

PEMULIAAN TANAMAN TEBU

Bambang Heliyanto¹⁾, Eka Sugiyarta²⁾, dan Abdurakhman¹⁾

1) Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat
Jln. Raya Karangploso, Kotak Pos 199, Malang 65152
2) Konsultan Pemuliaan Tebu, Pasuruan
e-mail: b.heliyant@gmail.com

Ringkasan

Tebu tergolong dalam kelompok tanaman perdu, famili *Graminae*, dari genus *Saccharum*. Upaya perbaikan varietas tebu telah berjalan lebih dari satu abad. Prinsip utama program pemuliaan tebu adalah mendapatkan segregasi yang mempunyai heterosis maksimum dari suatu persilangan. Program pemuliaan tanaman tebu dapat dibagi dalam empat kegiatan utama: a) Pelestarian dan pemanfaatan plasma nutfah, b) Pengembangan dan adopsi metodologi pemuliaan tebu, c) Perakitan varietas unggul, dan d) Perumusan atribut pendukung rekomendasi varietas komersial. Kegiatan pemuliaan tebu memerlukan sinergi antardisiplin ilmu, khususnya pemulia dengan ahli-ahli proteksi, fisiologi, tanah, dan prosesing harus bisa bekerja sama dalam merumuskan sasaran perakitan varietas. Proses perakitan varietas unggul tebu selain membutuhkan waktu yang cukup lama, yaitu antara 10–12 tahun juga memerlukan kontinuitas kegiatan, sehingga perlu dukungan pendanaan dan sumber daya manusia yang memadai agar produk akhir berupa varietas unggul selalu tersedia.

Kata kunci: Tebu, pemuliaan, *Saccharum*, heterosis, perbaikan tanaman, va-rietas

Sugarcane Breeding

Summary

Sugarcane is a shrub, belonging to Graminae family and genus *Saccharum*. Sugarcane breeding dates back more than a hundred years ago. The main philosophy of sugarcane breeding is to produce and utilize the maximum possible of heterosis effect in crosses. Sugarcane breeding program can be classified into four main activities, namely: a) Conservation and utilization of genetic resources, b) Development and adoption of breeding techniques, c) Development of high yielding sugarcane varieties, and d) Formulating the environmental factors/characters supporting the released varieties. Sugarcane breeding needs close synergist amongs related discipline, especially breeding, plant pathology and entomology, physiology, and post harvest. Time required to release high yielding sugarcane varieties is quite long, around 10–12 years. In addition, breeding needs continuous activities and there by sufficient amount of funding and man power supports so that the end products in the form of high yielding varieties would be produced regularly.

Keywords: Sugarcane, breeding, *Saccharum*, heterosis, plant improvement, variety

Pendahuluan

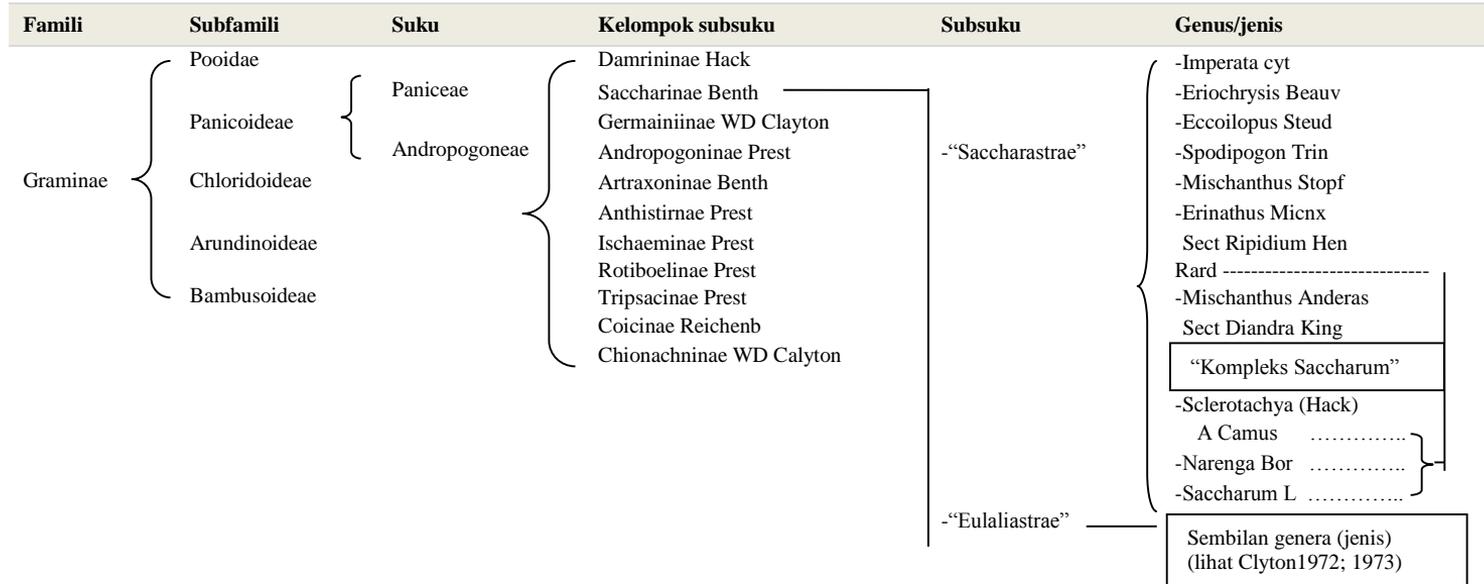
Bab ini menyajikan *review* upaya-upaya perbaikan varietas tebu yang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan konsumsi gula. Stalker (1980) berpendapat bahwa informasi biologi (asal usul, penyebaran, dan taksonomi) suatu tanaman yang dibudidayakan sangat penting dalam rangka memaksimalkan upaya perbaikan dan pemanfaatan tanaman tersebut. Dengan demikian, materi pemuliaan tebu ini akan diawali dengan kajian biologi.

Biologi Tebu

Tanaman tebu tergolong tanaman perdu dengan nama latin *Saccharum officinarum* L. Di Indonesia tebu dikenal dalam berbagai nama, misalnya di Jawa Barat disebut Tiwu, di Jawa Tengah dan Jawa Timur disebut tebu atau rosan. Morfologi tebu secara umum bisa digambarkan sebagai berikut (Indrawanto *et al.* 2010):

- a. Batang tanaman tebu berdiri lurus dan beruas-ruas yang dibatasi dengan buku-buku. Pada setiap buku terdapat mata tunas. Batang tanaman tebu berasal dari mata tunas yang berada di bawah tanah yang tumbuh keluar dan berkembang membentuk rumpun. Diameter batang antara 3–5 cm dengan tinggi batang antara 2–5 meter dan tidak bercabang.
- b. Akar tanaman tebu termasuk akar serabut tidak panjang, yang tumbuh dari cincin tunas anakan. Pada fase pertumbuhan batang, terbentuk pula akar di bagian yang lebih atas akibat pemberian tanah sebagai tempat tumbuh.
- c. Daun tebu berbentuk busur panah seperti pita, berseling kanan dan kiri, berpelepah seperti daun jagung dan tak bertangkai. Tulang daun sejajar, di tengah berlekuk. Tepi daun kadang-kadang bergelombang serta berbulu keras.
- d. Bunga tebu berupa malai dengan panjang antara 50–80 cm. Cabang bunga pada tahap pertama berupa karangan bunga dan pada tahap selanjutnya berupa tandan dengan dua bulir panjang 3–4 mm. Terdapat pula benang sari, putik dengan dua kepala putik, dan bakal biji.
- e. Buah tebu seperti padi, memiliki satu biji dengan besar lembaga 1/3 panjang biji. Biji tebu dapat ditanam di kebun percobaan untuk mendapatkan jenis baru hasil persilangan.

Dalam ilmu taksonomi, tebu termasuk famili Graminae dari genus/jenis *Saccharum* yang masuk dalam anggota suku Andropogoneae (Roach dan Daniels 1987). Hubungan taksonomi di dalam famili Graminae dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kedudukan taksonomi *Saccharum* menurut Roach dan Daniels (1987) dalam Pawirosemadi (2011)

Asal usul tebu masih menjadi perdebatan. Daniels dan Daniels (1975) dan Parthasarathy (1946) berpendapat bahwa pusat pengembangan tebu ada di Assam (India) pada zaman prasejarah. Tapi karena serangan penyakit busuk akar, pengembangan tebu pindah ke wilayah yang lebih sesuai, yakni Melanesia. Di lain pihak, Artschwager dan Brandes (1958) dan Warner (1962) berpendapat bahwa tebu berasal dari Irian (Papua). Pendapat mereka didasarkan pada hasil penelitian botani dan sitogenetik tanaman tebu.

Terdapat 6 spesies dari genus *Saccharum*, yang 2 merupakan tipe liar dan 4 tipe yang dibudidayakan. Spesies liar *S. spontaneum* menyebar di seluruh Afrika, Asia, dan Oceania sedangkan *S. robustum* Jeswit at Brandes menyebar di Melanesia dan Irian Jaya. Empat spesies yang dibudidayakan adalah *S. edule*, *S. robustum*, *S. sinense*, dan *S. officinarum*. Menurut Warner (1962) *S. edule* Hask adalah bentuk mutan dari *S. robustum* dan penyebarannya terbatas ke Melanesia dan Polinesia. *S. sinensis* diduga adalah hasil hibridisasi antara *S. spontaneum* dan *S. officinarum* dan penyebarannya di wilayah Tiongkok, sedangkan *S. barberi* penyebarannya ada di India. Diduga *S. officinarum* masuk ke wilayah India dan Cina melalui Melanesia.

Pemuliaan Tebu

1. Sejarah Pemuliaan Tebu Di Indonesia

Sejarah mencatat bahwa keberhasilan pemuliaan tebu terhadap penyakit sereh yang menyerang sebagian besar pertanaman tebu dunia berhasil dilakukan oleh para peneliti yang bekerja di Proef Station Oost Java yang berlokasi di Pasuruan, Jawa Timur, Indonesia. Persilangan klon “Kassur” (*back cross* dengan *S. spontaneum*) oleh peneliti Belanda yang menurunkan POJ 2878 menghasilkan varietas tahan penyakit sereh dan industri gula dunia dapat diselamatkan oleh penanaman varietas tersebut. Sampai saat ini POJ 2878 (Gambar 2) masih digunakan sebagai tetua persilangan untuk menghasilkan varietas-varietas tebu unggul di dunia. Skema seleksi tebu yang dilaksanakan di Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) Pasuruan telah dilaporkan dan diulas oleh Han Lioe Hong (1961); Darmodjo (1977); Lamadji dan Sukarso (1986); dan Sukarso dan Budhisantosa (1991). Pada prinsipnya metodologi pemuliaan tidak banyak perubahan sejak dilaporkan oleh Darmodjo (1977). Sejak tahun 1986 penyebaran semai hasil persilangan diperluas di kebun percobaan (KP) di Comal, Jatitujuh, Bungamayang, dan Takalar dengan filosofi menciptakan keragaman genetik sebesar-besarnya (1 juta semai) untuk peluang hasil yang lebih tinggi. Sejak tahun 2004 telah

dilakukan penyempurnaan skema seleksi tebu dengan menerapkan konsep seleksi famili rendemen tinggi dengan daya kepras yang baik (Sugiyarta *et al.* 2004).



Sumber: Cenicana 2014

Gambar 2. Varietas POJ 2878

Pada tahun 2011 terjadi perubahan yang cukup mendasar terkait mandat penelitian tebu. Dengan perpindahan status P3GI menjadi swasta, maka Kementerian Pertanian memberi tugas tambahan kepada Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat (Balittas) Malang untuk meneliti tebu. Dengan demikian sejak tahun 2011, tugas Balittas antara lain melakukan penyediaan dan perakitan varietas-varietas unggul tebu. Selain itu pihak swasta juga melakukan kegiatan persilangan dan seleksi tebu antara lain PT Gunung Madu Plantations (GMP) dan Sugar Group Company (SGC) di Lampung, Laju Perdana Indah (LPI) di Sumatra Selatan, PT PG Gorontalo di Gorontalo, Puslitbang Gula Jengkol PTPN X di Kediri, dan Puslitbang Sukosari PTPN XI.

Beralihnya pengelolaan tebu menjadi tebu rakyat intensifikasi membawa perubahan mendasar pada program perakitan varietas. Semakin beragamnya pola pengelolaan dan lingkungan tumbuh pertanaman tebu membawa konsep perubahan dalam strategi pemuliaan tebu, yaitu merakit varietas tebu untuk daya adaptasi khusus sesuai dengan kendala setempat. Varietas demikian disebut sebagai unggul spesifik lokasi.

Perubahan ini menuntut pemahaman bahwa untuk mencapai efisiensi teknis yang tinggi dari suatu varietas unggul harus ditempatkan pada lingkungan tipologi yang sesuai. Setiap wilayah pengembangan pertanaman tebu

diarahkan untuk menanam varietas-varietas unggul yang sesuai dengan ekolokasinya. Analisis lebih lanjut, varietas tidak hanya berinteraksi dengan faktor-faktor lingkungan tempat tumbuh, tetapi juga dengan waktu dan cara pengelolannya. Pada perkembangannya tidak tertutup kemungkinannya didapatkan varietas unggul yang mampu beradaptasi di banyak lokasi (regional universal).

2. Perubahan Strategis Arah Pengembangan Tebu

Bergesernya lahan tanaman tebu dari sawah ke tegalan dan meluasnya tebu ke lahan marginal serta makin beragamnya pola pengelolaan tebu, merupakan permasalahan yang dihadapi pengelola industri gula Indonesia pada saat ini. Keragaman lingkungan tumbuh tanaman tebu yang besar dan pola budi daya yang berubah menuntut adopsi dan aplikasi teknologi yang sesuai dengan kondisi setempat. Oleh karena itu sasaran program perakitan varietas tebu perlu mengakomodasi perubahan strategis tersebut pada pola pengelolaan tanaman tebu saat ini.

Adanya interaksi antara genotipe x lingkungan (GXE) yang banyak diungkap para peneliti, telah diulas secara mendalam oleh Mirzawan (1995). Beragamnya kondisi lingkungan perkebunan tebu di Indonesia menuntut tersedianya varietas-varietas unggul yang mempunyai daya adaptasi khusus pada lingkungan tumbuhnya. Chang (1999) serta Jackson dan Hogarth (1992) melaporkan bahwa program *regional selection* dan *regional variety trials* terbukti menghasilkan varietas-varietas yang sangat berarti bagi industri gula. Sementara itu di Indonesia dikembangkan metode hubungan korelasi antar-tempat seleksi multilokasi varietas tebu (Sukarso 1988). Hogarth dan Berding (2005) memberikan petunjuk jika seleksi varietas terpilih di lahan petani dengan memberikan hasil tebu tinggi, rendemen tinggi pada spesifik lokasi pertumbuhan, maka hasil tebu per area akan meningkat. Oleh karena itu pengujian varietas perlu dilakukan pada lingkungan berbeda agar dapat menetapkan kesesuaian varietas pada tipologi wilayah yang spesifik.

Studi spesifik lokasi untuk penanaman tebu yang dilakukan Djojosoewardho (1982) memberikan petunjuk pengaruh lingkungan sangat besar perannya dalam tingkat hasil suatu varietas tebu. Hal ini juga diungkapkan oleh Sukarso dan Engle (1981). Vega dan Galves (1996) melakukan pemilihan varietas berdasarkan lingkungannya yang cocok di Kuba berdasarkan data hasil tebu dan *pol* persen tebunya. Untuk mengatasi masalah keragaman lingkungan yang sangat besar, Amaya *et al.* (1999) melakukan studi karakterisasi wilayah untuk kegiatan seleksi tebu di Kolombia.

Suatu varietas yang dirancang sejak pemilihan tetua persilangan dan seleksi sejak dini di wilayah sasaran, akan menunjukkan daya adaptasi yang tinggi dengan lingkungan setempat (Sukarso 1986). Varietas unggul yang dihasilkan dan beradaptasi tinggi dengan ekolokasi setempat akan memberikan produktivitas maksimum. Diakui bahwa sangat sulit diperoleh varietas unggul yang dapat digunakan pada lingkungan yang luas (Sukarso 1986). Dalam pengujian varietas berdasarkan zonasi wilayah di Australia, varietas harapan dari berbagai zona dikumpulkan dan dievaluasi keragaannya untuk menetapkan varietas yang spesifik lokasi (Hogarth dan Berding 2005).

3. Dinamika Program Pemuliaan Tebu

Pemuliaan untuk mendapatkan varietas tebu unggul baru, merupakan pekerjaan yang berkesinambungan sebagai akibat terjadinya proses kemunduran klon (*clonal degeneration*). Hal ini terutama disebabkan oleh tingginya akumulasi penyakit-penyakit sistemik dan daya dukung lahan untuk pertanaman tebu yang semakin menurun. Produktivitas tebu umumnya masih rendah dan sebagian besar arealnya terserang penyakit kerdil *ratoon* (RSD), luka api (*smut*), maupun *streak mosaic virus* (Camstock *et al.* 1991; Camstock *et al.* 1995). Serangan hama penggerek (batang maupun pucuk) menjadi ancaman baru pada areal pengembangan baru yang sebelumnya merupakan wilayah non-ekosistem tanaman tebu. Terbatasnya sumber tenaga kerja juga menyebabkan aplikasi herbisida harus dilakukan pada pengendalian gulma di pertanaman tebu. Tuntutan perakitan varietas tebu diarahkan pada sifat tahan dan toleran terhadap berbagai masalah biotik dan abiotik lingkungan tumbuhnya.

Salah satu indikasi turunnya produktivitas gula di Indonesia adalah makin rendahnya perolehan rendemen yang dicapai oleh beberapa varietas unggul yang ditanam pada saat ini. Efisiensi teknis industri gula akan terjadi apabila rendemen tinggi menjadi sumber bahan baku pabrik gula. Dengan varietas tebu rendemen tinggi akan diperoleh efisiensi tebang angkut dan prosesing nira menjadi gula di pabrik untuk nilai per satuan gula kristal yang dihasilkan. Oleh karena itu seleksi terhadap varietas unggul rendemen tinggi menjadi perhatian penting. Breaux (1984) dan Legendre (1992) melalui seleksi berulang berhasil menaikkan rendemen di Louisiana.

Budi daya keprasan di lahan kering merupakan alternatif usaha tani tebu yang memberikan keuntungan usaha tani tebu yang tinggi. Keuntungan budi daya keprasan adalah memperpendek siklus tanaman, menurunkan biaya produksi, terutama bibit (Hunsigi 1993). Peningkatan daya keprasan pada varietas unggul baru yang meningkatkan rasio jumlah tanaman keprasan dari 1 : 1

menjadi 1 : 3 dapat meningkatkan produksi sebesar 1,9% per musim. Kontribusi kenaikan produksi tersebut 50% diantaranya didukung oleh perbaikan genetik (Hogarth 1987). Sementara itu penurunan produksi tebu akibat keprasan di negara subtropis seperti Louisiana disebabkan oleh berbagai faktor yang kompleks, terutama penyakit, hama, kompetisi dengan gulma, manajemen budi daya dan suhu dingin (Ricaud dan Arceneaux 1968).

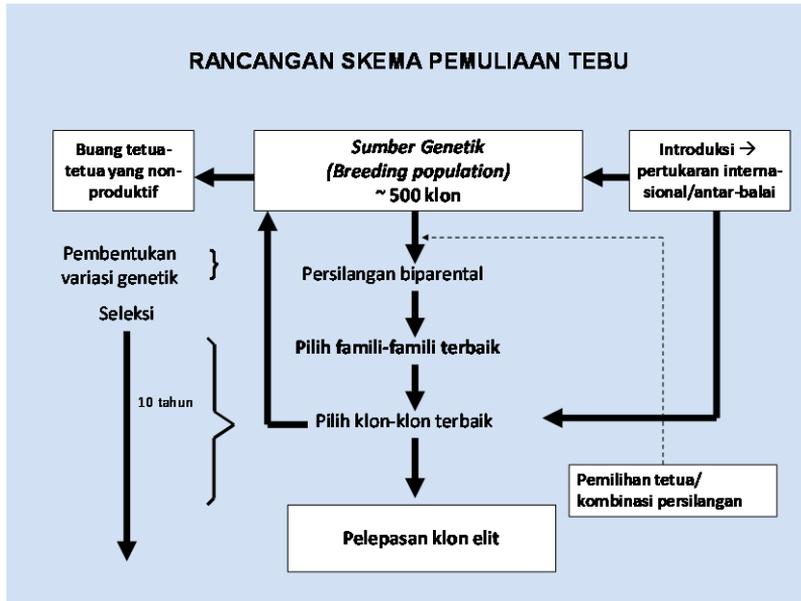
Daya kepras dapat ditingkatkan melalui seleksi langsung terhadap genotipe yang mempunyai produktivitas tanaman kepras yang tinggi. Sifat-sifat seperti jumlah batang banyak, viabilitas mata, pembentukan akar, dan akumulasi biomassa dapat menjadi indikator varietas dengan daya kepras baik (Sundara 1989). Bobot batang juga merupakan variabel penting dalam uji daya kepras (Chapman 1988). Seleksi daya kepras yang dilakukan oleh Milligan (1994) menekankan pada hasil tebu dan komponen-komponennya: jumlah batang, berat batang, panjang batang, dan diameter batang. Milligan *et al.* (1990) juga menekankan pada hasil sukrosa karena berkaitan erat dengan hasil tebu. Sundara (1989) menggunakan parameter jumlah batang, viabilitas mata, pembentukan akar, dan produksi biomassa sebagai ukuran daya kepras. Selain itu daya kepras juga ditunjukkan oleh hasil tebu, karena hasil tebu berkorelasi positif dengan parameter jumlah batang, viabilitas mata, dan biomassa (Chapman 1988). Studi awal oleh Mirzawan dan Sugiyarta (1999) menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang nyata hasil tebu pada kepras kedua dengan jumlah batang dan tinggi batang pada tebu umur 3 atau 6 bulan.

Penurunan hasil kepras umumnya berhubungan dengan kerentanan penyakit, hama, dan kemampuan kompetisi dengan gulma (Singh dan Singh 2002). Korelasi positif genotipe tebu yang tinggi terhadap daya kepras dengan hasil gulanya adalah pada jumlah batang digiling (*millable cane*), berat per batang, dan tinggi batang (Thippeswamy *et al.* 2003). Singh *et al.* (2005) mendapatkan petunjuk seleksi daya hasil kepras yang penting adalah pada jumlah batang digiling dan berat per batang. Panjang ruas dan jumlah ruas berpengaruh pada hasil tebu kepras, tetapi panjang ruas berkorelasi negatif terhadap hasil gula (Thangavelu 2005).

Terbatasnya ketersediaan tenaga kerja, maka penggunaan alat mesin mekanis menjadi sarana utama budi daya tebu. Kondisi ini menuntut perakit-an varietas tebu diarahkan pada keadaan lingkungan dan iklim yang beragam, cocok untuk budi daya mekanis dengan batang tegak, daun tua mudah mengelenthek sendiri, berdaya kepras baik, serta tahan terhadap hama dan penyakit penting serta toleran herbisida (Lo 1987; Hellman dan Payet 1998).

Program pemuliaan tanaman dimulai dari plasma nutfah sebagai koleksi inti kemudian ditetapkan calon tetua sebagai koleksi kerja persilangan yang

dapat diperoleh dari hasil nobelisasi, introduksi luar negeri, ekspedisi pada pusat asal dan penyebaran tebu (eksplorasi), maupun menggunakan varietas tebu unggul yang sudah ada (Gambar 3). Evaluasi karakter genotipe varietas tebu dalam koleksi inti akan menghasilkan klon-klon yang dimasukkan sebagai koleksi kerja dan ditanam dalam kebun persilangan (Atkin *et al.* 2009).



Gambar 3. Skema persilangan tebu

Besarnya interaksi genetik x lingkungan (GXE) yang disebabkan oleh perbedaan lokasi seleksi dan kondisi budi daya yang diterapkan memerlukan konsep perakitan varietas untuk spesifik lokasi. Karena itu pemilihan lokasi dan teknik budi daya yang relevan dengan tujuan seleksi dan pengujian adaptasi patut mendapatkan perhatian dalam program pemuliaan tebu.

4. Konsep Dasar Pemuliaan Tebu

A. Pengelolaan dan Pemanfaatan Plasma Nutfah

Prinsip program pemuliaan adalah mendapatkan segregan heterosis yang maksimal dari suatu persilangan (Falconer 1989). Derajat heterosis yang tinggi hanya dapat diperoleh dari persilangan dengan dasar genetik yang berkerabat jauh. Informasi tersebut dapat dinilai dari besarnya keragaman ge-

netik plasma nutfah yang dimiliki oleh lembaga pemuliaan. Semakin besar ragam genetik plasma nutfah yang dimiliki mempunyai makna bahwa lembaga tersebut memiliki peluang lebih baik dalam perakitan varietas unggulnya. Oleh karena itu koleksi plasma nutfah yang bernilai tinggi ditentukan oleh besarnya ragam genetik yang dimiliki, dan bukan karena banyaknya jumlah koleksi plasma nutfah.

Dasar genetik varietas tebu sangat terbatas. Pada saat ini terdapat empat sistem dasar genetik tebu di dunia, yaitu POJ (Proef Station of Java, Indonesia), Co (Coimbatore, India), H (Hawaii), dan F (Formosa, Taiwan). Namun demikian, apabila dipelajari lebih lanjut dasar genetik tersebut masih sangat dekat dengan POJ dan Co. Oleh karena itu inovasi memperluas dasar genetik plasma nutfah persilangan sangat diperlukan.

Usaha memperluas dasar genetik varietas unggul dilakukan sebagai kegiatan pemuliaan dasar, yaitu kegiatan persilangan dengan memasukkan sumber gen dari varietas unggul dalam dan luar negeri maupun nobelisasi jenis-jenis liar. Nobelisasi sendiri merupakan kegiatan persilangan yang diarahkan pada akumulasi sifat genetik tertentu yang dimiliki oleh jenis liar (*S. spontaneum*, *Erianthus* sp., *Mischantus* sp., dll.) (Gambar 4.) pada *S. officinarum* maupun klon-klon hibrida. Secara spesifik impor varietas luar negeri untuk koleksi kerja persilangan diarahkan agar bersumber dari negara yang tidak menganut sistem dasar genetik POJ dan Co.

Evaluasi koleksi inti terhadap sifat agronomis dan ketahanannya terhadap sifat-sifat penting perlu lebih diintensifkan. Dengan cara ini keunggulan dan kelemahan sifat varietas baru baik dari introduksi maupun ekspedisi dapat segera diketahui sehingga pemanfaatan plasma nutfah guna memperkaya basis genetik varietas yang dihasilkan dapat segera dilakukan.

Pentingnya sifat ketahanan terhadap kekeringan, hama dan penyakit, ketahanan keprasan, maupun sifat lain seperti toleransi terhadap herbisida, dan rendemen tinggi mendorong perakitan sifat-sifat tersebut mulai dari benah tua yang dipakai. Sifat ketahanan terhadap kekeringan dan keprasan serta terhadap hama dan penyakit umumnya dibawa oleh tebu liar seperti *S. spontaneum*. Sementara itu sifat ketahanan terhadap herbisida seperti ametrina diduga dibawa oleh bermacam spesies tebu mulai dari tebu asli (*S. officinarum*) hingga berbagai tebu liar (Kuntohartono 1977; Chudjaemi 1992). Karenanya tetua-tetua yang potensial dan membawa sifat ketahanan terhadap penyakit dan herbisida penting perlu ditanam dalam koleksi kerja persilangan.

B. Koleksi Inti dan Koleksi Kerja Persilangan

Pemilihan tetua persilangan yang berdaya gabung baik merupakan upaya awal pemuliaan tebu untuk menghasilkan varietas unggul. Saat ini pemilihan tetua tersebut didasarkan atas persentase keturunan yang terpilih sehingga tidak sederhana dan sulit karena terlalu besarnya jumlah plasma nutfah yang ada. Oleh karena itu jumlah koleksi yang besar ini perlu disederhanakan tanpa menurunkan ragam genetiknya dengan membentuk koleksi inti yang dapat dimanfaatkan secara optimal oleh pemulia tebu. Dalam koleksi inti tersebut klon-klon plasma nutfah telah dikategorikan dalam kelompok-kelompok berdasarkan jarak genetik sifat-sifatnya. Setiap kelompok besar dapat diwakili oleh beberapa individu anggota kelompok bersangkutan, sehingga tidak semua klon perlu dipelihara sebagai koleksi plasma nutfah. Sebagai bahan tetua persilangan dapat diambil subsets dari koleksi inti sebagai koleksi kerja.



Gambar 4. Spesies liar *Saccharum*

Koleksi inti disusun berdasarkan keragaman genetik sifat-sifat agronomi, morfologi, dan molekuler memberikan solusi yang tepat. Dengan demikian teknologi yang sedang dirakit ini akan dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan dan pemanfaatan plasma nutfah tebu serta menyederhanakan proses pemilihan tetua persilangan secara optimal. Studi keragaman genetik ini telah terbukti membantu pemilihan kombinasi persilangan pada kelompok tanaman *Saccharum* spp. (Cornide *et al.* 1999).

Evaluasi sifat agronomis, morfologis, dan molekuler tebu telah dilakukan P3GI atas sejumlah varietas introduksi (Widyasari 2009; Widyasari dan Lestari 2009; Sugiyarta 2009). Masih terdapat banyak varietas tebu hibrida, introduksi maupun klon tebu liar yang belum terevaluasi sifat-sifatnya, sehingga pemanfaatannya belum optimal. Perakitan koleksi inti plasma nutfah tebu diperlukan untuk menyederhanakan koleksi plasma nutfah yang ada sehingga pemeliharaannya dapat dilakukan secara lebih efisien.

Efisiensi pengelolaan dan pemanfaatan plasma nutfah dapat ditingkatkan apabila jumlah yang dilestarikan dapat disederhanakan dengan membentuk koleksi inti (Frankel 1984) yang diutamakan untuk evaluasi dan pemanfaatannya dalam persilangan (Brown 1989a). Koleksi inti umumnya terdiri atas 5–10% dari jumlah koleksi dan idealnya melestarikan minimal 70% dari allele yang dikandung oleh seluruh koleksi (Brown 1989a). Syarat koleksi inti yang baik harus mewakili keragaman genetik seluruh koleksi yang ada (Brown 1989b).

C. Dasar Genetika Tebu

Species *Saccharum* merupakan poliploidi yang amat kompleks dengan jumlah kromosom yang sangat besar. Jumlah kromosom dapat berubah karena munculnya aneuploidi dalam spesies, seperti ketidakteraturan proses meiosis sederhana. Poehlman dan Borthakur (1969) mendapatkan jumlah kromosom beberapa spesies *Saccharum* seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah kromosom species *Saccharum* dan kerabatnya

No.	Spesies	Jumlah kromosom
1	<i>S. officinarum</i>	2n = 80
2	<i>S. barberi</i>	2n = 82, 90, 92, 107, 116, 124
3	<i>S. sinensis</i>	2n = 116, 118
4	<i>S. spontaneum</i>	2n = 40 sampai 128
5	<i>S. robustum</i>	2n = 60 sampai 148
6	<i>Erianthus maximus</i>	2n = 60 sampai 100
7	<i>Sclerotachya fusta</i>	2n = 30
8	<i>Narenga porphyrocoma</i>	2n = 30

Sumber: Poehlman dan Borthakur (1969)

Persilangan dapat terjadi antargenus, dan kemungkinan terjadinya susunan kromosom intrograsi antarspesies tersebut digambarkan oleh Poehlman dan Borthakur (1969) seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Kemungkinan susunan kromosom F1 antarspesies *Saccharum*

No.	Persilangan		Susunan kromosom F1
1	<i>officinarum</i>	x <i>spontaneum</i>	2n + n
2	<i>officinarum</i>	x <i>barberi</i>	2n + n
3	<i>officinarum</i>	x <i>sinensis</i>	2n + n
4	<i>officinarum</i>	x <i>robustum</i>	n + n
5	<i>spontaneum</i>	x <i>officinarum</i>	n + n
6	<i>barberi</i>	x <i>officinarum</i>	n + n
7	<i>sinensis</i>	x <i>officinarum</i>	n + n
8	<i>robustum</i>	x <i>officinarum</i>	n + n

Sumber: Poehlman dan Borthakur (1969)

Sejak konsep nobelisasi dilaksanakan pada awal tahun 1890 (Belanda dan India), belum banyak negara lain membuat kesuksesan sampai saat ini pada terobosan pemuliaan varietas tebu. Nobelisasi sebagai dasar membangun sistem dasar genetik awal dengan melakukan silang balik pada klon-klon liar. Umumnya *S. spontaneum* menjadi sumber silang balik untuk membentuk klon-klon nobel yang bermanfaat untuk program pemuliaan varietas tebu. Namun demikian nobelisasi untuk memindahkan sifat adaptasi tinggi pada berbagai lingkungan tumbuh dan cepatnya pembentukan biomassa *Erianthus* sp. pada saat ini juga menjadi acuan untuk nobelisasi sifat tersebut pada *S. officinarum* maupun klon-klon hibrida.

Kegiatan pemuliaan dasar bertujuan mempersiapkan kondisi plasma nutfah sebagai koleksi inti yang akan digunakan sebagai koleksi kerja persilangan. Pembentukan koleksi inti dimanfaatkan sebagai sumber sebagai kegiatan benah tetua (dalam kerangka perluasan ragam genetik) untuk membangun koleksi kerja persilangan. Pemuliaan dasar dilakukan dengan persilangan antargenerik, diarahkan untuk menyediakan ragam genetik baru (nobelisasi) yang lebih baik sebagai bahan persilangan yang bermanfaat untuk kegiatan pemuliaan terapan yang akan menghasilkan varietas unggul komersial. Oleh karena itu konsentrasi dari kegiatan pemuliaan dasar hendaknya fokus diarahkan untuk pembentukan ragam genetik baru dalam benah tetua untuk kemudian dapat dimanfaatkan untuk persilangan terapan. Kegiatan silang balik dan seleksi berulang untuk akumulasi sifat genetik dengan pemanfaatan koleksi inti merupakan kegiatan besar yang tetap harus dilakukan. Sementara itu kegiatan pemuliaan dasar jangan dicampuradukkan dan dikerjakan mengikuti metodologi pemuliaan terapan.

D. Masa Pembungaan dan Persilangan

Sasaran pemuliaan tanaman tebu saat ini adalah peningkatan kadar gula, selain hasil tebu, ketahanan penyakit, adaptasi luas, serta baik untuk dikepras. Peningkatan keragaman genetik plasma nutfah merupakan langkah pertama untuk perbaikan varietas. Kegiatan pemuliaan tebu adalah menghasilkan heterosis yang berasal dari rekombinasi genotipe tetua persilangan. Prinsip dasar untuk mencapai heterosis adalah pemilihan kombinasi persilangan yang sangat baik (konsep *proven cross* dan *proven parent*) banyak diulas Sukarso dan Budhisantosa (1991). Heterosis yang sangat kuat terjadi apabila dasar pewarisan berasal dari kombinasi persilangan antartetua dengan hubungan kerabat jauh, di samping perbedaan performa dan heterogenitasnya.

Tebu merupakan penyerbuk silang yang tidak toleran terhadap proses silang dalam (*inbreeding*). Individu tanaman tebu memiliki derajat heterosigositas yang tinggi dan klon unggul dianggap disebabkan oleh heterosis (Simmonds 1978).

Kegiatan persilangan yang dilakukan menggunakan metode Jawa (*kebun*) dan cangkakan (*marcotting*). Dengan kedua metode tersebut dapat dilakukan bentuk persilangan *biparental* maupun *policross* (Gambar 5 dan 6). Penggunaan larutan Hawaii berhasil dilakukan di banyak negara sangat menjanjikan dalam menurunkan biaya bahan dan tenaga yang cukup besar dalam program persilangan tebu.

Indonesia dengan iklim tropis menyebabkan program persilangan tebu dapat dilakukan tanpa hambatan yang berarti karena umumnya varietas tebu dapat berbunga dan menghasilkan biji yang memadai. Persilangan yang menghasilkan biji di atas satu juta dengan mudah dapat dilakukan (Sukarso dan Budhisantosa 1991). Kemudahan menghasilkan biji hasil persilangan tersebut suatu modal dasar yang harus dapat dimanfaatkan tanpa menurunkan kualitas persilangan dan kombinasi yang dibuat. Karenanya peningkatan kualitas semai hasil persilangan tersebut harus dilakukan dengan mengevaluasi kombinasi persilangan dan mengurangi terjadinya silang dalam.



a. Kelompok bunga tebu



b. Bunga tebu yang telah membuka penuh



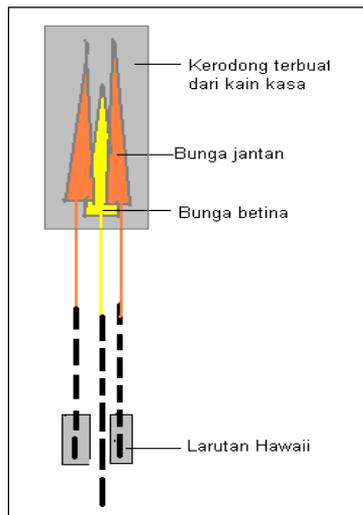
c. Persilangan antara 2 tetua (*biparental cross*)



d. Persilangan dengan banyak pejantan (*Polycross*)

Sumber: Rossi 2016

Gambar 5. Bunga tebu dan tipe persilangan tebu



Gambar 6. Diagram persilangan biparental tebu

Hogarth (1980) menunjukkan efek negatif akibat silang dalam yang tidak disengaja pada tanaman tebu. Sementara itu Chang (1995); McIntyre dan Jackson (1996); dan Stringer *et al.* (1996) juga menunjukkan pentingnya *cross breeding* pada tanaman tebu. Dengan metode kastrasi, Soeprijanto dan Sukarso (1989) menunjukkan bahwa perendaman malai yang belum membuka dalam etanol 63% selama 9 menit mampu mematikan polen namun tetap mempertahankan vitalitas stigma. Cara ini diaplikasikan dalam semua persilangan cangkakan.

Masa waktu antesis bunga tebu terbatas antara 25 sampai dengan 35 hari sejak munculnya bunga siap diserbuki. Sementara itu waktu berbunga setiap klon tebu juga ditentukan oleh kondisi lingkungan dan sifat genetiknya, yaitu berbunga awal, tengah, dan akhir musim pembungaan. Oleh karena itu percepatan dan penundaan masa berbunga suatu klon yang akan dipasangkan untuk persilangan harus disiapkan dengan baik. Walaupun di Indonesia (bagian selatan khatulistiwa) musim pembungaan tebu terbatas pada April hingga Juli setiap tahunnya tetapi kelompok klon berbunga awal (April–Mei) sulit dapat disilangkan dengan klon yang berbunga akhir (Juni–Juli). Oleh karena itu sinkronisasi bunga yang akan dipasangkan untuk suatu persilangan harus dilakukan (Moore dan Nuss 1985). Metode persilangan dengan penyerbukan polen buatan untuk sinkronisasi persilangan dapat dilakukan dengan metode penyimpanan polen yang dihasilkan pada awal musim pembungaan sedemikian hingga dapat diserbukkan pada musim akhir pembungaan.

Studi awal tentang status bunga yang telah dilakukan oleh P3GI memberikan petunjuk bahwa kelompok klon yang berbunga lebih awal cenderung menghasilkan proporsi tingkat fertilitas polen yang lebih tinggi. Sebaliknya pada kelompok klon yang berbunga lebih lambat akan menghasilkan proporsi tingkat sterilitas polen yang tinggi atau tingkat fertilitas polen yang menurun. Oleh karena itu pada awal pembungaan (April–Mei) dapat dilakukan pengumpulan polen atas klon berbunga awal kemudian disimpan dalam wadah kedap udara dan disimpan pada suhu -80°C . Kemampuan polen berkecambah pada penyimpanan hingga 8 minggu hanya menurun menjadi 80%, sehingga untuk keperluan persilangan di akhir musim bunga (Juni–Juli) masih dapat dilakukan. Penyemprotan polen tebu dengan *carrier bedak neutral* yang halus masih sangat efektif untuk proses penyerbukan.

E. Penetapan Tetua Persilangan

Pemilihan kombinasi tetua persilangan menganut kepada nilai daya gabung khusus dan daya gabung umum yang pada tebu didekati dengan nilai *proven*

cross maupun *proven parent* (Budhisantosa dan Sukarso 1991) berdasarkan penampilan keturunan pada tahap seleksi tahap 1. Sementara itu Mirzawan *et al.* (1997) mengusulkan penyempurnaan nilai *proven cross* maupun *proven parent* berdasarkan uji daya hasil pendahuluan (UDHP). Dengan demikian yang disebut *proven* adalah persilangan yang terbukti menghasilkan keturunan terpilih dengan jumlah tertentu sampai dengan tahap UDHP.

Selain penetapan nilai *proven cross* yang sudah berjalan, maka penetapan kombinasi persilangan diperkuat dengan evaluasi sifat tertentu pada famili keturunan dalam konsep seleksi famili. Sehingga pengulangan persilangan *proven* hanya dilakukan pada tetua-tetua yang menghasilkan famili keturunan yang baik atas sifat genetik yang ditetapkan. Percobaan-percobaan seperti seleksi famili yang sudah diteliti di Indonesia (Sukarso 1986) dan diaplikasikan dalam program pemuliaan di Australia (Cox dan Hogarth 1993; Cox *et al.* 1996; Jackson *et al.* 1996) akan dapat mempercepat evaluasi dan seleksi kombinasi tetua dalam persilangan. Kunci dari penetapan tetua persilangan adalah bagaimana kombinasi tetua yang disilangkan mampu memperbaiki populasi genetik keturunan seleksi yang dihasilkan. Kombinasi karakter sasaran dalam program seleksi telah diarahkan sejak penetapan induk persilangannya. Pada saat ini seleksi famili rendemen tinggi, famili daya kepras baik, famili ketahanan penggerek batang, dan famili ketahanan penggerek pucuk sudah dilakukan di P3GI. Konsep ini masih perlu diperluas dengan kajian yang lebih mendalam pada penilaian kemajuan genetik sifat yang ada.

F. Pengembangan Data Base Pemuliaan

Guna meningkatkan efisiensi dan kecepatan kerja dalam perencanaan, administrasi dan pembuatan label persilangan, maka komputerisasi program persilangan sudah diterapkan dalam kegiatan sehari-hari. Data varietas yang tersedia di kebun persilangan, jumlah cangkakan yang telah dibuat, kelamin bunga, ketersediaan bunga pada hari yang bersangkutan, disertai data dan definisi kombinasi *proven cross* dapat dimasukkan ke dalam komputer. Dengan demikian penentuan kombinasi persilangan yang dapat dilakukan pada hari yang bersangkutan sekaligus dengan pembuatan labelnya telah dapat dilakukan melalui komputer. Program komputer tersebut masih perlu ditingkatkan dengan memasukkan data ketahanan terhadap penyakit dan sifat-sifat lain, sehingga persilangan yang akan dilakukan merupakan kombinasi yang telah memperhatikan faktor-faktor tersebut. Dengan demikian sangat diharapkan bahwa komputerisasi persilangan ini meningkatkan efisiensi program persilangan.

Pengembangan sistem data base pada seluruh kegiatan pemuliaan sudah saatnya wajib dilakukan sedemikian hingga hubungan dokumen atas data evaluasi koleksi inti, koleksi kerja, penetapan persilangan, hasil-hasil seleksi pendahuluan, hasil multilokasi hingga penetapan varietas unggul saling dikomunikasikan dalam bentuk data base. Dengan otomatisasi sistem data base pemuliaan akan sangat membantu tingkat efisiensi persilangan dan seleksi ke depan yang makin mudah diakses.

G. Penyusunan Data Teknis Rekomendasi Varietas Unggul

Untuk mengetahui data teknis pengembangan dan perilaku setiap varietas unggul yang direkomendasikan, maka perlu dilakukan penelusuran aspek-aspek penting yang menjadi perhatian (atau disebut juga gatra), meliputi gatra agronomi dan gatra pabrikasi. Gatra agronomi terkait dengan kemampuan varietas menghasilkan bobot tebu dan potensi rendemen secara genetik di kebun. Gatra agronomi suatu varietas, seperti kategori kemasakan, masa tanam optimal, masa terbang optimal, kemampuan keprasan, kebutuhan akan jenis hara, dan kesesuaian akan tipologi wilayah, sangat dibutuhkan dalam konsep penataan varietas tebu. Sementara itu gatra pabrikasi menyangkut kemampuan varietas menghasilkan puncak rendemen, daya tahan rendemen di kebun, kecepatan terbentuknya inversi gula, kadar sabut, dan kualitas nira pada proses pengolahan gula.

Produktivitas tanaman tebu akan menjadi optimal apabila mendapatkan keadaan lingkungan yang menguntungkan dan menunjang pertumbuhannya. Kelemahan varietas terhadap kondisi lingkungan atau dengan tipologi wilayah pertumbuhan yang terbatas dan sulit dikendalikan, dapat diantisipasi dengan varietas yang toleran terhadap keterbatasan tersebut. Beberapa kondisi lingkungan tersebut adalah faktor kekeringan, gangguan drainase, keterlambatan ketersediaan pupuk, jarak tanam, dan pola pemeliharaan tanaman yang di bawah optimal.

Karakter genetik setiap varietas di kondisi lingkungan terbatas, pada umumnya menunjukkan respon yang berbeda. Oleh karena itu dengan diketahui keunggulan dan toleransi varietas pada kondisi lingkungan terbatas, maka penempatan varietas pada tipologi wilayah tumbuh yang sesuai dapat memberikan kontribusi hasil tebu dan potensi rendemen yang terbaik. Respon varietas tersebut merupakan bagian dari aspek gatra agronomi yang mempunyai peran untuk pencapaian potensi varietas. Apabila gatra agronomi dipenuhi, maka pertumbuhan varietas tebu akan optimal. Sementara itu agar potensi rendemen dapat dicapai, maka gatra pabrikasi perlu dipahami antara

lain kapan tebu ditebang pada puncak rendemen, berapa lama daya tahan rendemen setelah tebu ditebang, kadar sabut tebu sebagai sumber energi pabrik, dan lama tunda tebu digiling sebelum terbentuk gula inversi.

Puncak rendemen dari suatu varietas tebu lebih ditentukan oleh faktor genetik, yang juga disebut sebagai tipe kemasakan. Varietas tebu memiliki tiga tipe kemasakan, yakni masak awal, tengah, dan lambat. Kategori kemasakan tebu terkait dengan lama tanaman tebu yang telah berumur fisiologi dewasa (lebih dari 9 bulan) mengalami kondisi lengas tanah rendah menuju layu permanen (kurang dari 50% kapasitas lapang) dan menunjukkan tingkat kecepatan masaknya (Sugiyarta 1994). Komposisi dan proporsi varietas menurut tipe kemasakan perlu direncanakan dengan tepat. Melalui penelusuran informasi gatra agronomi dan gatra pabrikasi setiap varietas tebu akan diperoleh perencanaan tanam sesuai tipologi dan kategori kemasakannya sehingga akan diperoleh hasil tebu maksimum dengan tingkat rendemen yang tinggi. Oleh karena itu rekomendasi varietas hendaknya telah melalui kegiatan kajian aspek gatra agronomi dan gatra pabrikasi yang lengkap, sedemikian hingga keunggulan dan kelemahan suatu varietas dapat diketahui lebih pasti.

Varietas Unggul

Varietas unggul merupakan salah satu teknologi yang mempunyai peran penting dalam peningkatan produktivitas perkebunan. Sampai saat ini pemerintah cq. Menteri Pertanian telah melepas lebih dari 100 varietas tebu sebagai benih bina. Beberapa varietas unggul yang telah dilepas oleh Menteri Pertanian dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan kemasakannya, varietas tebu dibedakan menjadi tiga:

1. Varietas genjah (masak awal), mencapai masak optimal \pm 8–10 bulan.
2. Varietas sedang (masak tengahan), mencapai masak optimal pada umur \pm 11–12 bulan.
3. Varietas dalam (masak lambat), mencapai masak optimal pada umur lebih dari 12 bulan.

Mengingat masa panen tebu dilakukan pada saat yang relatif serempak, akan tetapi ditanam pada waktu yang lebih panjang karena bergiliran, maka perlu diatur komposisi penanaman varietas dengan umur masak yang berbeda, yaitu masak awal, masak tengah, dan masak lambat. Komposisi varietas dengan tingkat kemasakan masak awal, masak tengah, dan masak lambat yang dianjurkan berdasarkan luas tanam adalah 30:40:30.

Tabel 3. Varietas unggul tebu

Varietas	Sifat masak	Produksi				SK Menteri Pertanian
		Lahan sawah		Lahan tegalan		
		Tebu (kw/ha)	Rend (%)	Tebu (kw/ha)	Rend (%)	
PS 865	Awal–tengah	NA	NA	804 ± 112	9,38 ± 1,41	342/Kpts/SR 12D/3/2008
Kidang Kencana	Tengah–lambat	1 125 ± 325	10,99 ± 1,65	992 ± 238	9,51 ± 0,88	334/Kpts/SR 12D/3/2008
PS 881	Tengah–lambat	1 221 ± 228	8,34 ± 0,60	888 ± 230	9,19 ± 0,64	56/Kpts/SR.1 20/1/2004
PS 891	Tengah–lambat	1 106 ± 271	9,33 ± 1,19	844 ± 329	10,19 ± 1,35	55/Kpts/SR.1 20/1/2004
PSBM 901	Awal–tengah	NA	NA	704 ± 162	9,93 ± 1,02	54/Kpts/SR.1 20/1/2004
PS 921	Tengah	1 391 ± 101	8,53 ± 1,19	NA	NA	53/Kpts/SR.1 20/1/2004
PS 951	Lambat	1 461 ± 304	9,87 ± 0,60	NA	NA	52/Kpts/SR.1 20/1/2004
PA 0218	Awal–tengah	-	-	579–785	7,98–12,90	439/Kpts/KB.120 /7/2015
PA 028	Awal	-	-	657–1225	8,08–11,4	438/Kpts/KB.120 /7/2015

Sumber: Indrawanto *et al.* 2010

Penutup

Upaya pemuliaan tanaman tebu terbukti mempunyai kontribusi yang sangat penting dalam mendukung industri gula dunia. Perakitan *the wonder cane* (POJ 2878) oleh Dr. Jeswiet, peneliti tebu di Proef Station Oost Java, Indonesia merupakan tonggak sejarah dalam penyelamatan industri gula dunia akibat serangan penyakit sereh. Mengingat tantangan saat ini dan ke depan untuk industri gula akan lebih beragam dan kompleks, meliputi cekaman biotik (hama dan penyakit), abiotik (*soil problem*, seperti cekaman kekeringan, gangguan drainase, salinitas lahan, dll.), dan permintaan konsumen yang dinamis (bioetanol, cogen, ramah lingkungan, dll.) maka pemulia tebu diharapkan dapat bekerja secara efektif, efisien, dan koordinatif memanfaatkan potensi plasma nutfah kerabat tebu dalam program pemuliaan mereka.

Daftar Pustaka

- Amaya, A., J.S. Torres, R. Quintero, C.A. Luna, C.A. Moreno, A.E. Palma, J. Carbonell, E. Cortez, and H. Ranjel. 1999. "Mega environments for the Colombian sugar industry: Characterization and implications for varietal selection and crop management". *Proc. XXIII ISSCT Congress*, India. pp. 449–458.

- Artschwager, E and E.W. Brandes. 1958. *Sugarcane (Saccharum officinarum L.): Origin, Classification, Characteristics and Descriptions of Representative Clones*. USDA Handbook 122. 307 p.
- Atkin, F.C., M.J Dieters, J.K.Stringer. 2009. "Impact of depth of pedigree and inclusion of historical data on the estimation of additive variance and breeding values in a sugarcane breeding program". *Theoret Appl. Genet.*, 119:555–565
- Breaux, R.D. 1984. "Breeding to enhance sucrose content of sugarcane varieties in Louisiana". *Field Crops Research*, 9:59–67.
- Brandes. 1958. Origin, classification, and characteristics. In: Artschwager, E. and Brandes. E.W. (eds.) sugarcane (*S. officinarum* L.). USDA Handbook. 122:1–35.
- Brown, A.H.D. 1989a. "The case for core collection". In: Brown, A.H.D., O.H. Frankel, D.R. Marshall, and J.T. Williams (Eds). *The Use of Plant Genetic Resources*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 136–156
- Brown, A.H.D. 1989b. "Core collection: A practical approach genetic resources management". *Genome*, 31:818–824.
- Budhisantosa, H. dan G. Sukarso. 1991. "Komputerisasi perencanaan persilangan tebu". *Berita P3GI*, 6:50–57.
- Camstock, J.C., J.D. Miller, J.L. Dean, and M.J. Davis. 1991. "Screening for ratoon stunting disease resistance using a tissue blot assay". *Sugar Cane*, 6:6.
- Camstock, J.C., J.D. Miller, J.M. Shine, and P.Y.P. Tai. 1995. "Screening for resistance to ratoon stunting disease in Florida". *Proc. ISSCT 22nd Congress*, 2:520–526.
- Cenicana. 2014. Fechas históricas de la agroindustria de la caña en Colombia. Agroindustria de la Cana. p. 13.
- Chang, Y.S. 1995. "Implications of inbreeding coefficient and coancestry in sugarcane breeding program". *Proc. ISSCT XXII Congress 2*. pp. 307–311.
- Chang, Y.S. 1999. "Efficiency of regional selection in a sugarcane breeding program". *Proc. ISSCT XXIII Congress*, India. pp. 459–466.
- Chapman, L.S. 1988. "Constraints to production in ratoon crops". *Proc. Australian Soc. Sugar Cane Technol. Meeting*. pp. 189–192.
- Chudjaemi, M. 1992. "Daya Tanggap *Saccharum robustum* dan Kerabat Dekatnya terhadap Herbisida Ametrina". Skripsi. Fakultas Pertanian Universitas Merdeka Pasuruan. Tidak diterbitkan.
- Clayton, W.D. 1972. "The awned genera of Andropogonae. Studies in the Graminae". *Kew Bull.* 27(3):457–474.
- Clayton, W.D. 1973. "The awnless genera of Andropogonae. Studies in the Graminae". *Kew Bull.* 28(1):49–58.
- Cornide, M.T., J.E. Sanches, H. Leonard, G. Galvez, E. Canales, and J. Mesr. 1999. "Genetic diversity among a group of sugarcane varieties and its relationships to family performance". *Proc. ISSCT XXIII Congress*, India. pp. 486–494.
- Cox, M.C. and D.M. Hogarth. 1993. "The effectiveness of family selection in early stages of a sugarcane improvement program". *Proc. Australian Plant Breeding Conference*, 2:53–54.
- Cox, M.C., T.A. McRae, J.K. Bull, and D.M. Hogarth. 1996. "Family selection improves the efficiency and effectiveness of a sugarcane improvement program". In: Wilson, J.R., D.M. Hogarth, J.A. Campbell, and A.L. Garside (Eds.). *Sugarcane: Research Towards Efficient and Sustainable Production*. Brisbane: CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures. pp. 42–43.

- Daniels, J. and S.A. Daniels. 1975. "Geographical, historical and cultural aspects of the origin of Indian and Chinese *S. barberi* and *S. sinensis*". *ISSCT Sugarcane Breeding Newsletter* 36:4–23.
- Darmodjo, S. 1977. *Skema Seleksi Balai Penelitian Perusahaan Perkebunan Gula*. Himpunan Diktat Ilmu Pemuliaan dan Ilmu-ilmu Penunjangnya. BP3G Pasuruan.
- Djojosoewardho, A.S. 1982. "Klasifikasi kebun tebu berdasarkan interaksi varietas dan lokasi". *Majalah Perusahaan Gula*, BP3G Pasuruan, hlm. 87–93
- Falconer, D.S. 1989. *Introduction to Quantitative Genetics*. Longman, NY. 438p.
- Frankel, O.H. 1984. "Genetic perspective of germplasm conservation". In Aber, W.K., K. Llimensee, W.J. Peacock, and P. Stalinger (Eds). *Genetic Manipulation: Impact on Man and Society*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 161–170.
- Han Lioe Hong. 1961. "Sugarcane breeding in Indonesia". Berita-berita dari perusahaan Gula di Indonesia 1. *Berita P3GI*.
- Hellman, M. and J. Payet. 1998. Selection in Reunion island: Importance of selection in ratoon cane (Abstract). In efficiency of sugarcane breeding". *4th ISSCT Breeding and Germplasm Workshop*, Mauritius.
- Hogarth, D.M. 1980. "The impact of accidental selfing on the analysis of a diallel cross with sugarcane". *Euphytica*, 29:737–746.
- Hogarth, D.M. 1987. "Genetics of sugarcane". In: D.J. Heinz (Ed). *Sugarcane Improvement Through Breeding*. Amsterdam: Elsevier Press. Pp. 255–271.
- Hogarth, D.M. and N. Berding. 2005. "Breeding for a better industry: conventional breeding". *Proc. ISSCT XXV Jubile Congress*. Guatemala. January 30 to Feb 4, 2005.
- Hunsigi, G. 1993. *Production of Sugarcane. Theory and Practice*. New York: Springer-Ver-lag. p. 245.
- Indrawanto, C., Purwono, Siswanto, M. Syakir, dan W. Rumini. 2010. *Budi Daya dan Pasca-panen Tebu*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Perkebunan. 44 hlm.
- Jackson, P.A. 1992. "Genotype x environment interactions in sugarcane II. Use of performance in plant cane as an indirect selection criterion for performance in ratoon crops". *Australian Journal of Agricultural Research*, 43:1461–1470.
- Jackson, P.A. and D.M. Hogarth. 1992. "Genotype x environment interactions in sugarcane I. Patterns of response across sites and crop-years in North Queensland". *Australian Journal of Agricultural Research*, 43:1447–1460.
- Jackson, P.A., T.A. McRae, and J.K. Bull. 1996. "The role of family selection in sugarcane breeding programs and the effect of genotype x environment interactions". *Proc. ISSCT XXII Congress*, 2:261–270.
- Kuntohartono, T. 1977. "Keselektifan ametrina terhadap beberapa varietas tebu". *Berita P3GI*, 80 hlm.
- Lamadji, S. dan G. Sukarso. 1986. "Sejarah dan perkembangan pemuliaan tebu di Indonesia". *Majalah Perusahaan Gula*, XXII(1):15–22.
- Legendre, B.L. 1992. "Potential for increasing sucrose content of sugarcane varieties in Louisiana through breeding". *Proc. ISSCT 21th Congress* pp. 367–379.
- Lo, C.C. 1987. "Sugarcane breeding for different environments". *Copersucar International Sugarcane Breeding Workshop*. Copersucar Techol. Centre. Brasil. 189–202.
- McIntyre, C.L. and P.A. Jackson. 1996. "How much selfing occurs in sugarcane breeding programs?" In: Wilson, J.R., D.M. Hogarth, J.A. Campbell, and A.L. Garside (Eds.) *Sugar-*

- cane: Research towards Efficient and Sustainable Production*. Brisbane: CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures. pp. 47–48.
- Milligan, S.B., K.A. Gravois, K.P. Bischof, and F.A. Martin. 1990. “Crop effects on broad sense heritabilities and genetic variances of sugarcane yield components”. *Crop Sci.*, (30): 344–349.
- Milligan, S.B. 1994. “Test site location within and among stages of a sugarcane breeding program”. *Crop Sci.*, (34):1184–1190.
- Mirzawan, P.D.N. 1995. “Eksplorasi interaksi genotipa dengan lingkungan (G x E): Peningkatan efisiensi seleksi dengan memanfaatkan data percobaan multilokasi”. *Bulletin P3GI*, 142:1–15.
- Mirzawan, P.D.N. and E. Sugiyarta. 1999. “Ratooning ability in sugarcane: Direct vs indirect selection based on clonal performance in younger crops”. *Proc. ISSCT XXIII India*. pp. 467–475.
- Mirzawan P.D.N., S. Lamadji, E. Sugiyarta, S. Sastrowijono, Soeprijanto, dan K.A. Wahjudi. 1997. “Program pemuliaan tebu di Indonesia: Modifikasi guna peningkatan efisiensi dan produktivitas”. *Bulletin P3GI*, 146:20–43
- Moore, P.H. dan K.J. Nuss. 1985. “Flowering and flower shynchronization”. In: Heinz, D.J. (ed). *Sugarcane Improvement Through Breeding*. Amsterdam: Elsevier. pp. 273–311.
- Parthasarathy, N. 1946.” The probable origin of North India sugarcane”. MOP I younger comm. Vol. *Journ. Indian Botanical Soc.*, :133–150.
- Pawirosemadi, M. 2011. *Dasar-Dasar Teknologi Budi Daya Tebu dan Pengolahan Hasilnya*. (Ed. Suyanto Simoen). UM press. 811 hlm.
- Poehlman, J.M. and D. Borthakur. 1969. *Breeding Asian Field Crops: With Special Reference to Crops of India*. Oxford & IBH. p. 385
- Ricaud, R and Arceneaux, A. 1968. *Cultural Practices and Soil Fertility for Sugarcane*. Sugarcane Research Agricultural Progress Report. Louisiana. Agric, Exp. Stn. Louisiana State University, Vatou Rouge, Louisiana. Pp. 18–37.
- Roach, B.T. and Daniels. 1987. “A review of the origin and improvement of sugarcane”. *Copersucar, Internation Sugarcane Breeding Workshop*: 1–31
- Rossi, G. 2016. “Cane variety: the backbone of sugar industry, trend and outlook for the future”. *Prosiding Kongres IKAGI 2016* di Surabaya tanggal 5 April 2016.
- Santchurn, D. 2010. *Evaluation and Selection of Different Types of Sugarcane Varieties for Multipurpose Use from a Population of Interspecific Derived Clones in Mauritius*. M.Sc. Thesis. University of Free State Bloemfontein, South Africa. 152 p.
- Simmonds, N.W. 1978. *Principles of Crop Improvement*. London: Longman Ltd. 408 p.
- Singh, R.K. and S.P. Singh. 2002. Stability in ratooning ability of early sugarcane varieties for higher yield and recovery. *Indian J. Agric. Sci.*, (72):716–718.
- Singh, R.K., S.P. Singh, and S.B. Singh. 2005. “Correlation and path analysis in sugarcane ratoon”. *Sugar Tech.*, 7(4):176–178.
- Soeprijanto and G. Sukarso. 1989. “Emasculation of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) tassels using alcohol immersion”. *Proc. ISSCT XX* :860–864.
- Stalker, H.T. 1980. “Utilization of wild species for crop improvement”. *Adv. Agron.*, 33:111–147.
- Sugiyarta, E. 1994. “Strategi perakitan tebu varietas unggul dan pengertian kemasakan tebu”. *Pros. Pert. Teknis*. Pasuruan, 23–24 November 1994. 9 hlm.

- Sugiyarta, E., K.A. Wahyudi, dan P.D.N. Mirzawan 2004. "Perakitan varietas tebu unggul rendemen tinggi dengan daya kepras baik". Laporan Penelitian DIP. (Tidak diterbitkan).
- Sugiyarta, E. 2009. "Evaluasi sifat-sifat agronomis dan komponen produksi klon-klon tebu introduksi luar negeri". *MPG*, 42(3-4):41-50.
- Sukarso, G. 1986. "Assessment of family selection on original seedlings of sugarcane at Pasuruan". *Proc ISSCT 19th Congress*. pp. 440-446.
- Sukarso, G. 1988. "Pemilihan lokasi penyebaran biji tebu berdasarkan hubungan antarkebuduhan percobaan". *Bulletin P3GI* 135, 9 hlm.
- Sukarso, G. and L.M. Engle. 1981. "Analysis of stability and modelling of ideal genotype of sugarcane". *Crop Sci. Society of the Philippines*. Bacnotan.
- Sukarso, G. dan H. Budhisantosa. 1991. "Pemuliaan tebu di Indonesia". *Pros. Simposium Pemuliaan Tanaman I. Perhimpunan Pemuliaan Tanaman Indonesia Komisariat Daerah Jawa Timur*. hlm. 187-211.
- Sundara, B. 1989. "Improving sugarcane productivity under moisture constraints and through cropping systems". In: Naidu, K.M.; T.V. Sreenivasan, and M.N. Premachandran (Eds). *Proc. Intl. Symp. Sugarcane Varieties Improvement. Present and Future Strategies*. Coimbatore, India. pp. 221-256.
- Stringer, J.K., T.A. McRae, and M.C. Cox. 1996. "Best linear unbiased prediction as a method of estimating breeding value in sugarcane". In: Wilson, J.R., D.M. Hogarth, J.A. Campbell, and A.L. Garside (Eds.) *Sugarcane: Research Towards Efficient and Sustainable Production*. Brisbane: CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures. pp. 39-42.
- Thangavelu, S. 2005. "Internode length of sugarcane genetic stocks and its association with growth factors, nutrients, sucrose % in juice and yield of cane and sugar". *Indian Sugar*, 40(12):1041-1048.
- Thippeswamy, S., S.T. Kajjidoni, P.M. Salimath, and J.V. Goud. 2003. "Correlation and path analysis for cane yield, juice quality and their component traits in sugarcane". *Sugar Tech.*, 5(1&2):65-72.
- Vega, A. and G. Galves. 1996. "The environment and its usefulness as testing environment". *Proc. XXII ISSCT Congress, Colombia*. 2:282-285.
- Warner, J.N. 1962. "Sugarcane: An indigenous Papuan cultigen". *Ethnology*, 1:405-411.
- Widyasari, W.B. 2009. "Analisis kemiripan dan hubungan genetik antara tetua persilangan tebu menggunakan penanda molekuler". *MPG*, 45(4):193-202.
- Widyasari, W.B. dan Lestari. 2009. "Keragaman genetic karakter pendukung toleransi koleksi tebu hibrid (*Saccharum hybrid*) terhadap cekaman kekeringan". *MPG*, 45(3):133-148.