

PENDUGAAN DAYA GABUNG DAN HETEROSIS KETAHANAN TANAMAN KAKAO (*Theobroma cacao* L.) TERHADAP PENYAKIT BUSUK BUAH (*Phytophthora palmivora*)

RUBIYO¹⁾, TRIKOESOEMANINGTYAS²⁾, dan SUDARSONO²⁾

¹⁾ Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan
Jl. Tentara Pelajar No. 1 Bogor
email : rubiyo_rb@yahoo.co.id

²⁾ Departemen Agronomi dan Hortikultura Faperta, IPB Bogor

(Diterima Tgl. 20 - 1 - 2011 - Disetujui Tgl. 28 - 10 - 2011)

ABSTRAK

Klon kakao unggul berdaya hasil dan bermutu hasil tinggi serta resisten terhadap penyakit utama perlu dikembangkan melalui pemuliaan tanaman dan tersedianya informasi tentang parameter genetik diharapkan dapat membantu memecahkan masalah tersebut. Pendugaan parameter genetik dapat dilakukan dengan analisis persilangan dialel. Penelitian bertujuan untuk menduga parameter genetik ketahanan tanaman kakao terhadap infeksi *P. palmivora*, menggunakan analisis persilangan setengah dialel. Bahan tanaman terdiri atas lima klon kakao (ICCRI 3, TSH 858, DR 1, ICS 13 dan Sca 6) yang tergolong rentan hingga tahan terhadap infeksi *P. palmivora* yang digunakan sebagai tetua dan 10 galur hibrida F1 hasil persilangan antar lima klon. Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Kaliwining Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jember, Jawa Timur dari tahun 2008 hingga 2009. Untuk setiap kombinasi persilangan dievaluasi 20 bibit dan diulang tiga kali. Untuk mengetahui respon bibit hibrida F1 terhadap infeksi *P. palmivora*, daunnya diinokulasi dengan inokulum zoospora dan disungkup dengan plastik untuk menjaga kelembapannya (>90%). Pengamatan luas bercak akibat infeksi *P. palmivora* dilakukan enam hari setelah inokulasi dan digunakan untuk menghitung intensitas penyakit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kakao klon DR 1, ICS 13, dan ICCRI 3 mempunyai DGU yang paling tinggi dibandingkan dengan tetua lainnya. Selanjutnya, persilangan antar klon kakao DR 1 x ICS 13, dan TSH 858 x Sca 6 mempunyai DGK tertinggi sehingga kombinasi persilangan ini berpeluang untuk menjadi penghasil hibrida baru yang resisten terhadap *P. palmivora*. Kombinasi persilangan yang menunjukkan nilai heterosis tertinggi adalah DR1 x ICS 13, DR1 x Sca 6, dan ICS 13 x Sca 6.

Kata kunci: Heterosis, hibrida F1, DGU, DGK, intensitas penyakit

ABSTRACT

Estimation of Heterosis and Combining Ability for Resistance Against Black Pod Disease (Phytophthora palmivora) in Cacao (Theobroma cacao L.)

High yielding and disease resistance of cacao clone needs to be developed through breeding program. Availability of genetic parameters for various agronomic importance characters in cacao would be very useful and beneficial for cacao breeding activities. Estimation of various genetic parameters could be done by analyzing F1 arrays generated from semi-diallele crosses among a number of parents. The objectives of this research were to estimate genetic parameters for resistance against *P. palmivora* infection in cacao using F1 arrays generated from semi-diallele crosses among five cacao clones. Five cacao clones (DR 1, TSH 858, ICS 13, ICCRI 3, and Sca 6), representing an arrays of clones with increased resistance against *P. palmivora* infection, were used as parents to generate 10 F1 hybrid arrays. This research was conducted at Kaliwining Experimental Station, Indonesian Coffee and Cacao Research Institute,

Jember, Indonesia, during the period of 2008 to 2009. At most 20 seedlings were evaluated for each F1 hybrid and the evaluation was replicated three times. To evaluate the response of the seedlings against *P. palmivora* infection, their leaves were inoculated with zoospore of *P. palmivora*. Relative humidity around inoculated leaves was maintained at >90% by wrapping them with plastic bag. The sizes of leaf necrose response due to *P. palmivora* infection were observed during six days after inoculation and the disease intensity was calculated based on this recorded symptoms. Results of the experiments indicated that cacao clones (DR 1, ICS 13, and ICCRI 3) were the highest in general combining ability (GCA) for resistance character than the other two clones. Moreover, F1 hybrid originated from crosses between DR 1 x ICS 13, and TSH 858 x Sca 6 were the highest in specific combining ability (SCA) for resistance character. Therefore, this combination crosses might be used to develop new hybrid combinations resistance against *P. palmivora* infection. Combination crosses showing highest heterotic value for resistance against *P. palmivora* infection were DR 1 x ICS 13, DR1 x Sca 6, and ICS 13 x Sca 6.

Key words : Heterotic effects, F1 hybrid array, GCA, SCA, disease intensity

PENDAHULUAN

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu komoditas perkebunan penting di Indonesia yang sebagian besar (> 85%) diusahakan oleh rakyat. Selain mutunya masih kurang baik, produktivitas rata-rata kakao di Indonesia juga baru mencapai 650 kg biji kering per hektar per tahun dari potensi produksi 2.000 kg. Peningkatan kuantitas dan kualitas hasil kakao Indonesia, dapat dilakukan melalui program intensifikasi dan ekstensifikasi penanaman kakao. Keberhasilan kedua program tersebut memerlukan ketersediaan bibit dan benih kakao unggul yang berupa bibit hasil perbanyakan secara vegetatif untuk kakao mulia/*edel cocoa* atau dari benih hibrida untuk kakao lindak/*bulk cocoa* (SUHENDI *et al.*, 2005).

Pemuliaan kakao di Indonesia bertujuan untuk menghasilkan klon kakao unggul baru yang mampu berproduksi tinggi dan resisten terhadap penyakit utama, seperti busuk buah akibat infeksi *Phytophthora palmivora* dan *vascular-streak dieback* (VSD) akibat infeksi *Oncobasidium theobromae* (ISWANTO dan YUNianto, 1987;

SUHENDI *et al.*, 2005; ISWANTO *et al.*, 1994; 1999). Benih hibrida diproduksi secara *open pollination* (OP) dengan memanfaatkan sifat inkompatibilitas tanaman kakao dan penggunaan kombinasi klon tetua yang tepat berpotensi untuk menghasilkan heterosis diantara populasi bibit F1 yang didapat (RUBIYO *et al.*, 2000).

Berdasarkan uji inokulasi secara alamiah di lapangan atau dengan inokulasi buatan di laboratorium, klon kakao yang ditanam mempunyai tingkat ketahanan yang berbeda-beda terhadap infeksi *P. palmivora* (WINARNO dan SRI-SUKAMTO, 1986). Inokulasi buatan di laboratorium juga dilakukan meskipun uji ini mengabaikan pengaruh faktor lingkungan terhadap perkembangan penyakit (IWARO *et al.*, 1995, 1997, 1998; PURWANTARA, 1990). Respon ketahanan klon kakao ICCRI 3, TSH 858, DR 1, ICS 13, dan Sca 6 terhadap infeksi *P. palmivora* telah dilaporkan sebelumnya (RUBIYO *et al.*, 2008).

Informasi tentang kendali genetik sifat ketahanan terhadap penyakit busuk buah pada kakao diperlukan untuk mendukung program pemuliaan kakao di Indonesia. Kendali genetik sifat ketahanan terhadap infeksi *P. palmivora* dapat diduga dengan metode analisis silang dialel yang merupakan evaluasi genetik menyeluruh serta pendekatan analitik untuk mengidentifikasi pasangan tetua yang terbaik (ALLARD, 1966). Analisis persilangan dialel juga menghasilkan informasi tentang daya gabung umum (DGU), daya gabung khusus (DGK), dan heterosis yang penting untuk pemuliaan kakao (FALCONER, 1985; WELS, 1981; PHOELMAN dan SLEPER, 1995; BAIHAKI, 1989).

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk membantu pemuliaan kakao ke arah pengembangan klon yang tahan terhadap penyakit busuk buah akibat infeksi *P. palmivora* dan mengidentifikasi klon kakao dengan daya gabung dan heterosis yang tinggi. Hasil penelitian diharapkan dapat menghasilkan informasi dasar yang dapat membantu usaha perbaikan genetik tanaman kakao, terutama dalam hubungannya dengan sifat ketahanan terhadap penyakit busuk buah akibat infeksi *P. palmivora* di Indonesia.

BAHAN DAN METODE

Lokasi, Waktu Penelitian, dan Isolat *P. palmivora*

Penelitian dilakukan di lapangan dan laboratorium, dan dilaksanakan pada bulan Januari 2008 sampai dengan bulan Maret 2009. Pembentukan populasi hibrida kakao dilakukan di Kebun Percobaan Kaliwining Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jember (50 m dml).

Inokulum miselia yang digunakan berasal dari biakan murni *P. palmivora* yang diperbanyak dalam media agar V8 juice. Kultur *P. palmivora* diinkubasikan di ruang gelap dengan suhu 26°C selama 12 hari. Zoospora dipisahkan dari miselia dengan menginkubasikan kultur ke dalam kulkas bersuhu $\pm 4^{\circ}\text{C}$ selama 5 menit agar zoospora

berkecambah. Ke dalam kultur ditambahkan air steril sebanyak 10 ml sambil dikocok agar zoospora terikut dalam air. Suspensi zoospora diencerkan hingga mencapai kerapatan 10^4 - 10^5 zoospora/ml.

Bahan Tanaman yang Digunakan

Lima klon kakao (ICCRI 3, TSH 858, DR1, ICS 13, dan Sca 6), yang digunakan sebagai tetua, telah ditanam di kebun koleksi plasma nutfah Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia sejak tahun 1994 dengan menggunakan bibit klonal hasil okulasi. Persilangan antar tetua dilakukan secara terkontrol (*hand pollination*). Sehari sebelum persilangan, bunga dari tetua betina terpilih diisolasi dengan cara dikerodong menggunakan tabung obat (diameter 3 cm dan panjang 5 cm) yang ujungnya telah dilubangi dan ditutup dengan kain strimin. Untuk mencegah masuknya serangga penyerbuk yang tidak diinginkan, pinggir tabung obat yang berbatasan dengan batang kakao disumbat dengan parafin. Persilangan dilakukan dengan cara menghilangkan staminodia (lima benang sari palsu) yang mengelilingi kepala putik dengan menggunakan pinset agar tidak mengganggu saat mengoleskan serbuk sari ke kepala putik. Bunga jantan sebagai sumber pollen diambil dari klon kakao terpilih, sesuai dengan kombinasi persilangan yang diinginkan. Bunga jantan dipilih yang masih segar, disimpan dalam petridis setelah dipetik, dan diberi label sesuai dengan nomer klonnya. Bunga jantan dipilih yang mempunyai serbuk sari viabel, yaitu yang berwarna putih transparan dan bukan berwarna kuning atau kecoklatan sebagai indikator sudah rusak.

Tangkai sari dipotong dari bunga jantan dengan menggunakan pinset dan serbuk sarinya dioleskan ke kepala putik dari bunga betina yang sudah siap untuk diserbuki. Pengolesan serbuk sari ke kepala putik dilakukan 2-3 kali secara pelan-pelan agar putik tidak rusak. Indikasi serbuk sari sudah menempel pada kepala putik adalah jika kepala putiknya kelihatan membesar dan membuka. Bunga yang telah diserbuki ditutup kembali dengan tabung obat sebagaimana dijelaskan sebelumnya. Berdasarkan skenario persilangan setengah dialel dengan lima tetua yang dilakukan diperoleh 10 galur hibrida F1 (Tabel 1).

Sebelum ditanam, benih F1 hasil persilangan terkontrol yang dipanen selanjutnya diekstrak dari buah kakao, dicekambahkan dalam bak pengecambahan dan diseleksi keseragaman serta kesehatannya. Kecambah hasil persilangan yang terpilih ditanam di kantong plastik hitam (*polybag*) berukuran 20 x 15 cm, berisi media campuran tanah : pasir : pupuk kandang (2:1:1). Pembibitan dilakukan di rumah kaca, diberi naungan dari paranet hitam yang dipasang dengan ketinggian 1,5 m (bagian timur) dan 1 m (bagian barat) di atas bedengan untuk menghindari panas matahari langsung. Bibit dipelihara dengan melakukan penyiraman setiap pagi dan sore hari hingga bibit berumur satu bulan.

Tabel 1. Skenario persilangan setengah dialel dengan lima tetua untuk menghasilkan 10 galur hibrida F1.

Table 1. Semi-diallele cross schemes among five cacao clones to produce 10 F1 hybrid arrays.

♀ \ ♂	ICRI 3	TSH 858	DR1	ICS 13	SCA 126
ICRI3	-	x	x	x	x
TSH858		-	x	x	x
DR1			-	x	x
ICS 13				-	x
SCA 126					-

Keterangan: (x) hibrida F1 turunan hasil persilangan antar tetua

Note : (x) F1 hybrid derived from parent intercrossing

Uji Ketahanan Galur Hibrida Hasil Persilangan

Penelitian disusun menggunakan rancangan lingkungan acak kelompok dengan 3 ulangan. Setiap unit percobaan terdiri atas 20 bibit kakao sehingga secara keseluruhan terdapat 900 bibit kakao (15 x 3 x 20). Bibit diinokulasi dengan menyemprotkan zoospora *P. palmivora* (10⁴-10⁵ zoospora/ml) ke permukaan daun menggunakan *sprayer*. Bibit yang telah diinokulasi disungkup plastik transparan dan dijaga kelembapannya agar mencapai 90%.

Pengamatan dilakukan mulai enam hari setelah inokulasi dengan mengamati gejala bercak pada permukaan daun kakao yang diuji dan menghitung intensitas penyakit (IP). Gejala bercak diamati dengan menggunakan skoring gejala mengacu pada metode FEE (1983) dan HALIMAH dan SUKAMTO 2007 yang dimodifikasi seperti tertera dalam Tabel 2. Nilai intensitas penyakit digunakan untuk mengelompokkan tanaman menjadi lima kategori seperti pada Tabel 3. Penghitungan indek penyakit ditentukan dengan rumus :

$$IP = \frac{\sum_{i=1}^n n.v}{Z.N} \times 100 \% ;$$

dimana : IP: intensitas penyakit; n : jumlah tanaman dengan nilai skor tertentu; v : skor ke-i; Z : nilai skor tertinggi; dan N : jumlah tanaman berskor

Analisis Data

Pendugaan parameter genetik sifat ketahanan kakao terhadap infeksi *P. palmivora* dilakukan dengan analisis dialel menggunakan pendekatan Hayman (SINGH dan CHAUDHARY, 1979) sebagai berikut:

Pendugaan daya gabung. Model statistik untuk menduga daya gabung adalah:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + 1/bc \sum \sum_{ijkl} ;$$

dimana : $Y_{ij...}$ = nilai tengah genotipe i x j;

m = nilai tengah umum;

g_i = daya gabung umum (DGU) tetua ke-i;

g_j = DGU tetua ke-j;

$s_{ij,....}$ = pengaruh daya gabung khusus (DGK);

$1/bc \sum \sum_{ijkl}$ = nilai tengah pengaruh galat

Analisis *half diallele* (tetua dan F1 tanpa persilangan resiprok) dilakukan dengan menggunakan prosedur yang dikembangkan oleh GRIFFING (1956) - Metode 2 Model 1 (tanpa galur murni). Penggunaan Metode GRIFFING (1956) telah dilakukan untuk menghitung daya gabung pada tanaman singkong yang tetuanya heterosigot (bukan galur murni). Sidik ragam untuk analisis daya gabung Metode 2 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 2. Skor gejala, kategori serangan, dan deskripsi gejala pada daun kakao akibat infeksi *P. palmivora*

Table 2. Score, category, and description of symptom on cacao leaf caused by infection of *P. palmivora*

Skor Score	Kategori Serangan Symptom category	Keterangan Remark
0	Sehat Healthy	tidak ada infeksi No infection
1	Sangat ringan Very mild	< 5% daun terinfeksi < 5% of leaves infected
2	Ringan Mild	5-10% daun terinfeksi, klorosis/nekrosis, belum ada daun gugur, sudah ada pembengkakan lentisel 5-10% of leaves infected, chlorosis/necrosis, no fall leaves, there's swollen lenticell
3	Sedang Moderate	10-25% daun terinfeksi, klorosis, nekrosis, sudah ada daun gugur, sudah ada pembengkakan lentisel 10-25% of leaves infected, chlorosis, necrosis, there's fall leaves and swollen lenticell
4	Agak berat Relatively serious	25-50% daun terinfeksi, klorosis, nekrosis, daun gugur, lentisel membengkak (25-50% of leaves infected, chlorosis, necrosis, fall leaves, swollen lenticell)
5	Berat Serious	50-75% daun terinfeksi, klorosis, nekrosis, daun gugur, lentisel membengkak (50-75% of leaves infected, chlorosis, necrosis, fall leaves, swollen lenticell)
6	Sangat berat Extremely serious	>75% daun terinfeksi, klorosis, nekrosis, daun gugur, lentisel membengkak, bibit mati (>75% of leaves infected, chlorosis, necrosis, fall leaves, swollen lenticell, no seeds growing)

Tabel 3. Pengelompokan ketahanan kakao terhadap infeksi *P. palmivora* berdasarkan nilai intensitas penyakit

Table 3. Grouping of resistance response against *P. palmivora* infection based on the value of disease intensity

Pengelompokan ketahanan Resistance grouping	Intensitas penyakit (%) Disease intensity (%)
Tahan Resistant	0-30
Agak Tahan Fairly resistant	31-50
Sedang Moderately	51-65
Agak Rentan Fairly susceptible	66-80
Rentan Susceptible	81-100

Tabel 4. Komponen analisis ragam untuk daya gabung menggunakan Metode 2 (GRIFFING, 1956).

Table 4. Analysis of component variance for combining ability using Griffing Method 2 (GRIFFING, 1956)

Sumber keragaman <i>Source of variation</i>	Derajat bebas <i>Degree of freedom</i>	Jumlah kuadrat <i>Sum of square</i>	Kuadrat tengah <i>Mean of square</i>	Error kuadrat tengah <i>Mean square error</i>
DGU	p-1	JK _{dgu}	KT _{dgu}	$\sigma_e^2 + \sigma_{dgt}^2(p+2)$
GK	P(p-1)/2	JK _{dkg}	KT _{dkg}	σ^2_{dgu}
Galat	$\frac{(r-1)[(p-1) + p(p-1)/2]}{p(p-1)/2}$	JKG _{galat}	KT _{galat}	$\sigma_e^2 + \sigma_{dgt}^2 + \sigma_e^2$

Pengaruh daya gabung umum (g_i) dihitung dengan rumus :

$$g_i = 1/2n(Y_{i.} + Y_{.j}) - 1/n^2Y;$$

dimana : g_i = nilai daya gabung umum; $Y_{i.}$ = jumlah nilai tengah persilangan genotipe ke-i; $Y_{.j}$ = jumlah nilai tengah selfing genotipe ke-j; Y = total nilai tengah genotipe.

Pengaruh daya gabung khusus (S_{ij}) dihitung dengan rumus :

$$S_{ij} = 1/2 (Y_{ij} + Y_{ji}) - 1/2n(Y_{i.} + Y_{.j} + Y_{.j} + Y_{i.}) + 1/n^2Y;$$

dimana : S_{ij} = nilai daya gabung khusus; Y_{ij} = nilai tengah genotipe i x j; Y_{ji} = nilai tengah genotipe j x i; $Y_{i.}$ = jumlah nilai tengah persilangan genotipe ke-i; $Y_{.j}$ = jumlah nilai tengah selfing genotipe ke-j; $Y_{.j}$ = jumlah nilai tengah persilangan genotipe ke-j; $Y_{i.}$ = total nilai tengah genotipe.

Tabel 5. Anova daya gabung berdasarkan nilai intensitas penyakit akibat infeksi *Phytophthora palmivora* pada tanaman kakao

Table 5. Analysis of variance for combining ability based on disease intensity because of *P. palmivora* infection in cacao

Sumber variasi <i>Source of variation</i>	Db <i>Degree of freedom</i>	JK <i>Sum of Square</i>	KT <i>Mean of Square</i>	F hitung
DGU (GCA)	4	1.651,64	412,91	4,67 **
DGK (SCA)	10	1.914,71	191,47	2,17 *
Galat (Error)	28	2.475,48	88,41	

Keterangan : ** = berpengaruh sangat nyata
* = berpengaruh nyata, nilai-p = 0,05199
Note : ** = very significantly
* = significantly

Pendugaan Heterosis

Nilai heterosis diduga berdasarkan nilai tengah kedua tetua (*mid parent*) dan nilai tengah tetua terbaik (*best parent*) atau heterobeltiosis. Rumus yang digunakan untuk menghitung heterosis dan hetero-beltiosis adalah sebagai berikut :

$$\text{heterosis} = \frac{\mu_{F1} - \mu_{MP}}{\mu_{MP}} \times 100 \%$$

$$\text{hetero-beltiosis} = \frac{\mu_{MP}(\mu_{F1} - \mu_{BP})}{\mu_{BP}} \times 100 \%$$

dimana: μ_{F1} : nilai tengah turunan F1

μ_{MP} : nilai tengah kedua tetua = $\frac{1}{2}(P_1 + P_2)$

μ_{BP} : nilai tengah tetua terbaik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Informasi yang diperoleh dari pengujian DGU dan DGK sangat penting dalam suatu program pemuliaan tanaman kakao. Hal ini sebagaimana disampaikan SUJIPRIHATI (1996), bahwa informasi yang dihasilkan dari pengujian DGU dan DGK berguna untuk menentukan tetua terpilih dan metode pemuliaan yang sesuai dalam upaya perbaikan sifat-sifat yang diinginkan pada tanaman tersebut. Berdasarkan Tabel 5, hasil analisis varian DGU dan DGK didapatkan bahwa DGU berpengaruh sangat nyata. Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat klon kakao yang memiliki kemampuan menggabung yang tinggi dengan klon kakao lainnya. SUHENDI *et al.* (2004) menyebutkan bahwa varian aditif adalah fungsi aditivitas alel-alel yang berhubungan langsung dengan efek kuantitatif, sehingga karakter-karakter seperti tinggi jorjet dan pembungaan pada tanaman kakao terekspresi sebagai hasil kerja banyak gen. Hasil analisis varian untuk DGK juga menunjukkan pengaruh yang nyata. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat kombinasi persilangan tetua tertentu menghasilkan bibit hibrida yang lebih baik dari kombinasi persilangan tetua lainnya. Analisis DGU dan DGK dapat dilanjutkan untuk mengetahui tetua yang memiliki DGU tinggi dan DGK agar diketahui kombinasi persilangan tertentu untuk menghasilkan hibrida yang diinginkan. Berdasarkan analisis varian diketahui bahwa daya gabung umum lebih besar dari pada daya gabung khusus. Hal ini menunjukkan bahwa penampilan gen aditif lebih penting dibandingkan dengan penampilan gen non aditif (SINGH dan CHAUDARY, 1979). Hasil kajian ini diharapkan bahwa tindak gen ketahanan terhadap *P. palmivora* pada kakao bersifat aditif. Oleh karena itu, seleksi klon yang menampakkan fenotipe tahan terhadap banyak ras fisiologi biasanya dicirikan dengan tipe reaksi yang sangat rendah, akan menghasilkan genotipe yang jumlah sel ketahanannya banyak. Menurut KUSHALAPPA dan ESKE (1989) hal ini sangat penting dalam upaya seleksi untuk mengumpulkan

gen-gen ketahanan dalam satu genotipe, sehingga diharapkan akan menghasilkan genotipe yang memiliki ketahanan awet.

Pada penelitian ini digunakan populasi turunan hasil persilangan antara pasangan tetua yang heterozigot. Untuk itu model analisis yang digunakan mengikuti Metode GRIFFING (1956) yang telah digunakan untuk menghitung daya gabung pada tanaman singkong yang tetuanya juga heterosigot (bukan galur murni). Daya gabung adalah kemampuan genotipe untuk mewariskan sifat yang diinginkan kepada keturunannya. Daya gabung umum (DGU) adalah kemampuan suatu genotipe untuk menghasilkan rataan keturunan yang unggul bila disilangkan dengan beberapa genotipe lain (SINGH dan CHAUDARY, 1979). Daya gabung umum akan memiliki arti jika nilainya diperbandingkan pada lebih dari satu individu dan populasi penguji serta lingkungan yang ditentukan. Daya gabung khusus (DGK) adalah kemampuan individu tetua untuk menghasilkan turunan yang unggul jika disilangkan dalam kombinasi spesifik dengan tetua tertentu lainnya (SINGH dan CHAUDARY, 1979). Daya gabung khusus merupakan konsekuensi dari interaksi gen intra alel (dominan) dan interaksi gen antar alel (epistasis).

Daya Gabung Umum (DGU)

Hasil analisis pengaruh DGU berdasarkan intensitas penyakit (IP) ditampilkan pada Tabel 6. Dapat diketahui bahwa klon TSH 858, Sca 6, dan ICCRI 3 mempunyai nilai DGU yang tinggi. Sedangkan daya gabung DR 1 dan ICS

Tabel 6. Nilai daya gabung umum (DGU) dan daya gabung khusus (DGK) lima klon kakao untuk sifat ketahanan terhadap infeksi *Phytophthora palmivora* yang diukur berdasarkan intensitas penyakit (%)

Table 6. General combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) of five cacao clones for resistance against *P. palmivora* infection determined based on disease intensity (%)

Genotip Genotype	Intensitas penyakit Diseases intensity	DGU GCA
ICCRI 3	20,42	13,83
TSH 858	22,39	12,93
DR1	18,39	18,03
ICS13	23,24	16,28
Sca 6	15,33	3,20
Kombinasi pasangan tetua Parent combinations	Intensitas penyakit Diseases intensity	DGK SCA
ICCRI 3 X TSH 858	13,83	1,19
ICCRI 3 X DR1	15,49	0,02
ICCRI 3 X ICS 13	12,27	-2,23
ICCRI 3 X Sca 6	8,25	1,02
TSH 858 X DR1	9,62	-5,35
TSH 858 X ICS 13	11,70	-2,26
TSH 858 X Sca 6	13,17	6,44
DR1 X ICS 13	25,48	8,65
DR1 X Sca 6	6,25	-3,32
ICS 13 X Sca 6	4,44	-4,14

13 terhadap klon lainnya lebih rendah. Untuk intensitas indek penyakit, DGU terendah dihasilkan oleh klon Sca 6. Nilai daya gabung umum Sca 6 yang kecil berarti tetua yang bersangkutan mempunyai daya gabung (rata-rata) yang lebih rendah dibandingkan dengan tetua-tetua lain. Daya gabung umum yang besar dan positif menunjukkan bahwa tetua tersebut mempunyai daya gabung yang baik sedangkan nilai yang negatif berarti tetua yang bersangkutan mempunyai daya gabung (rata-rata) yang lebih rendah dibandingkan dengan tetua-tetua lain.

Menurut FALCONER dan MACKY 1996, efek daya gabung umum merupakan indikator penting dari nilai potensial dari galur murni untuk kombinasi persilangan suatu hibrida. Daya gabung umum merupakan hasil dari aksi gen aditif. Ragam aditif yang tinggi menunjukkan tingginya peran aksi gen aditif terhadap karakter yang diamati. Karakter yang dikendalikan oleh aksi gen aditif dapat difiksasi sehingga seleksi ketahanan dapat dilakukan pada generasi awal (NOSHIN *et al.*, 2003). Hal ini untuk tanaman kakao merupakan peluang yang sangat penting mengingat tanaman kakao merupakan tanaman tahunan umumnya memerlukan waktu yang panjang untuk menghasilkan suatu klon atau tetua-tetua yang diinginkan. Penelitian serupa pernah dilakukan terhadap tanaman ubikayu di Nigeria (LOKKO *et al.*, 2006) dengan mengamati daya gabung umum, daya gabung khusus serta heterosis yang diuji dengan penyakit virus mosaic menghasilkan tidak jauh beda dengan penelitian pada tanaman kakao.

Daya Gabung Khusus (DGK)

Daya gabung khusus merupakan ekspresi ragam genetik non-aditif, dominan dan epistasis. Hasil pengamatan daya gabung khusus pada Tabel 7 terlihat bahwa kombinasi persilangan yang mempunyai DGK tertinggi adalah ICCRI 3 x Sca 6 dan DR 1 x ICS 13, sedangkan persilangan TSH 858 x ICS 13 dan TSH 858 x DR 1 menduduki peringkat ke 3 dan ke 4. Kombinasi persilangan tersebut berpeluang menghasilkan hibrida F1 kakao yang tahan terhadap infeksi *P. palmivora*. Berdasarkan nilai DGK dapat diketahui bahwa tidak semua klon kakao yang memiliki nilai DGU yang tinggi menghasilkan DGK yang tinggi.

Berdasarkan intensitas penyakit, nilai daya gabung khusus tertinggi dihasilkan oleh kombinasi persilangan dari tetua DR 1 x ICS 13. Kedua tetua ini konsisten merupakan penggabung yang baik, karena kedua tetua ini menghasilkan nilai daya gabung umum yang tinggi berdasarkan intensitas penyakit. Daya gabung khusus (DGK) yang positif menunjukkan bahwa tetua tersebut mempunyai kombinasi hibrida yang tinggi dengan salah satu tetua yang digunakan. Sebaliknya bila DGK negatif berarti tetua tersebut tidak mempunyai kombinasi hibrida yang tinggi

Tabel 7. Penampilan tetua, F₁, nilai heterosis rata-rata tetua, dan heterosis rata-rata tetua tertinggi persilangan genotipe tanaman kakao berdasarkan Intensitas Penyakit (IP)

Table 7. Performances of parents, F₁ hybrids, heterosis based on mid-parent (hMP), and heterobeltiosis (hHP) among crosses based on disease intensity (DI)

Kombinasi tetua Parent combinations	P1	P2	F1	MP	hMP (%)	hHP (%)
ICCRI3 X TSH 858	20,42	22,39	13,83	21,40	-35,4	-32,2
ICCRI3 X DR1	20,42	18,39	15,49	19,40	-20,2	-15,8
ICCRI3 X ICS13	20,42	23,24	12,27	21,83	-43,8	-39,9
ICCRI3 X Sca 6	20,42	15,33	8,25	17,88	-53,8	-46,2
TSH 858 X DR1	22,39	18,39	9,62	20,39	-52,8	-47,7
TSH 858 X ICS 13	22,39	23,24	11,71	22,82	-48,7	-47,7
TSH 858 X Sca 6	22,39	15,33	13,17	18,86	-30,2	-14,1
DR 1 X ICS 13	18,39	23,24	25,48	20,82	22,4	38,5
DR 1 X Sca 6	18,39	15,33	6,25	16,86	-62,9	-59,2
ICS 13 X Sca 6	23,24	15,33	4,45	19,29	-76,9	-71,0

Keterangan : P₁ = tetua pertama, P₂ = tetua kedua, h_{MP} = heterosis rata-rata tetua, h_{HP} = heterosis rata-rata tetua tertinggi, MP = rata-rata nilai kedua tetua,
Note : P₁ = first parent, P₂ = second parent, h_{MP} = heterosis based on mid-parent, h_{HP} = heterosis based parent, MP = mid-parent

dengan salah satu dari tetua - tetua yang digunakan (SUJIPRIHATI, 1996). Daya gabung khusus merupakan kemampuan kombinasi spesifik hasil dari aksi gen dominan, epistasis dan aditif (WELSH, 1981). Oleh karena itu genotipe kakao yang mempunyai daya gabung khusus yang tinggi memiliki peluang sangat baik untuk merakit hibrida baru kakao yang dikehendaki.

Hasil penelitian ini dapat mengungkap fenomena ketahanan kakao dan dapat digunakan sebagai dasar untuk langkah pemuliaan selanjutnya khususnya dalam pemilihan sebagai tetua persilangan. Data efek DGU dan DGK beberapa klon kakao tersebut dapat digunakan sebagai informasi yang dapat mendasari penyusunan strategi pemuliaan tanaman kakao. Klon yang memiliki DGU nyata dapat digunakan sebagai tetua penyusun varietas sintetik (*synthetic variety*) atau sebagai tetua pembuatan populasi dasar melalui metode seleksi berulang (*recurrent selection*). Sedangkan kombinasi persilangan yang nilai DGK-nya nyata dapat dipertimbangkan sebagai tetua pembuatan varietas hibrida.

Heterosis

Keberadaan hibrida, yang mempunyai nilai heterosis tinggi untuk sifat ketahanan terhadap infeksi *P. palmivora*, ditunjukkan dengan adanya nilai heterosis yang semakin negatif yang lebih kecil dari nilai rata-rata kedua tetuanya. Angka yang semakin negatif menunjukkan tingkat ketahanan yang lebih baik. Semakin negatif nilai heterosis maka semakin besar pula nilai pewarisan ketahanan yang dihasilkan dari hibrida tersebut.

Untuk heterosis berdasarkan tetua tertinggi (hHP), terdapat empat kombinasi pasangan tetua yang menghasilkan hibrida nilai heterosis terbaik. Keempat kombinasi persilangan tersebut memiliki peluang yang besar digunakan sebagai sumber bahan tanam untuk merakit klon

kakao unggul baru. Besarnya nilai heterosis berkisar antara 46,2% hingga -71,0%. Nilai heterosis tertinggi dihasilkan oleh persilangan ICS 13 x Sca 6 yaitu sebesar -71,0%. Nilai heterosis berdasarkan IP (Tabel 7) menunjukkan bahwa hibrida ICS 13 x Sca 6 (-71,0), DR 1 x Sca 6 (-59,2), ICCRI 3 x Sca 6 (-46,2) dan TSH 858 x DR1 (-47,7) menghasilkan nilai heterosis tertinggi dibandingkan dengan hibrida lainnya. Hal ini dapat diartikan bahwa persilangan tersebut menghasilkan peningkatan ketahanan berdasarkan intensitas penyakit sebesar 46,2-71,0% lebih tinggi dari tetua donor sifat resisten yang digunakan (Sca 6).

Nilai heterosis merupakan pencerminan dari hasil keturunan sifat ketahanan yang lebih baik dari rerata kedua tetuanya. Strategi pemuliaan tanaman kakao yang merupakan tanaman tahunan serta dalam seleksinya memerlukan waktu atau periode yang panjang, maka nilai heterosis akan sangat membantu di dalam menghasilkan bahan tanam baru sesuai dengan tujuan penelitian yang diinginkan. Nilai heterosis yang tinggi menunjukkan bahwa penggabungan sifat genetik kedua tetua yang digunakan menghasilkan sifat pewarisan yang baik terhadap ketahanan penyakit *P. palmivora*.

Umumnya apabila dua tetua tanaman yang berlainan disilangkan, maka keturunannya akan memperlihatkan gejala heterosis atau vigor hibrid (PHOELMAN dan SLEPER, 1995). Hingga saat ini terdapat dua hipotesis utama yang dapat menjelaskan mekanisme heterosis, yaitu hipotesis dominan dan over dominan, namun demikian hipotesis dominan menjelaskan gejala heterosis yang paling luas penerimaannya. Lebih lanjut disebutkan PHOELMAN dan SLEPER (1995) hipotesis ini menjelaskan bahwa akumulasi gen-gen dominan yang unggul dalam satu genotipe tanaman menyebabkan munculnya fenomena heterosis, sedangkan penampilan gen-gen resesifnya akan tertutupi atau hilang. Berdasarkan hipotesis ini, fenomena heterosis merupakan hasil aksi dan interaksi gen-gen dominan yang unggul yang terkumpul dalam satu genotipe F1 dari hasil persilangan kedua tetua. Hal ini sangat penting untuk dipahami

mengingat tanaman kakao merupakan tanaman yang menyerbuk silang. BAIHAKI (1989) menyebutkan bahwa tanaman menyerbuk silang mencakup individu yang secara genetik merupakan individu-individu yang berbeda.

KESIMPULAN

DGU dan DGK serta informasi pewarisan karakter ketahanan dapat dijadikan kriteria seleksi terutama dalam memilih tetua persilangan untuk pembuatan varietas hibrida atau sintetik kakao lindak. Tetua DR 1, ICS 13, dan ICCRI 3 mempunyai DGU yang tinggi untuk sifat ketahanan terhadap infeksi *P. palmivora* berdasarkan intensitas penyakit.

Nilai DGK tertinggi ditunjukkan oleh kombinasi persilangan antara DR 1 x ICS 13 dan TSH 858 x Sca 6 sehingga kombinasi tetua ini dapat digunakan untuk merakit benih hibrida kakao yang resisten terhadap infeksi *P. palmivora*.

Heterosis tertinggi diperoleh dari hasil kombinasi persilangan antara DR1 x ICS 13, DR1 x Sca 6, dan ICS 13 x Sca 6.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktur Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia atas izin dan dukungan fasilitas yang diberikan selama penelitian di Jember, dan kepada Prof. Dr. Ir. Satriyas Ilyas, MS dan Dr. Agus Purwantara atas bimbingannya selama penelitian berlangsung. Ucapan yang sama disampaikan kepada Ir. Sri-Sukanto, MP; Supandi SP; dan rekan-rekan teknisi perlindungan tanaman Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia atas segala bantuannya selama penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

ALLARD, R.W. 1966. Principles of Plant Breeding. New York: J. Wiley & Sons. 485pp.
 BAIHAKI, A. 1989. Fenomena Heterosis. Dalam Kumpulan Materi Perkuliahan Latihan Teknik Pemuliaan Tanaman dan Hibrida. Balittan Sukamandi, Balitbang Pertanian Deptan dan Fakultas Pertanian UNPAD (Tidak dipublikasikan).
 FALCONER, D.S. and MACKY T.F.C. 1981. Introduction to Quantitative Genetics. 4th ed. Longman. Essex.
 FALCONER, D.S. 1985. Introduction to Quantitative Genetics. 2nd. London, New York. Longman Group Limited.

FEE, 1983. Principle of Plant Disease management. Academic Press. New York. 376p.
 GRIFFING, B. 1956. Concepts of general and specific combining ability in relation to diallele crossing systems. Aust. J. Biol. Sci. 9:463-493.
 HALIMAH dan SRI SUKAMTO. 2007. Intensitas penyakit vascular streak dieback pada sejumlah klon kakao koleksi. Pusat Penelitian Kopi dan kakao Indonesia. pelita Perkebunan. 23(2):118 – 128.
 ISWANTO, A. dan D. YUNianto. 1987. Pengaruh ukuran bakal biji dan serbuk sari terhadap bentuk dan berat biji kakao. Pelita Perkebunan 3: 185-188.
 ISWANTO, A., H. WINARNO, dan P. ASTUTININGSIH. 1994. Seleksi pendahuluan ketahanan terhadap penyakit kanker batang *P. palmivora* pada beberapa kakao hibrida F1 setelah terjadinya banjir. Prosiding Simposium Pemuliaan Tanaman II: 128-131.
 ISWANTO, A., H. WINARNO, dan D. SUHENDI. 1999. Kajian stabilitas hasil dan komponen buah beberapa hibrida kakao. Pelita Perkebunan 15: 81-90.
 IWARO, D.A., T.N. SREENIVASAN, and P. UMAHARAN. 1995. Differential reaction of cocoa clones to *Phytophthora palmivora* infection. CRU, Univ. West Indies, Trinidad: 79-85.
 IWARO, D.A., T.N. SREENIVASAN, and P. UMAHARAN. 1997. *Phytophthora palmivora* resistance in cocoa (*Theobroma cacao*): influence of pod morphological characteristics. Plant Pathol. 46: 557-565.
 IWARO, D.A., T.N. SREENIVASAN, and P. UMAHARAN. 1998. Cocoa resistance to *Phytophthora*: effect of pathogen species, inoculation depths, and pod maturity. European J. Plant Pathol. 104:11-15.
 KUSHALAPPA dan ESKES, 1989. Advances in coffee rust research. Ann. Rev. Phytophthol. 27:503-531.
 LOKKO, Y., A.G.O. DIXON, S.K. OFFEI, and E.Y. DANGUAH. 2006. Combining ability analysis of resistance to mosaic virus disease in cassava. African Crop Science Journal. 14(3): 221-230.
 NOSHIN, M.M. IQBAL, R. DIN, S.J. KHAN, S.U. KHAN, I.U. KHAN, and M.U. KHAN. 2003. Genetic analysis of yield its components in F1 generation of brown mustard (*Brassica juncea* L. Czern and Coss). Asian Journal of Plant Science. 2: 1027-1033.
 PURWANTARA, A. 1990. Pengaruh beberapa unsur cuaca terhadap infeksi *Phytophthora palmivora* pada buah kakao. Menara Perkebunan. 58: 78-83.
 PHOELMAN, J.M. and A.D. SLEPER. 1996. Breeding Field Crops. Ames Iowa State University Press.
 RUBIYO, SRI-SUKAMTO, dan A. ISWANTO. 2000. Uji lapang ketahanan hibrida kakao terhadap penyakit busuk buah (*Phytophthora palmivora* Butler). Jurnal Stigma. 7: 57-59.
 RUBIYO, A. PURWANTARA, D. SUHENDI, TRIKOESOEMANINGTYAS, S. ILYAS, dan SUDARSONO. 2008. Uji ketahanan kakao (*Theobroma cacao* L.) terhadap

- penyakit busuk buah dan efektivitas metode inokulasi. *Pelita Perkebunan* 24 : 95-113.
- SUJIPRIHATI, S. 1996. Heterosis, combining ability and yield prediction in hybrid from local maize inbred lines (PhD). Malaysia: University. 247p.
- SINGH, R.K. and B.D. CHAUDARY. 1979. Biometrical methods in quantitative genetic analysis. Kalyani Pub. New Delhi, 304p.
- SUHENDI, D., W.S. AGUNG, dan S. MAWARDI. 2004. Analisis daya gabung karakter pertumbuhan vegetative beberapa klon kakao (*Theobroma cacao L.*). *Zuriat*, Juli – Desember 2004. 15(2) : 64 - 72.
- SUHENDI, D., H. WINARNO, dan A.W. SUSIL. 2005. Peningkatan produksi dan mutu hasil kakao melalui penggunaan klon baru. *Prosiding Simposium Kakao*. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Yogyakarta, 4-5 Oktober 2004. 98-111.
- WELS, J.R. 1981. *Fundamental of Plant Genetic and Breeding*. USA: John Wiley & Sons. 224 pp.
- WINARNO, H. dan SRI-SUKAMTO. 1986. Uji laboratorium ketahanan tongkol beberapa hibrida kakao terhadap penyakit busuk buah (*Phytophthora palmivora*). *Pelita Perkebunan*. 2:115-119.