
KARAKTERISTIK MORFOLOGI DAN KEGIATAN PLASMA NUTFAH TANAMAN KAKAO

MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GERMPLASM ACTIVITIES IN CACAO

Budi Martono

BALAI PENELITIAN TANAMAN INDUSTRI DAN PENYEGAR

Jalan Raya Pakuwon Km 2 Parungkuda, Sukabumi 43357

budimartono@hotmail.com

ABSTRAK

Kakao merupakan tanaman menyerbuk silang dengan karakteristik yang beragam antar genotipe, baik bentuk buah, warna buah, besar biji, kadar lemak, maupun ketahanan terhadap hama dan penyakit. Keragaman yang ada dapat dimanfaatkan sebagai sumber gen dalam pembentukan varietas unggul kakao. Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam upaya penyediaan plasma nutfah untuk perbaikan tanaman kakao adalah eksplorasi, koleksi, konservasi, karakterisasi, evaluasi, dan dokumentasi. Varietas lokal, introduksi maupun klon-klon baru hasil seleksi pohon secara individu yang memiliki sifat unggul spesifik merupakan koleksi plasma nutfah yang perlu dikelola dengan baik dan berkesinambungan. Dengan adanya kegiatan karakterisasi dan evaluasi plasma nutfah yang lebih intensif maka semakin banyak informasi berupa aksesori yang potensial untuk dikembangkan sebagai varietas unggul maupun aksesori yang dapat dimanfaatkan dalam program pemuliaan lebih lanjut. Pemanfaatan plasma nutfah telah banyak menghasilkan klon-klon kakao yang dilepas sebagai varietas unggul. Klon-klon kakao anjuran yang dirakit dari plasma nutfah masing-masing mempunyai keunggulan dibandingkan klon lain dalam hal produksi, mutu, kadar lemak, ketahanan terhadap hama PBK dan hama kepik penghisap buah (*Helopeltis* spp), ketahanan terhadap penyakit busuk buah dan penyakit pembuluh kayu (VSD), serta cekaman terhadap kekeringan.

Kata kunci: Kakao, keragaman, plasma nutfah, varietas unggul

ABSTRACT

*Cocoa is a cross-pollinated plant with various characteristics among genotypes, such as pod shape, pod color, bean size, fat content, and resistance to pests and diseases. The existing diversity can be utilized as a source of genes in the formation of a high yielding varieties in cocoa. Several steps that need to be carried out to provide germplasm for cocoa crop improvement are exploration, collection, conservation, characterization, evaluation, documentation, and documentation. Local varieties, germplasm introduction, and new clones as a result of selection that have specific superior traits are included in germplasm collections that need to be well managed in a sustainable manner. Intensive characterization and evaluation of germplasm would give more information of potential clones to be developed as a superior varieties as well as can be utilized in further breeding program. The utilization of germplasm collections has produced many cocoa clones which already released as superior varieties. The recommended cocoa clones that have been assembled from germplasm have many advantages compared to the other clones, especially in terms of production, quality, fat content, resistance to cocoa pod borer and ladybugs sucking fruit (*Helopeltis* spp), resistance to black pod disease and Vascular Streak Dieback (VSD) as well as tolerance to drought stress.*

Keywords: *Cocoa, variability, germplasm, superior variety*

PENDAHULUAN

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu jenis tanaman penyegar yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Kakao mempunyai peran penting sebagai bahan dasar untuk produk pangan, kosmetik maupun kesehatan. Seluruh bagian tanaman kakao dapat dimanfaatkan menjadi produk yang bernilai ekonomis. Batang kakao yang meliputi 70% bagian tanaman kakao merupakan bagian yang potensial untuk diolah menjadi gula kristal, pakan ternak, dan bioetanol, sedangkan daun menghasilkan biomassa. Kandungan utama biji kakao digunakan untuk industri cokelat dan turunannya, kosmetik, serta obat. Dari biji dihasilkan pangan, gula, dan tepung.

Bungkil kakao merupakan produk samping yang dihasilkan dari proses pengolahan kakao yang umumnya diperoleh dari proses pengayakan bubuk kakao dan pada ekstraksi polifenol dari biji kakao.

Saat ini, pemanfaatan bungkil kakao masih terbatas digunakan sebagai bahan pakan dan pupuk. Pemanfaatan sebagai hidrolisat protein merupakan salah satu alternatif. Hidrolisat protein merupakan asam amino atau peptida dari protein terhidrolisa yang dapat diproduksi secara kimiawi maupun enzimatis. Di samping mempunyai nilai jual yang tinggi, hidrolisat protein memiliki potensi nutrisi dan fungsional yang baik sehingga dapat digunakan sebagai bahan produk makanan dan suplemen kesehatan (Febrianto, 2013).

Salah satu faktor penentu keberhasilan pengembangan kakao, yaitu dukungan ketersediaan bahan tanam unggul dan bermutu. Selain memiliki potensi hasil tinggi dan kualitas biji yang bermutu tinggi, varietas unggul yang diharapkan juga tahan terhadap hama penggerek buah kakao (PBK) dan penyakit utama seperti busuk buah kakao/BBK (*Phytophthora palmivora*) dan *vascular streak*

dieback/VSD (*Oncobasidium theobromae*), serta tahan terhadap cekaman abiotik. Hasil seleksi genotipe-genotipe kakao yang toleran terhadap cekaman abiotik (kekeringan) telah dilaporkan (Opeke & Toxopeus, 1967; Toxopeus, 1968; Frimpong, Adu-Ampomah, & Karimu, 1999; Padi, Adu-Gyamfi, Akpertey, Arthur, & Ofori, 2013).

Tanaman kakao merupakan tanaman menyerbuk silang (*cross pollination*) sehingga terdapat keragaman di antara genotipe, baik keragaman morfologi seperti bentuk buah, warna buah, besar biji, maupun keragaman dalam tingkat ketahanannya terhadap hama dan penyakit. Keberhasilan suatu program pemuliaan sangat ditentukan oleh seberapa besar keragaman genetik yang terdapat dalam sumber genetik yang digunakan. Semakin tinggi keragaman genetik semakin tinggi pula peluang untuk mendapatkan sumber gen bagi karakter yang akan diperbaiki.

Untuk menunjang program bioindustri kakao, kekayaan plasma nutfah yang ada harus dikelola dengan baik dan berkesinambungan serta dilengkapi dengan *database* yang lengkap sehingga pengguna (pemulia) dapat mengakses dan memanfaatkannya dengan mudah dalam upaya menghasilkan varietas unggul. Pemanfaatan plasma nutfah kakao melalui teknik pemuliaan yang sesuai telah menghasilkan klon-klon unggul anjuran seperti ICCRI 04, ICCRI 02, ICCRI 03, ICCRI 04, Sulawesi 1, Sulawesi 2, MCC 01, dan MCC 02. Melalui ketersediaan bahan tanam unggul ini akan mampu meningkatkan daya saing produk kakao Indonesia di pasar Internasional.

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengetahui karakteristik morfologi tanaman kakao dan kegiatan-kegiatan yang dilakukan dalam menangani plasma nutfah, serta informasi mengenai karakter-karakter penting dari varietas/klon anjuran maupun plasma nutfah lainnya.

KARAKTERISTIK TANAMAN KAKAO

Botani dan Morfologi Tanaman

Botani

Dalam susunan taksonomi, tanaman kakao termasuk Divisi: Spermatophyta, Subdivisi: Angiospermae, Kelas: Dicotyledoneae, Subkelas: Dialypetalae, Ordo: Malvales, Familia: Sterculiaceae, Genus: *Theobroma*, dan Spesies: *Theobroma cacao* L. (Tjitrosoepomo, 1988). Dari 22 jenis genus *Theobroma* familia Sterculiaceae, hanya *T. cacao* dan *T. grandiflorum* yang diusahakan secara komersial (Cuatrecasas, 1964). Kakao tumbuh liar di lembah Amazon dan daerah tropis lainnya di Amerika Tengah dan Selatan. Tanaman kakao menyebar di beberapa negara, di antaranya Belize, Kolombia, Costa Rika, Pantai Gading, Republik Demokrasi Kongo, Dominika, Ekuador, Gabon, Ghana, Guinea, India, Indonesia, Jamaika, Madagaskar, Malaysia, Nigeria, Papua Nugini, Filipina, Samoa, Sao Tome et Principe, Sierra Leone, Srilanka, Suriname, Tanzania, Togo, Trinidad, dan Tobago, Uganda, serta Venezuela.

Tanaman kakao termasuk golongan tanaman tahunan (*perennial*) dan merupakan tanaman dikotil, mempunyai 10 pasang kromosom ($2n = 2x = 20$). Ukuran genom kakao diperkirakan antara 388 Mb - 430 Mb. *Theobroma cacao* dibagi dalam dua subjenis, yaitu *T. cacao* dan *T. sphaerocarpum* (chev.) Cuatr. Subjenis *T. cacao* dikelompokkan menjadi empat forma, yaitu (1) forma *cacao*: sifat biji bulat, biji berkualitas tinggi, dan kotiledon berwarna putih, (2) forma *pentagonum*: berbiji bulat besar, kualitas biji bagus, dan kotiledon berwarna putih, (3) forma *leiocarpum*: biji membulat (*plum*), kualitas biji bagus, kotiledon berwarna putih atau ungu pucat, dan (4) forma *lacandonense*: kakao liar yang berasal dari Meksiko.

Pertumbuhan tanaman subjenis *T. sphaerocarpum* lebih vigor, kuat, produktivitasnya lebih tinggi, lebih tahan hama dan penyakit dibandingkan *T. cacao*. Permukaan kulit buah relatif halus, kulit buah tipis tetapi keras/liat. Bentuk biji lonjong (oval), pipih, dan kecil, kotiledon berwarna ungu gelap, mutu biji beragam dan lebih rendah dibandingkan *T. cacao*. Anggota dari subjenis *T. sphaerocarpum* adalah kakao lindak (*bulk cocoa*) dan Forastero.

Kelompok kakao lainnya adalah hasil persilangan alami (*hybrida*) antara Criollo (subjenis *T. cacao*) dengan Forastero (subjenis *T. sphaerocarpum*) sehingga jenis ini sangat heterogen. Kakao hasil persilangan ini mempunyai sifat morfologi, fisiologi, daya hasil dan mutu biji yang beragam. Beberapa klon dari kelompok ini disebut kakao mulia jika keping biji segarnya berwarna putih, sedangkan dinamakan kakao lindak jika keping biji segarnya berwarna ungu. Kakao jenis ini menghasilkan biji kakao *fine flavour cocoa* dan ada yang termasuk dalam *bulk cocoa*.

Biji kakao dapat diklasifikasikan ke dalam kelompok genetik Forastero, Criollo, dan Trinitario. Forastero ditandai dengan warna kotiledon ungu yang merupakan warna khas dari senyawa antosianin dalam biji kakao, Criollo dengan warna kotiledon putih, dan Trinitario yang merupakan keturunan dari Forastero dan Criollo. Forastero diproduksi dan diperdagangkan dalam jumlah yang lebih besar daripada Criollo dan Trinitario. Ketiga jenis kakao tersebut dikembangkan di Indonesia (Tabel 1).

Criollo atau kakao mulia merupakan kelompok kakao dengan cita rasa yang lebih lembut (*milder flavour*) dengan sedikit rasa kacang (*nutty type*). Citarasa ini sangat cocok untuk pembuatan cokelat susu. Cokelat yang dibuat dari biji kakao dari bahan tanam yang berbeda akan memiliki citarasa yang berbeda pula.

Morfologi

a. Batang (*caulis*)

Habitat asli tanaman kakao adalah hutan tropis dengan curah hujan dan kelembaban yang tinggi sehingga tanaman tumbuh tinggi. Batang tanaman kakao tumbuh tegak, tinggi tanaman di kebun pada umur 3 tahun dengan kisaran 1,8-3 m dan pada umur 12 tahun mencapai 4,5-7 m,

sedangkan kakao yang tumbuh liar ketinggiannya mencapai 20 m. Kakao yang diperbanyak dengan biji akan membentuk batang utama sebelum tumbuh cabang-cabang primer. Letak pertumbuhan cabang-cabang primer disebut jorket dengan ketinggian 1,2-1,5 m dari permukaan tanah. Jorket tersebut tidak ditemukan pada kakao yang diperbanyak secara vegetatif. Tanaman kakao memiliki dua bentuk cabang, yaitu cabang orthotrop (cabang yang tumbuh ke atas) dan cabang plagiotrop (cabang yang tumbuh ke samping). Dari batang dan kedua jenis cabang tersebut sering ditumbuhi tunas-tunas air atau wiwilan yang banyak menyerap energi sehingga akan mengurangi pembungaan dan pembuahan. Jorket merupakan tempat percabangan orthotrop ke plagiotrop dengan sifat percabangan dimorfisme.

Sudut arah pertumbuhan cabang primer berkisar 45° dengan warna cokelat muda sampai cokelat tua, permukaan beralur, keadaan bantalan buah jelas, jarak antar bantalan buah 5-10 cm. Sudut arah pertumbuhan cabang sekunder sekitar 60°, warna cokelat muda sampai cokelat tua, alur permukaan kurang tegas sampai tegas dengan jarak antar ketiak daun 2-5 cm.

b. Daun (*folium*)

Warna *flush* bervariasi dari kecokelatan, cokelat, cokelat kemerahan, merah kecokelatan, kemerahan, merah, merah muda, merah cerah, merah tua, dan kuning kemerahan. Daun muda berwarna kuning, kuning cerah, cokelat, merah kecokelatan, hijau kecokelatan, hijau kemerahan, dan hijau, panjang daun 10-48 cm dan lebar antara 4-20 cm. Permukaan atas daun tua hijau dan bergelombang, sedangkan permukaan bawah daun tua berwarna hijau muda, kasar, dan bergelombang. Daun kakao merupakan daun tunggal (*folium simplex*), pada tangkai daun hanya terdapat satu helaian daun. Tangkai daun (*petiolus*) berbentuk silinder dan bersisik halus (tergantung pada tipenya), pangkal membulat, ujung runcing sampai meruncing dengan panjang $\pm$ 25-28 mm dan diameter $\pm$ 3-7,4 mm. Warna tangkai daun bervariasi, yaitu hijau, hijau kekuningan, dan hijau kecokelatan. Bangun daunnya bulat memanjang (*oblongus*). Ujung daun (*apex folii*) meruncing (*acuminatus*) dan pangkal

daun (*basis folii*) berbentuk runcing (*acutus*), kedua tepi daunnya di kanan dan kiri ibu tulang daun sedikit demi sedikit menuju ke atas dan pertemuannya di puncak daun yang membentuk sudut lancip. Tepi daun (*margo folii*) rata (*integer*) sampai agak bergelombang, daging daun tipis tetapi kuat seperti perkamen. Susunan tulang daun (*nervatio*) menyirip (*penninervis*), hanya mempunyai satu ibu tulang daun yang berjalan dari pangkal ke ujung daun dan merupakan terusan dari tangkai daun, alur tulang daun tampak jelas.

c. Akar (*radix*)

Di samping untuk memperkuat berdirinya tanaman kakao, akar tanaman ini berfungsi untuk menyerap air dan zat-zat makanan yang terlarut di dalam air dari dalam tanah serta mengangkut air dan zat-zat makanan ke tempat-tempat yang memerlukan. Tanaman kakao mempunyai akar tunggang yang disertai dengan akar serabut dan berkembang di sekitar permukaan tanah kurang lebih sampai 30 cm. Pertumbuhan akar dapat mencapai 8 m ke arah samping dan 15 m ke arah bawah. Ketebalan daerah perakarannya 30-50 cm. Pada tanah dengan permukaan air rendah, akar tumbuh panjang, sedangkan pada kedalaman air yang tinggi dan tanah liat, akar tidak begitu dalam dan tumbuh lateral dekat dengan permukaan tanah.

d. Bunga (*flos*)

Letak sebaran bunga dan buah pada batang dan cabang atau bersifat cauliflora. Bunga kakao terdapat hanya sampai cabang sekunder. Bunga kecil dan halus berwarna putih sedikit ungu kemerahan dan tidak berbau, diameter bunga 1-2 cm. Bunga kakao tergolong bunga sempurna terdiri dari daun kelopak (*calyx*) sebanyak 5 helai berwarna merah muda dan benang sari (*androecium*) berjumlah 10 helai. Panjang tangkai bunga 2-4 cm. Warna tangkai bunga beragam dari hijau muda, hijau, kemerahan, merah muda, dan merah. Dalam keadaan normal, tanaman kakao dapat menghasilkan bunga sebanyak 6000- 10.000 per tahun dan hanya sekitar 5% yang dapat menjadi buah.

Tabel 1. Tipe dan ciri-ciri kakao yang dikembangkan di Indonesia

Table 1. The types and characteristics of cocoa that have been developed in Indonesia

No.	Ciri-ciri	Tipe/Jenis			Keterangan
		Criollo	Forastero	Trinitario	
1.	Warna buah	Merah	Hijau	Beragam	Tipe Trinitario merupakan hibrida dari Criollo dan Forastero (secara alami) sifat-sifatnya ada di antara keduanya.
2.	Kulit buah	Kasar	Halus	Kasar s/d halus	
3.	Warna biji	Putih	Ungu	Ungu	
4.	Bentuk biji	Bulat besar	Lonjong pipih	Lonjong pipih	
5.	Kadar lemak	Sedikit	Banyak	Sedang	
6.	Citarasa	Baik	Sedang	Sedang	
7.	Ketahanan hama dan penyakit	Kurang tahan	Lebih tahan	Cukup tahan	
8.	Pertumbuhan tanaman	Kurang kuat	Kuat dan cepat	Sedang dan cepat	
9.	Produksi	Sedikit	Tinggi	Sedang s/d tinggi	

Sumber: Komisi Kakao Indonesia (2006)

Source: Komisi Kakao Indonesia (2006)

Bunga tidak menghasilkan nektar dan tidak memiliki aroma (Cheeseman, 1932; Urquhart, 1961). Namun demikian, menurut Stejskal (1969) ada dua jenis nektar mikroskopis, yaitu (1) multiseluler silinder dengan ukuran 60-450 mikron yang terdapat pada tangkai bunga, sepal, dan ovarium, dan (2) uniseluler kerucut dengan ukuran 20-25 mikron yang terletak di garis antara kelopak dan staminod. Nektar tersebut memiliki bau yang menarik bagi nyamuk jantan dan serangga lepidopterous. Rumus bunga kakao adalah $K5 C5 A(5^0 + 5^2) \underline{G} (5)$, artinya bunga tersusun dari 5 daun kelopak yang bebas satu sama lain, 5 daun mahkota, 10 tangkai sari yang tersusun dalam 2 lingkaran, masing-masing terdiri dari 5 tangkai sari tetapi hanya 1 lingkaran yang fertil, dan 5 daun buah yang bersatu.

Bunga tanaman kakao dibedakan menjadi 2: (1) bersifat *self fertil* atau *self compatible*, yaitu tanaman kakao yang berbunga dapat dibuahi oleh serbuk sari dari bunga tanaman itu sendiri, dan (2) bersifat *self steril* atau *self incompatible*, yaitu kakao yang berbunga hanya dapat dibuahi oleh serbuk sari dari bunga klon lainnya. *Self incompatible* tersebut merupakan ketidakmampuan tanaman kakao yang fertil dan biseksual untuk menghasilkan zigot setelah penyerbukan sendiri. Inkompabilitas biasanya di bawah kontrol genetik yang kuat oleh hanya beberapa lokus gen. Genotipe dari dua tanaman pada lokus-lokus tertentu menentukan apakah satu perkawinan memungkinkan atau tidak. Jadi bukan hanya *selfing* yang tertolak melainkan juga penyerbukan silang tertentu. Inkompabilitas mencegah serbuk sari untuk berkecambah pada kepala putik atau memperlambat pertumbuhan tabung serbuk sari melalui tangkai putik. Sistem inkompabilitas pada tanaman kakao sangat kompleks dan melibatkan beberapa lokus gen. Baik lokus yang sporotifik maupun gametofitik *self-incompatibility* ada pada tanaman kakao (Steiner, 1992). Tanaman yang *self-fertile* maupun *self-infertile* dari *T. cacao* telah ditemukan. *Self-incompatibility* mendominasi populasi alam di Amerika Selatan (Warren, Kalai, & Misir, 1995).

Dua tipe inkompabilitas yang berbeda tersebut secara fundamental dibedakan berdasarkan efek lokus-lokus gen inkompabilitas. Gen dari mikrogametofit, yaitu serbuk sari menentukan apakah serbuk sari dapat berkecambah dan tabung serbuk sari normal pada kasus inkompabilitas gametofitik. Inkompabilitas sporofitik merupakan reaksi inkompabilitas yang tergantung pada genotipe tanaman induk serbuk sari. Seluruh serbuk sari dari suatu tanaman selalu menunjukkan reaksi inkompabilitas yang sama pada kasus sporofitik

self-incompatibility. Tetapi tidak demikian pada sistem yang gametofitik (Finkeldey, 2005).

Bunga kakao membuka pagi hari (sekitar fajar) dan kepala sari pecah sebelum matahari terbit. Putik biasanya diserbuki 2 sampai 3 jam kemudian dari saat matahari terbit sampai matahari terbenam (Cheeseman, 1932). Putik reseptif pada semua bagian, tidak hanya di bagian puncak saja seperti pada kebanyakan bunga (Sumner, 1962). Penyerbukan yang terbaik adalah tengah hari dan umumnya terjadi dengan bantuan lebah (Hymenoptera), kupu-kupu/ngengat (Lepidoptera), dan lalat kecil pengusir hama (Diptera).

e. Buah (*fructus*)

Buah kakao berupa buah buni dengan daging bijinya sangat lunak. Bentuk, ukuran, dan warna buah kakao bervariasi dan merupakan salah satu karakter penting sebagai penciri perbedaan antar genotipe kakao. Berdasarkan bentuk buah terbagi menjadi empat golongan, yaitu Angoleta (buah berbentuk *oblong*), Cundeamor (buah berbentuk *ellips*), Amelonado, dan Calabacil (buah berbentuk bulat) (Cuatrecasas 1964; Wood & Lass, 1985). Permukaan buah halus, agak halus, agak kasar, dan kasar dengan alur dangkal, sedang, dan dalam, jumlah alur sekitar 10 dengan tebal antara 1-2 cm tergantung jenis klonnya. Panjang buah 16,2–20,50 dengan diameter 8–10,07 cm. Buah muda bervariasi warnanya, yaitu merah muda, merah muda keputihan, merah muda kecokelatan, merah kecokelatan, merah kehijauan, merah kusam, merah, merah tua, merah tua mengkilap, hijau muda, hijau muda keputihan, kehijauan, hijau, dan kecokelatan. Buah masak berwarna merah kekuningan, kuning kemerahan, kuning cerah, kuning agak kehijau-hijauan, dan orange. Warna buah dapat digunakan untuk identifikasi kelompok genetik kakao. Kakao jenis Criollo atau Trinitario buahnya umumnya berwarna merah sedangkan jenis Forastero umumnya berwarna hijau termasuk sebagian jenis Trinitario. Buah kakao terdiri dari 3 komponen utama, yaitu kulit buah, plasenta, dan biji. Komponen terbesar dari buah kakao adalah kulit buah (lebih dari 70% berat buah masak). Persentase biji kakao dalam buah antara 27-29%, sisanya plasenta yang merupakan pengikat dari sekitar 30-40 biji yang terdapat dalam buah (Sri Mulato, Widyotomo, Misnawi, & Suharyanto, 2005). Kulit dalam (*endocarpium*) tebal, berdaging, keras seperti kayu saat dikeringkan dengan ketebalan antara 4-8 mm. Buah muda disebut pentil (*cherelle*) ukurannya kurang dari 10 cm, seringkali mengalami keguguran (*cherelle wilt*) sebagai gejala spesifik dari tanaman kakao.

Tabel 2. Perubahan warna dan pengelompokkan kelas kematangan buah
Table 2. Discoloration and grouping of ripen cocoa pods

Perubahan warna	Bagian kulit yang mengalami perubahan warna	Kelas kematangan buah
Kuning	Pada alur buah	C
Kuning	Pada alur buah dan punggung alur buah	B
Kuning	Pada seluruh permukaan buah	A
Kuning	Pada seluruh permukaan buah	A ⁺

Sumber: Siregar (2003)
Source: Siregar (2003)

Buah kakao dipanen setelah masak optimal. Menurut Humphries (1943) *cited in* Rohan (1963), buah terbentuk setelah 14 hari penyerbukan bunga. Buah akan mengalami perkembangan selama pemasakan, yaitu 143 hari buah mencapai perkembangan fisik maksimal. Setelah itu, buah tidak bertambah besar maupun bertambah panjang. Buah mengalami masak optimal setelah berumur 170 hari yang ditandai dengan perubahan warna kulit buah sesuai dengan varietasnya. Dilaporkan Sunanto (1992) bahwa di dataran rendah proses kematangan buah kakao sejak dari penyerbukan sekitar 5,5 bulan, sedangkan di daerah pegunungan 6 bulan. Menurut Siregar (2003), terdapat tiga perubahan warna kulit pada buah kakao yang menjadi kriteria kelas kematangan buah (Tabel 2). Kemasakan buah kakao ditandai dengan perubahan warna kulit dan biji tidak melekat pada kulit buah bagian dalam bahkan terdapat rongga antara keduanya sehingga jika dipukul atau diketuk akan menimbulkan suara atau getaran seperti benda yang bagian dalamnya kosong (Zulkifli & Soenaryo, 1978).

f. Biji (*semen*)

Biji kakao dapat dibagi menjadi tiga bagian pokok, yaitu kotiledon (87,10%), kulit (12%), dan lembaga (0,9%). Komposisi kimia keping biji dan kulit biji kakao ditampilkan pada Tabel 3. Jumlah biji per buah sekitar 20-60 dengan kandungan lemak biji 40-59%. Biji berbentuk bulat telur agak pipih dengan ukuran 2,5 x 1,5 cm. Biji kakao diselimuti oleh lendir (*pulp*) berwarna putih. Lapisan yang lunak dan manis rasanya, jika telah masak lapisan tersebut dinamakan *pulp* atau *micilage*. Pulp dapat menghambat perkecambahan, oleh karena itu harus dibuang untuk menghindari kerusakan biji.

Biji kakao tidak mempunyai masa dormansi sehingga untuk benih tidak memungkinkan untuk disimpan dalam waktu yang agak lama. Penyimpanan benih pada temperatur antara 4-15 °C dapat merusak benih dan perkecambahan. Temperatur optimum untuk penyimpanan benih adalah 17 °C. Biji kakao bertahan 40-60% saat dikeringkan pada suhu 10 °C. Benih dalam polong yang disimpan pada suhu 5-10 °C akan mati dalam waktu 2 hari, benih akan bertahan sampai 100% jika disimpan pada suhu antara 15-30 °C selama 3 minggu. Viabilitas benih akan berkurang dari 98% menjadi 18% pada pengeringan 45% menjadi 36,7%.

Tabel 3. Komposisi kimia keping biji dan kulit biji kakao

Table 3. The chemical composition of beans and epidermis in cocoa

Komposisi	Keping biji (%)	Kulit biji (%)
Air	2,1	3,8
Lemak	54,7	3,4
Abu	2,7	8,1
Nitrogen		
• N total	2,2	2,8
• N protein	1,3	2,1
• Theobromin	1,4	1,3
• Kafein	0,07	0,1
Karbohidrat		
• Glukosa	0,1	0,1
• Pati	6,1	-
• Pektin	4,1	8,0
• Serat kasar	2,1	18,6
• Selulosa	1,9	13,7
• Pentosa	1,2	7,1
• Gum	1,8	9,0
Tanin		
• Asam asetat	0,1	0,1
• Asam sitrat	-	0,7
• Asam oksalat	0,3	0,3

Sumber: Sri Mulato, Widyotomo, & Handaka (2006)
Source: Sri Mulato, Widyotomo, & Handaka (2006)

PLASMA NUTFAH

Sasaran program pemuliaan kakao adalah mendapatkan bahan tanam unggul dengan produktivitas dan kualitas hasil tinggi serta tahan terhadap hama dan penyakit. Kriteria keunggulan tersebut adalah daya hasil lebih dari 3 ton/ha/thn, berat per biji kering lebih dari 1 g, kadar lemak biji lebih dari 55%, dan kadar kulit biji kurang dari 12% (Susilo, 2007). Pemuliaan secara konvensional untuk mendapatkan bahan tanam unggul kakao diperlukan waktu lama karena memiliki siklus hidup yang panjang. Kegiatan yang dilakukan meliputi koleksi plasma nutfah, pengujian klon, persilangan antar klon, pengujian keturunan, dan pemilihan individu pohon terpilih serta uji multilokasi untuk menghasilkan klon baru.

Untuk menghasilkan klon unggul dibutuhkan sumber-sumber gen dari sifat-sifat tanaman yang mendukung tujuan pemuliaan. Untuk memperkaya sumber daya genetik, usaha koleksi dan eksplorasi

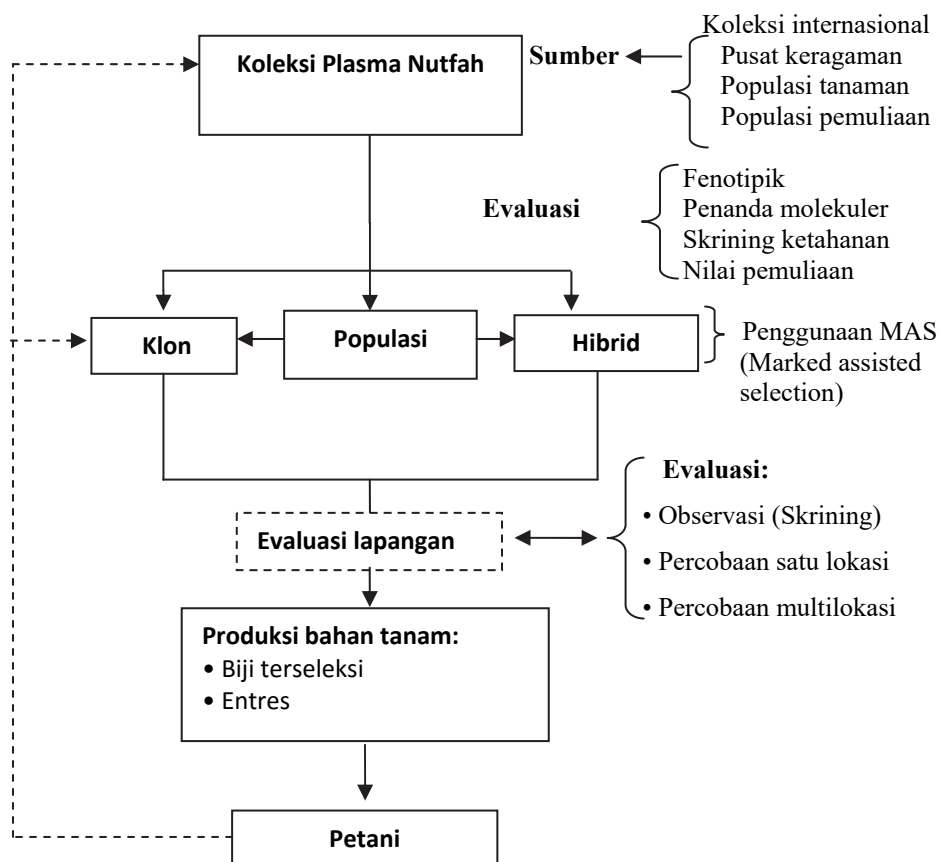
perlu terus dilakukan dengan melakukan introduksi klon dari luar negeri atau dari pusat keragaman kakao, mengoleksi klon-klon lokal, maupun klon-klon baru hasil seleksi pohon secara individu. Tanaman kakao asal embrio somatik yang telah tertanam di lapangan dan tersebar di berbagai daerah dengan kondisi agroekologi yang bervariasi juga merupakan sumber plasma nutfah untuk mendapatkan varian yang diinginkan. Sumber-sumber gen perlu diidentifikasi melalui kegiatan karakterisasi dan evaluasi. Informasi yang diperoleh merupakan *database* yang diperlukan dalam merakit varietas baru. Sejalan dengan program tersebut maka kebun koleksi yang tersusun dari bermacam-macam klon kakao perlu dilestarikan. Secara garis besar keterkaitan plasma nutfah dan program pemuliaan kakao seperti terlihat pada Gambar 1.

Eksplorasi dan Koleksi

Untuk mendapatkan material genetik yang dapat digunakan untuk perbaikan bahan tanaman kakao, koleksi dan eksplorasi plasma nutfah kakao perlu dilakukan dengan mengoleksi klon-klon lokal, introduksi, atau klon-klon baru hasil seleksi pohon secara individu. Sifat alami tanaman kakao yang menyerbuk silang akan menghasilkan rekombinan baru. Keragaman genetik yang tinggi di alam akibat adanya proses segregasi karena keturunan hasil

penyerbukan silang akan membawa alelik-alelik yang ada di populasi. Dengan demikian, akan mempercepat untuk mendapatkan genotipe unggul baru. Persilangan antar tanaman kakao tersebut akan melibatkan tetua yang bukan galur murni (*non-homozygous*).

Untuk meningkatkan ragam genetik kakao maka daerah-daerah sentra produksi kakao perlu dipilih sebagai target dalam menentukan lokasi untuk eksplorasi. Saat eksplorasi, informasi yang berkaitan dengan data paspor dari setiap aksesori harus dicatat. Sentra pertanaman kakao untuk perkebunan rakyat terdapat di empat provinsi di Sulawesi, yaitu Sulawesi Selatan 280.957 ha, Sulawesi Tenggara 257.277 ha, Sulawesi Tengah 229.320 ha, dan Sulawesi Barat 195.845 ha, disusul provinsi Sumatera Barat, Aceh, Sumatera Utara, Nusa Tenggara Timur, Lampung, Jawa Timur, dan Kalimantan Timur, masing-masing 105.177 ha, 86.195 ha, 79.334 ha, 48.488 ha, 47.087 ha, 30.992 ha, dan 30.561 ha. Perkebunan Besar Negara terbesar di provinsi Jawa Timur dan Sumatera Utara, masing-masing 26.480 ha dan 18.501 ha, sedangkan untuk Perkebunan Besar Swasta terbesar di Provinsi Sumatera Utara, Papua Barat, Jawa Timur, Lampung, dan Sulawesi Selatan, masing-masing 5.787 ha, 4.621 ha, 4.543 ha, 4.245 ha, dan 4.075 ha (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2011).



Gambar 1. Skema program pemuliaan kakao (Sumber: Monteiro, Lopes, & Clement, 2009)

Figure 1. The scheme of cocoa breeding program (Source: Monteiro, Lopes, & Clement, 2009)

Keberhasilan pemanfaatan populasi untuk mendapatkan genotipe tahan di berbagai daerah endemik serangan hama penyakit kakao melalui eksplorasi dan seleksi telah dilaporkan. Susilo, Suhendi, & Sri-Sukanto (2002) mendapatkan beberapa genotipe tahan penyakit busuk buah (*P. palmivora*) pada populasi Trinitario di daerah endemik serangan penyakit busuk buah. Selain itu, telah diperoleh beberapa klon harapan tahan PBK dari berbagai daerah endemik PBK (Susilo, Sulistyowati, & Mufrihati, 2004; ACIAR, 2006). Melalui eksplorasi dan seleksi, Susilo *et al.* (2013) telah melepas klon KW 570 dan KW 514 yang bersifat tahan/toleran terhadap PBK sebagai bahan tanam anjuran masing-masing dengan nama Sulawesi 03 dan ICCRI 07. Pada populasi Trinitario di daerah endemik serangan VSD, Tan (1992) berhasil menyeleksi beberapa genotipe tahan penyakit VSD (*O. theobromae*). Khairiah (komunikasi pribadi) mendapatkan 40 aksesori plasma nutfah kakao hasil eksplorasi di Sulawesi Tenggara, 20 aksesori di antaranya diduga tahan PBK dan 20 aksesori lainnya diduga tahan VSD.

Selain eksplorasi, untuk memperluas keragaman genetik tanaman dapat dilakukan dengan introduksi materi genetik dari lembaga-lembaga kolektor plasma nutfah dunia maupun dari daerah pusat penyebaran kakao. Introduksi untuk meningkatkan keragaman genetik kakao telah dilakukan Balittri dengan diperoleh plasma nutfah sebanyak 65 aksesori dari Equador. Klon-klon seperti DR 1, DR 2, dan DR 38 merupakan klon hasil seleksi kakao dengan menggunakan bahan asal benih dari Venezuela. Keragaman somaklonal yang terinduksi melalui proses kultur jaringan juga merupakan sumber plasma nutfah yang mungkin membawa sifat-sifat baru atau gen-gen yang sebelumnya tidak ditemukan di dalam populasi alami. Adanya keragaman somaklonal pada embriogenesis somatik kakao telah dilaporkan (Rodriguez Lopez, Bravo, Wetten, & Wilkinson, 2010; Ajjiah, 2015). Namun demikian, pemanfaatan keragaman somaklonal pada pemuliaan tanaman kakao belum pernah dilaporkan.

Konservasi

Untuk konservasi diperlukan lahan yang memiliki kesesuaian untuk budidaya kakao, bebas serangan organisme pengganggu yang dapat mematikan atau merusak tanaman, misalnya jamur akar cokelat (*Fomes lamaoensis*) dan penyakit VSD, serta dekat dengan sarana pengairan. Persiapan yang harus dilakukan meliputi pembersihan lahan, penanaman penangas tetap dan penangas sementara, ajir lubang tanam dan pembuatan lubang tanam. Pembibitan meliputi persiapan batang bawah umur 6 bulan, melakukan penyambungan dengan metode okulasi atau sambung pucuk, dan perawatan bibit klonal sampai dengan umur minimal 9 bulan siap tanam. Penanaman koleksi dilakukan pada awal musim hujan (November atau Desember), setiap aksesori ditanam minimal 10 tanaman dalam baris, selanjutnya dilakukan pelabelan dan pembuatan peta kebun. Inventarisasi koleksi plasma nutfah dilakukan secara reguler setiap tahun, penyulaman dilakukan terhadap tanaman yang mati atau palsu. Data selanjutnya dimasukkan dalam *database*, di antaranya meliputi jumlah total aksesori,

jumlah aksesori baru, dan jumlah aksesori yang punah.

Karakterisasi

Karakterisasi bertujuan membedakan fenotipe dari setiap aksesori dengan cepat dan mudah, serta menduga seberapa besar keragaman genetik yang dimiliki. Karakterisasi meliputi karakter kualitatif dan kuantitatif. Sifat kualitatif digunakan sebagai penciri utama suatu aksesori karena karakter tersebut tidak atau sedikit sekali dipengaruhi oleh lingkungan serta secara visual langsung bisa dilihat. Karakter ini umumnya meliputi karakter morfologi. Beberapa karakter kualitatif penting pada kakao, di antaranya warna tangkai daun, warna permukaan daun atas, warna permukaan daun bawah, bentuk daun, pangkal, ujung, dan tepi daun. Karakter kuantitatif umumnya sangat dipengaruhi oleh lingkungan, antara lain diameter batang, tinggi tanaman, potensi hasil, panjang buah, berat buah, dan lilit buah.

Pelaksanaan karakterisasi koleksi dilakukan oleh kurator plasma nutfah dan mengacu pada kaidah ilmiah yang sudah ditentukan. Penggunaan marka molekuler untuk mendeteksi adanya sifat spesifik pada plasma nutfah akan sangat membantu di dalam percepatan pemuliaan tanaman kakao. Penanda molekuler berbasis DNA, seperti RAPD (*random amplified polymorphic DNA*) dan SSR (*simple sequence repeat/microsatellites*) telah banyak digunakan. Selain tidak dipengaruhi oleh faktor lingkungan, penanda molekuler memiliki kelebihan dalam hal sensitivitas dan kecepatan mengidentifikasi spesies yang berbeda serta dapat membedakan individu yang mempunyai hubungan kekerabatan dekat. Aplikasi penanda molekuler pada tanaman kakao telah dilaporkan (Lerceteau, Robert, Petiard, & Crouzil, 1997; Motamayor & Lanaud, 2002; Motamayor *et al.*, 2002; Aikpokpodion *et al.*, 2009, 2010; Saunders, Hemeida, & Mischke, 2000; Zhang, ArevaloE., Mischke, Zuniga, & Barreto, 2006). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kurniasih, Rubiyo, Setiawan, Purwantara, & Sudarsono (2011) dengan menggunakan marka SSR, 19 klon kakao yang dianalisis berada dalam satu grup dengan koefisien keragaman di bawah 7,50 yaitu PA 300, KEE 2, TSH 908, RCC 72, DRC 16, RCC 78, PA 303, ICCRI 04, DRC 15, UTT 1, DR 38, ICCRI 02, UF 667, NIC 4, NIC 7, ICS 13, ICS 60, TSH 858, GC 7, dan DR 2. Kelompok lain yang memiliki koefisien keragaman di bawah 7,50 adalah DR 1, RCC 70, dan RCC 71. Klon ICCRI 01 dan ICCRI 03 mempunyai koefisien keragaman di atas 7,50 sedangkan Sca 6, Sca 12, dan Sca 89 mempunyai koefisien keragaman di atas 11,25. Tingkat heterosigositas dan keragaman genetik dari klon-klon ini relatif tinggi dan berpotensi untuk dijadikan sebagai tetua dalam persilangan untuk mendapatkan hibrida yang unggul dan bermutu.

Evaluasi

Evaluasi merupakan kegiatan lanjutan dari karakterisasi. Kegiatan ini bertujuan mengetahui lebih jauh potensi daya hasil dan kualitas buah serta daya adaptasi suatu aksesori terutama terhadap lingkungan biotik dan abiotik. Dengan demikian, kegiatan evaluasi biasanya dilakukan oleh pemulia tanaman bekerjasama dengan peneliti dari disiplin lain, tergantung kebutuhan. Selain untuk mengetahui aksesori yang tahan terhadap hama dan penyakit utama, yaitu hama PBK, penyakit

BBK, kepik pengisap buah (*Helopeltis* spp.), dan penyakit pembuluh kayu (VSD). Di samping itu, perlu juga dilakukan evaluasi terhadap sifat kompatibilitas menyerbuk sendiri.

Evaluasi terhadap hama PBK

Hama PBK (*Conopomorpha cramerella* Snell.) memberi kontribusi yang besar terhadap kehilangan hasil kakao. Data Direktorat Perlindungan Perkebunan menyebutkan bahwa 60% areal kakao Indonesia sudah terserang PBK dengan kehilangan hasil berkisar 25-30% atau setara USD 300 juta/tahun. Kehilangan hasil tersebut terjadi akibat buah yang terserang PBK menyebabkan kematian jaringan plasenta biji sehingga biji tidak bisa berkembang sempurna, biji lengket, dan kandungan lemaknya turun. Untuk memperbaiki kualitas dan kuantitas kakao akibat serangan hama PBK, yaitu dengan menanam jenis tanaman kakao yang tahan PBK. Salah satu strategi untuk mendapatkan tanaman tahan dengan melakukan eksplorasi dan seleksi genotipe tahan di daerah endemik serangan, evaluasi dilakukan secara periodik selama beberapa periode pembuahan.

Karakteristik buah sangat menentukan respons ketahanan tanaman kakao terhadap PBK (Susilo, 2007). Klon-klon yang menunjukkan jumlah lubang masuk larva relatif rendah memiliki tingkat kepadatan jaringan trikoma dan jumlah granula tanin relatif tinggi. Diduga bahwa trikoma berperan dalam mekanisme antixenosis melalui penghambatan proses peletakan telur, sedangkan granula tanin berperan dalam mekanisme antibiosis pada lapisan mesokarp. Tjahjo, Baharuddin, & Asrul (2008) melaporkan tanaman yang tahan PBK sebagian besar buahnya berbentuk elips dan oblong dengan kontriksi basal buah yang tidak berlekuk serta apeks buahnya tumpul, satu di antaranya buahnya berbentuk orbikuler dengan kontriksi basal tidak berlekuk serta apeks yang membulat. Tanaman yang rentan memiliki bentuk buah elips dan lonjong sebagian besar memiliki kontriksi basal yang berlekuk dengan kontriksi apeks yang bervariasi, yaitu sangat runcing dan runcing, satu di antaranya memiliki apeks membulat dan tumpul.

Penampilan buah yang berbentuk orbikuler dengan tanpa basal buah dan apeks yang membulat merupakan bentuk stimulan yang dilepaskan oleh inang terhadap serangga. Nampaknya serangga tidak memiliki rasa suka terhadap buah tersebut karena penampilan morfologinya yang tidak sesuai untuk pakan maupun tempat bertelur. Pada kulit buah yang kasar terdapat lebih banyak kerusakan yang ditimbulkan oleh PBK dibandingkan kulit yang halus. Struktur permukaan kulit buah kakao yang halus kurang disukai oleh PBK untuk meletakkan telur sehingga kurang dipilih untuk oviposisi. Ketahanan tersebut tampaknya berkaitan dengan tekstur permukaan kulit dan kekerasan lapisan kulit.

Buah yang memiliki alur buah dalam lebih disukai oleh PBK karena mempermudah peletakan telur pada alur tersebut sehingga dapat bertahan walaupun terkena air hujan atau angin, sedangkan telur pada buah yang beralur dangkal lebih mudah terlepas dari kulit buah jika terkena air hujan atau angin.

Varietas unggul Sulawesi 2 dan Sulawesi 3

memiliki ketahanan terhadap PBK, sedangkan AP 70, AP 71, AP 72, AP 73, ICCRI 07, MCC 01, dan MCC 02 (agak tahan), serta Sulawesi 1 (rentan). Pemanfaatan varietas tahan PBK tersebut dapat mengurangi biaya pengendalian terhadap PBK sehingga dapat meningkatkan efisiensi produksi kakao. Selain itu, mengurangi risiko kerusakan lingkungan akibat penggunaan pestisida dalam pengendalian PBK.

Evaluasi terhadap penyakit BBK

Penyakit BBK yang disebabkan oleh *P. palmivora* masih menjadi masalah bagi petani kakao. Kehilangan hasil akibat penyakit ini di seluruh dunia mencapai 30-40% per tahun, bahkan dapat mencapai 90% tergantung tingkat kerentanan genotipe dan kondisi lingkungan (Akaza, N'Goran, N'Guetta, Kebe, Tahi, & Sangare, 2009; Thevenin, Rossi, Ducamp, Doare, Condina, & Lachenaud, 2012). Salah satu arah pemuliaan kakao adalah mengembangkan kultivar unggul yang resisten terhadap penyakit busuk buah. Penyakit ini disebabkan oleh beberapa jenis *Phytophthora*. Sifat ketahanan terhadap penyakit busuk buah merupakan sifat ketahanan yang dikendalikan oleh banyak gen (*polygenic*). Mekanisme ketahanan terjadi secara bertahap, yaitu saat infeksi dan pasca infeksi jamur *Phytophthora* pada buah (Susilo, 2007). Ketahanan kakao terhadap penyakit busuk buah *P. palmivora* lebih bersifat horizontal daripada vertikal dengan mekanisme ketahanan secara struktural yang dipengaruhi oleh ciri morfologi dan ketahanan biokimia yang dihubungkan dengan senyawa fenolat yang dominan dalam perikarp buah kakao, klon tahan memiliki kandungan senyawa fenolat pasca infeksi lebih tinggi daripada klon moderat dan rentan (Rubiyo & Amaria, 2013).

Sebagian besar plasma nutfah kakao memiliki sifat rentan terhadap infeksi *P. palmivora* dan hanya sedikit yang menunjukkan sifat agak tahan dan tahan (Iwaro, Butler, & Eskes, 2006). Evaluasi terhadap koleksi plasma nutfah kakao lokal terhadap penyakit busuk buah menunjukkan klon lokal hijau Sausu dan klon lokal Sidondo cenderung lebih tahan dibandingkan perbandingan ICCRI 01, ICCRI 03, dan ICCRI 05 (Aisyah, Rahmansyah, Muslimin, & Suwastika, 2014).

Klon unggul nasional yang termasuk kategori tahan terhadap penyakit busuk buah (*P. palmivora*) adalah DRC 16, ICCRI 01, ICCRI 02, ICCRI 03, ICCRI 04, Sca 6, MCC 01, dan MCC 02, sedangkan AP 70, AP 71, AP 72, AP 73, ICCRI 06 H agak tahan, dan GC 7 serta ICS 3 kurang tahan. Klon tahan lain adalah Sca 12 (dari Ekuador) dan TSH 565, 516, 774 (dari Trinidad) (Soria, 1974). Kakao hibrida keturunan klon yang tahan terhadap penyakit busuk buah seperti Sca 6 dan Sca 12 cenderung memiliki ketahanan tinggi terhadap penyakit busuk buah.

Evaluasi terhadap penyakit VSD

Penyakit VSD merupakan salah satu penyakit yang dapat menurunkan produksi kakao. Penyakit ini menyebabkan tanaman meranggas, daun menguning, dan menghambat munculnya bunga dan buah. Upaya pengendalian penyakit yang efektif dan efisien adalah dengan menggunakan bahan tanam tahan. Dalam proses perakitan bahan tanam tersebut diperlukan sumber genetik yang memiliki sifat ketahanan terhadap VSD.

Beberapa varietas unggul kakao dilaporkan memiliki ketahanan terhadap penyakit VSD, di antaranya varietas AP 70, AP 74, AP 72, AP 73, Sulawesi 2, ICCRI 07, dan Sulawesi 03 (agak tahan), Sulawesi 1, Sca 6, DRC 15, ICCRI 06 H, MCC 04, dan MCC 02 (tahan). ICCRI 06 H merupakan hasil persilangan klon TSH 858 dengan Sulawesi I.

Klon PNT 16, PNT 17, dan PNT 33B merupakan nomor-nomor harapan hasil seleksi individu berdasarkan kriteria potensi hasil, ketahanan VSD dan mutu biji (warna biji) yang dilakukan di Kebun Penataran. Anita-Sari & Susilo (2014) melaporkan bahwa PNT 16, PNT 17, dan PNT 33B menunjukkan tingkat ketahanan terhadap penyakit VSD lebih baik dibanding dengan klon kontrol (DR 2). PNT 16 menunjukkan potensi hasil paling tinggi dan tingkat serangan VSD paling rendah, serta stabil selama dua tahun pengamatan. Ang dan Shepherd (1978) melaporkan kakao hibrida keturunan Sca 12 cenderung memiliki ketahanan tinggi terhadap VSD yang disebabkan oleh jamur *O. theobromae*. Klon tersebut juga tahan terhadap penyakit antraknosa yang disebabkan oleh jamur *Colletotrichum*.

Evaluasi sifat ketahanan tanaman terhadap penyakit VSD, selain dengan menggunakan metode skoring juga dapat dilakukan dengan mengamati struktur morfologi stomata daun pada *flush* sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Anita-Sari & Susilo (2013) yang melaporkan bahwa karakter jumlah stomata pada *flush* merupakan salah satu kriteria yang digunakan untuk mengidentifikasi tingkat ketahanan penyakit VSD. Karakter jumlah stomata paling banyak ditunjukkan oleh PNT 12, sedangkan jumlah stomata pada PNT 16, PNT 17, PNT 18, dan PNT 33B lebih sedikit dibanding dengan DR 2. Terdapat hubungan negatif antara kerapatan stomata dengan tingkat ketahanan tanaman. Semakin tinggi kerapatan stomata maka tanaman cenderung lebih rentan terhadap penyakit (Bisognin, Segatto, Manfron, Muller, & Ranpelotto, 2006; Bozoglu & Karayel, 2006). Jumlah stomata yang cukup banyak akan meningkatkan proses transpirasi dan juga berpengaruh terhadap penangkapan CO₂ di udara sehingga peluang masuknya spora bersama dengan udara akan semakin tinggi.

Evaluasi terhadap hama kepik pengisap buah (Helopeltis spp.)

Kepik pengisap buah *Helopeltis* spp. (Hemiptera, Miridae) merupakan hama utama setelah PBK, dilaporkan terdapat lebih dari satu jenis *Helopeltis* pada tanaman kakao, di antaranya *H. antonii*, *H. theivora*, dan *H. claviver*. Serangan pada tanaman kakao bisa terjadi pada buah muda, pucuk atau ranting. Sasaran utama serangan *Helopeltis* spp. adalah buah, serangan hama ini bisa menyebabkan penurunan produksi buah sebesar 50-60% (Wahyudi & Yusianto, 2008). Varietas unggul kakao yang moderat terhadap serangan *Helopeltis* spp. ditemukan pada DRC 16, GC 7, dan ICS 13, sedangkan klon AP 70, AP 74, AP 72, dan AP 73 (agak tahan) serta klon ICCRI 01, ICCRI 02, ICCRI 03, dan ICCRI 04 (tahan). Di antara varietas yang dilepas, ICCRI 07 termasuk varietas rentan terhadap hama kepik penghisap. Menurut Sulistyowati & Iswanto (1988), klon Sca 6, Sca 12, dan ICS 6 memiliki ketahanan yang tinggi

terhadap serangan hama *Helopeltis antonii*.

Evaluasi terhadap cekaman kekeringan

Kekeringan merupakan keadaan pada periode pertumbuhan tanaman. Kekurangan air tanah atau dalam tanaman berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kekeringan bisa disebabkan distribusi hujan yang tidak teratur atau rendahnya kemampuan tanah dalam menyerap air. Strategi pemuliaan untuk meningkatkan ketahanan genotipe terhadap cekaman kekeringan dapat dilakukan dengan menyeleksi terhadap karakter morfologi dan fisiologi. Opeke & Toxopeus (1967) menggunakan persentase benih yang hidup untuk menyeleksi beberapa genotipe elit dari WACRI seri I dan II. Klon dengan kemampuan hidup yang tinggi di bawah kondisi lingkungan terbuka dikembangkan dari seleksi lokal dan sebagai materi genetik yang juga diseleksi berdasarkan persentase tumbuh tahun pertama setelah penanaman (Toxopeus, 1968). Frimpong *et al.* (1999) menyeleksi genotipe kakao tahan terhadap kekeringan berdasarkan tinggi tanaman, jumlah daun, dan pertumbuhan batang di bawah kondisi rumah kaca. Daymond & Hadley (2004) mempelajari pengaruh cekaman temperatur terhadap pertumbuhan awal batang dan kandungan klorofil pada empat klon kakao. Acheampong *et al.* (2013) mengevaluasi pengaruh naungan dan tanpa naungan terhadap pertumbuhan awal, kandungan klorofil daun, dan aktivitas fotosintesis terhadap genotipe kakao di bawah kondisi musim kemarau dan hujan. Padi *et al.* (2013) menggunakan skor vigor benih, kecepatan tumbuh batang, dan benih yang hidup untuk mempelajari respon beberapa famili kakao yang diseleksi di bawah kondisi tanpa naungan.

Saat ini, sangat sedikit sekali materi genetik yang telah dievaluasi terhadap cekaman kekeringan. Metode yang simple, cepat, dan efektif untuk mendapatkan genotipe yang tahan terhadap cekaman kekeringan adalah dengan melakukan skreening terhadap materi genetik yang ada. Karakter seperti persentase tumbuh, pertumbuhan batang, vigour, dan kandungan klorofil daun dapat digunakan untuk menyeleksi genotipe tahan terhadap cekaman kekeringan pada kakao (Frimpong *et al.*, 1999; Padi *et al.*, 2013).

Kakao merupakan tanaman asli dari daerah hutan tropis di Amazone yang tumbuh dibawah tegakan pohon (Toxopeus, 1985) dan merupakan tanaman yang suka akan naungan. Berdasarkan karakteristik fotosintesisnya, kakao merupakan spesies yang adaptif terhadap naungan dengan tingkat cahaya dan fotosintesis rendah (Mielke, Almeida, & Gomes, 2005). Kecepatan fotosintesis akan meningkat jika ditanam pada kondisi intensitas cahaya yang tinggi (Galyuon, McDavid, Lopez, & Spence, 1996). Untuk pengembangan kakao di daerah kering diperlukan genotipe kakao yang adaptif terhadap kondisi lahan tersebut sehingga produktivitasnya dapat meningkat. Di antara varietas unggul yang telah dilepas, AP 70 merupakan klon kakao yang tahan terhadap stres kekeringan.

Evaluasi produksi, mutu, dan kadar lemak

Berdasarkan deskripsi, potensi produksi varietas unggul bervariasi antara 1,5–3,67 kg/ha/tahun dengan jumlah buah/pohon 24–86,26. Berat biji kering/butir ≥ 1 g kecuali Sca 6 antara 0,65–0,80 g. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI), varietas unggul memiliki mutu AA kecuali AP 72, AP 73, Sulawesi 1, Sulawesi 2, Sca 6, DRC 15, dan ICCRI 06H dengan kadar kulit ari antara 5,6–18,75%. Klasifikasi mutu fisik biji berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) termasuk mutu AA jika maksimum 85 biji per 100 g atau 1,17 g per biji, A (86–100 biji per 100 g) atau 1,16–1,0 g per biji, B (101–110 biji per 100 g) atau 0,99–0,90 g per biji, C (111–120 biji per 100 g) atau 0,90–0,83 g per biji, dan S (> 120 biji per 100 g) atau $< 0,83$ g per biji.

Lemak merupakan komponen termahal dari biji kakao sehingga nilai ini dipakai oleh konsumen sebagai salah satu tolak ukur penentuan harga. Kadar lemak biji kakao diklasifikasikan berdasarkan kategori tinggi ($> 55\%$), sedang (52,3–55%), dan rendah ($\leq 52,2\%$). Kadar lemak tinggi ($> 55\%$) terdapat pada klon AP 70, AP 71, AP 72, AP 73, ICCRI 01, ICCRI 02, ICCRI 03, dan ICCRI 04. Kadar lemak DRC 16 dan ICCRI 06 H tergolong sedang (52,3–55%), masing-masing sebesar 53,45 dan 54,3%. Kadar lemak klon GC 7 (52,25%), ICS 13 (54,31%), Sulawesi 1 (48–50%), Sulawesi 2 (45–47%), DRC 15 (50,4%), MCC 01 (49,67%), dan MCC 02 (49,2%) tergolong rendah ($\leq 52,25\%$), sedangkan kadar lemak Sca 6 49,6–58,17%. Martono *et al.* (2013) melaporkan kadar lemak klon lokal asal Pesawaran Lampung (50,40–52,45%).

Evaluasi sifat kompatibilitas menyerbuk sendiri

Informasi mengenai kemampuan menyerbuk sendiri diperlukan dalam proses pemilihan tetua untuk pembuatan benih hibrida. Berdasarkan kemampuan penyerbukan pada kakao, Suhendi, Susilo, & Mawardi (2000) mengklasifikasi klon yang kompatibel menyerbuk silang secara umum (*general cross-compatible*) dan klon yang kompatibel menyerbuk silang secara khusus (*specific cross-compatible*). Sedangkan berdasarkan kemampuannya dalam melakukan penyerbukan sendiri (*self-compatibility*) terdapat klon yang kompatibel menyerbuk sendiri (*self-compatible*) dan klon yang tidak kompatibel menyerbuk sendiri (*self-incompatible*). Varietas unggul AP 70, AP 71, AP 72, dan AP 73 termasuk *self-compatible*.

Evaluasi kemampuan menyerbuk sendiri pada beberapa plasma nutfah kakao telah dilakukan. Berdasarkan variasi persentase buah yang terbentuk, Susilo (2006) melaporkan ada tiga variasi keragaan kemampuan menyerbuk sendiri pada beberapa plasma nutfah kakao. Klon DR 1, Na 32, dan Na 33 termasuk jenis yang tidak kompatibel menyerbuk sendiri, klon DR 38, TSH 858, ICS 60, ICS 13, UIT 1, KW 162, KW 165, KKM 22 bersifat kompatibel menyerbuk sendiri sebagian, dan klon DR 2, DRC 16, DRC 15, dan KW 163 bersifat kompatibel menyerbuk sendiri. Varietas ICCRI 01, ICCRI 02, ICCRI 03, dan ICCRI 04 merupakan klon yang kompatibel menyerbuk silang secara umum (*general cross-compatible*) dan mampu menyerbuk sendiri (*self-compatible*) masing-masing dengan tingkat kompatibilitas sebesar 42–58% untuk ICCRI 01 dan 29–56% untuk ICCRI 02. Klon Sulawesi 1, Sulawesi 2, MCC 01, dan MCC 02 merupakan klon yang kompatibel

menyerbuk sendiri (*self-compatible*) dan mampu menyerbuk silang (*cross-compatible*). MCC 01 dan MCC 02 kompatibel menyerbuk silang dengan klon Sulawesi 01 dan Sulawesi 02.

Dokumentasi

Kegiatan dokumentasi antara lain meliputi: pencatatan data paspor hasil eksplorasi, registrasi, konservasi, karakterisasi, evaluasi, sampai pemanfaatan untuk kegiatan penelitian. Langkah-langkah yang dapat ditempuh dalam proses dokumentasi data meliputi: inventarisasi data, transkripsi data, entry data, verifikasi dan validasi data, pemeliharaan, dan pengembangan sistem dokumentasi (Kurniawan, 2005).

PEMANFAATAN PLASMA NUTFAH

Untuk mendapatkan bahan tanam kakao unggul perlunya dilakukan persilangan antar klon kakao yang terseleksi dan memiliki sifat unggul tertentu. Menurut Wood (1975), jika dua tanaman hasil seleksi dari populasi yang secara genetis berbeda disilangkan akan muncul sifat hibrida kuat (*hybrid vigor*) sehingga tanaman hibridanya memiliki sifat pertumbuhan cepat (jagur) dan produktivitasnya tinggi. Pemanfaatan plasma nutfah telah menghasilkan varietas unggul untuk mendukung pengembangan bahan tanaman dan perkebunan kakao di Indonesia.

Tabel 4. Beberapa klon kakao anjuran yang dapat digunakan untuk memproduksi benih hibrida

Table 4. Several recommended cocoa clones that can be used to produce hybrid seeds

No	Jenis hibrida	Komposisi klon tetua
1.	Poliklonal	ICS 60, GC 7, UIT 1, Sca 6/Sca 12 ICS 60, ICS 13, Sca 6/Sca 12
2.	Biklonal	ICS 60, TSH 858 ICS 60, Sca 6/Sca 12 TSH 858, Sca 6 UIT 1, Na 33 ICCRI 06H (TSH 858, Sulawesi 1)

Sumber: Peraturan Menteri Pertanian (2013)

Source: Peraturan Menteri Pertanian (2013)

Varietas-varietas unggul kakao yang sudah dilepas telah menyebar cukup luas seperti Sulawesi 1, Sulawesi 2, MCC 01, dan MCC 02. Selain produktivitas tinggi, tiap-tiap varietas mempunyai keunggulan diantaranya dalam hal kandungan lemak, jumlah biji/buah, berat biji kering, ketahanan terhadap hama dan penyakit utama, dan adaptif pada lingkungan spesifik. Berdasarkan klon-klon tetua beberapa jenis klon dikategorikan sebagai pejantan seperti Sca 6 dan Sca 12. Klon ini hanya dimanfaatkan sebagai sumber gen ketahanan terhadap hama dan penyakit penting, khususnya penyakit busuk buah dan VSD. Klon-klon kakao anjuran untuk kebun entres terdiri atas jenis kakao mulia dan kakao lindak. Selain klon-klon hasil proses pelepasan terdapat juga jenis-jenis klon kakao lama hasil pengembangan generasi awal. Jenis klon anjuran untuk kakao mulia adalah DR 1, DR 2,

DR 38, DRC 16, ICCRI 01, ICCRI 02, dan ICCRI 05, sedangkan untuk kakao lindak adalah ICS 60, TSH 858, UIT 1, GC 7, ICS 13, RCC 70, RCC 71, RCC 72, RCC 73, ICCRI 03, ICCRI 04, ICCRI 07, Sca 6, Sulawesi 01, Sulawesi 02, dan Sulawesi 03. Bahan tanam kakao anjuran untuk kebun induk hanya jenis kakao lindak (Tabel 4) (Peraturan Menteri Pertanian, 2013).

Untuk pengembangan kakao khususnya di daerah Sumatera Utara, direkomendasikan menanam varietas AP 70, AP 71, AP 72, dan AP 73. Klon-klon tersebut dapat tumbuh optimal pada ketinggian tempat antara 10-200 m dpl. Keunggulan varietas AP 70, selain tahan terhadap stress karena kekeringan juga memiliki produktivitas tinggi (3 ton/ha/tahun) dan mutu fisik biji baik. Klon AP 70 juga agak tahan terhadap *Helopeltis*, penggerek buah kakao (PBK), penyakit busuk buah (*Phytophthora*) dan mati ranting (*vascular streak dieback/VSD*). Klon ini merupakan hasil persilangan antara TSH 858 dengan ICS 60.

PENUTUP

Kakao merupakan tanaman menyerbuk silang sehingga tingkat keragamannya tinggi. Keragaman merupakan sumber genetik untuk perbaikan varietas terutama dalam mendapatkan genotipe yang diharapkan. Penanganan plasma nutfah kakao antara lain meliputi: eksplorasi, koleksi, konservasi, karakterisasi, evaluasi, dan dokumentasi harus dikelola dengan baik dan berkesinambungan agar memudahkan dalam pemanfaatannya. Dengan tersedianya plasma nutfah dan informasi dari setiap aksesori dapat membantu pemulia tanaman dalam merencanakan program pemuliaan untuk merakit varietas unggul. Pemanfaatan plasma nutfah telah banyak menghasilkan klon-klon yang dilepas sebagai varietas unggul.

DAFTAR PUSTAKA

- Aicheampong, K., Hadley, P., & Daymond, A. (2013). Photosynthetic activity and early growth of four cacao genotypes as influenced by different shade regimes under West African dry and wet season conditions. *Experimental Agriculture*, 49(1), 31-42.
- ACIAR. (2006). *Selection for improved quality and resistance of Phytophthora pod rot, cocoa pod borer, and vascular streak dieback in cocoa in Indonesia*. Annual report PHT/2000/102.
- Aikpokpodion, P.O., Motamayor, J.C., Adetimirin, V.O., Adu-Ampomah, Y., Ingelbrech, L., Eskes, A.B., Schnell, R.J., & Kolesnikova-Allen, M. (2009). Genetic diversity assesment of sub-samples of cacao, *Theobroma cacao* L. Collections in West Africa using simple sequence repeats marker. *Tree Genetics and Genome*, 5, 699-711.
- Aikpokpodion, P.O. (2010). Variation in agromorphological characteristics of cacao, *Theobroma cacao* L. In farmers' fields in Nigeria. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 38(2), 157-170.
- Aisyah, N., Rahmansyah, Muslimin, & Suwastika, I.N. (2014). Ketahanan buah beberapa klon kakao (*Theobroma cacao* L.) terhadap infeksi penyakit busuk buah berdasarkan uji *Detached Phod*. *Online Journal of Natural Science*. 3(2), 50-56.
- Ajijah, N. (2015). Pengembangan metode regenerasi kakao melalui embriogenesis somatik dan identifikasi varian yang resisten terhadap infeksi *Phytophthora palmivora* Butl. Disertasi Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Akaza, M.J., N'Goran, J.A.K., N'Guetta, S.P.A., Kebe, B.I., Tahi, G.M., & Sangare, A. (2009). Resistance to *Phytophthora palmivora* (Butler) Butler assessed on leaf discs of cacao (*Theobroma cacao* L.) hybrid trees. *Asian J. Plant Pathol*. 3: 106-118.
- Ang, B.B., & Shepherd, R. (1978). Cocoa Breeding and Selection Investigations at Prang Besar Research Station. In *Proceeding International Conference on Cocoa and Coconuts*, Kuala Lumpur.
- Anita-Sari, I., & Susilo, A.W. (2013). Investigation of different characters of stomata on three cocoa clones with resistance level difference to VSD (Vascular Streak Dieback) disease. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 3(9): 703-710.
- Bisognin, D.A., Segatto, F.B., Manfron, P.A., Muller, D.R., & Ranpelotto, M.V. (2006). Leafmorpho-anatomical characteristics of five potato clones. *Ciencia Natura, UFSM*, 28, 29-41.
- Bozoglu, H., & Karayel, R. (2006). Investigation of stomata densities in pea (*Pisum sativum* L.) lines cultivars. *Journal of Biological Sciences*, 6, 56-61.
- Cheeseman, E.E. (1932). The economic botany of cacao. A critical survey of the literature to the end of 1930. *Trop. Agr. (Trinidad) Sup.*, 9, 16.
- Cuatrecasas, J. (1964). *Cacao and its allies: a taxonomic revision of the genus Theobroma* (p. 613). Washington DC: Smithsonian Institution.
- Daymond, A.J., & Hadley, P. (2004). The effects of temperature and light integral on early vegetative growth and chlorophyll fluorescence of four contrasting genotypes of cacao (*Theobroma cacao*). *Annals of Applied Biology*, Vol. 145: 257-262.

- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2014). *Statistik perkebunan Indonesia: Kakao* (p. 53). Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian.
- Febrianto, N.A. (2013). Hidrolisat protein asal bungkil kakao dan ampas kopi. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia*, 25(3), 20-23.
- Finkeldey, R. (2005). An Introduction to Tropical Forest Genetics. Djahhuri, E., Siregar, I.Z., Siregar, U.J., Kertadikara, A.W., tranl's. Gottingen: Institute of Forest Genetics and Forest Tree Breeding, Faculty of Forestry. Bogor Agricultural University.
- Frimpong, E., Adu-Ampomah, Y., & Karimu, A. (1999). Efforts to breed for drought resistant cacao in Ghana. In *Proceedings of the 12th International Cacao Research Conference, Bahia, Brasil* (pp. 24-25).
- Galyuon, I.K.A., McDavid, F.B., Lopez, F.B., & Spence, J.A. (1996). The effect of irradiance level on cocoa (*Theobroma cacao* L.): 1. Growth and leaf adaptations. *Trop. Agr. (Trin.)* 73: 23-28.
- Iwaro, A.D., Butler, D.R., & Eskes, A.B. (2006). Sources of resistance to phytophthora pod rot at the international cocoa genebank, Trinidad. *Genetic Resource Crop Evol.* 53: 99-109.
- Komisi Kakao Indonesia. (2006). Direktori dan Revitalisasi Agribisnis Kakao Indonesia. Departemen Pertanian. 248 hal.
- Kurniawan, H. (2005). Dokumentasi data. *Buku Pedoman Pengelolaan Plasma Nutfah Perkebunan* (pp. 59 -77). Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan.
- Kurniasih, S., Rubiyo, Setiawan, A., Purwantara, A., & Sudarsono. (2011). Analisis keragaman genetik plasma nutfah kakao (*Theobroma cacao* L.) berdasarkan marka SSR. *Jurnal Litri*, 17(4), 156-162.
- Lerceteau, E., Robert, T., Petiard, V., & Crouzil, D. (1997). Evaluation of the extent of genetic variability among *Theobroma* accessions using RAPD and RFLP markers. *Theor. Appl. Genet.*, 95, 10-19.
- Martono, B., Rubiyo, Setiyono, R.T., Udarno, L., Tresniawati, C., Ilham, N.A.W., & Susmono, C. N. (2013). *Eksplorasi, konservasi, karakterisasi, evaluasi, utilisasi, dan dokumentasi plasma nutfah kopi, kakao, karet, dan teh*. Laporan Tahunan 2013. Sukabumi: Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar.
- Mielke, M. S., Almeida, A. A. F. D., & Gomes, F. P. (2005). Photosynthetic traits of five neotropical rainforest tree species: interactions between light response curves and leaf-to-air vapour pressure deficit. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48(5), 815-824.
- Monteiro, W.R., Lopes, U.V., & Clement, D. (2009). Genetic improvement in cocoa. In Jain, S.M., Priyadarshan, P.M. (Eds.). *Breeding Plantation Tree Crops: Tropical Species* (pp. 589-626). Springer Science+Business Media, LLC.
- Motamayor, J.C., & Lanaud, C. (2002). Molecular analysis of the origin and domestication of *Theobroma cacao* L. In J.M.M., Ramanatha Rao, V., Brown, A.H.D., & Jackson, M.T. (Eds.), *Managing Plant Genetic Diversity Engels* (pp. 77-87). IPGRI.
- Motamayor, J.C., Risterucci, A.M., Lopez, P.A., Ortiz, C.F., Moreno, A., & Lanaud, C. (2002). Cacao domestication I: The origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity*, 89, 380-386.
- Opeke, L. K., & Toxopeus, H. (1967). Preliminary studies on the yield and Establishment of WACRI series I and II Cacao varieties in Western Nigeria. *Niger. Agric. J.*, 4(1), 22-27.
- Padi, F. K., Adu-Gyamfi, P., Akperter, A., Arthur, A., & Ofori, A. (2013). Differential response of cocoa (*Theobroma cacao*) families to field establishment stress. *Plant Breeding*, 132(2), 229-236.
- Peraturan Menteri Pertanian. (2013). Permentan Nomor 09/Permentan/OT.140/1/2013 *Tentang pedoman teknis pengembangan kebun induk dan kebun entres kakao* (p. 30).
- Rodriguez Lopez, C.M., Bravo, H.C., Wetten, A.C., & Wilkinson, M.J. 2010. Progressive erosion of genetic and epigenetic variation in callus-derived cocoa (*Theobroma cacao*) plants. *New Phytologist*, 186, 856-868.
- Rohan, T.A. (1963). *Processing of raw cocoa for the market*. Roma: FAO.
- Rubiyo, & Amaria, W. (2013). Ketahanan tanaman kakao terhadap penyakit busuk buah (*Phytophthora palmivora* Butl.). *Perspektif*, 12(1): 23-36.
- Saunders, J.A., Hemeida, A.A., & Mischke, S. (2000). USDA DNA fingerprinting programme for identification of *Theobroma cacao* accessions. In *Proceedings of the International Workshop on New Technologies and Cocoa Breeding* (pp. 108-114). 16-17 October. Kinabalu, Sabah, Malaysia: INGENIC.
- Siregar, T.H.S. (2003). *Kakao: Pembudidayaan, pengolahan, dan pemasaran*. Tanjung Morawu: Penebar Swadaya.
- Soria, J. (1974). Sources of Resistance to *Phytophthora palmivora*. In Gregory, P.H. (Ed.) *Phytophthora disease of cocoa* (pp.197-202). London: Longman.
- Sri-Mulato, Widyotomo, S., Misnawi, & Suharyanto, E. (2005). Pengolahan Produk Primer dan Sekunder Kakao. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Jember.

- Sri-Mulato, Widyotomo, S., & Handaka. (2006). Disain Teknologi Pengolahan Pasta, Lemak, dan Bubuk Cokelat untuk Kelompok Tani. Puslit Kopi dan Kakao Indonesia. Jember.
- Steiner, W. (1992). Inkompatibilitats systeme bei pflanzen und ihre populationsgenetische bedeutung. Gottingen Research Notes in Forest Genetics No. 12. Gottingen: Abteilung fur Forstgenetik und Forstpflanzenzucht.
- Stejskal, M. (1969). Nectar and aroma of the cacao flower. *Oriente Agropecuario*, 1(2), 75-92.
- Suhendi, D., Susilo, A.W., & Mawardi, S. (2000). Kompatibilitas persilangan beberapa klon kakao (*Theobroma cacao* L.). *Pelita Perkebunan*, 16, 85-91.
- Sulistiyowati, E., & Iswanto, A. (1988). *Uji saring ketahanan beberapa bahan tanam kakao terhadap penghisap buah Helopeltis spp.* Jember: Balai Penelitian Perkebunan.
- Sumner, H.M. (1962). Cocoa pollination. In Wills, J.B. (Ed.), *Agriculture and land use in Ghana* (pp. 260-261). London, Accra, New York: Oxford University Press.
- Sunanto, H. (1992). Coklat: Pengolahan hasil dan aspek ekonominya. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Susilo, A.W., Suhendi, D., & Sri-Sukanto. (2002). Ragam genetik kerentanan tanaman kakao terhadap *Phytophthora palmivora* (Butl.). *Pelita Perkebunan*, 18, 1-9.
- Susilo, A.W., Sulistyowati, E., & Mufrihati, E. (2004). Eksplorasi genotipe kakao tahan penggerek buah kakao (*Conopomorpha cramerella* Snell.). *Pelita Perkebunan*, 20, 1-12.
- Susilo, A.W. (2006). Kemampuan menyerbuk sendiri beberapa klon kakao (*Theobroma cacao* L.). *Pelita Perkebunan*, 23(3), 159-167.
- Susilo, A.W. (2007). Akselerasi program pemuliaan kakao (*Theobroma cacao* L.) melalui pemanfaatan penanda molekuler dalam proses seleksi. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia*, 23(1), 11-24.
- Susilo, A.W., Riyadi, A., Iswanto, A., Mulia, S., Sulistyowati, E., Wahab, A., M. Imron, E., Mufrihati, Anita-Sari, I., Sobadi, Sukarmin, Suwitra, I.K., & Nurlia. (2013). *Usulan pelepasan klon tahan hama penggerek buah kakao (Conopomorpha cramerella Snell., PBK), KW 570 dan KW 514* (p. 52). Jember: Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia.
- Tan, G.Y. (1992). Cocoa breeding in Papua New Guinea and its relevance to pest and disease control. In Keane, P.J., & Putter, C.A.J. (Eds.). *Cocoa pest and diseases management in Southeast Asia and Australasia*. Rome: FAO.
- Thevenin, J.M., Rossi, V., Ducamp, M., Doare, F., Condina, V., & Lachenaud, P. (2012). Numerous clones resistant to *Phytophthora palmivora* in the "Guiana" genetic group of *Theobroma cacao* L. *PLoS ONE* 7: e40915. Doi:10.1371/journal.pone.0040915 [18 Januari 2015].
- Tjahjo, A.A., Baharuddin, & Asrul, L. (2008). Keragaman morfologi buah kakao harapan tahan hama penggerek buah kakao di Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat. *Jurnal Agrisistem*, 4(1), 37-43.
- Tjitrosoepomo, G. (1988). Taksonomi tumbuhan (*Spermathophyta*). Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Toxopeus, H. (1968). Establishment of cacao clones in Nigeria. *Euphytica*, 17(1), 38-45.
- Urquhart, D.H. (1961). Cocoa. Ed. 2 (p. 293). London: Longmans, Green & Co., Ltd.
- Wahyudi, T., & Yusianto. (2008). Industri hilir. In Wahyudi, T., Panggabean, T.R., Pujiyanto. *Panduan lengkap kakao manajemen agribisnis dari hulu hingga hilir* (p. 363). Penebar Swadaya.
- Warren, J.M., Kalai, & Misir, S. (1995). An unnatural breeding system polymorphism in cacao (*Theobroma cacao*, Sterculiaceae) in Trinidad. *American Journal of Botany* 82: 1126-1130.
- Wood, G.A.R. (1975). *Cocoa*. London: Longman.
- Wood, G.A.R., & Lass, R.A. (1985). *Cacao*, 4th. Ed. New York: Longman Group Lim.
- Zhang, D., Arevalo, E., Mischke, B., Zuniga, L., & Barreto, A. (2006). Genetic diversity and population structure of cocoa, *Theobroma cacao* L. In the Hulla and Ucayali valleys of Peru. *Annals of Botany*, 98, 647-655.
- Zulkifli, M.M., & Soenaryo. (1978). *Pengolahan coklat pada perkebunan besar*. BPP Bogor. Jember: Sub Balai Penelitian Budidaya.

