
PERAKITAN VARIETAS UNGGUL KAKAO UNTUK MENINGKATKAN DAYA HASIL SERTA KETAHANAN TERHADAP HAMA DAN PENYAKIT

BREEDING FOR SUPERIOR VARIETIES IN CACAO TO INCREASE YIELD AND RESISTANCY TO PEST AND DISEASES

Enny Randriani dan Dani

BALAI PENELITIAN TANAMAN INDUSTRI DAN PENYEGAR

Jalan Raya Pakuwon Km 2 Parungkuda, Sukabumi 43357

ennyrandriani@gmail.com

ABSTRAK

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan anggota kelompok tanaman penyegar yang menjadi sumber bahan baku industri makanan, minuman, hingga kosmetik. Budidaya tanaman kakao bukan pekerjaan yang mudah karena banyak faktor pembatas yang menyebabkan produktivitas tanaman jauh lebih rendah dibanding potensinya. Upaya perbaikan genetik terus dilakukan untuk meningkatkan potensi daya hasil sekaligus ketahanan terhadap cekaman biotik dan abiotik. Ketersediaan keragaman genetik tanaman kakao di berbagai belahan dunia memberikan peluang untuk keberhasilan program pemuliaan tanaman kakao. Pendekatan konvensional maupun bioteknologi sangat penting untuk dilakukan dalam perbaikan genetik tanaman kakao.

Kata kunci: Bio-industri, berkelanjutan, ramah lingkungan

ABSTRACT

Cacao (Theobroma cacao L.) is one of beverage crops that become a source of raw material for food, beverage, and cosmetic industries. Cultivation of cacao faced a lot of limiting factors that cause crop productivity is much lower than its potential. Genetic improvement efforts in cacao can be done continuously to increase yield potential as well as resistance to biotic and abiotic stresses. Availability of cacao genetic diversity provides an opportunity for the successfulness of cacao breeding program. Conventional and biotechnological approaches can be considered as important tools for cacao genetic improvement.

Keywords: Bio-industry, sustainable, ecologically friendly

PENDAHULUAN

Kakao merupakan tanaman penghasil biji yang dimanfaatkan sebagai bahan baku industri makanan, minuman, hingga kosmetika. Lemak kakao (*cocoa butter*) digunakan dalam industri pembuatan cokelat dan produk-produk kosmetik, seperti krim pelembab dan sabun. Kakao bubuk (*cocoa powder*) biasa digunakan sebagai salah satu bahan dasar pembuatan berbagai jenis makanan dan minuman, seperti minuman rasa cokelat, es krim dan *mousse*, selai dan saus cokelat, serta beragam kue dan biskuit. Pasta kakao (*cocoa liquor*) digunakan untuk bahan pembuatan cokelat batangan, baik murni maupun dikombinasikan dengan bahan tambahan lainnya (International Cocoa Organization [ICCO], 2003).

Hampir 40% produk kakao dunia dikonsumsi oleh negara-negara yang berada di daratan Eropa, sedangkan sisanya (60%) oleh negara-negara lain di benua Asia, Afrika, dan Amerika. Permintaan kakao dunia tumbuh sekitar 3% per tahun sejak tahun 2008 seiring munculnya kelas menengah di China, India, dan Brasil. Di sisi lain, produsen kakao terbesar dunia adalah negara-negara di benua Afrika (68%), sedangkan sisanya berasal dari benua Amerika (15%) dan Asia (17%). Tiga negara produsen utama kakao dunia adalah Pantai Gading, Ghana, dan

Indonesia. Produksi kakao dunia meningkat rata-rata 3,1% per tahun antara tahun 2008–2012 (World Cocoa Foundation, 2014).

Produktivitas tanaman kakao di negara-negara produsen, termasuk Indonesia, saat ini masih jauh lebih rendah dibanding potensinya (1–2 ton/ha). Budidaya tanaman kakao merupakan upaya yang tidak mudah karena tanaman tersebut sangat responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Menurut Suhendi (2008), beberapa faktor yang menyebabkan rendahnya produktivitas kakao adalah serangan hama dan penyakit, anomali iklim, tajuk tanaman rusak, populasi tanaman berkurang, serta teknologi budidaya oleh petani yang masih sederhana. Selain itu, penggunaan bahan tanam yang mutunya kurang baik serta umur tanaman yang sudah tua merupakan fenomena yang umum ditemukan di negara-negara produsen kakao.

Meskipun produktivitas kakao sebagian besar ditentukan oleh ukuran biji dan jumlah biji per buah, tetapi produksi aktual seringkali dibatasi oleh hama dan penyakit (Iwaro *et al.*, 2010). Hama penggerek buah kakao (PBK) merupakan hama utama tanaman kakao di Indonesia karena sebarannya sudah mencakup semua provinsi sentra penghasil kakao, khususnya di wilayah Sulawesi (McMahon *et al.*, 2009). Kerugian yang diakibatkan oleh hama tersebut mencapai ratusan milyar rupiah per tahun

(Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia [PPKKI], 2010). Serangan penyakit pembuluh kayu (*vascular streak dieback* = VSD) dapat menyebabkan penurunan produktivitas kakao sebesar 40% (Manggabarani, 2011). Potensi ancamannya terhadap produksi kakao nasional bahkan dinilai lebih serius dibandingkan hama PBK (Bakoh, 2014). Penyakit penting lainnya, yaitu busuk buah *Phytophthora* (BBP) dapat menyebabkan kehilangan hasil antara 20–30% pertahun (Wood & Lass, 1985), bahkan hingga > 40% (Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, 2010).

Tiga faktor iklim yang paling berpengaruh terhadap produksi tanaman kakao adalah curah hujan, temperatur, dan cahaya matahari (Oyekale, Bolaji, & Olowa, 2009). Perubahan iklim global berpengaruh setidaknya terhadap tiga faktor iklim yang sangat erat kaitannya dengan pertanian, yaitu menyebabkan kenaikan suhu udara yang kemudian mendorong perubahan dua faktor iklim lainnya, yaitu kelembaban dan curah hujan. Perubahan iklim telah memicu curah hujan di atas rata-rata atau sebaliknya musim kemarau yang panjang (Setyolaksone, 2014). Pada tahun 2060 diperkirakan separuh dari negara-negara penghasil kakao menjadi terlalu panas untuk ditanami kakao (Bloudoff-Indelicato & Climatewire, 2012). Kekeringan berkepanjangan yang menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat, pembuahan abnormal hingga kematian tanaman. Kekeringan diduga juga mendorong pertumbuhan patogen penyebab VSD (Rosmana, Hikmawati, Zulfikar, Asman, & Fadillah, 2013).

Upaya meningkatkan produksi kakao nasional memerlukan sentuhan teknologi yang mampu meminimalkan atau mengatasi faktor-faktor negatif di atas. Untuk pengendalian hama dan penyakit utama kakao dapat dilakukan melalui pendekatan kimiawi. Namun, pendekatan tersebut dikhawatirkan akan menyebabkan kerusakan ekosistem dalam jangka panjang. Oleh sebab itu, diperlukan teknologi pengendalian yang lebih ramah lingkungan, seperti pemanfaatan pestisida nabati dan agens hayati (Siswanto & Karmawati, 2012). Beberapa spesies jamur endofit yang tergolong agens hayati diketahui mampu menekan pertumbuhan jamur *P. palmivora* (Tondok, Sinaga, Widodo, & Suhartono, 2012). Pengendalian hama dan penyakit tanaman kakao juga dapat dilakukan melalui induksi ketahanan alami, seperti aplikasi silika untuk mengendalikan hama PBK (Wijaya, Prawoto, & Ithromi, 2009), serta boron dan silikon untuk mengendalikan penyakit VSD (Yuliasmara, Sri-Sukamto, & Prawoto, 2014).

Pendekatan lain yang lebih ramah lingkungan adalah penggunaan varietas unggul kakao tahan terhadap serangan hama dan penyakit. Upaya-upaya perbaikan genetik untuk menghasilkan varietas tahan terus dilakukan di berbagai negara produsen kakao dan telah terbukti mampu menekan kehilangan hasil. Meskipun demikian, masih banyak permasalahan kehilangan hasil akibat serangan hama dan penyakit di lapangan yang belum teratasi dengan baik. Perubahan iklim global maupun munculnya ras baru patogen merupakan tantangan besar bagi pemulia tanaman dalam merakit varietas unggul baru

tahan hama dan penyakit. Oleh karena itu, ketersediaan sumber gen dalam keragaman genetik plasma nutfah, oleh sebab itu, sangat penting dalam program perakitan varietas unggul kakao.

SUMBER DAYA GENETIK PLASMA NUTFAH KAKAO

Materi genetik untuk bahan perakitan varietas unggul kakao dapat diperoleh melalui upaya introduksi, eksplorasi, dan seleksi dalam keragaman genetik plasma nutfah (Susilo, 2007). Mengingat kakao bukan merupakan tanaman asli Indonesia maka kegiatan eksplorasi plasma nutfah akan lebih efektif apabila dilakukan di daerah pusat asalnya (*center of origin*).

Kakao merupakan tanaman asli lembah Amazon (Thomas *et al.*, 2012). Tanaman yang tergolong tahunan (*perennial*) tersebut merupakan endemik hutan hujan Amerika Selatan yang kemudian didomestikasi di wilayah Amerika Tengah kira-kira 3000 tahun yang lalu (Argout *et al.*, 2010; Motilal *et al.*, 2010). Tanaman tersebut dibudidayakan pada daerah 18° LU hingga 15° LS, terutama oleh petani kecil di bawah naungan pohon-pohon asli setempat (Monteiro *et al.*, 2009). Meskipun, berasal dari Amerika Tengah, produsen kakao utama dunia saat ini adalah negara-negara di benua Afrika, seperti Pantai Gading, Ghana, dan Nigeria.

Tanaman kakao dihasilkan di negara-negara beriklim tropis yang berada pada 10° LU–10° LS. Habitat asli tanaman tersebut merupakan hutan hujan yang hijau sepanjang tahun sehingga untuk tumbuh dan berkembang secara optimal memerlukan kondisi iklim, terutama suhu dan curah hujan, yang menyerupai habitat asalnya. Tanaman kakao mampu tumbuh baik pada kisaran suhu rata-rata tahunan maksimum 30–32 °C dan minimum 18–21 °C. Curah hujan merupakan faktor pembatas utama karena variasi produksi kakao lebih disebabkan oleh intensitas dan distribusi curah hujan dibanding faktor-faktor iklim lainnya. Tanaman kakao dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik pada kisaran curah hujan 1500–2000 mm per tahun dengan maksimum tiga bulan kering (curah hujan <100 mm) (ICCO, 2013).

Introduksi tanaman kakao ke Indonesia pertama kali dilakukan oleh bangsa Spanyol dari Venezuela pada awal tahun 1560. Varietas yang diintroduksi tersebut diduga "Criollo Venezuela", yang lebih dikenal sebagai kakao mulia di Venezuela dan selanjutnya menyebar ke Samoa, Sri Lanka, Madagaskar, dan Indonesia. Varietas tersebut dibawa ke Indonesia melalui Caracas dan budidaya kakao pertama kali dilakukan di Sulawesi bagian utara (Minahasa) yang ditujukan hanya untuk keperluan konsumsi sendiri. Budidaya kakao secara komersial baru dilakukan mulai awal tahun 1900-an, setelah terjadi peristiwa ledakan penyakit karat daun pada kopi Arabika (Susilo *et al.*, 2014).

Tanaman kakao merupakan tanaman tropika diploid, yang termasuk anggota dari genus

Theobroma dan famili Sterculiaceae (saat ini diklasifikasikan ulang ke dalam famili Malvaceae) (Alverson, *et al.*, 1999; Alpkokpodion, 2012). Menurut Silva *et al.* (2004), genus *Theobroma* terdiri dari 22 spesies yang dikelompokkan ke dalam enam seksi sebagai berikut :

- 1) **Andropetalum** (*T. mammosum* Cuatr. & León);
- 2) **Glossopetalum** (*T. angustifolium* Moçinho & Sessé, *T. canumanense* Pires & Frôes, *T. chocoense* Cuatr., *T. cirmolinae* Cuatr., *T. grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum., *T. hylaeum* Cuatr., *T. nemorale* Cuatr., *T. obovatum* Klotzsch ex Bernoulli, *T. simiarum* Donn. Smith., *T. sinuosum* Pavón ex Hubber, *T. stipulatum* Cuatr., *T. subincanum* Mart.);
- 3) **Oreanthes** (*T. bernouillii* Pittier, *T. glaucum* Karst., *T. speciosum* Willd., *T. sylvestre* Mart., *T. velutinum* Benoist);
- 4) **Rhytidocarpus** (*T. bicolor* Humb. & Bonpl.);
- 5) **Telmatocarpus** (*T. gileri* Cuatr., *T. microcarpum* Mart.); and
- 6) **Theobroma** (*T. cacao* L.).

Selain *T. cacao*, tiga spesies lain dalam genus *Theobroma* yang juga dibudidayakan adalah *T. bicolor* (cacau-do-Peru), *T. grandiflorum* (cupuassu), dan *T. speciosum* (cacauhy). Tiga spesies kerabat kakao tersebut diketahui memiliki beberapa sifat penting yang dapat diintegrasikan ke dalam genom tanaman kakao melalui persilangan antar spesies (Souza & Venturieri, 2010). Meskipun demikian, hanya spesies *T. cacao* dan *T. grandiflorum* yang dieksploitasi secara komersial. Secara teknis persilangan antar spesies kakao tidak mudah dilakukan karena adanya masalah hambatan inkompatibilitas seksual. Saat ini beberapa teknik terbaru, seperti teknik polinasi kuncup yang masih sangat muda yang diikuti dengan penyelamatan ovulum atau embrio, merupakan solusi yang dapat membantu mengatasi permasalahan tersebut (Santos *et al.*, 2006).

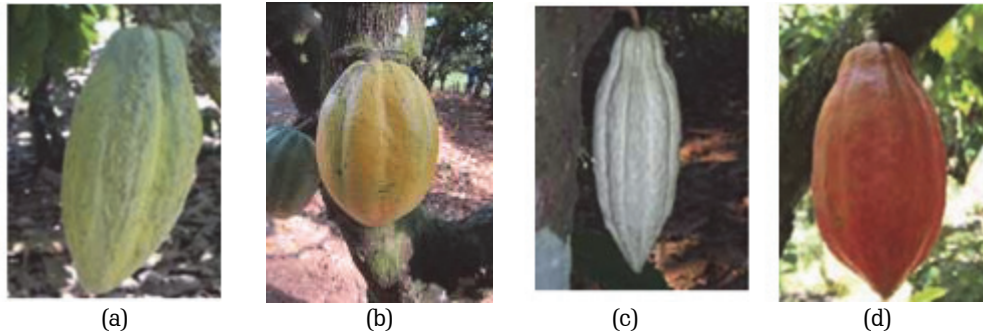
Spesies *T. cacao* dikenal mempunyai tiga macam varietas, yaitu Criollo, Forastero, dan Trinitario (Efombagn *et al.*, 2009; ICCO, 2011). Criollo merupakan varietas dengan genotipe yang unik dan mendekati homosigot yang pertama kali dibudidayakan. Varietas Criollo merupakan salah satu dari dua varietas kakao yang menghasilkan cokelat dengan aroma yang lembut (*fine flavor*). Meskipun demikian, varietas tersebut ternyata menunjukkan performa agronomis yang kurang baik dan rentan terhadap serangan penyakit. Oleh karena itu, dibentuk hibrida yang lebih vigor yang merupakan hasil persilangan dengan genotipe Forastero. Hibrida yang dihasilkan kemudian diberi

nama Trinitario (Lanaud *et al.*, 2001; Argout *et al.*, 2010).

Saat ini, tanaman kakao sudah menyebar ke berbagai wilayah di dunia dan telah dibudidayakan selama ratusan tahun sehingga memunculkan variasi genetik baru. Keragaman genetik kakao telah dipelajari dengan menggunakan pendekatan morfologis, enzimatis, maupun molekuler (Lanaud *et al.*, 2000). Karakter morfologi buah merupakan deskriptor yang sangat penting dalam klasifikasi genotipe kakao (Adewale *et al.*, 2013). Pada awalnya, kultivar kakao dideskripsikan berdasarkan pada bentuk buahnya, yaitu Angoleta (ujung runcing, pangkal lebar, dan beralur dalam); Amelonado (bentuk melon berukuran kecil, pangkal menyerupai leher botol, permukaan halus, beralur dangkal), Calabacilo (berukuran kecil, mendekati bulat), Cundeamor (memanjang, ujung runcing, pangkal menyerupai leher botol, permukaan berkulit) (CIRAD, 2001).

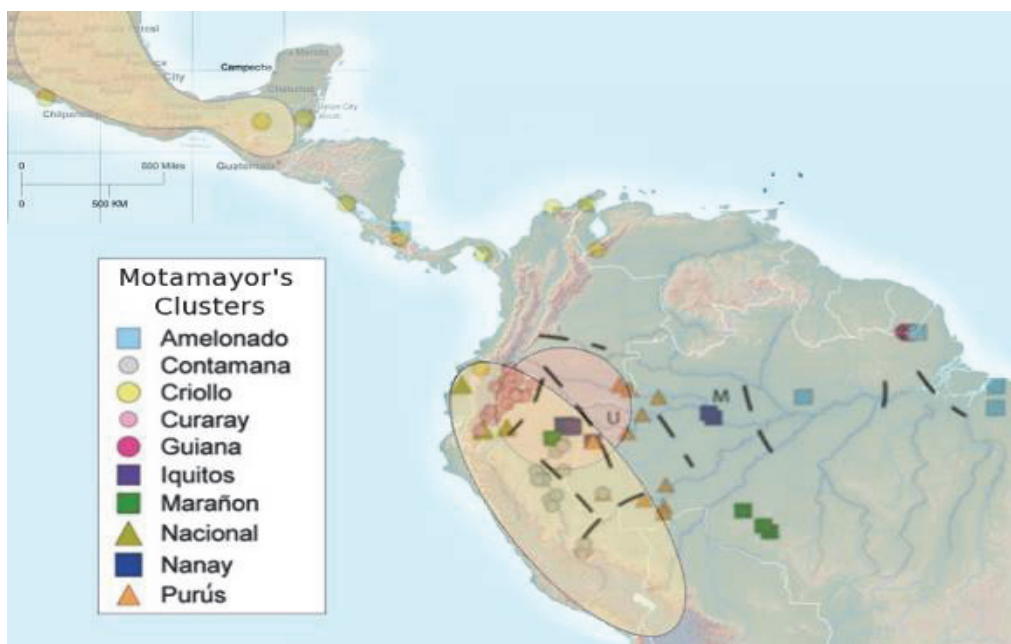
Pada perkembangan selanjutnya, klasifikasi terbaru berdasarkan pada penanda molekuler mikrosatelit mengelompokkan kultivar kakao ke dalam sepuluh grup, yaitu (1) Marañon, (2) Curaray, (3) Criollo, (4) Iquitos, (5) Nanay, (6) Contamana, (7) Amelonado, (8) Purús, (9) Nacional and (10) Guiana (Gambar 2) (Motamayor *et al.*, 2008). Hal ini menunjukkan bahwa identifikasi keragaman genetik kakao dapat lebih akurat melalui pemanfaatan penanda molekuler, seperti *simple sequence repeat (SSR)* (Thondaiman, Rajamani, Senthil, Shoba, & Joel, 2013), dan *single nucleotide polymorphism (SNP)* (Ji *et al.*, 2012; Takarama *et al.*, 2014). Bahkan sejalan dengan kemajuan teknologi *genome sequencing* saat ini telah memungkinkan untuk melakukan identifikasi keragaman genetik hingga taraf individu tanaman kakao (Kane *et al.*, 2012).

Genom tanaman kakao tergolong berukuran kecil (447 ± 11 Mbp 2C) dan terdiri dari dua set kromosom yang masing-masing terdiri dari 10 kromosom haploid ($2n=2x=20$) (Guiltinan *et al.*, 2008). Hasil analisis terhadap famili-famili gen spesifik yang diduga terkait dengan kualitas kakao dan ketahanan terhadap penyakit menunjukkan adanya pengembangan atau penyusutan beberapa famili gen selama proses evolusi (Argout *et al.*, 2010). Mutasi spontan telah menyebabkan keragaman kariotipik yang dapat mencerminkan keragaman genetik pada tanaman kakao meskipun tidak selalu menimbulkan perubahan secara fenotipik (Figueiredo *et al.*, 2013). Saat ini, keseluruhan sekuen genom tanaman kakao baik dari kelompok Criollo maupun Forastero telah berhasil diidentifikasi sehingga pengembangan penanda molekuler untuk keperluan identifikasi genotipe dapat dilakukan dengan lebih tepat dan efisien (Lopez *et al.*, 2011).



Gambar 1. Beberapa contoh keragaman tipe buah kakao yang dibudidayakan: (a) Angoleta, (b) Calabacillo, (c) Cundeamor, dan (d) Amelonado (Sumber: Batista, 2009).

Figure 1. Example of cultivated cocoa pod type variations: (a) Angoleta, (b) Calabacillo, (c) Cundeamor, dan (d) Amelonado (Source: Batista, 2009).



Gambar 2. Klasifikasi dan sebaran genotipe tanaman kakao di wilayah Amerika Selatan dan Amerika Tengah sebagai pusat asal keragaman (*center of diversity*) menurut Motamayor (Sumber: Madell, 2008).

Figure 2. Classifications and distributions of cocoa genotypes along South and Center America regions as center of cocoa diversity according to Motamayor (Source: Madell, 2008).

Beberapa kelompok genetik tanaman kakao yang tersimpan di International Cocoa Genebank, Trinidad (ICG, T) menunjukkan keragaman karakteristik komponen hasil, seperti jumlah biji/buah, bobot biji, dan indeks buah (*pod index*). Sebagian aksesori potensial dimanfaatkan dalam perakitan varietas unggul kakao yang memiliki daya hasil tinggi sekaligus menunjukkan level ketahanan yang diinginkan terhadap penyakit BBP (Bekele, Iwaro, & Butler, 2002). Beberapa nomor aksesori kakao yang ada di Indonesia, termasuk DRC 15, KA2 106, dan VSD2Ldg, potensial sebagai sumber sifat ketahanan terhadap VSD. Sifat ketahanan terhadap BBP dapat ditemukan pada klon DRC 16, Aryadi 1, Aryadi 3, dan VSD1Ldg (McMahon *et al.*, 2010). Melalui aplikasi *marker assisted selection (MAS)*, terdapat peluang untuk melakukan seleksi sifat ketahanan terhadap penyakit BBP secara simultan

dengan sifat ketahanan lainnya, seperti penyakit VSD (Epaina, 2014).

PERBAIKAN GENETIK TANAMAN KAKAO

Upaya perakitan varietas unggul baru kakao terus dilakukan oleh institusi riset pemerintah maupun swasta. Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar (Balitri), sebagai salah satu lembaga riset pemerintah, saat ini memegang mandat penelitian empat komoditas unggulan sub sektor perkebunan nasional, salah satunya adalah kakao. Penelitian dalam rangka peningkatan produktivitas dan mutu hasil kakao, dengan demikian, menjadi tugas tim peneliti di dalamnya. Salah satu pendekatan dalam rangka meningkatkan produktivitas dan mutu hasil kakao adalah melalui perbaikan genetik.

Di Indonesia, pemuliaan kakao dimulai pada tahun 1912 di Perkebunan Djati Renggo Jawa Tengah telah menghasilkan klon-klon kakao mulia terpilih yang kemudian diberi nama "klon Djati Renggo" (klon DR). Klon-klon tersebut ternyata cukup rentan terhadap hama dan penyakit, khususnya penyakit VSD sehingga pemuliaan tanaman kakao kemudian difokuskan pada tipe lindak yang mulai dilakukan pada tahun 1950-an dengan menggunakan klon-klon tetua dari kelompok *Upper Amazon Forastero*. Hasilnya adalah berupa seri klon kakao lindak yang kemudian berkembang luas di Indonesia (Susilo *et al.*, 2011).

Hingga saat ini telah dihasilkan tiga generasi klon unggul kakao. Klon unggul kakao generasi pertama, yaitu DR 1, DR 2, dan DR 38, memiliki potensi produksi mencapai 1500 kg/ha/tahun dan mutu hasil yang baik (Suhendi, 2008). Klon-klon tersebut merupakan hasil seleksi dari klon kakao yang didatangkan dari Venezuela, karena kakao bukan tanaman asli Indonesia (Susilo, 2007). Klon unggul kakao generasi kedua terdiri dari DRC 16, GC 7, ICS 13, RCC 70, RCC 71, RCC 72, RCC 73, ICS 60, NW 6261, NIC 7, UIT 1, TSH 858, PA 4, PA 191, PA 300, PA 310, dan GC 29. Potensi produksi beberapa klon tersebut dapat mencapai sekitar 2000 kg/ha/tahun, mutu hasilnya baik, serta toleran terhadap beberapa jenis hama dan penyakit. Klon unggul kakao generasi ketiga meliputi ICCRI 01, ICCRI 02, ICCRI 03, dan ICCRI 04. Potensi produksinya mencapai 2500 kg/ha/tahun, mutu hasil baik, kadar lemak biji >55%, dan kadar kulit ari 15% (Suhendi, 2008).

Upaya perbaikan genetik tanaman kakao terus dilakukan secara berkesinambungan untuk menghasilkan genotipe-genotipe unggul baru yang memiliki potensi daya hasil lebih tinggi, ukuran biji besar, kadar lemak tinggi, serta tahan terhadap cekaman biotik dan abiotik. Meskipun demikian, upaya menggabungkan semua sifat unggul tersebut dalam satu genotipe tunggal tentu bukan suatu hal yang mudah. Dalam proses seleksi, pemulia tanaman biasanya lebih fokus terhadap satu atau dua sifat unggul saja, seperti potensi daya hasil tinggi dan tahan hama atau penyakit utama. Oleh sebab itu, kriteria seleksi yang diterapkan oleh pemulia sangat beragam menyesuaikan dengan capaian yang ingin diperoleh. Di sisi lain, sifat inkompatibilitas seksual merupakan salah satu faktor pembatas daya hasil tanaman kakao. Genotipe-genotipe yang memiliki sifat ketahanan terhadap penyakit juga sebagian besar bersifat tidak kompatibel menyerbuk sendiri (*self-incompatible*). Oleh sebab itu, mengeliminasi sifat inkompatibilitas tersebut dalam suatu populasi menjadi tantangan tersendiri bagi para pemulia (Lopez *et al.*, 2011).

Dalam program perakitan varietas unggul kakao tahan serangan hama dan penyakit, proses seleksi biasanya didasarkan pada karakter-karakter morfologis, anatomis, biokemis, dan fisiologis. Karakter morfologi yang penting sebagai petunjuk untuk seleksi klon harapan tahan PBK antara lain adalah bentuk buah elips dan oblong, kulit buah tebal dan permukaan halus, konstruksi buah tidak

berlekuk, dan bagian apeks buah tumpul. Karakter anatomis yang penting adalah volume plasenta besar, lapisan sklerotik tebal, persen biji lengket sedikit, jumlah lubang masuk dan keluar sedikit, lapisan perikarp tebal, lapisan endokarp keras, dan adanya kandungan inhibitor proteinase dalam buah (Susilo, Mangoendidjojo, Witjaksono, Sulistyowati, & Mawardi, 2009; Limbongan, 2012). Kriteria seleksi ketahanan terhadap penyakit VSD dapat didasarkan pada karakter jumlah stomata, lebar pembukaan stomata, dan diameter stomata (Anita-Sari & Susilo, 2013).

Melalui penggunaan penanda molekuler, informasi keunggulan genotipe tanaman kakao dapat diketahui lebih cepat dan akurat tanpa dipengaruhi oleh lingkungan dan umur tanaman (Susilo, 2007). Keuntungan penggunaan penanda molekuler dalam program pemuliaan, yaitu (1) dapat digunakan untuk analisis pautan, (2) dapat mengidentifikasi suatu genotipe, dan (3) dapat menduga keragaman genetik dan kekerabatan antar dan dalam spesies atau varietas sekaligus membantu menjelaskan filogenetiknya (Weising, Nybom, Wolff, & Meyer, 1995). Beberapa penanda molekuler berbasis *random amplified polymorphic DNA* (RAPD) (Ronning, Schnell, & Kuhn, 1995), *amplified fragment length polymorphism* (AFLP) (Queiroz *et al.*, 2003), telah digunakan untuk menganalisis genom tanaman kakao.

Seleksi Individu (Klon) Unggul melalui Pendekatan Partisipatif

Program perakitan varietas unggul kakao yang efektif biasanya mengacu pada pola seleksi berulang (*recurrent selection*) (Eskes & Lanaud, 2004). Oleh sebab itu, kedepan sebaiknya perhatian lebih diarahkan pada penggunaan varietas unggul spesifik lokasi agar proses seleksi yang diperlukan tidak terlalu lama (Baihaki, 2004).

Program pemuliaan yang didasarkan pada lingkungan lokal dilakukan untuk menghasilkan varietas unggul spesifik dengan mengeksploitasi pengaruh *G × E interaction*, melalui dua pendekatan:

- (1) *Eksplorasi adaptasi lokal*. Lingkungan marginal lebih beragam dibandingkan dengan lingkungan optimum sehingga memerlukan varietas yang memiliki adaptasi lebih spesifik pada lingkungan target. Varietas hasil seleksi pada lingkungan lokal pada umumnya lebih baik penampilannya pada lingkungan tersebut (target) dibandingkan varietas yang dikembangkan untuk lingkungan dengan daya adaptasi luas; dan
- (2) *Eksplorasi adaptasi spesifik*. Untuk pemuliaan dengan tujuan memperoleh varietas/genotipe yang toleran terhadap lingkungan spesifik maka lebih dibutuhkan lingkungan yang sesuai dengan tujuan pemuliannya dan seleksinya dibantu oleh petani setempat, daripada seleksi yang dilakukan di kebun percobaan (Atlin, Cooper, & Bjørnstad, 2004).

Pemulia tanaman dapat memanfaatkan secara langsung bahan genetik yang sudah tersedia di lapangan (*in situ*) untuk menghemat waktu dan

biaya. Kegiatan seleksi yang dilakukan terhadap plasma nutfah yang tumbuh di wilayah tertentu, akan dihasilkan kultivar-kultivar baru yang sesuai untuk dibudidayakan pada lingkup area sempit dengan kondisi lingkungan dan pola iklim spesifik. Dengan demikian, kultivar-kultivar yang dihasilkan akan sesuai dengan kebutuhan masyarakat petani setempat. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan untuk mencapai tujuan tersebut dan sekaligus dalam rangka menekan biaya adalah melalui pemuliaan tanaman partisipatif (*participatory plant breeding*), yaitu melibatkan petani setempat dalam proses pemuliaan (Brummer *et al.*, 2014). Contoh klon unggul kakao yang diperoleh melalui pendekatan tersebut adalah Sulawesi 1 dan Sulawesi 2 yang dinilai memiliki sifat produktivitas tinggi sekaligus tahan terhadap penyakit VSD (Susilo & Anita-Sari, 2014).

Perakitan Varietas/Klon Hibrida

Varietas/klon hibrida dirakit berlandaskan fenomena heterosis yang mengacu fenomena keunggulan sifat pada generasi keturunan hasil persilangan antar varietas atau spesies dibandingkan kedua tetuanya. Keunggulan tersebut dapat berupa biomassa yang lebih tinggi, perkembangan yang lebih cepat, dan tingkat fertilitas lebih baik. Saat ini terdapat beragam model untuk menjelaskan fenomena heterosis, termasuk teori dominan, overdominan, dan overdominan-semu (Birchler, Yao, Chudalayandi, Vaiman, & Veitia, 2010). Dengan demikian, produktivitas kakao petani dipercaya dapat meningkat sangat signifikan apabila mereka bersedia mengadopsi varietas hibrida (Wiredu, Mensah-Bonsu, Andah, & Fosu, 2014). Penggunaan "benih hibrida", yang diperoleh dari hasil persilangan antar dua atau lebih klon unggul kakao secara terkendali, dinilai lebih mudah dan murah (Goenaga, Irizarry, & Irish, 2009).

Pemahaman mengenai keragaman genetik tanaman kakao sangat penting dalam rangka menentukan tetua persilangan. Pada umumnya performa dari hibrida atau klon hibrida sangat tergantung dari kualitas tetua yang digunakan. Secara teoritis, persilangan antar tetua dengan jarak genetik yang sangat dekat biasanya akan menimbulkan tekanan silang dalam (*inbreeding depression*) sehingga performa hibrida yang dihasilkan tidak lebih baik dari kedua tetuanya. Sebaliknya, persilangan antar tetua berkerabat jauh memiliki peluang yang tinggi untuk memunculkan efek heterosis. Meskipun berdasarkan beberapa hasil penelitian jarak genetik antar tetua tidak memicu efek heterosis dalam pola yang linear, tetapi tetap penting sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan persilangan (Dias, Marita, Cruz, de Barros, & Salamao, 2003).

Pemilihan tetua hibrida dimulai dengan uji daya gabung. Tetua-tetua yang memiliki daya gabung tinggi untuk karakter-karakter yang diinginkan potensial untuk disaling-silangkan. Apabila diketahui terdapat salah satu pada kedua klon tetua memiliki daya gabung yang rendah maka tidak akan digunakan lebih lanjut dalam program perakitan

varietas unggul (Irizarry & Goenaga, 2000). Hasil analisis daya gabung umum (DGU) dan daya gabung khusus (DGK) menunjukkan gen-gen aditif lebih berperan dalam pembentukan keragaman genetik sifat panjang buah, bobot buah, lebar biji, tebal biji (Adewale, Adeigbe, Sobowale, & Dada, 2014), hasil biji kering, dan bobot biji (Tan, 1990). Di sisi lain, karakter jumlah biji per buah dan panjang biji diwariskan secara non aditif (Adewale *et al.*, 2014). Peran gen aditif juga ditunjukkan untuk sifat ketahanan terhadap penyakit VSD (Tan & Tan, 1988) dan BBP (Tan & Tan, 1990) sehingga sifat ketahanan terhadap penyakit diakumulasi melalui persilangan antar genotipe yang kurang rentan (Eskes & Efron, 2006).

Fenomena kejaguran hibrida (*hybrid vigor*) pada tanaman kakao memang masih perlu pembuktian dalam jangka panjang karena dalam beberapa kasus ternyata menunjukkan fenomena yang berbeda. Sebagai salah satu contoh, populasi hibrida hasil kombinasi TSH 858 × KW 162 ternyata menunjukkan produktivitas lebih rendah dibandingkan kedua tetuanya. Fenomena kejaguran hibrida hanya ditunjukkan oleh sebagian individu dalam famili. Munculnya keragaman antar individu dalam famili merupakan konsekuensi dari penggunaan tetua persilangan antar klon yang bersifat heterosigot (Susilo, 2014). Dalam hasil penelitian lainnya juga diketahui bahwa hanya sekitar 3% keturunan F₁ dalam masing-masing famili yang mewakili sekitar 60% produksi total per famili. Oleh karena itu, seleksi klon hibrida unggul dalam famili terbaik merupakan pendekatan yang lebih rasional (Goenaga, Irizarry, & Irish, 2009).

Perakitan Varietas/Klon Unggul melalui Pendekatan Rekayasa Genetik

Pendekatan rekayasa genetik dalam rangka mengintrogresikan gen-gen penting ke dalam kultivar/klon elit kakao telah diterapkan oleh berbagai lembaga riset di dunia. Hal tersebut dilatarbelakangi oleh beberapa kelemahan yang ditunjukkan program pemuliaan konvensional, yaitu menyita banyak waktu, biaya relatif tinggi, dan memerlukan lahan yang luas (Furtek & Odure, 1994). Introgresi gen secara konvensional dari spesies yang berkerabat dekat, seperti *T. grandiflorum*, dihadapkan pada kendala sterilitas yang diduga disebabkan oleh perbedaan susunan kromatin (Dantas & Guerra, 2010). Alasan lainnya adalah dalam plasma nutfah kakao yang ada belum pernah ditemukan sifat ketahanan lengkap terhadap hama dan penyakit utama kakao (Kendurkar, Naik, & Nadgauda, 2006).

Rekayasa genetika telah membuka keragaman genetik plasma nutfah yang lebih luas untuk dimanfaatkan dalam program perbaikan genetik tanaman (Khurana & Khurana, 1999). Secara teoritis, semua karakter genetik yang dimiliki oleh suatu organisme, baik hewan maupun tumbuhan, dapat diekspresikan oleh tanaman. Seiring kemajuan teknologi *rekombinant DNA* saat ini telah memungkinkan untuk melakukan isolasi gen-gen pengendali ketahanan dan mengintrogresikannya ke

dalam genom tanaman yang dibudidayakan (Fagwalawa, Kutama, & Yakasi, 2013).

PENUTUP

Kehilangan hasil tanaman kakao akibat serangan OPT di lapangan terbukti signifikan sehingga upaya perbaikan sifat ketahanan terhadap hama dan penyakit utama sangat penting. Untuk mendukung keberhasilan program tersebut diperlukan ketersediaan sumberdaya genetik yang luas. Pemanfaatan keragaman genetik plasma nutfah saat ini dapat lebih efektif melalui aplikasi penanda berbasis biologi molekuler. Perakitan varietas unggul kakao yang tahan terhadap hama dan penyakit utama dapat melalui pendekatan konvensional maupun rekayasa genetik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adewale, D.B., Adeigbe, O.O., Adenuga, O.O., Adepoju, A.F., Muyiwa, A.A., & Aikpokpodion, P.O. (2013). Deskriptif and discriminatory significance of pod phenotypic traits for diversity analysis of cocoa genotypes. *J. Plant Breed. Genet.*, *01*(03), 131–137.
- Adewale, D.B., Adeigbe, O.O., Sobowale, O.I., & Dada, O.S. (2014). Breeding value of cocoa (*Theobroma cacao* L.) for pod and bean traits: A consequential advance in Nigerian cocoa breeding program. *Not. Sci. Biol.*, *4*(2), 214–219.
- Adjaloo, M.K., Oduro, W., & Banful, B.K. (2012). Floral phenology of upper Amazon cocoa trees: Implications for reproduction and productivity of cocoa. *ISRN Agronomy*, vol. 2012, Article ID 461674, 8 pages. doi:10.5402/2012/461674.
- Alkpokpodion, P.O. (2012). Phenology of flowering in cacao (*Theobroma cacao*) and its related species in Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*, *3*(23), 3395–3402.
- Alverson, W.S., Whitlock, B.A., Nyfferer, R., Bayer, C., & Baum, D.A. (1999). Phylogeny of the core Malvales: Evidence from *ndhF* sequence data. *Am. J. Bot.*, *86*, 1474–1486.
- 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*, *A3*, 703–710.
- Argout., X, Salse, J., Aury, J., Guiltinan, M., Droc, G., Gouzy, J., ... Maximova, S. (2010). The genome of *Theobroma cacao*. *Nat. Genet.*, *43*, 101–108.
- Atlin, G.N., Cooper, M., & Bjørnstad, Å. (2001). A comparison of formal and participatory breeding approaches using selection theory. *Euphytica*, *122*, 463–475.
- Baihaki, A. (2004). *Mengantisipasi persaingan dalam menuju swasembada varietas unggul. Paper presented at Simposium PERIPI 2004* (p. 17). Bogor, 5–7 Agustus 2004.
- Bakoh, B. (2014). *Analisis perkembangan serangan penyakit VSD di wilayah kerja BBPPTP Ambon triwulan pertama 2014*. Retrieved from <http://ditjenbun.pertanian.go.id/bbpptpambon/berita-326-analisisperkembanganserangan-penyakit-vsd-di-wilayah-kerja-bbpptp-ambon-triwulan-pertama-2014.html>.
- Batista, L. (2009). *Guía Técnica el Cultivo de Cacao en la República Do-minicana* (p. 250). Santo Domingo, República Dominicana: CEDAF.
- Bekele, F.L., Iwaro, A.D., & Butler, D.R. (2002). Potential value of cacao germplasm at the International Cocoa Genebank, Trinidad. *INGENIC Newsletter*, *7*, 22–24.
- Birchler, J.A., Yao, H., Chudalayandi, S., Vaiman, D., & Veitac, R.A. (2010). Heterosis. *The Plant Cell*, *22*, 2105–2112. doi: 10.1105/tpc.110.076133.
- Bloudoff-Indelicato, M., & Climatewire. (2012). Africa grows too hot to grow chocolate: Climate change may be disrupting the cocoa farms of West Africa. *Scientific America*. Retrieved from <http://www.scientificamerican.com/article/africa-grows-too-hot-to-grow-chocolate/>.
- Brummer, E. C., Barber, W.T., Collier, S.M., Cox, T.S., Johnson, R., ... Thro, A.M. (2011). Plant breeding for harmony between agriculture and the environment. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *9*(10), 561–568.
- CIRAD. (2004). Tropical plant breeding. Translated from: *L'amélioration des plantes tropicales, CIRAD, 1997*. CIRAD and Science Publishers, Inc.
- Dantas, L.G., & Guerra, M. (2010). Chromatin differentiation between *Theobroma cacao* L. and *T. grandiflorum* Schum. *Genet. Mol. Biol.*, *33*(1), 94–98.
- Dias, L.A.S., Marita, J., Cruz, C.D., de Barros, E.G., & Salamao, T.M.F. (2003). Genetic distance and its association with heterosis in cacao. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *46*(3), 339–347.
- Efombagen, M.I.B., Souniga, O., Eskes, A.B., Motamayor, J.C., Manzanares-Dauleux, M.J., Schnell, R., & Nyasse, S. (2009). Parentage analysis and outcrossing patterns in cacao (*Theobroma cacao* L.) farms in Cameroon. Original Article. *Heredity*, *103*, 46–53.

- Epaina, P. (2014). *Identification of molecular markers and quantitative trait loci linked to resistance to Vascular Streak Dieback and Phytophthora pod rot of cacao (Theobroma cacao L)* (Doctoral dissertation, University of Sydney, Sydney, Australia). Retrieved from Sidney Digital Theses.
- Eskes, A.B., & Lanaud, C. (2004). Cocoa. In A. Charrier, M. Jacquot, S. Hamon, & D. Nicolas (Eds.), *Tropical plant breeding* (pp. 78–105). France & USA: CIRAD & Science Publishers, Inc.
- Eskes, A.B., & Efron, Y. (2006). *Global approaches to cocoa germplasm utilization and conservation*. Final report of the CFC/ICCO/IPGRI project on "Cocoa Germplasm Utilization and Conservation: A Global Approach" (1998–2004). CFC, Amsterdam, The Netherlands/ICCO, London, UK/IPGRI, Rome, Italy.
- Fagwalawa, L.D., Kutama, A.S., & Yakasi, M.T. (2013). Current issues in plant disease control: Biotechnology and plant disease. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 8(2), 124–126.
- Figueiredo, G.S., Melo, C.A., Souza, M.M., Araújo, I.S., Zaidan, H.A., ... Ahnert, D. (2013). Karyotype variation in cultivars and spontaneous cocoa mutants (*Theobroma cacao* L.). *Genet Mol Res.*, 12(4), 4667–4677. doi: 10.4238/2013.October.18.5.
- Furtek, D.B., & Oduro, K.K. (1994). Genetic transformation of the cocoa tree, *Theobroma cacao* L. Final Report. Retrieved from http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABW850.pdf.
- Goenaga, R., Irizarry, H., & Irish, B. (2009). TARS series of cacao germplasm selections. *Hort Science*, 44(3), 826–827.
- Guiltinan, M.J., Verica, J., Zhang, D., & Figueira, A. (2008). Genomics of *Theobroma cacao*, "the food of the gods". In P.H. More & R. Ming (Eds.), *Genomics of Tropical Crop Plants*. Springer.
- International Cocoa Organization. (2003). *Products that can be made from cocoa*. Retrieved from <http://www.icco.org/faq/52-by-products/115-products-that-can-be-made-from-cocoa.html>
- International Cocoa Organization. (2011). *Origins of cocoa and its spread around the world*. Retrieved from <http://www.icco.org/about-cocoa/growing-cocoa.html>.
- Irizarry, H., & Goenaga, R. (2000). Clonal selection in cacao based on early yield performance of grafted trees. *J. Agric. Univ. P. R.*, 84(3–4), 154–163.
- Iwaro, A.D., Bekele, F.L., Butler, D.R., Singh, V., Holder-John, A., Bharath, S., ... Bidaisee, G.G. (2010). Recent progress in breeding for specific traits in cocoa to meet challenges to production. *Proceedings of the International Congress on Tropical Agriculture: Overcoming Challenges to Developing Sustainable Agri-Food Systems in the Tropics* (pp. 43–52). Port of Spain, Trinidad, 30 November–5 December 2008, Hyatt Regency, Trinidad. Trinidad: The University of the West Indies.
- Ji, K., Zhang, D., Motilal, L.A., Boccara, M., Lachenaud, P., & Meinhardt, L.W. (2012). Genetic diversity and parentage in farmer varieties of cacao (*Theobroma cacao* L.) from Honduras and Nicaragua as revealed by single nucleotide polymorphism (SNP) markers. *Genet. Resour. Crop Evol.* doi: 10.1007/s10722-012-9847-1.
- Kane N., Sveinsson, S., Dempewolf, H., Yang, J.Y., Zhang, D., Engels, J.M.M., & Cronk, Q. (2012). Ultra-barcoding in cacao (*Theobroma* spp.; Malvaceae) using whole chloroplast genomes and nuclear ribosomal DNA. *Am. J. Bot.* February, 99(2), 320–329.
- Kendurkar, S.V., Naik, V.B., & Nadgauda, R.S. (2006). Genetic transformation of some tropical trees, shrubs, and tree-like plants. In M. Fladung & D. Ewald (Eds.), *Tree transgenesis: Recent developments* (pp. 76–78). Heidelberg: Springer.
- Khurana, P. & Khurana, J. (1999). Applications of genetic transformation to tree biotechnology. *Indian Journal of Experimental Biology*, 37, 627–638.
- Lanaud, C., Motamayor, J.C., & Risterucci, A.M. (2004). Implications of New Insight into the Genetic Structure of *Theobroma cacao* L. for Breeding Strategies. *Proceedings of the International Workshop on New Technologies and Cocoa Breeding*. 16th-17th October 2000, Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia.
- Limbongan, J. (2012). Karakteristik morfologis dan anatomis klon harapan tahan penggerak buah kakao sebagai sumber bahan tanam. *Jurnal Litbang Pertanian*, 31(1), 14–20.
- Lopez, U.V., Monteiro, W.R., Pires, J.L., Clement, D., Yamada, M.M., & Gramacho, K.P. (2014). Cacao breeding in Bahia, Brazil - Strategies and results. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 5(1), 73–81.
- Madell, S. (2008). *Where is the true home cocoa?* Retrieved from http://www.chocolatereview.com.au/cocoa_history

- Manggabarani, A. (2011). *Konsepsi gerakan peningkatan produksi dan mutu kakao (Gernas Kakao)*. Seminar Evaluasi Pelaksanaan Gernas Kakao BAPPENAS tanggal 27 Januari 2011, Jakarta.
- McMahon, P., Iswanto, A., Susilo, A.W., Sulistyowati, E., Wahab, A., Imron, M., Purwantara, A., ... Keanea, P. (2009). On-farm selection for quality and resistance to pest/diseases of cocoa in Sulawesi: (i) performance of selections against cocoa pod borer, *Conopomorpha cramerella*. *International Journal of Pest Management*, 55(4), 325–337.
- McMahon, P., Purwantara, A., Susilo, A.W., Sukamto, S., Wahab, A., Purunge, H., ... Keanea, P. (2010). On-farm selection for quality and resistance to pest/diseases of cocoa in Sulawesi: (ii) quality and performance of selections against *Phytophthora* pod rot and vascular-streak dieback. *International Journal of Pest Management*, 56(4), 351–361.
- Monteiro, W.R., Lopes, U.V., & Clement, D. (2009). Genetic Improvement in Cocoa. In S.M. Jain, P.M. Priyadarshan (Eds.), *Breeding Plantation Tree Crops: Tropical Species*. C Springer Science+Business Media, LLC.
- Motamayor, J.C., Lachenaud, P., da Silva e Mota, J.W., Loo, R., Kuhn, D.N., Brown, J.S., & Schnell, R.J. (2008). Geographic and Genetic Population Differentiation of the Amazonian Chocolate Tree (*Theobroma cacao* L.). *PLoS ONE*, 3(10), e3314.
- Motilal, L.A., Zhang, D., Umaharan, P., Mischke, S., Mooleedhar, V., & Meinhardt, L.W. (2010). The relic Criollo cacao in Belize—genetic diversity and relationship with Trinitario and other cacao clones held in the International Cocoa Genebank, Trinidad. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization*, 8(2), 106–115.
- Oyekale, A.S., Bolaji, M.B., & Olowa, O.W. (2009). The effects of climate change on cocoa production and vulnerability assessment in Nigeria. *Agricultural Journal*, 4(2), 77–85.
- Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. (2010). *Buku pintar budidaya kakao*. Jakarta: Agro Media Pustaka.
- Queiroz, V.T., Guimarães, C.T., Anher, D., Schuster, I., Daher, R.T., Pereira, M.G., ... Wricke, G. (2003). Identification of a major QTL in cocoa (*Theobroma cacao* L.) associated with resistance to witches' broom disease. *Plant Breeding*, 122(3), 268–272.
- Ronning, C.M., Schnell, R.J., & Kuhn, D.N. (1995). Inheritance of random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers in *Theobroma cacao* L. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 120(4), 684–686.
- Rosmana, A., Hikmawati, Zulfikar, M., Asman, & Fadillah, D. (2013). Identification of a disease on cocoa caused by *Fusarium* in Sulawesi. *Pelita Perkebunan*, 29(3), 210–219.
- Santos, R.C., Lopes, U.V., Clement, D., Monteiro, W.R., J.L., & Ahnert, D. (2006). The use of wild relatives as potential method for improving cocoa traits. In *15th International Cocoa Research Conference : cocoa productivity, quality, profitability, human health and the environment* (pp. 1473-1480). [Cd-Rom]. Lagos: Cocoa Producers' Alliance, International Cocoa Research Conference. 15, 2006-10-09/2006-10-14, San José, Costa Rica.
- Setyolaksana, M. P. (2014). *Perubahan iklim, dampak dan pengaruhnya*. Retrieved from <http://ditjenbun.pertanian.go.id/bbpptpambon/berita-332-perubahan-iklim-dampak-dan-pengaruhnya.html>.
- Silva, C.R.S., Venturieri, G.A., & Figueira, A. (2004). Description of Amazonian *Theobroma* L. collections, species identification, and characterization of interspecific hybrids. *Acta Bot. Bras.*, 18(2), 333–341.
- Siswanto, & Karmawati, E. (2012). Pengendalian hama utama kakao (*Conopomorpha cramerella* dan *Helopeltis* spp.) dengan pestisida nabati dan agens hayati. *Perspektif*, 11(2), 103–112.
- Souza, M.S., & Venturieri, G.A. (2010). Floral biology of Cacaui (*Theobroma speciosum* - Malvaceae). *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 53(4), 861–872.
- Suhendi, D. (2008). Rehabilitasi tanaman kakao: Tinjauan potensi, permasalahan, dan rehabilitasi tanaman kakao di desa Prima Tani Tonggolobibi. *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Inovasi Lahan Marginal* (pp. 335–346). Jember: Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia.
- Susilo, A.W. (2006). Kemampuan menyerbuk sendiri beberapa klon kakao (*Theobroma cacao* L.). *Pelita Perkebunan*, 22(3), 159–167.
- Susilo, A.W. (2007). Akselerasi program pemuliaan kakao melalui pemanfaatan penanda molekuler dalam proses seleksi. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia*, 23, 11–24.
- Susilo, A.W. (2011). Analisis stabilitas daya hasil beberapa hibrida unggul harapan kakao (*Theobroma cacao* L.) pada lokasi tumbuh berbeda. *Pelita Perkebunan*, 27(3), 168–180.
- Susilo, A.W., & Anita-Sari, I. (2014). Respons ketahanan beberapa hibrida kakao (*Theobroma cacao* L.) terhadap serangan penyakit pembuluh kayu (*Vascular-streak Dieback*). *Pelita Perkebunan*, 27(2), 77–87.

- Susilo, A.W., Mangoendidjojo, W., Witjaksono, Sulistyowati, E., & Mawardi, S. (2009). Respons ketahanan beberapa klon kakao (*Theobroma cacao* L.) terhadap hama penggerek buah kakao (*Conopomorpha cramerella* Snell.) di wilayah Sulawesi Tengah. *Pelita Perkebunan*, 25(3), 161–173.
- Susilo, A.W., Zhang, D., Motilal, L.K., Mischke, S., & Meinhardt, L.W. (2011). Assessing genetic diversity in Java Fine-Flavor Cocoa (*Theobroma cacao* L.) germplasm by using simple sequence repeat (SSR) markers. *Trop. Agr. Develop.*, 55(2), 84–92.
- Takarama, J., Kun, J., Meinhardt, L., Mischke, S., Opoku, S.Y., Padi, F.K., & Zhang D. (2014). Verification of genetic identity of introduced cacao germplasm in Ghana using single nucleotide polymorphism (SNP) markers. *Academic Journals*, 13(21), 2127–2136.
- Tan, G.Y. (1990). Combining ability analysis of yield and its components in cacao. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 115(3), 509–512.
- Tan, G.Y., & Tan, W.K. (1988). Genetic variation in resistance to vascular-streak dieback in cacao (*Theobroma cacao*). *Theor. Appl. Genet.*, 75, 761–766.
- Tan, G.Y., & Tan, W.K. (1990). Additive inheritance of resistance to pod rot caused by *Phytophthora palmivora* in cacao. *Theor. Appl. Genet.*, 80(2), 258–64. doi: 10.1007/BF00224396.
- Thomas, E., van Zonneveld, M., Loo, J., Hodgkin, T., Galluzzi, G., & van Etten, J. (2012). Present spatial diversity patterns of *Theobroma cacao* L. In the neotropics reflect genetic differentiation in pleistocene refugia followed by human-influenced dispersal.
- Thondaiman, V., Rajamani, K., Senthil, N., Shoba, N., & Joel, A.J. (2013). Genetic diversity in cocoa (*Theobroma cacao* L.) plus trees in Tamil Nadu by simple sequence repeat (SSR). *Academic Journals*, 12(30), 4747–4753.
- Tondok, E.T., Sinaga, M.S., Widodo, & Suhartono, M.T. (2012). Potensi cendawan endofit sebagai agens pengendali hayati *Phytophthora palmivora* (Butl.) Butl. penyebab busuk buah kakao. *J. Agron. Indonesia*, 40(2), 146–152.
- Weising, K., Nybom, H., Wolff, K., & Meyer, W. (1995). *DNA fingerprinting in plants and fungi*. Boca Rato: CRC Press.
- Wijaya, K.A., Prawoto, A.A., & Ihromi, S. (2009). Induksi ketahanan tanaman kakao terhadap hama penggerek buah kakao dengan aplikasi silika. *Pelita Perkebunan*, 25(3), 184–198.
- Wiredu, A.N., Mensah-Bonsu, A., Andah, E.K., & Fosu, K.Y. (2011). Hybrid cocoa and land productivity of cocoa farmers in Ashanti Region of Ghana. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2(2), 172–178.
- Wood, G.A.R., & Lass, R.A. (1985). *Cocoa*. New York: Longman Inc.
- World Cocoa Foundation. (2014). *Cocoa market update*. Retrieved from <http://worldcocoa.foundation.org/wp-content/uploads/Cocoa-Market-Update-as-of-4-1-2014.pdf>.
- Yuliasmara, F., Sri-Sukamto, & Prawoto, A. (2011). Induksi kekebalan sistemik untuk mencegah penyakit pembuluh kayu pada bibit kakao melalui aplikasi boron dan silikon. *Pelita Perkebunan*, 25(3), 202–215.