



Effectiveness of Fermented Coffee Cherry Liquid Extract on Preference of Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari) at Coffee Plantation

Siska Rasiska^{1*}, Fitri Widiyanti¹, & Nadhira²

¹Department of Plant Pests and Diseases, Faculty of Agriculture, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, West Java, Indonesia, 45363

²Postgraduated from Plant pests and Diseases Interest, Faculty of Agriculture, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, West Java, Indonesia, 45363

*Corresponding Author: s.rasiska@unpad.ac.id

Received October 17, 2023; revised November 28, 2023; accepted December 20, 2023

ABSTRACT

Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei* Ferrari) are the major pest of coffee crops that can cause damage up to 40 percent. One attempt to control CBB was to use an attractant from the coffee cherry, whose potential can be enhanced by fermentation. Fermented coffee will produce metabolites, such as lactic acid, ethanol, and ethyl acetate, which can increase the complexity of the aroma. The study aims to determine the effect of the fermented coffee cherry liquid extract on CBB attractiveness, assess the intensity of the CBB attack, and other insects trapped. The method used in this research is an experiment designed in groups at the site of people's coffee plantations, Sindangsari Village, Sukasari-Sumedang District. The treatment in this study was a fermented coffee cherry liquid extract, with a volume of aquadest (150ml), 90ml, 120ml, and 150ml, thus obtaining 9 treatments, and each repeated 3 times. Other insects trapped were identified in Pest Laboratory-Universitas Padjadjaran. The results showed that the treatment of wet fermented coffee cherry liquid extract and the volume of 120ml and 150ml could trap CBB better than the other treatments, but did not affect the intensity of CBB attack on coffee plants. Other trapped insects were dominated by the Coleoptera order of the Staphilinidae family that acted as predators and Diptera of the Drosophilidae family which acted like herbivores. Thus, fermented coffee fruit liquid extract can be used as a CBB attractant, but its use for the purpose of controlling CBB needs to be well designed so that it does not have a negative impact on natural enemies or other non-target insects.

Keywords: Coffee fermentation, Push-pull strategy, Semiochemical

Keefektifan Ekstrak Cair Buah Kopi Yang Difermentasi terhadap Ketertarikan Penggerek Buah Kopi (*Hypothenemus hampei* Ferrari) di Perkebunan Kopi

ABSTRAK

Penggerek Buah Kopi (*Hypothenemus hampei* Ferrari) merupakan hama utama buah kopi yang dapat menyebabkan kerusakan hingga 40 persen. Salah satu cara mengendalikan PBKo adalah dengan menggunakan atraktan dari buah kopi mengandung senyawa volatil organik yang dapat menarik PBKo. Buah kopi yang difermentasi akan memproduksi metabolit, berupa asam laktat, etanol dan etil asetat yang dapat meningkatkan kompleksitas aroma. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek dari ekstrak cair buah kopi yang difermentasi terhadap jumlah PBKo yang terperangkap, intensitas serangan PBKo dan serangga lain yang turut terperangkap. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen yang dirancang secara berkelompok di perkebunan kopi rakyat, Desa Sindangsari, Kecamatan Sukasari, Kabupaten Sumedang. Perlakuan dalam penelitian ini adalah ekstrak cair buah kopi yang difermentasi basah dan semi basah, dengan volume 0ml (akuades, 150ml), 90ml, 120ml, dan 150ml, sehingga diperoleh 9 perlakuan dan masing-masing diulang sebanyak 3 kali. Hama lain yang ikut terperangkap diidentifikasi di Laboratorium Hama, Universitas Padjadjaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada perlakuan ekstrak cair buah kopi yang difermentasi secara basah dan volume 120ml dan 150ml dapat memerangkap PBKo lebih baik dibandingkan dengan perlakuan lainnya, namun tidak memengaruhi intensitas serangan PBKo pada tanaman kopi. Serangga lain yang turut terperangkap didominasi oleh ordo Coleoptera dari famili Staphilinidae yang berperan sebagai predator dan Diptera dari famili Drosophilidae yang berperan sebagai herbivor. Dengan demikian, ekstrak cair buah kopi hasil fermentasi dapat digunakan sebagai atraktan PBKo, namun perlu didisain dengan baik agar tidak berdampak negatif terhadap serangga bukan sasaran lainnya.

Kata Kunci: Fermentasi kopi, Semiokimia, Strategi tarik-ulur

PENDAHULUAN

Kopi (*Coffea* sp.) merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki nilai ekonomi yang penting bagi 2,2 juta masyarakat Indonesia (Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2023), dan melalui ekspor ke pasar dunia (Sari *et al.*, 2016; Wijayanti, 2020; Desnky *et al.*, 2018; Alexander & Nadapdap, 2019; Nopriyandi & Haryadi, 2017) kopi telah berkontribusi terhadap Produk Domestik Bruto hingga 16,15 persen dari komoditas non-migas (Kementan RI., 2023; Kementrian Informasi dan Komunikasi RI, 2022).

Penggerek buah kopi (PBKo, *Hypothenemus hampei* Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytidae) merupakan salah satu hama utama tanaman kopi yang dapat menyebabkan kerusakan pada buah kopi hingga 10%-40% (Direktorat Jendral Perkebunan, 2018; *Centre of Agriculture and Bioscience International*, 2018), dan kerugian yang dialami petani dapat mencapai 40% sampai 90% (Muliani, 2019). Kerusakan buah kopi yang diakibatkan oleh PBKo dapat menurunkan kualitas dan aroma buah kopi (Jaramillo *et al.*, 2013; Ruiz-Diaz *et al.*, 2023). Trend menunjukkan bahwa luas serangan PBKo terus meningkat (*International Coffee Organization*, 2021; CABI, 2022), sehingga perlu segera dikendalikan.

Teknologi pengendalian hama PBKo diantaranya adalah kultur teknik, biologi, kimiawi dan sanitasi kebun (Castro *et al.*, 2017). Namun, strategi tarik-ulur (*push pull strategy*) merupakan salah satu strategi pengendalian hama PBKo yang paling tepat, murah dan ramah lingkungan (Njihia *et al.*, 2014; Castro *et al.*, 2018; Balaso *et al.*, 2019), dengan cara memanipulasi perilaku hama dan musuh alaminya melalui rangsangan yang terintegrasi (Cook *et al.*, 2007). Konsep tarik-ulur ini merupakan kombinasi antara rangsangan penolak (melindungi tanaman dengan menjauhkannya dari hama yang disebut repelen) dan penarik (menarik hama ke area lain yang disebut dengan atraktan) secara bersamaan yang ditujukan untuk mengendalikan distribusi dan kelimpahan hama (Cook *et al.*, 2007; Reddy & Guerrero, 2010; Mbuba & Shechambo, 2023).

Strategi tarik-ulur diharapkan tidak hanya dapat mengendalikan hama, juga dapat menarik musuh alami, sehingga pengendalian biologis dapat bekerja, bahkan dapat digunakan sebagai upaya konservasi biodiversitas (Landis *et al.*, 2017; Ayelo *et al.*, 2021; Imrei *et al.*, 2021), dengan cara memanipulasi agroekosistem dengan kimia ekologi (*Chemical ecology*) (Kansman *et al.*, 2023; Rodriguez-Saona *et al.*, 2012; Khan *et al.*, 2008). Atraktan juga dapat digunakan sebagai alat untuk memonitor keberadaan hama dan musuh alami di suatu habitat (de La Rosa-Cancino *et al.*, 2023), terutama perangkap yang berbasis alkohol (*bait trap based alcohol*) (Aristizabal *et al.*, 2015; Aristizabal *et al.*, 2017; Rostaman & Prakoso, 2020; Carvalho *et al.*, 2023; Bui *et al.*, 2022; Johnson *et al.*, 2018; Kawabata *et al.*, 2013; Myrie *et al.*, 2023; Suu *et al.*, 2021; Mauricio, 2015; Ruiz-Diaz

& Rodrigues, 2021; Hamilton *et al.*, 2021; Basri *et al.*, 2023; Fahmi, 2020; Ruiz-Diaz & Rodrigues., 2020) sehingga pengendalian PBKo yang tepat dapat segera dilakukan agar tidak terjadi kerusakan yang parah pada hasil produksi.

Buah kopi berpotensi untuk dikembangkan sebagai atraktan karena mengandung senyawa volatil organik (*Volatile Organic Compound*), berupa spiroacetal diantaranya conophthorin, chalcogran, frontalin, dan sulcaton, yang konsentrasinya tergantung pada tingkat kematangan buah kopi (Ortiz *et al.*, 2004), yang didominasi oleh alkohol, diikuti oleh keton dan aldehid (Blassioli-Moraes *et al.* 2019; Ruiz-Diaz, 2023). Selain atraktan, ditemukan pula senyawa kimia yang bersifat repelen untuk mengusir PBKo dari tanaman kopi, yaitu verbenon dan limonen. Spiroacetal buah kopi yang mengandung frontalin dan 1,6-dioxaspiro serta decane (brocain) juga dapat digunakan untuk PBKo mengkolonisasi inang, namun emisi frontalin dan conophthorin (berfungsi sebagai *push*) akan berkurang emisinya jika jumlah betina dalam satu buah ceri terlalu banyak (2-6 betina), sedangkan brocain (berfungsi sebagai *pull*) dapat berfungsi sebagai atraktan (jika dosisnya rendah) dan repelen (jika dosisnya tinggi) (Vega *et al.*, 2017).

Namun, potensi buah kopi ini di Indonesia belum banyak dikembangkan sebagai atraktan, padahal sumberdayanya melimpah, terutama di saat panen raya. Substrat dari limbah pertanian dan kehutanan yang difermentasi (FPE, *Fermented Plant Extract*) dapat meningkatkan aktivitas insektisida, antifeedant dan repelen (Omarini *et al.*, 2020). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ekstrak buah buahan yang difermentasi dapat meningkatkan ketertarikan hama. Ekstrak buah persik yang difermentasi dapat meningkatkan ketertarikan hama buah dan biji *Carpophilus* sp (*C. davidson* Dobson, *C. hemipterus*, dan *C. humeralis*) (Coleoptera: Nitidulidae), dibandingkan pada ekstrak apel, aprikot, jeruk bali dan bubur jeruk bali (Mansfield & Hossain, 2004). Ekstrak buah buahan yang difermentasi juga dapat menarik kutu pemakan darah *Tiatoma* sp (*T. infestans* Klug, *T. pallidipennis* Stal., dan *Rhodnius prolixus* Stal) (Hemiptera: Heteroptera: Reduviidae) yang berperan sebagai vektor penyakit *Trypanosoma cruzi* Chagas, yang dapat menyebabkan pembengkakan dan demam bahkan gagal jantung (Alavez-Rosas *et al.*, 2023). Ekstrak daun *Calatropis gigantea* dan *Crescentia cujete* yang difermentasi dapat menurunkan populasi *Sciporphaga innotata* dan *Cnaphalocrosis medinalis* serta kerusakan tanaman padi, dan tidak berdampak buruk terhadap musuh alami famili Coccinellidae, Aranea, Zygoptera, dan Paederinae, serta dapat meningkatkan produksi (Sjam *et al.*, 2023). Campuran extract daun mimba (*Azadirachta indica* A Juss.) dan bawang putih liar (*Tulbaghia violacea*) dapat mengurangi kepadatan populasi kutu putih (*Bemisia tabaci*, Homoptera: Aleyrodidae) dan aphid (Homoptera) pada tomat (Nzanza & Mashela, 2012)

Proses fermentasi pada kopi dimaksudkan untuk menghilangkan lendir pada buah kopi, namun fermentasi juga dapat meningkatkan kualitas kopi dengan menghasilkan perubahan kimiawi yaitu pembentukan prekursor citarasa (Schwan *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2015), seperti heptadecanol, 4-hydroxy-2-methylacetophenone, 7-methyl-4-octanol, dan guaiacol (Martinez *et al.*, 2019), dan aroma pada kopi (da Silva Vale *et al.*, 2019). Buah kopi yang difermentasi akan memproduksi metabolit, berupa asam laktat, etanol dan etil asetat yang dapat meningkatkan kompleksitas aroma (senyawa volatil), seperti benzeneacetaldehyd, 2-heptanol, dan benzylalcohol (da Silva Vale *et al.*, 2019). Menurut Martinez *et al.* (2019), buah kopi yang difermentasi dengan menggunakan mikroorganisme menghasilkan senyawa yang mudah menguap, seperti 4-etenil-1, 2-dimetoksibenzena, heptadecanol, 4-hidroksi-2-metilasetofenon, dan 1-butanol, 2-metil. Rasiska *et al.* (2022) menyatakan bahwa ekstrak cair buah kopi yang terinfestasi PBKo dan tidak difermentasi belum cukup menarik PBKo, dan tidak berpengaruh terhadap intensitas serangannya, namun dapat menarik serangga lainnya diantaranya ordo Diptera famili Drosophilidae yang berperan sebagai herbivor dan ordo Hymenoptera famili Braconidae yang berperan sebagai parasitoid. Dengan demikian, diharapkan proses fermentasi dapat meningkatkan emisi VOC dari buah kopi yang berfungsi sebagai atraktan PBKo. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui respons ketertarikan PBKo terhadap ekstrak cair buah kopi hasil fermentasi.

BAHAN DAN METODE

Metode yang digunakan di dalam penelitian ini adalah eksperimen dengan Rancangan Acak Kelompok, yang terdiri dari sembilan perlakuan, yaitu ekstrak cair buah kopi yang difermentasi secara basah dengan volume 90ml, 120ml, dan 150ml, serta ekstrak buah kopi yang difermentasi secara semi-basah dengan volume 90ml, 120ml, dan 150ml. Sebagai perbandingan, maka digunakan perlakuan kontrol (akuades 150ml), Koptan (10ml etanol) dan Brocap (20ml etanol). Masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali, sehingga diperoleh 27 unit perlakuan.

Buah kopi sebanyak 1000gr yang diperoleh dari perkebunan kopi rakyat Palintang dikemas ke dalam karung, kemudian dibawa ke Laboratorium Pestisida dan Toksikologi Lingkungan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, untuk disortir dan dicuci. Buah kopi yang telah bersih selanjutnya dipersiapkan untuk dilakukan fermentasi secara anaerobik, dengan cara memasukkan 500gr ke dalam wadah ember berukuran 1000ml berpenutup untuk dilakukan fermentasi basah (perendaman selama 24jam, volume air 1000ml) dan 500gr lainnya untuk fermentasi semi basah (perendaman selama 12jam, volume air 500ml) (Schwan *et al.*, 2011). Setelah fermentasi, buah kopi dikeringanginkan selama tiga hari sampai kadar airnya berkurang hingga 11-12% (Brando & Brando, 2014; Schwan *et al.*, 2011), kemudian dicacah halus dengan

menggunakan blender. Untuk proses ekstraksi atau distilasi, sebanyak 500gr bubuk buah kopi hasil fermentasi kemudian dimasukkan ke dalam labu didih 5000ml yang diberi air 1000ml. Labu didih dipanaskan pada suhu 78°C-99°C. Distilasi dilakukan selama 8 jam hingga senyawa volatil yang terkandung di dalam buah kopi hasil fermentasi menguap dan dihentikan sebelum mencapai titik didih air, dan uap air akan melewati tabung kondensor dan mengembun. Embun akan mengalir ke tabung destilat, sehingga akan terkumpul ekstrak cair buah kopi yang difermentasi. Hasil ekstraksi tersebut lalu ditampung pada wadah botol kaca hitam serta ditutup menggunakan *aluminium foil* dan disimpan di dalam lemari pendingin.

Ekstrak cair buah kopi yang difermentasi tersebut diaplikasikan di perkebunan kopi rakyat Desa Sindangsari, Kecamatan Sukasari Kabupaten Sumedang, masing-masing blok berukuran 10 x 10 meter, sehingga luasan lahan yang digunakan adalah 300 m². Perangkat menggunakan botol plastik berukuran 1500 ml yang telah dimodifikasi bentuknya. Ekstrak cair buah kopi yang difermentasi dimasukkan ke dalam plastik bening berukuran 7x20 cm, yang bagian atasnya diikat dengan benang kasur dan dilubangi dengan menggunakan jarum sebanyak 15lubang. Plastik tersebut kemudian digantungkan di dalam botol plastik bagian atas, dan dibagian bawahnya diisi dengan air:deterjen dengan konsentrasi 1%. Botol perangkat digantungkan di atas tiang kayu setinggi 1,5m.

Pengamatan dan pergantian ekstrak cair buah kopi hasil fermentasi sebagai atraktan PBKo dilakukan setiap minggunya, sedangkan Koptan (10ml etanol) dan Brocap (20ml berisi methanol_ etanol dengan perbandingan 3:1) tidak ada pergantian, karena memiliki ketahanan hingga 1,5 bulan sampai 2 bulan. Sebelum digunakan, Koptan yang berkemasan plastik dilubangi dengan menggunakan jarum sebanyak 3 lubang dan diaplikasikan dengan cara memasukkannya ke dalam perangkat yang telah didesain oleh Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. Brocap yang berkemasan botol plastik kecil berukuran 20ml dibuka tutupnya dan diletakkan di tengah perangkat berwarna merah yang telah didesain oleh *Agricultural Research for The Sustainable Development*.

Data yang diperoleh berupa jumlah PBKo yang terperangkap, intensitas serangan pada buah kopi dan serangga lain yang terperangkap yang diamati selama 6 minggu. Serangga yang terperangkap dibawa ke laboratorium Hama, Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran untuk dilakukan identifikasi secara morfologi hingga diketahui familinya.

Pengamatan buah kopi yang terserang dihitung dengan cara menetapkan dua sampel tanaman kopi yang berada di antara perangkat. Pada semua sampel tanaman dipilih empat cabang pada setiap pohon sampel dengan posisi cabang berada di tengah bagian pohon dan keempat cabang tersebut searah dengan arah mata angin (utara, selatan, barat, dan timur).

Selanjutnya dihitung persentase buah yang sehat dan buah yang terserang hama PBKo menggunakan rumus:

$$P = \frac{A}{A + B} \times 100\% \quad \dots (1)$$

Keterangan:

P = persentase serangan

A = jumlah buah kopi yang terserang

B = jumlah buah kopi keseluruhan

Pengamatan serangga lain yang terperangkap dilakukan dengan menghitung serangga lain yang terperangkap lalu mengidentifikasi serangga tersebut berdasarkan acuan buku Kunci Determinasi Serangga (Subyanto & Sulthoni, 1991). Pengamatan dilakukan terhadap imago PBKo yang terperangkap, intensitas

serangan PBKo, dan serangga lain yang terperangkap. Data dianalisis dengan analisis ragam dan Uji Jarak Berganda Duncan dengan taraf kepercayaan 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Ekstrak Cair Buah Kopi Hasil Fermentasi terhadap Ketertarikan PBKo

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak cair buah kopi hasil fermentasi berpotensi sebagai atraktan PBKo. Hal ini dilihat dari analisis statistik yang menyatakan bahwa sejumlah PBKo tertarik pada ekstrak cair buah kopi hasil fermentasi basah dibandingkan dengan kontrol, namun tidak berbeda nyata dengan pembandingan (Tabel 1.). Volume ekstrak cair buah kopi hasil fermentasi basah yang paling banyak menarik PBKo adalah 120ml dan 150ml.

Tabel 1. Pengaruh Ekstrak Cair Buah Kopi yang Difermentasi terhadap ketertarikan PBKo.

Perlakuan	Jumlah imago hama PBKo yang terperangkap (ekor) pada pengamatan ke-					
	1	2	3	4	5	6
Akuades, 150ml	0,00 a	0,33 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a	0,00 a
Fermentasi basah, 90ml	1,67 ab	1,67 a	1,33 abc	1,00 ab	1,00 ab	1,00 ab
Fermentasi basah, 120ml	2,33 b	1,33 a	1,67 abc	0,33 ab	1,67 ab	4,00 cd
Fermentasi basah 150ml	2,00 ab	2,00 a	1,33 abc	2,33 cd	2,33 ab	3,67 bcd
Fermentasi semi-basah, 90ml	2,00 ab	2,00 a	0,33 ab	0,33 ab	1,00 ab	1,33 abc
Fermentasi semi-basah 120ml	1,67 ab	1,67 a	0,00 a	0,67 ab	1,33 ab	1,67 abc
Fermentasi semi basah 150ml	1,00 ab	2,00 a	0,33 ab	0,33 ab	1,33 ab	1,67 abc
Koptan (etanol, 10ml)	2,33 b	2,67 a	2,33 bc	1,33 bc	3,67 bc	2,00 abc
Brocap (etanol, 20ml)	2,33 b	2,33 a	3,00 c	3,00 d	5,33 c	6,00 d

Keterangan: Rata-rata jumlah imago yang terperangkap ditransformasi menggunakan akar kuadrat sebelum dianalisis sidik ragam. Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf kepercayaan 5% .

Buah kopi terutama biji dan kulit buah kopi mengandung berbagai senyawa aktif yang bersifat volatil yang dapat menarik PBKo betina untuk datang dan beraktivitas makan maupun oviposisi (Ramirez-Martinez, 1988; Ramirez-Coronel *et al.*, 2004; Hafsah, *et al.*, 2020). PBKo betina menyukai senyawa volatil pada kulit buah kopi terutama 2-heptanone, 2-heptanol, 3-ethyl-4- methylpenta-nol, phenyl ethyl alcohol, methyl salicylate, and α -copaene (Cruz Roblero & Malo, 2013), sedangkan untuk oviposisi serangga betina PBKo menyukai senyawa limonene, (E)-ocimene, conophthorin, (E)- and (Z)-linalool oxide, linalool, (E)-4,8-dimethyl-1,3,7-nonatriene, methyl salicylate, geranylacetone, β -acoradiene, α -acoradiene, (E,E)- α -farnesene, (E,E)-4,8,12-trimethyl-1,3,7,11-tridecatetraene dan α -pinene (Blassioli Moraes *et al.*, 2019). Pada beberapa kematangan buah kopi diperoleh senyawa koiromon berupa 3 etil-4-metil pentanol dan metil salisilat yang berfungsi sebagai atraktan.

Fermentasi pada buah kopi merupakan salah satu proses pengolahan (pascapanen) terutama pengolahan basah yang dimaksudkan untuk menghilangkan lendir (*mucilage*) yang masih menempel pada biji dan membantu meningkatkan

citarasa seduhan kopi (de Melo Pereira *et al.*, 2016). Lendir pada biji kopi mengandung gula, sehingga fermentasi dengan mikroorganisme dimaksudkan untuk mendegradasi lendir dengan menghasilkan enzim (pektinase), asam dan alkohol (Shomashekar *et al.*, 2013). Setiap buah kopi memiliki mikroorganisme endogen yang berguna ketika proses fermentasi dengan aktivitas pektinolitik, yang teridentifikasi diantaranya bakteri Klebsiella, Erwinia, Bacillus, Lactobacillus, dan ragi seperti Pichia, Saccharomyces, dan Candida (Elhalis *et al.*, 2023).

Fermentasi basah dapat meningkatkan kualitas produk kopi yang dihasilkan (Huch & Franz, 2015; Farah & Farah, 2019; da Mota *et al.*, 2020). Cruz-O'Byrne *et al.*(2021) menyatakan bahwa pada kopi yang difermentasi basah diperoleh 695 genus bakteri dan 156 genus cendawan, yang didominasi oleh bakteri asam laktat (Leuconostoc), ragi Kazachstania, dan bakteri asam asetat (Acetobacter). Mikroorganisme yang digunakan untuk fermentasi kopi memiliki karakteristik sebagai berikut: mampu mendegradasi lendir, toleran terhadap stres selama fermentasi, mampu menekan pertumbuhan jamur patogen dan

berefek terhadap kualitas sensori kopi (Haile & Kang, 2019; Lee *et al.*, 2015).

Pengaruh Ekstrak Cair Buah Kopi Hasil Fermentasi terhadap Intensitas Serangan PBKo

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa ekstrak cair buah kopi hasil fermentasi tidak memengaruhi intensitas serangan PBKo dengan tidak

adanya perbedaan yang nyata antara kontrol dengan perlakuan ekstrak cair buah kopi hasil fermentasi, bahkan antara kontrol dan pembandingan terhadap persentase serangan PBKo (Tabel 2.). Pengaplikasian ekstrak cair buah kopi yang difermentasi dapat menarik sejumlah kecil PBKo, namun tidak memengaruhi intensitas serangan buah kopi yang diakibatkan oleh PBKo.

Tabel 2. Pengaruh ekstrak cair buah kopi yang difermentasi terhadap intensitas serangan PBKo.

Perlakuan	Intensitas serangan hama PBKo (%) pada pengamatan ke-					
	1	2	3	4	5	6
Akuades (150ml)	0,22 a	1,33 a	1,31 a	1,33 a	0,56 a	3,65 a
Fermentasi basah, 90ml	0,22 a	0,00 a	0,00 a	3,52 a	8,04 a	10,07 a
Fermentasi basah, 120ml	3,28 a	3,70 a	7,64 a	8,14 a	5,01 a	13,71 a
Fermentasi basah 150ml	1,47 a	4,53 a	3,66 a	1,58 a	3,16 a	5,86 a
Fermentasi semi-basah, 90ml	0,22 a	1,11 a	0,95 a	2,55 a	4,67 a	5,13 a
Fermentasi semi basah, 120ml	0,40 a	1,46 a	1,92 a	5,22 a	5,24 a	6,13 a
Fermentasi semi-basah, 150ml	2,29 a	3,88 a	7,24 a	8,14 a	4,67 a	5,54 a
Koptan (etanol 10ml)	3,36 a	3,64 a	8,98 a	9,87 a	8,48 a	9,09 a
Brocap (etanol 20ml)	1,01 a	1,50 a	5,52 a	5,60 a	7,97 a	6,14 a

Keterangan: Rata-rata intensitas serangan PBKo telah ditransformasi menggunakan Arcsin sebelum dianalisis sidik ragam. Angka-angka pada kolom yang sama yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf kepercayaan 5%.

Rusch *et al.* (2013) menyatakan bahwa intensitas serangan hama yang menyebabkan kerusakan tanaman dipengaruhi oleh kelimpahan hama, pengelolaan tanaman, diantaranya pemupukan, dan kemampuan penyebaran hama. Pereira *et al.* (2012) menyatakan bahwa kelimpahan PBKo pada perangkap sangat rendah pada saat pematangan buah kopi, dan akan meningkat pada saat buah kopi kering yang tertinggal di tanaman atau di tanah. Kelimpahan PBKo terbanyak pada buah yang gugur (Baker *et al.*, 1992; Mendesil *et al.*, 2004; Casal *et al.*, 2000; Vega *et al.*, 2020; Partelli *et al.*, 2012). Kelimpahan PBKo yang terperangkap pada penelitian ini sangat rendah, yaitu pada kisaran 0,00% hingga 4,00% dan intensitas serangannya juga rendah, yaitu pada kisaran 0,00% hingga 13,71%. Hal ini diduga terkait dengan pematangan buah dan kandungan senyawa volatilnya. Pada setiap tahap kematangan, buah kopi mengeluarkan zat volatil yang didominasi oleh etanol dibandingkan dengan senyawa lainnya (Ortiz *et al.*, 2004). Semakin matang buah kopi, maka akan semakin tinggi kandungan zat volatilnya yang didominasi oleh ester, alkohol, keton dan aldehid, dan yang paling rendah adalah monoterpen.

Pengelolaan tanaman juga dapat memengaruhi intensitas serangan PBKo. Kerusakan buah kopi yang dikelola di perkebunan kopi dataran rendah (kopi robusta) Ethiopia yaitu sebesar 37,5%, dengan rata-rata lubang per buah hingga 10,88, dan rata-rata jumlah PBKo dewasa per buah hingga 7,55 (Asfaw *et al.*, 2017). Di Puerto Rico, buah yang berlubang berkisar antara 0-95% dan jumlah PBKo per buah berkisar 1-34

individu, keduanya dipengaruhi oleh ketinggian tempat (Marino *et al.*, 2013). Selain itu, umpan yang berisi campuran atraktan PBKo berbasis alkohol (etanol:metanol 1:3) dapat menangkap PBKo hingga 0-3.854 ekor/perangkap/15 hari, dengan kerusakan yang cukup signifikan berkisar antara 0-287 buah rusak/perangkap/15 hari ($R^2=0,88$, $P<0,001$) (Fernandes *et al.*, 2015),

Intensitas serangan hama juga dipengaruhi oleh cuaca dan kemampuan penyebaran PBKo. Cuaca berpengaruh terhadap dinamika populasi PBKo (Mendesil *et al.*, 2004; Ferreira *et al.*, 2000; Rodrigues *et al.*, 2014; Mustari *et al.*, 2021; Jayakumar *et al.*, 2016), dan penyebarannya tergantung pada ketinggian tempat (Mendesil *et al.*, 2004; Constantino *et al.*, 2021). Infestasi PBKo tertinggi (19,71%) pada kopi robusta dibandingkan dengan kopi arabika, dan puncaknya pada musim hujan dan dapat menjadi sumber inokulum untuk musim selanjutnya (Irulandi *et al.*, 2007).

Pengaruh Ekstrak Buah Kopi Hasil Fermentasi terhadap Ketertarikan Serangga Lain

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak buah kopi hasil fermentasi tidak hanya dapat menarik PBKo, tetapi juga menarik sejumlah serangga lainnya (Tabel 3.). Serangga lain yang tertarik terhadap ekstrak cair buah kopi hasil fermentasi adalah dari ordo Coleoptera (11 famili), Diptera (7 famili), Hemiptera (4 famili), Hymenoptera (3 famili), Lepidoptera (3 famili), Orthoptera, Strepsiptera, Thysanoptera, Araneae, dan Blattodea.

Tabel 3. Pengaruh ekstrak cair buah kopi hasil fermentasi terhadap ketertarikan serangga lain

Ordo	Famili	Pera fungsional	Perlakuan									Jumlah
			P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
Araneae	Arachidae	Predator	2	0	1	0	1	1	0	1	2	8
Blattodea	Blattidae	Predator	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	Termitidae	Saprovora	0	0	1	1	2	0	1	0	3	8
Coleoptera	Bostrichidae	Herbivor	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	Chrysomelidae	Herbivor	1	0	1	0	0	1	0	0	0	3
	Cerambycidae	Herbivor	0	1	0	1	1	0	0	2	0	5
	Curculionidae	Herbivor	0	1	0	1	0	0	1	1	0	4
	Nitiluidae	Herbivor	1	0	0	2	0	0	0	3	1	7
	Phalacridae	Herbivor	0	4	1	1	2	1	1	0	1	11
	Scarabeidae	Herbivor	0	0	2	0	1	0	0	0	1	4
	Staphylinidae	Predator	0	2	5	3	2	3	0	5	3	23
	Tenebrionidae	Saprovora	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2
	Diptera	Culicidae	Herbivor	0	2	1	1	2	1	2	3	3
Dolicophodidae		Predator	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Drosophilidae		Herbivor	0	3	3	2	4	2	5	1	1	21
Psychodidae		Herbivor	2	3	3	4	3	0	1	0	3	19
Mycetophilidae		Polinator	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2
Therevidae		Predator	0	2	0	0	1	2	2	3	0	10
Tipulidae		Polinator	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
Dermaptera	Anisolabidae	Saprovora	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2
Hemiptera	Aphididae	Herbivor	0	0	0	1	0	0	1	0	1	3
	Aradidae	Predator	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Miridae	Predator	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2
	Tingidae	Herbivor	0	1	2	1	1	0	0	2	0	7
Hymenoptera	Formicidae	Predator	2	3	4	4	1	3	1	0	0	18
	Mymaridae	Parasitoid	1	1	0	3	0	0	1	0	2	8
	Tiphiidae	Parasitoid	0	0	4	1	0	1	0	4	4	14
Lepidoptera	Crambidae	Herbivor	0	1	1	2	1	0	0	0	0	5
	Noctuidae	Herbivor	0	1	0	1	3	3	1	0	0	9
	Nymphalidae	Polinator	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Orthoptera	Gryllidae	Saprovora	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Strepsiptera	Stylopidae	Parasitoid	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
Thysanoptera	Thripidae	Herbivor	0	2	3	0	1	1	0	0	4	11
Jumlah			9	30	36	30	29	20	17	29	32	232

Gambar 3. Gejala embun tepung pada daun tanaman tomat percobaan preventif di berbagai perlakuan pada 21 HSI: a) *Bacillus subtilis*; b) *B. subtilis* & *Trichoderma*; c) *Trichoderma*; d) Fungisida; e) Kontrol.

Berdasarkan kelimpahannya di antara jenis predator lebih banyak terperangkap di dalam serangga, maka ordo Coleoptera dari famili perangkap berantrakan ekstrak cair buah kopi hasil Staphylinidae (10, 004%) yang berperan sebagai fermentasi dibandingkan serangga lainnya, dan disusul

oleh ordo Diptera famili Drosophilidae (9,170%) dan Psychodidae (8,297%) yang berperan sebagai herbivor (Tabel 3.). Hal ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa pengaruh dari buah yang difermentasi tidak hanya menarik bagi hama utama, namun juga dapat memerangkap serangga lainnya yang berperan sebagai parasitoid (*wasp*), diantaranya *Vespa crabro* L., *Vespula germanica* (F.), dan *V. vulgaris* (L.), terutama yang betina dari kasta pekerja (Dvorak & Landolt, 2006), dan juga Drosophilidae (Noble *et al.*, 2017; Paragas *et al.*, 2021; Sa'diyah dkk., 2019). Buah buahan yang difermentasi, seperti pisang, apel dan peach dapat menarik beberapa jenis serangga, yang didominasi oleh Noctuidae (Iqbal & Feng, 2020). Rasiska dkk. (2022) juga menyatakan bahwa ekstrak cair buah kopi yang terinfestasi PBKo tidak hanya menarik bagi PBKo, namun juga menarik bagi serangga lainnya, diantaranya Diptera dari famili Drosophilidae yang berperan sebagai hama dan Hymenoptera dari famili Braconidae yang berperan sebagai parasitoid.

Dalam konteks pengendalian hama, penggunaan atraktan bertujuan untuk melokalisasi hama agar lebih mudah untuk dikendalikan, dengan menggunakan produk lokal yang terus dikembangkan desainnya agar efektif dan efisien, sehingga tepat sasaran, berbiaya rendah, dan mudah untuk digunakan oleh petani (Candia *et al.*, 2019). Akan tetapi, beberapa perangkap beratraktan, terutama ekstrak buah buahan yang difermentasi (termasuk diantaranya buah kopi) cenderung menarik juga bagi jenis serangga lainnya yang bukan sasaran. Sebaiknya, pengendalian nabati (seperti repelen, antifeedant, toksikan, penghambat pertumbuhan, kemosterilan, dan atraktan) ditujukan hanya untuk dapat mengendalikan hama sasaran, dan tidak memusnahkan musuh alami yang menguntungkan, serta menyediakan makanan bebas residu dan lingkungan yang aman (Hikal *et al.*, 2017). Dengan demikian, produk atraktan ini perlu dilakukan perbaikan desain agar tidak berdampak terhadap serangga lainnya, terutama serangga yang bermanfaat, seperti musuh alami dan polinator.

SIMPULAN

Ekstrak cair buah kopi hasil fermentasi dapat menarik hama PBKo, namun tidak memengaruhi persentase kerusakan buah kopi. Ekstrak cair buah kopi hasil fermentasi basah paling banyak menarik PBKo, terutama pada volume 120ml dan 150ml. Ekstrak cair buah kopi hasil fermentasi juga dapat menarik serangga lainnya, diantaranya ordo Coleoptera (11 famili), Diptera (7 famili), Hemiptera (4 famili), Hymenoptera (3 famili), Lepidoptera (3 famili), Orthoptera, Strepsiptera, Thysanoptera, Araneae, dan Blattodea, dan yang paling banyak terperangkap dari ordo Coleoptera dari famili Staphylinidae (10,004%) yang berperan sebagai predator, terutama pada atraktan ekstrak cair buah kopi hasil fermentasi basah dengan volume 120ml. Dalam perspektif pengendalian PBKo, penggunaan ekstrak cair tersebut harus direncanakan

dengan baik tidak berdampak negatif terhadap musuh alaminya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander I, & Nadapdap HJ. 2019. Analisis daya saing ekspor biji kopi Indonesia di pasar global tahun 2002-2017. *JSEP (Journal of Social and Agricultural Economics)*, 12(2), 1-16. <https://doi.org/10.19184/jsep.v12i2.11271>
- Alavez-Rosas D, Vargas-Abasolo R, Albores-Flores C I, Meneses-Arias MG, Gutiérrez-Cabrera AE, Benelli G, ... & Córdoba-Aguilar A. (2023). Chemical ecology of triatomines: current knowledge and implications for Chagas disease vector management. *Journal of Pest Science*, 1-14. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10340-023-01678-6>
- Aristizabal Luis F, Jimenez M, Bustillo AE, Trujillo HI, & Arthurs SP. 2015. Monitoring coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae), populations with alcohol-baited funnel traps in coffee farms in Colombia. *Florida Entomologist* 98(1):381-383. <https://doi.org/10.1653/024.098.0165>
- Aristizabal LF, Johnson M, Shriner S, Hollingsworth R, Manoukis NC, Myers R, & Arthurs SP. 2017. Integrated pest management of coffee berry borer in Hawaii and Puerto Rico: Current status and prospects. *Insects*, 8(4), 123 <https://doi.org/10.3390/insects8040123>
- Asfaw E, Mendesil E, & Mohammed A. 2019. Altitude and coffee production systems influence extent of infestation and bean damage by the coffee berry borer. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 52(1-2), 170-183. <http://dx.doi.org/10.1080/03235408.2019.1594541>
- Ayelo PM, Pirk CW, Yusuf AA, Chailleux A, Mohamed SA, & Deletre E. 2021. Exploring the kairomone-based foraging behaviour of natural enemies to enhance biological control: A review. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 641974. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.641974>
- Baker PS, Barrera JF, & Rivas A. 1992. Life-history studies of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*, Scolytidae) on coffee trees in southern Mexico. *Journal of Applied Ecology*, 656-662. <https://doi.org/10.2307/2404473>
- Balaso GM, Nalini C, Yankit P, & Thakur P. 2019. Push-pull strategy: novel approach of pest management. *Journal Entomology Zoology Study*, 7(5), 220-223. <https://www.entomoljournal.com/archives/2019/vol7issue5/PartD/7-4-284-256.pdf>
- Basri B, Nasamsir N, & Meilin A. 2023. Pengaruh Ketinggian Perangkap dan Komposisi Bahan Atraktan Terhadap Serangan Hama Penggerek Buah Kopi. *Jurnal Media Pertanian*, 8(1), 98-105. <http://dx.doi.org/10.33087/jagro.v8i1.192>

- Blassioli-Moraes MC, Michereff MFF, Magalhães DM, Morais SD, Hassemer MJ, Laumann RA, & Borges M. 2019. Influence of constitutive and induced volatiles from mature green coffee berries on the foraging behaviour of female coffee berry borers, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). *Arthropod-Plant Interactions*, 13, 349-358. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11829-018-9631-z>
- Brando CH, & Brando MF. (2014). Methods of coffee fermentation and drying. *Cocoa and coffee fermentations*, 367-396. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/b17536-15/methods-coffee-fermentation-drying-casos-br-andoandmaria-er-na-da-br-ando>
- Bui S, Doan, & Huy DTN. 2022. Infestation and evaluation efficacy of monitoring by alcohol trap and application of local *Beauveria bassiana* for control of coffee berry borer in the north-western region of vietnam. *Annals of Biology*, 38(1), 96-101. <https://agribiop.com/wp-content/uploads/2019/11/AOB-38-1-96-101.pdf>
- Candia IF, Bautista V, Walter A, Castro NO, Tasin M, & Dekker T. (2019). Locally sustainable lures and traps against the Mediterranean Fruit Fly (Diptera: Tephritidae). *Pest Management Sciences*, 75(6), 1671-1680. <https://doi.org/10.1002/ps.5286>
- Carvalho M, Lopes A, Bento A, Santos L, Guedes RNC, & Casquero PA. 2023. Effectiveness of different traps and lures for coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) in São Tomé Island. *African Entomology*, 31, 1-6. <http://dx.doi.org/10.17159/2254-8854/2023/a13590>
- Castro AM, Tapias J, Ortiz A, Benavides P, & Góngora CE. 2017. Identification of attractant and repellent plants to coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. *entomologia experimentalis et Applicata*, 164(2), 120-130. <https://doi.org/10.1111/eea.12604>
- Castro AM, Benavides P, & Góngora CE. 2018. Push-pull strategy for handling the coffee berry borer. *Trends in Entomology*, 14, 51-61. http://www.researchtrends.net/tia/article_pdf.asp?in=0&vn=14&tid=20&aid=6208
- Casal S, Oliveira MBPP, Alves MR, & Ferreira MA. 2000. Discriminate analysis of roasted coffee varieties for trigonelline, nicotinic acid, and caffeine content. *Journal of agricultural and food chemistry*, 48(8), 3420-3424. <https://doi.org/10.1021/jf990702b>
- Centre of Agriculture and Bioscience International. 2018. Annual Review 2017/2018 <https://www.ico.org/documents/cy2018-19/annual-review-2017-18-e.pdf>
- Cook SM, Khan ZR, & Pickett JA. 2007. The use of push-pull strategies in integrated pest management. *Annu. Rev. Entomol.*, 52, 375-400. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091407>
- Constantino LM, Gil ZN, Montoya EC, & Benavides P. 2021. Coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) emergence from ground fruits across varying altitudes and climate cycles, and the effect on coffee tree infestation. *Neotropical Entomology*, 50(3), 374-387.
- Cruz-O'Byrne, Rosmery, Piraneque-Gambasica N, Aguirre-Forero S. 2021. Microbial diversity associated with spontaneous coffee bean fermentation process and specialty coffee production in northern Colombia. *International Journal of Food Microbiology* 354(16):109282. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109282>
- Cruz Roblero EN, & Malo EA. 2013. Chemical analysis of coffee berry volatiles that elicit an antennal response from the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*. *Journal of the Mexican Chemical Society*, 57(4), 321-327. <http://dx.doi.org/10.29356/jmcs.v57i4.196>
- Cruz-López L, Díaz-Díaz B, & Rojas JC. (2016). Coffee volatiles induced after mechanical injury and beetle herbivory attract the coffee berry borer and two of its parasitoids. *Arthropod-Plant Interactions*, 10, 151-159. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11829-016-9417-0>
- da Mota, M. C. B., Batista, N. N., Rabelo, M. H. S., Ribeiro, D. E., Borém, F. M., & Schwan, R. F. 2020. Influence of fermentation conditions on the sensorial quality of coffee inoculated with yeast. *Food Research International*, 136, 109482. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109482>
- da Silva Vale A, de Melo Pereira GV, de Carvalho Neto DP, Rodrigues C, Pagnoncelli MGB, & Soccol CR. 2019. Effect of co-inoculation with *Pichia fermentans* and *Pediococcus acidilactici* on metabolite produced during fermentation and volatile composition of coffee beans. *Fermentation*, 5(3), 67. <https://doi.org/10.3390/fermentation5030067>
- De La Rosa-Cancino W, Malo EA, Gómez J, Valle-Mora JF, Barrera JF, & Rojas JC. 2023. Testing what we know about coffee volatiles affecting behaviour of *Hypothenemus hampei*. *Journal of Applied Entomology*, 147(2), 167-175. <https://doi.org/10.1111/jen.13095>
- de Melo Pereira GV, Soccol VT, & Soccol CR. 2016. Current state of research on cocoa and coffee fermentations. *Current Opinion in Food Science*, 7, 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.11.001>
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2018. Buku Statistik Perkebunan 2023. <https://ditjenbun.pertanian.go.id/?publikasi=buku-statistik-perkebunan-2021-2023>

- Desnky R, Syaparuddin, S, & Aminah S. 2018. Ekspor kopi Indonesia dan faktor-faktor yang mempengaruhinya. E-Journal Perdagangan Industri Dan Moneter, 6(1), 23-34. <https://doi.org/10.22437/pim.v6i1.4656>
- Dvorak LIBOR, & Landolt PJ. 2006. Social wasps trapped in the Czech Republic with syrup and fermented fruit and comparison with similar studies (Hymenoptera Vespidae). Bulletin of Insectology, 59(2), 115. https://www.researchgate.net/publication/228768715_Social_wasps_trapped_in_the_Czech_Republic_with_syrup_and_fermented_fruit_and_comparison_with_similar_studies_Hymenoptera_Vespidae
- Elhalis H, Cox J, & Zhao J. 2022. Coffee fermentation: Expedition from traditional to controlled process and perspectives for industrialization. Applied Food Research, 100253 <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100253>
- Fahmi M. 2020. Ketertarikan penggerek buah kopi terhadap tiga jenis atraktan yang dipasang dalam botol perangkap pada pertanaman kopi robusta di desa pesangkalan, banjarnegara. Jurnal Pertanian Indonesia, 1(1), 9-13. <https://japerti.polteksci.ac.id/index.php/japerti/article/view/3>
- Farah A, & Farah A. (Eds.). 2019. *Coffee: Production, quality and chemistry*. The Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781782622437-00823>
- Fernandes FL, Picanço MC, Fernandes MES, Dângelo, RAC, Souza FF. & Guedes RNC. (2015). A new and highly effective sampling plan using attractant-baited traps for the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). Journal of Pest Science, 88, 289-299. <https://doi.org/10.1007/s10340-014-0622-2>
- Ferreira AJ, Bueno VHP, Moraes JC, Cravalho GA, Filho JSdeSB. 2000. The coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Fer.) (Coleoptera: Scolytidae) in Lavras county, Minas Gerais State. An.Soc.Entomol.Bras. 29(2):237-244. <https://doi.org/10.1590/S0301-80592000000200005>
- Hamilton LJ, Hollingsworth RG, Sabado-Halpern M, Manoukis, N. C., Follett, P. A., & Johnson, M. A. 2019. Coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) (Coleoptera: Curculionidae) development across an elevational gradient on Hawai 'i Island: Applying laboratory degree-day predictions to natural field populations. PLoS One, 14(7), e0218321 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218321>
- Hafsah H, Iriawati I, & Syamsudin TS. 2020. Dataset of volatile compounds from flowers and secondary metabolites from the skin pulp, green beans, and peaberry green beans of robusta coffee. Data in brief, 29, 105219. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105219>
- Haile M, & Kang WH. 2019. The role of microbes in coffee fermentation and their impact on coffee quality. Journal of Food Quality. <https://doi.org/10.1155/2019/4836709>
- Huch M, & Franz CMAP. (2015). Coffee: fermentation and microbiota. In *Advances in fermented foods and beverages* (pp. 501-513). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-015-6.00021-9>
- Hikal WM, Baeshen RS, & Said-Al Ahl, H. A. 2017. Botanical insecticide as simple extractives for pest control. Cogent Biology, 3(1), 1404274. <https://doi.org/10.1080/23312025.2017.1404274>
- Imrei Z, Domingue MJ, Lohonyai Z, Moreira JA, Bálintné Csonka É, Fail J, ... & Millar JG. (2021). Identification of pheromone components of *Plagionotus detritus* (Coleoptera: Cerambycidae), and attraction of conspecifics, competitors, and natural enemies to the pheromone blend. *Insects*, 12(10), 899. <https://doi.org/10.3390/insects12100899>
- International Coffee Organization. 2022. Coffee Development Report. www.ico.org
- Iqbal MF, & Feng YL. 2020. Species diversity of different insect families trapped under beer-based volatile fermentation. *BMC chemistry*, 14(1), 1-12. <https://bmchem.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13065-020-00699-x>
- Johnson MA, Hollingsworth R, Fortna S, Aristizábal L. F, & Manoukis NC. 2018. The Hawaii protocol for scientific monitoring of coffee berry borer: a model for coffee agroecosystems worldwide. JoVE (Journal of Visualized Experiments), (133), e57204. <http://dx.doi.org/10.3791/57204>
- Kansman JT, Jaramillo JL, Ali JG, & Hermann SL. 2023. Chemical ecology in conservation biocontrol: new perspectives for plant protection. Trends in Plant Science <http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-3408500/v1>
- Kawabata A, Nakamoto S, & Curtiss RT. 2013. Recommendations for coffee berry borer integrated pest management in hawaii 2013. <http://hdl.handle.net/10125/40965>
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2023. Outlook Komoditas Pertanian https://satudata.pertanian.go.id/assets/docs/publikasi/Buku_Outlook_Kopi_2022_compressed.pdf
- Kementerian Informasi dan Komunikasi. 2022. Rayakan Hari Kopi Kemenperin terus tingkatkan Ekspor Kopi Nasional. https://www.kominfo.go.id/index.php/content/detail/10775/rayakan-hari-kopi-kemenperin-terus-tingkatkan-ekspor-kopi-nasional/0/artikel_gpr
- Khan ZR, James DG, Midega CA, & Pickett JA. 2008. Chemical ecology and conservation biological control. Biological control, 45(2), 210-224.

- <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.11.009>
- Landis DA. 2017. Designing agricultural landscapes for biodiversity-based ecosystem services. *Basic and Applied Ecology*, 18, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.baee.2016.07.005>
- Lee LW, Cheong MW, Curran P, Yu B, & Liu SQ. 2015. Coffee fermentation and flavor–An intricate and delicate relationship. *Food chemistry*, 185, 182-191. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.124>
- Mallinger RE, Hogg DB, & Gratton C. 2011. Methyl salicylate attracts natural enemies and reduces populations of soybean aphids (Hemiptera: Aphididae) in soybean agroecosystems. *Journal of economic entomology*, 104(1), 115-124. <https://doi.org/10.1603/EC10253>
- Martinez SJ, Bressani APP, Dias DR, Simão JBP, & Schwan RF. 2019. Effect of bacterial and yeast starters on the formation of volatile and organic acid compounds in coffee beans and selection of flavors markers precursors during wet fermentation. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1287. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01287>
- Marino YA, Vega VJ, García JM, Verle Rodrigues JC, García NM, & Bayman P. 2017. The coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae) in Puerto Rico: Distribution, infestation, and population per fruit. *Journal of Insect Science*, 17(2), 58. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260499>
- Mauricio J. 2015. Monitoring Coffee Berry Borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae), Populations with Alcoholbaited Funnel Traps in Coffee Farms in Colombia.
- Mbuba A, & Shechambo L. 2023. Efficacy of plastic bottle-baited traps for capturing coffee berry borer and other coffee insects pests in kilimanjaro region-Tanzania. *American Journal of Entomology*, 7(3), 100-108. <https://doi.org/10.11648/j.aje.20230703.13>
- Esayas M, Jembere B, Seyoum E. 2004. Population dynamics and distribution of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari)(Coleoptera:Scolytidae) on *Coffea arabica* L. in Southwestern Ethiopia. *Ethiopian Journal of Science* 27(2):127-134 <http://dx.doi.org/10.4314/sinet.v27i2.18240>
- Myrie A, Hall T, Luke D, Chinthapalli BR, Tennant P, & Robinson D. 2023. Coffee Berry Borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari)(Coleoptera: Curculionidae): activity and infestation in the high mountain and blue mountain regions of Jamaica. *Insects*, 14(8), 694. <https://doi.org/10.3390/insects14080694>
- Muliani. 2018. Inventarisasi Hama dan Penyakit Pada Pertanaman Kopi Organik. *Agroplanta. Jurnal Ilmiah Terapan Budidaya dan Pengelolaan Tanaman Pertanian dan Perkebunan* Vol.7(2) <https://doi.org/10.51978/agro.v7i2.63>
- Noble R, Dobrovin-Pennington A, Phillips A, Cannon MF, Shaw B, & Fountain MT. 2019. Improved insecticidal control of spotted wing drosophila (*Drosophila suzukii*) using yeast and fermented strawberry juice baits. *Crop Protection*, 125, 104902. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104902>
- Njihia TN, Jaramillo J, Murungi L, Mwenda D, Orindi, B, Poehling HM, & Torto B. 2014. Spiroacetals in the colonization behaviour of the coffee berry borer: a ‘push-pull’ system. *PLoS One*, 9(11), e111316. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111316>
- Noble, R., Dobrovin-Pennington, A., Shaw, B., Buss, D. S., Cross, J. V., & Fountain, M. T. 2017. Fermentation for disinfesting fruit waste from *Drosophila* species (Diptera: Drosophilidae). *Environmental entomology*, 46 (4), 939-945. <https://doi.org/10.1093/ee/nvx107>
- Nopriyandi R, & Haryadi H. 2017. Analisis ekspor kopi Indonesia. *Jurnal Paradigma Ekonomika*, 12(1), 1-10. <https://doi.org/10.22437/paradigma.v12i1.3929>
- Nzanza B, & Mashela PW. 2012. Control of whiteflies and aphids in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by fermented plant extracts of neem leaf and wild garlic. *African Journal of Biotechnology*, 11(94), 16077-16082. <http://dx.doi.org/10.5897/AJB12.775>
- Omarini AB, Achimón F, Brito VD, & Zygadlo JA. 2020. Fermentation as an Alternative Process for the Development of Bioinsecticides. *Fermentation*, 6(4), 120. <https://doi.org/10.3390/fermentation6040120>
- Ortiz A, Ortiz A, Vega FE, & Posada F. 2004. Volatile composition of coffee berries at different stages of ripeness and their possible attraction to the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(19), 5914-5918. <https://doi.org/10.1021/jf049537c>
- Paragas DS, Cruz KDC, & Fiegalan ER. 2021. Fermented Neem (*Azadirachta indica*) leaves-metal nanoparticles and their insecticidal properties against *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Indian Journal of Science and Technology*, 14(17), 1338-1346. <http://dx.doi.org/10.17485/IJST/v14i17.631>
- Partelli FL, Vieira HD, Ferreira EPDB, Viana AP, Martins, M. A., & Urquiaga, S. 2012. Chemical and microbiological soil characteristics under conventional and organic coffee production systems. *Communications in soil science and plant analysis*, 43(5), 847-864. <https://doi.org/10.1080/00103624.2012.648470>
- Rostaman & Prakoso, B. 2020. Response of Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei*) to Alcohol-Based Attractants on Coffee Crops in

- Banjarnegara, Indonesia. In International Conference and the 10th Congress of the Entomological Society of Indonesia (ICESI 2019) (pp. 25-28). Atlantis Press. <http://dx.doi.org/10.2991/absr.k.200513.004>
- Pereira AE, Vilela EF, Tinoco RS, de Lima JOG, Fantine AK, Morais EG, & França CF. 2012. Correlation between numbers captured and infestation levels of the coffee berry-borer, *Hypothenemus hampei*: A preliminary basis for an action threshold using baited traps. *International Journal of Pest Management*, 58(2), 183-190.
- Rasiska S, Safira S, Hidayat Y, Yulia E, & Ariyanti M. (2022). Respons Hama Penggerek Buah Kopi (*Hypothenemus hampei* Ferr.)(Coleoptera: Curculinidae: Scolytidae) terhadap Ekstrak Buah Kopi yang Terinfestasi Hama sebagai Atraktan di Perkebunan Kopi Rakyat Gunung Tilu. *Agrikultura*, 33(3), 321-330. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v33i3.40277>
- Ramirez-Martinez JR. 1988. Phenolic compounds in coffee pulp: Quantitative determination by HPLC. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 43(2), 135-144. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740430204>
- Ramirez-Coronel MA, Marnet N, Kolli VK, Roussos S, Guyot S, & Augur C. 2004. Characterization and estimation of proanthocyanidins and other phenolics in coffee pulp (*Coffea arabica*) by thiolysis–high-performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1344-1349. <https://doi.org/10.1021/jf035208t>
- Reddy GV, & Guerrero A. 2010. New pheromones and insect control strategies. *Vitamins & hormones*, 83, 493-519. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2004.03.009>
- Rodríguez D, Cure JR, Gutierrez AP, Cotes JM, & Cantor F. 2013. A coffee agroecosystem model: II. Dynamics of coffee berry borer. *Ecological Modelling*, 248, 203-214. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.08.003>
- Rodriguez-Saona C, Blaauw BR, & Isaacs R. 2012. Manipulation of natural enemies in agroecosystems: habitat and semiochemicals for sustainable insect pest control. *Integrated pest management and pest control—current and future tactics*, 89-126. <http://dx.doi.org/10.5772/30375>
- Rusch A, Valantin-Morison M, Sarthou JP, & Roger-Estrade J. 2013. Effect of crop management and landscape context on insect pest populations and crop damage. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 166, 118-125. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.004>
- Ruiz-Diaz CP, & Rodrigues JCV. 2021. Vertical trapping of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytinae), in coffee. *Insects*, 12(7), 607. <https://doi.org/10.3390/insects12070607>
- Ruiz-Diaz CP, Rodrigues JCV, Miro-Rivera E, & Diaz-Vazquez LM. 2023. Impact of the coffee berry borer on the volatile and semi-volatile compounds; qualitative profile of *Coffea arabica* berries. *Food Chemistry Advances*, 2, 100154. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100154>
- Ruiz-Cárdenas R, & Baker P. 2010. Life table of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) in relation to coffee berry phenology under Colombian field conditions. *Scientia agricola*, 67, 658-668. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162010000600007>
- Rostaman & Prakoso. 2020. Response of Coffee Berry Borer (*Hypothenemus hampei*) to Alcohol-Based Attractants on Coffee Crops in Banjarnegara, Indonesia. In International Conference and the 10th Congress of the Entomological Society of Indonesia (ICESI 2019) (pp. 25-28). Atlantis Press. <https://www.atlantis-press.com/proceedings/icesi-19/125940397>
- Sa'diyah K, Ahmad U, Widyotomo S, & Yusianto Y. 2019. Pengaruh lama perendaman buah dan fermentasi terhadap warna kulit tanduk dan citarasa kopi robusta <http://dx.doi.org/10.21082/jtidp.v6n1.2019.p33-40>
- Sari DR, Tety E, & Eliza E. 2016. Analisis Posisi Ekspor Kopi Indonesia di Pasar Dunia (Doctoral dissertation, Riau University). <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFAPERT/article/view/8991/8658>
- Schwan RF, Silva C, & Batista L. (2012). Coffee fermentation. *Handbook of plant-based fermented food and beverage technology*, 677-690. https://www.researchgate.net/profile/Cristina-Silva-28/publication/284568085_Coffee_Fermentation/links/58b9428892851c471d4a542c/Coffee-Fermentation.pdf
- Sjam S, Rosmana A, Vien SD, Sulaeha T, Agung M, & Adhyaksa H. 2023. Insecticidal activity of fermented *Calatropis gigantea* L and *Crescentia cujete* L. extract combination against rice pests and natural enemies. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1208, No. 1, p. 012026). IOP Publishing. DOI 10.1088/1755-1315/1208/1/012026
- Somashekar KL, Appaiah KAA. 2013. Coffee cherry husk-a potential feed stock for alcohol production. *International Journal of Environment and Waste Management* 11(4):..DOI: 10.1504/IJEW.2013.054242
- Suu BT, Huy DTN, & Hoa NT. 2021. Sustainable value chain issues, insect traps and solutions for coffee berry borer in the north of Vietnam. *Plant Cell Biotechnology and Molecular*

- Biology, 22(55&56), 74-83. <https://doi.org/10.32628/IJSRST2310175>
- Subyanto.1991. Kunci determinasi serangga. Kasius, Yogyakarta
- Vega FE, Infante F, Castillo A, & Jaramillo J. 2009. The coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae): a short review, with recent findings and future research directions. Terrestrial arthropod review 2: 129-147 <http://dx.doi.org/10.1163/187498209X12525675906031>
- Vega FE, Simpkins A, Miranda J, Harnly JM, Infante F, Castillo A, ... & Cossé A. 2017. A potential repellent against the coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). Journal of Insect Science, 17(6), 122 <https://doi.org/10.1093/jisesa/iex095>
- Vega VA, Mariño Y, Deynes DB, Greco EE, Bright D, & Bayman P. 2020. A beetle in a haystack: are there alternate hosts of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in Puerto Rico?. *Agronomy*, 10(2), 228 <https://doi.org/10.3390/agronomy10020228>
- Wijayanti A. 2020. Faktor-faktor yang mempengaruhi permintaan ekspor kopi indonesia ke amerika serikat tahun 1985-2018 (Doctoral dissertation). <https://repository.uksw.edu/handle/123456789/27171>

