saat memilih famili untuk pembentukan populasi baru. Evaluasi yang tidak baik tidak akan memberikan hasil seperti yang diharapkan. Percobaan yang tidak baik memberikan koefisien keragaman yang tinggi sehingga sulit membedakan galur yang baik dengan yang kurang baik.

Dalam seleksi berulang pada perbaikan populasi perlu dilakukan evaluasi progeni (famili) untuk mengetahui potensi setiap famili. Dari setiap populasi diuji 196 hingga 256 famili, termasuk enam varietas pembanding. Entri tersebut ditanam menggunakan rancangan latis sederhana 16 x 16 (untuk 256 famili) dengan dua ulangan. Setiap ulangan terdiri atas 16 blok dan setiap blok terdiri atas 16 petak. Apabila setiap petak terdiri atas baris tunggal, maka setiap blok terdiri atas 16 baris. Nomor plot diurut dari nomor kecil ke nomor besar membentuk spiral.

Ukuran petak 5 m x 0,75 m dengan dua tanaman/lubang untuk mendapatkan populasi sebanyak 53.000 tanaman/ha. Setiap baris terdiri atas 11 lubang.

UJI ADAPTASI GENOTIPE HASIL PERBAIKAN POPULASI

Lingkungan uji yang berbeda antar daerah dapat mengakibatkan adanya interaksi genotipe dengan lingkungan. Untuk daerah yang sangat spesifik dilakukan seleksi setempat, sehingga varietas yang dihasilkan akan adaptif terhadap lingkungan tersebut. Genotipe jagung yang dihasilkan dari perbaikan populasi adalah yang memperlihatkan hasil tinggi, penampilan tanaman baik, memiliki ketahanan terhadap hama dan penyakit utama, toleran terhadap cekaman lingkungan (kekeringan, kemasaman tanah, keracunan Al). Genotipe ini perlu diuji lebih lanjut pada beberapa lokasi dan musim, yakni di daerah-daerah pertanaman jagung yang mempunyai agroklimat sejenis untuk mengetahui tanggapannya pada terhadap berbagai lingkungan. Adanya interaksi genotipe dengan lingkungan akan memperkecil kemajuan seleksi (Hallauer and Miranda 1981).

Evaluasi genotipe hasil seleksi dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu evaluasi daya hasil pendahuluan, lanjutan, dan multilokasi. Pada tahap awal, jumlah genotipe banyak dan lokasi terbatas, hanya genotipe yang termasuk peringkat atas yang dilanjutkan. Pada uji multilokasi, jumlah genotipe sedikit dan lingkungannya banyak. Dari penelitian multilokasi dapat diidentifikasi populasi atau genotipe yang stabil, sehingga dapat diketahui faktor lingkungan yang berpengaruh dan dapat diidentifikasi adaptasi suatu genotipe dengan lingkungan atau dapat dibuat karakterisasi daerah produksi jagung. Genotipe-genotipe harapan hasil uji multilokasi (minimum 16 lokasi) dapat diusulkan kepada Tim Pelepasan Varietas untuk dilepas sebagai varietas unggul baru. Varietas-varietas jagung bersari bebas Badan Litbang Pertanian yang dilepas dalam periode 2000-2004 disajikan pada Tabel 2.

Pengamatan yang dilakukan dalam uji multilokasi pada setiap petakan adalah:

- Jumlah tanaman (*plant stand*), umur 14 HST, sebelum penjarangan.
- Jumlah tanaman terinfeksi bulai, umur 30 HST.
- Tingkat penularan penyakit lain (penyakit karat dan bercak daun)
- Tingkat penularan hama (terutama penggerek dan lalat bibit}
- Umur berbunga jantan (yaitu saat keluar bunga jantan > 50%)
- Umur berbunga betina (yaitu keluar rambut > 50%)
- Tinggi tanaman
- Tinggi tongkol
- Jumlah tanaman rebah batang

Tabel 2. Varietas unggul jagung bersari bebas yang dilepas sejak lima tahun terakhir oleh Balitsereal, Maros.

Varietas jagung bersari bebas	Tahun dilepas	Populasi asal	Potensi hasil (t/ha)	Umur panen (hari)	Keunggulan spesifik
Gumarang	2000	MS.K2(RRS)C2	8,00	82	Umur genjah
Kresna	2000	AC(FS)C7	7,00	90	
Lamuru	2000	MS.J2(RRS)C2	7,60	95	Toleran kekeringan
Palakka	2002	MS.J2(RRS)C1	8,00	95	
Sukmaraga	2003	AMTL + var. Lokal	8,50	105	Toleran lahan masam
Srikandi Kuning-1	2004	S99TLYQ-AB	7,92	110	Kadar lisin dan triptofan tinggi
Srikandi Putih-1	2004	S98TLWQ(F/D)	8,09	110	Kadar lisin dan triptofan tinggi

- Jumlah tanaman rebah akar
- Penutupan kelobot
- Jumlah tanaman saat dipanen
- Jumlah tongkol dipanen
- Jumlah tongkol busuk
- Bobot tongkol kupasan basah
- Kadar air saat panen (menggunakan *seed moisture tester*)

MEMPERTAHAKAN KEMURNIAN VARIETAS JAGUNG BERSARI BEBAS

Pemulia harus mempertahankan komposisi genetik benih inti yang akan digunakan untuk produksi benih penjenis (BS). Benih penjenis secara genetik harus murni, tidak ada campuran varietas lain. Penentuan kemurnian melalui beberapa tahap, yaitu observasi lahan untuk pertanaman benih, observasi tanaman di lapangan, waktu berbunga, jarak isolasi dari varietas lain yang ditanam bersamaan. Menentukan biji varietas lain pada varietas bersari bebas relatif sulit dilakukan, karena varietas komposit dibentuk dari bermacam-macam plasma nutfah. Mungkin bijinya campuran tipe mutiara dan semi mutiara, dan kadang-kadang campuran tipe semi gigi kuda. Warna biji jingga, kuning, kuning muda. Observasi di lapang lebih mudah menentukan tanaman tipe yang menyimpang, terutama tinggi tanaman, ketahanan terhadap hama dan penyakit, dan ketegapan tanaman.

Perbanyak benih inti untuk memproduksi benih penjenis varietas bersari bebas tidak boleh kurang dari 200 tanaman yang dapat dipanen, ditanam pada tanah bukan bekas tanaman jagung, tidak ada tanaman yang berbunga bersamaan pada jarak 500 m, tidak ada tanaman tipe yang

menyimpang yang sampai memproduksi tepungsari. Dengan persyaratan ini maka pertanaman tidak luas, hanya 250-500 tanaman, dan setiap tanaman harus diobservasi, terutama pada waktu berbunga. Pada fase pertumbuhan masih mudah dilihat tanaman dengan tipe menyimpang untuk dibuang.

Warna rambut tongkol sering menjadi masalah dalam pemeriksaan benih dari tongkol dengan warna rambut yang macam-macam sering dianggap tidak murni, demikian pula tipe biji dan bentuk tongkol. Sebagai contoh, dalam populasi terdapat 36% tanaman yang warna rambut tongkolnya putih, sedang tanaman lainnya memiliki rambut tongkol berwarna merah dan merah muda. Hal ini menunjukkan bahwa frekuensi tanaman dengan rambut putih adalah 0,36. Apabila warna rambut ditentukan oleh gen A dan a (yang sebenarnya ditentukan oleh banyak gen), maka gen A dominan terhadap a dan AA berwarna merah, Aa merah muda, dan aa putih. Maka frekuensi allele a adalah 0,6 (akar kuadrat dari 0,36) dan allele A 0,4. Secara teoritis, dalam populasi terdapat warna rambut merah 16%, merah muda 48% dan putih 36%. Distribusi gen ini mengikuti sebaran binomial, sehingga ragamnya (varian) ialah 0,24 (perkalian 0,6 dengan 0,4). Apabila ada 100 tanaman ragamnya (σ^2) menjadi 24, sehingga salah baku (*standard error*) adalah 4,9, dibulatkan menjadi 5 (akar kuadrat dari 24). Tanaman dengan rambut putih berkisar antara 31-41 tanaman dan tidak dapat dimurnikan.

Untuk menjaga kemurnian dapat dilakukan dengan membuat persilangan antara tanaman dalam populasi. Hanya tanaman yang tidak termasuk tipe menyimpang yang dibuat persilangan. Satu tanaman hanya dapat sekali dalam pembuat persilangan. Untuk menjaga agar tidak ada perubahan karakter jumlah tongkol yang diperoleh maka persilangan minimal 100 pasang. Jumlah tanaman yang sedikit akan memperbesar koefisien silang dalam karena peluang gen dalam satu lokus berasal dari gen yang sama. Jadi ada kemungkinan jumlah tanaman yang berambut putih akan kurang dari 31 atau lebih dari 41.

DAFTAR PUSTAKA

- CIMMYT. 1986. Maize program special report. Mexico, D. F.
- Dahlan, M.M. dan S. Slamet. 1992. Pemuliaan tanaman jagung. p. 17-38.
Dalam: A. Kasno, M. Dahlan, dan Hasnam. Prosiding Simposium Pemuliaan Tanaman I. PPTI Jawa Timur. p. 439.
- Dahlan, M.M., S. Slamet, M.J. Mejaya, Mudjiono, J.A. Bety, dan F. Kasim. 1996. Peningkatan heterosis populasi jagung untuk pembentukan varietas hibrida. Balitjas. Maros. p. 50.

- Hallauer, A. R. and J.B. Miranda Fo. 1981. Quantitative Genetics in Maize Breeding. Iowa State Univ. Press, Ames.
- Keertanijakal, V. and K.R. Lamkey. 1993. Responses to reciprocal recurrent selection in BSSS and BSCB1 maize populations. *Crop Sci.* 33: 73-77.
- Moli, R.H. and W.D. Hanson. 1984. Comparison of effects of intrapopulation vs interpopulation selection in maize. *Crop Sci.* 24: 1047-52.
- Nugraha, U.S., A. Hasanuddin, dan Subandi. 2002. Perkembangan teknologi budi daya dan industri benih jagung. *Dalam: Kasryno et al. (Eds.) Ekonomi Jagung Indonesia.* Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Deptan. p. 37-72.
- Pingali, P. 2001. World Maize Facts and Trends. Meeting World Maize Needs: Technological Opportunities and Priorities for the Public Sector 1999/2000. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Subandi, M. Ibrahim, dan A. Blumenshein. 1988. Koordinasi Program Penelitian Nasional: Jagung. Puslitbangtan, Bogor.
- Sumarno. 2003. Pemuliaan tanaman menembus platou potensi genetik. Makalah disampaikan pada Lokakarya Manajemen Mutu Penelitian Pemuliaan Tanaman. Pacet, 8-12 september 2003.