

Pendugaan Pengaruh Tetua Betina dan Daya Gabung pada Persilangan Kopi Robusta

Estimation of Female Parental Effect and Combining Ability in Crossing Over of Robusta Coffee

Ari Wibowo*, Ucu Sumirat

Indonesian Coffee and Cocoa Research Institute, Jember, East Java 68118, Indonesia

Received 02 February 2022; Accepted 22 April 2022; Published 30 June 2022

ABSTRACT

Breeding programs need genotypic variation to make a selection and create a promising variety. Hybridization in plants produces genetic variations in the offspring to select Robusta coffee as superior planting material. The maternal-effect and combining ability help determine the next breeding strategy. This study aimed to determine the maternal effect and the combining ability on the morphological characters of branches and leaves of Robusta coffee diallel crosses. The study involved six groups of F1 offspring and their reciprocals from three parents, namely clones BP961, Q121, and BP409, which were planted singly side in the Kaliwining Experimental Garden, Jember, East Java. The estimation of female parental effect was analyzed using a *t*-test, and combining ability was analyzed using diallel analysis method III. The analysis results showed that the female parental effect occurred on the character of the internode length in all cross combinations and did not occur on stipule length, petiole length, leaf length, and leaf width. The parent of the cross that can be the best combiner was parent BP961 for the petiole length and leaf length, parent Q121 for stipule length and internode length, and parent BP409 for leaf width character.

Keywords: *Coffea canephora*; Cross design; Genetic study; Morphological characters

Cite this as (CSE Style): Wibowo A, Sumirat U. 2022. Pendugaan pengaruh tetua betina dan daya gabung persilangan kopi robusta. Agrotechnology Res J. 6(1):38–42. <https://dx.doi.org/10.20961/agrotechresj.v6i1.59136>.

PENDAHULUAN

Kopi Robusta *Coffea canephora* Piere ex. A. Froehner merupakan penyokong terbesar (87%) produksi kopi nasional Indonesia (Wibowo 2019) dan didominasi oleh perkebunan rakyat yang mempunyai produktivitas rendah (Ditjenbun 2017). Salah satu upaya dalam meningkatkan produktivitas adalah inovasi bahan tanam unggul nasional. Proses hibridisasi merupakan salah satu metode untuk meningkatkan keberagaman genotipe (Mangoendidjojo 2003) sebagai bahan seleksi untuk mendapatkan bahan tanam unggul dari hasil persilangan dua tetua (Stukenbrock 2016).

Kopi Robusta merupakan tanaman diploid spesies kopi yang menyerbuk silang (*self-incompatibility*) sehingga perbanyakannya secara vegetatif lebih sesuai untuk jenis kopi ini (Souza et al. 2013). Ketika seorang pemulia sudah mendapatkan variasi genotipe dan telah dipilih genotipe harapan, maka langkah selanjutnya adalah memperbanyak bahan tanam tersebut secara klonal. Tahap seleksi ini membutuhkan pendekatan

genetika kuantitatif agar hasil seleksi lebih presisi. Pendugaan nilai pengaruh tetua betina dan daya gabung dapat menjadi metode pendekatan untuk mencapai tujuan tersebut (Debes et al. 2013; Ali et al. 2015).

Pengaruh tetua betina sering berpengaruh terhadap pewarisan sifat karakter morfologi tanaman (Badiaraja et al. 2021). Gen yang membawa suatu karakter tanaman dipengaruhi oleh sitoplasma sehingga gen yang mengatur karakter tersebut akan terekspresi apabila gen berada dalam tetua betina (Lin dan Potter 2016). Gen-gen pembawa sifat berada di luar inti sel sehingga pewarisan sifatnya secara sitoplasmik (Napitupulu dan Damanhuri 2018). Keturunan yang memiliki pengaruh tetua betina akan mempunyai karakter mirip dengan tetua betina (Seppälä dan Langeloh 2016; Wolf dan Wade 2016; Isnaini et al. 2020). Pengaruh tetua betina dapat dihitung dengan melakukan persilangan resiprok karena pasangan silang resiproknya berasal dari gen dalam sel yang sama (Badiaraja et al. 2021). Jika terdapat perbedaan nyata antara keturunan F1 dan resiproknya (F1R) maka karakter yang diamati dipengaruhi oleh tetua betina.

Persilangan dialel yang dikembangkan oleh Griffing (1956) mempermudah para peneliti untuk menduga adanya nilai daya gabung antarpersilangan tanaman sehingga lebih efisien dalam mendapatkan bahan tanam

*Corresponding Author:
E-Mail: ariwibowo.iccri@gmail.com

harapan unggul baru (Teodoro et al. 2019). Informasi tersebut memberikan gambaran tentang tingkat kontribusi masing-masing individu persilangan dalam mengembangkan keturunan hibrida. Analisis daya gabung juga dapat menghemat waktu pemuliaan dan meningkatkan efisiensi program pemuliaan (Han et al. 2020). Daya gabung umum (DGU) merupakan nilai rerata dari penampilan tetua jantan dan betina yang diperkirakan dari keragaan keturunan hibrida ketika disilangkan antara satu dengan yang lain (Ali et al. 2015), sedangkan daya gabung khusus (DGK) digunakan untuk menentukan kombinasi persilangan harapan dalam perbaikan kultivar (Budiyanti et al. 2017; Bassuony dan Zsembeli 2020). Nilai DGK dapat mengindikasikan rerata keragaan dari persilangan yang spesifik dan memprediksi adanya tindak gen dominan atau epistasis (Hernández-Bautista et al. 2017). Penghitungan nilai daya gabung sangat krusial dalam pemuliaan tanaman dan sudah diaplikasikan pada banyak jenis tanaman seperti jagung (Ali et al. 2015), cabai hias (Ferreira et al. 2015), mentimun (Golabadi et al. 2015), pepaya (Budiyanti et al. 2017), raspberry (Hernández-Bautista et al. 2017), dan kedelai (Ibanda et al. 2018; Teodoro et al. 2019). Analisis daya gabung pada tanaman kopi dapat membantu dalam mengidentifikasi kombinasi tetua terbaik, mengetahui tipe tindak gen, dan membantu memilih metode pemuliaan yang digunakan (Ayano et al. 2015).

Kajian genetika kuantitatif pada tanaman perkebunan khususnya tanaman kopi masih terbatas. Adanya informasi tentang penghitungan nilai duga pengaruh tetua betina dan daya gabung pada tanaman kopi Robusta diharapkan dapat menjadi acuan dalam menentukan strategi pemuliaan yang sesuai untuk komoditas tersebut. Informasi tentang pengaruh tetua betina dan daya gabung sangat penting bagi pemulia untuk memilih dan menentukan klon tetua unggul kopi Robusta. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai duga pengaruh tetua betina dan daya gabung pada persilangan kopi Robusta. Adanya informasi ini akan mempermudah pemulia dalam memilih tetua persilangan dan membantu menentukan strategi pemuliaan selanjutnya sehingga tujuan pemuliaan dapat yang akan dicapai lebih presisi.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini melibatkan persilangan dialel metode III dari tiga tetua kopi Robusta, yaitu BP961, Q121, dan BP409. Keturunan F1 dari masing-masing kombinasi persilangan kemudian disemai sebanyak 40 tanaman untuk setiap keturunan hasil persilangan sehingga tertanam ± 240 tanaman F1 dan resiproknya. Keturunan tersebut kemudian ditanam secara tunggal berdampingan pada ketinggian 60 ± 5 m dpl ($8^{\circ}15'28.2''$ S, $113^{\circ}36'20.5''$ E) dengan jarak tanam 2.5 m x 3.0 m di Kebun Percobaan Kaliwining, Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Pengamatan dilakukan pada awal musim kemarau saat tanaman berumur empat tahun setelah tanam. Tipe iklim Kebun Percobaan Kaliwining adalah tipe D menurut Schmidt and Ferguson. Masing-masing keturunan hibrida ditanam secara kelompok sesuai dengan kode persilangan, yaitu kode A untuk persilangan BP961xQ121, kode B untuk persilangan

Q121xBP409, dan kode C untuk persilangan BP961xBP409.

Pengamatan dilakukan pada tanaman keturunan yang berumur empat tahun setelah tanam pada fase vegetatif. Karakter daun dan cabang yang diamati adalah panjang stipula, panjang ruas cabang, panjang petiole daun, panjang daun, dan lebar daun. Pengamatan karakter kuantitatif dilakukan pada lima sampel yang berbeda di setiap tanaman dan mengikuti pedoman IPGRI (Anthony dan Dussert 1996). Analisis nilai duga pengaruh tetua betina dianalisis menggunakan uji t. Jika pengujian menunjukkan berbeda nyata, maka karakter yang diamati terdapat pengaruh tetua betina. Nilai duga daya gabung dianalisis dengan analisis Dialel metode III menggunakan Ms. Excel berdasarkan Singh dan Chaudhary (1979).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum, kopi Robusta terbagi menjadi dua grup, yaitu grup Guinean yang berasal dari Afrika Barat dan grup Congolese yang berasal dari Afrika bagian Tengah. Grup Guinean mempunyai ciri morfologi daun berukuran kecil, ukuran buah kecil, tajuk lebih kecil, dan toleran terhadap kekeringan. Grup Congolese mempunyai ciri morfologi sebaliknya, lebih tahan terhadap karat daun dan mempunyai cita rasa lebih baik (Montagnon et al. 2003; Alessandro et al. 2017; Carvalho et al. 2019). Tetua persilangan yang digunakan dalam percobaan ini, yaitu BP961, Q121, dan BP409 merupakan kopi Robusta grup Congolese namun tetua Q121 mempunyai ciri morfologi seperti grup Guinean. Kajian keturunan hasil persilangan antartetua kopi Robusta yang mempunyai perbedaan karakter morfologi dan berbeda subgrup sangat penting untuk menentukan metode pemuliaan tanaman yang akan digunakan.

Pengaruh tetua betina

Pengaruh tetua betina sangat penting untuk dikaji karena berkaitan dengan pewarisan sifat suatu karakter dari tetua ke keturunannya. Hasil analisis pengaruh tetua betina menunjukkan bahwa karakter panjang ruas cabang pada kopi Robusta dipengaruhi oleh tetua betina. Nilai beda nyata antara keturunan F1 dan F1R ditunjukkan pada ketiga kombinasi persilangan, yaitu BP961xQ121, Q121xBP409, dan BP961xBP409 (Tabel 1). Pengaruh tetua betina dikendalikan oleh gen di dalam sitoplasma sehingga efek genetik dari tetua betina terekspresi pada tanaman keturunannya (Wolf dan Wade 2016; Napitupulu dan Damanhuri 2018). Pengaruh tetua betina juga terjadi pada karakter panjang petiol daun dan lebar daun di persilangan antara BP961 dan BP409. Efek tetua betina dapat terbagi menjadi dua, yaitu gametofit dan sporofit. Kedua tipe tersebut akan menyebabkan benih abnormal ketika tetua heterosigot disilangkan sebagai tetua betina. Ketidaknormalan benih terjadi karena kantung embrio harus membawa mutasi (alel mutan) yang menyebabkan sebuah pengaruh (Chettoor et al. 2016). Alel mutan tersebut dapat mengekspresikan sifat fenotip dan variasi sifat-sifat fenotip tergantung dari latar belakang genetiknya. Fenomena ini merupakan salah satu penyimpangan terhadap hukum Mendel (Lin dan Potter 2016).

Tabel 1. Pengaruh tetua betina pada karakter daun dan cabang

Karakter	BP961 × Q121			Q121 × BP409			BP961 × BP409		
	F1	F1R	T hit	F1	F1R	T hit	F1	F1R	T hit
Panjang stipula (mm)	3,98	4,09	0,86 ns	3,86	3,78	0,89 ns	3,27	3,19	0,79 ns
Panjang ruas cabang (cm)	5,26	4,81	2,51*	4,87	5,14	1,88*	5,03	4,48	5,00*
Panjang petiole daun (cm)	1,34	1,33	0,30 ns	1,44	1,46	0,79 ns	1,44	1,33	3,22*
Panjang daun (cm)	20,16	20,53	0,95 ns	22,55	22,97	1,02 ns	21,77	21,20	1,20 ns
Lebar daun (cm)	7,48	7,63	0,68 ns	8,57	8,59	0,11 ns	9,00	8,58	1,76*

Keterangan: Angka yang diikuti oleh tanda (*) menunjukkan beda nyata pada taraf 5% dan (ns) menunjukkan tidak beda nyata; F1 adalah keturunan pertama, F1R adalah resiprok dari F1

Karakter morfologi yang dipengaruhi oleh tetua betina mengindikasikan bahwa terdapat kontribusi dari tetua betina yang berperan dalam ekspresi sifat fenotip keturunan dan pengaruh tersebut juga mendasari adanya pengaruh genetik dan lingkungan (Debes et al. 2013). Produk gen *maternal effect* yang berada di RNA dan protein dalam sel akan tersimpan dalam sel telur, diwariskan ke keturunan (Wolf dan Wade 2016) dengan tanpa modifikasi urutan rantai DNA (Vivas et al. 2020), dan mempunyai peranan penting dalam perkembangan embrio keturunannya (Lin dan Potter 2016). Gen dari tetua betina tersebut berkontribusi lebih dominan daripada tetua jantan. Hal inilah yang menyebabkan karakter fenotipik keturunan lebih mirip dengan tetua betina. Selain itu, variasi dalam populasi tanaman akan terjadi yang akan berpengaruh kuat terhadap evolusi di dalam populasi tersebut dan dapat dimanfaatkan sebagai target seleksi secara alamiah (Seppälä dan Langeloh 2016). Adanya variasi fenotipik pada keturunan juga dapat digunakan sebagai bahan seleksi ketahanan terhadap stres abiotik karena *maternal effect* berperan penting dalam adaptasi keturunan terhadap kondisi stres lingkungan (Vivas et al. 2020).

Pengaruh tetua betina terjadi pada karakter panjang ruas cabang di semua kombinasi persilangan serta terdapat pada karakter panjang petiole daun dan lebar daun di persilangan BP961×BP409. Hal ini mengindikasikan bahwa karakter panjang ruas cabang pada keturunan persilangan diwariskan oleh tetua betina.

Pada tanaman kopi, panjang ruas merupakan salah satu faktor tidak langsung dalam penentuan hasil. Kopi Arabika beruas pendek (tipe katai) mempunyai produktivitas lebih tinggi daripada kopi Arabika beruas panjang (tipe jagur) (Hulupi 2016). Secara tidak langsung, semakin pendek ruas cabang maka semakin tinggi potensi hasilnya. Berdasarkan hasil analisis tersebut, tetua kopi Robusta beruas pendek dapat menghasilkan keturunan yang beruas pendek. Adanya informasi pengaruh tetua betina pada kopi Robusta dapat dijadikan panduan dalam seleksi awal tetua persilangan.

Pendugaan nilai daya gabung

Pendugaan daya gabung bertujuan untuk membandingkan performa antarindividu keturunan antarkombinasi persilangan hibrida. Nilai daya gabung merupakan perkiraan nilai genotipe tanaman yang didasarkan pada performa keturunan melalui beberapa desain persilangan (Fasahat et al. 2016).

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa genotipe berpengaruh nyata terhadap karakter panjang stipula,

panjang ruas cabang, panjang petiol, panjang daun, dan lebar daun ($p < 0,01$) (Tabel 2). Setiap kombinasi persilangan memberikan nilai daya gabung yang berbeda-beda pada kelima karakter morfologi yang diamati.

Genotipe-genotipe yang ditanam memberikan hasil yang berbeda-beda. Pendugaan varian DGU dan DGK digunakan untuk memperkirakan tindakan gen aditif atau non-aditif suatu karakter. Hasil analisis dialel menunjukkan bahwa semua tetua mempunyai nilai daya gabung umum (DGU) positif untuk karakter panjang stipula, panjang ruas cabang, panjang petiol, panjang daun, dan lebar daun. Tetua BP961 mempunyai nilai DGU positif tertinggi untuk karakter panjang petiol daun (0,06) dan panjang daun (1,23). Nilai DGU tertinggi untuk karakter panjang stipula (0,47) dan panjang ruas (0,18) dimiliki oleh tetua Q121 sedangkan tetua BP409 mempunyai nilai DGU tinggi untuk karakter lebar daun (0,75) (Tabel 3). Tetua dengan nilai DGU tinggi dan positif merupakan penggabung terbaik apabila disilangkan dengan tetua yang lain (Budiyanti et al. 2017; Bassuony dan Zsembeli 2020) dan berpotensi untuk menghasilkan keturunan hibrida yang vigor (Ayano et al. 2015). Selain itu, tetua dengan nilai DGU tinggi juga mempunyai intensitas penurunan sifat ke anak lebih besar (Fasahat et al. 2016), dapat dikembangkan menjadi varietas galur murni (*inbreed line*) (Han et al. 2020) dan biasanya dijadikan sebagai pedoman seleksi untuk tetua betina (Gowda et al. 2012).

Nilai DGU tinggi menggambarkan bahwa karakter tersebut dikendalikan oleh tindak gen aditif (Golabadi et al. 2015) sehingga mempunyai tingkat pewarisan sifat tinggi ke keturunannya (Fasahat et al. 2016). Untuk menentukan tetua persilangan, tetua Q121 merupakan penggabung terbaik untuk karakter panjang ruas cabang dan tetua BP961 adalah penggabung terbaik untuk panjang daun. Penggabung terbaik untuk lebar daun adalah tetua BP409. Tetua Q121 dapat direkomendasikan sebagai tetua persilangan untuk karakter dompolan buah karena berpotensi menghasilkan keturunan yang berdompol banyak. Dompolan buah kopi menempel pada ujung ruas cabang sehingga semakin banyak ruas cabangnya maka jumlah dompolan kopi semakin banyak. Panjang ruas cabang dapat dijadikan sebagai kriteria dalam memilih tetua persilangan. Berdasarkan hasil pendugaan nilai daya gabung umum, seleksi tetua persilangan dapat dilakukan pada awal generasi dan akan lebih efektif, sedangkan pendugaan daya gabung khusus bertujuan untuk mendapatkan kombinasi pasangan tetua terbaik pada karakter yang diamati (Ibanda et al. 2018).

Tabel 2. Analisis varian karakter daun dan cabang pada persilangan kopi Robusta

Sumber ragam	d.b.	Kuadrat Tengah				
		Panjang Stipula	Panjang Ruas Cabang	Panjang Petiole Daun	Panjang Daun	Lebar Daun
Ulangan	3	0,02	0,10	0,01	0,39	0,16
Genotipe	5	0,52**	0,31**	0,02**	4,89**	1,46**
Galat	15	0,10	0,04	0,00	0,37	0,14

Keterangan: Angka yang diikuti oleh tanda (**) menunjukkan beda nyata pada taraf kepercayaan $p < 1\%$; d.b. adalah derajat bebas.

Tabel 3. Nilai duga daya gabung umum tiga tetua kopi Robusta

Genotipe	Panjang Stipula	Panjang Ruas Cabang	Panjang Petiole Daun	Panjang Daun	Lebar Daun
BP961	0,12	0,07	0,06	1,23	0,27
Q121	0,47	0,18	0,01	0,05	0,48
BP409	0,35	0,10	0,05	1,18	0,75

Penentuan kombinasi tetua didasarkan pada tujuan program pemuliaan tanaman. Sebagai contoh pada tanaman hias, program pemuliaan pada komoditas tersebut untuk mendapatkan tanaman yang unik dan menarik dan biasanya ukuran daun lebih kecil dan visualisasi bunga dan buah lebih menarik (Ferreira et al. 2015). Pada tanaman kopi Robusta, program pemuliaan saat ini bertujuan untuk mendapatkan genotipe unggul harapan baru yang dapat menunjang mekanisasi perkebunan. Mekanisasi sangat diperlukan untuk menurunkan biaya tenaga kerja agar usaha budidaya kopi Robusta tetap menguntungkan bagi petani. Pendekatan seleksi untuk tujuan tersebut adalah dengan menyeleksi genotipe kopi Robusta yang mempunyai morfologi tajuk kecil, panjang ruas pendek, berproduksi tinggi, dan toleran terhadap kekeringan.

KESIMPULAN

Pengaruh tetua betina terjadi pada karakter panjang ruas cabang di semua kombinasi persilangan dan tidak terjadi pada karakter panjang stipula cabang, panjang petiole daun, panjang daun, dan lebar daun. Tetua persilangan dengan daya gabung terbaik yaitu klon BP961 untuk karakter panjang petiole daun dan panjang daun, klon Q121 untuk karakter panjang stipula dan panjang ruas cabang, klon BP409 untuk karakter lebar daun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia dan Kepala Sub-bagian Kebun Percobaan Kaliwining yang telah memberikan fasilitas pendukung untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexsandro LT, Flavio de FS, Rodrigo BR, Jose RVJ, Josemar DT, Karine MR, Marcos S de M, Camila AS, Victor EG de O, Joao LRL. 2017. Performance of intraspecific hybrids (Kouillou x Robusta) of *Coffea canephora* Pierre. African J Agric Res. 12(35):2675–2680. <https://doi.org/10.5897/ajar2017.12446>.
- Ali F, Kanwal N, Ahsan M, Ali Q, Niazi NK. 2015. Crop improvement through conventional and non-conventional breeding approaches for grain yield and quality traits in *Zea mays*. Life Sci J. 12(4):38–50.
- Anthony F, Dussert S. 1996. Descriptors For Coffee (*Coffea* spp. and *Psilanthus* spp.). Rome (IT): International Plant Genetic Resources Institute.
- Ayano A, Alamirew S, Tesfaye A. 2015. Heterosis and Combining Ability of Fruit and Bean Characters in Ethiopian Origin Coffee (*Coffea arabica* L.) Hybrids. J Biol Agric Healthc. 5(11):203–214.
- Badiaraja PH, Zubaidah S, Kuswantoro H. 2021. Maternal effect of agronomic and morphological characters on cluster structure of F3 soybean lines. Biodiversitas. 22(2):969–982. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220253>.
- Bassuony NN, Zsembeli J. 2020. Inheritance of some flag leaf and yield characteristics by half-diallel analysis in rice crops (*Oryza Sativa* L.). Cereal Res Commun. 586:1–8. <https://doi.org/10.1007/s42976-020-00115-z>.
- Budiyanti T, Fatria D, Noflindawati. 2017. Analysis Diallel for Fruit Size Characters in Papaya Using Method I And II Griffing. Inform Pertan. 26(2):111–120.
- Carvalho HF, Silva FL da, Resende MDV De, Bhering LL. 2019. Selection and genetic parameters for interpopulation hybrids between kouillou and robusta coffee. Bragantia. 78(1):52–59. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2018124>.
- Chettoor AM, Phillips AR, Coker CT, Dilkes B, Evans MMS. 2016. Maternal gametophyte effects on seed development in maize. Genetics. 204(1):233–248. <https://doi.org/10.1534/genetics.116.191833>.
- Debes P V., Fraser DJ, McBride MC, Hutchings JA. 2013. Multigenerational hybridisation and its consequences for maternal effects in Atlantic salmon. Heredity (Edinb). 111(3):238–247. <https://doi.org/10.1038/hdy.2013.43>.
- Ditjenbun. 2017. K o p i. Jakarta (ID): Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

- Fasahat P, Rajabi A, Rad JM, Derera J. 2016. Principles and utilization of combining ability in plant breeding. *Biometrics biostat Int J.* 4(1):1–22. <https://doi.org/10.15406/bbij.2016.04.00085>.
- Ferreira KTC, Rêgo ER, Rêgo MM, Fortunato FLG, Nascimento NFF, De Lima JAM. 2015. Combining ability for morpho-agronomic traits in ornamental pepper. *Acta Hort.* 1087(1995):187–194. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1087.22>.
- Golabadi M, Golkar P, Eghtedary A. 2015. Analyse de l'aptitude à la combinaison pour le rendement fruitier et les caractères morphologiques du concombre de serre (*Cucumis sativus* L.). *Can J Plant Sci.* 95(2):377–385. <https://doi.org/10.4141/CJPS2013-387>.
- Gowda M, Longin CFH, Lein V, Reif JC. 2012. Relevance of specific versus general combining ability in winter wheat. *Crop Sci.* 52(6):2494–2500. <https://doi.org/10.2135/cropsci2012.04.0245>.
- Griffing B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust J Biol Sci.* 9(4):463. <https://doi.org/10.1071/bi9560463>.
- Han YY, Wang KY, Liu ZQ, Pan SH, Zhao XY, Zhang Q, Wang SF. 2020. Research on hybrid crop breeding information management system based on combining ability analysis. *Sustain.* 12(12). <https://doi.org/10.3390/su12124938>.
- Hernández-Bautista A, Lobato-Ortiz R, García-Zavala JJ, Chávez-Servia JL, Mejía-Contreras JA, García-Velázquez JA. 2017. Breeding potential of raspberry primocane selections based on their combining abilities. *Can J Plant Sci.* 98(1):28–37. <https://doi.org/10.1139/cjps-2016-0399>.
- Hulupi R. 2016. Panduan determinasi varietas dan klon kopi indonesia berdasarkan sifat morfologi. *Jember(ID) : Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia*.
- Ibando AP, Malinga GM, Tanzito GA, Ocan D, Badji A, Mwila N, Msiska U, Odong TL, Karungi J, Tukamuhabwa P, et al. 2018. Combining ability and heritability of soybean resistance to groundnut leaf miner. *Euphytica.* 214(10). <https://doi.org/10.1007/s10681-018-2271-7>.
- Isnaini A, Zubaidah S, Kuswanto H. 2020. Maternal effect of agronomical characters of f1 soybean derived from panderman variety and CpMMV-resistant soybean lines. *AIP Conf Proc.* 2231(April). <https://doi.org/10.1063/5.0002443>.
- Lin CC, Potter CJ. 2016. Non-mendelian dominant maternal effects caused by CRISPR/Cas9 transgenic components in *Drosophila melanogaster*. *G3 Genes, Genomes, Genet.* 6(11):3685–3691. <https://doi.org/10.1534/g3.116.034884>.
- Mangoendidjojo W. 2003. *Dasar-Dasar Pemuliaan Tanaman*. Yogyakarta (ID): Kanisius.
- Montagnon C, Leroy T, Cilas C, Charrier A. 2003. Heritability of *Coffea canephora* yield estimated from several mating designs. *Euphytica.* 133(2):209–218. <https://doi.org/10.1023/A:1025543805652>.
- Napitupulu M, Damanhuri. 2018. Keragaman genetik, Fenotipe dan Heritabilitas pada generasi F2 hasil persilangan tanaman padi (*Oryza sativa* L.). *Produksi Tanam.* 6(8):1844–1850.
- Seppälä O, Langeloh L. 2016. Estimating genetic and maternal effects determining variation in immune function of a mixed-mating snail. *PLoS One.* 11(8):1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161584>.
- Singh RK, Chaudhary BD. 1979. *Biometrical methods in quantitative genetic analysis*. Ludhiana (IND): Kalyani Publishers.
- Souza F de F, Caixeta ET, Ferrão LFV, Pena GF, Sakiyama NS, Zambolim EM, Zambolim L, Cruz CD. 2013. Molecular diversity in *Coffea canephora* germplasm conserved and cultivated in Brazil. *Crop Breed Appl Biotechnol.* 13(4):221–227. <https://doi.org/10.1590/s1984-70332013000400001>.
- Stukenbrock EH. 2016. The role of hybridization in the evolution and emergence of new fungal plant pathogens. *Phytopathology.* 106(2):104–112. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-08-15-0184-RVW>.
- Teodoro LPR, Bhering LL, Gomes BEL, Campos CNS, Baio FHR, Gava R, da Silva CA, Teodoro PE. 2019. Understanding the combining ability for physiological traits in soybean. *PLoS One.* 14(12):1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226523>.
- Vivas M, Wingfield MJ, Slippers B. 2020. Maternal effects should be considered in the establishment of forestry plantations. *For Ecol Manage.* 460(January):117909. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117909>.
- Wibowo A. 2019. Potensi dan tantangan kopi di era milenial. *War Pus Penelit Kopi Kakao Indones.* 31(2):16–23.
- Wolf JB, Wade MJ. 2016. Evolutionary genetics of maternal effects. *Evolution (N Y).* 70(4):827–839. <https://doi.org/10.1111/evo.12905>.