



Peran Keanekaragaman Predator di Habitat Refugia dalam Mengurangi Populasi Lalat buah pada Jeruk Batu 55

The Role of Predator Diversity in Refugia Habitats in Reducing Fruit Fly Populations in Batu 55 Orchards

Yunita Fera Rahmawati^{1*}, Suliana²

¹Departemen Pendidikan Biologi, FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta, Jl. Colombo No.1, Karang Malang, Caturtunggal, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281

²Balai Penyuluhan Pertanian (BPP) Desa Sumbersekar, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65151

*Penulis korespondensi: yunita.fr@uny.ac.id

ABSTRAK. Keanekaragaman predator di habitat refugia memiliki peran strategis dalam menekan populasi lalat buah (*Bactrocera* sp.), hama utama pada budidaya jeruk keprok. Penelitian ini dilakukan di dua kebun jeruk Batu 55 yang berlokasi di Kecamatan Dau, Kabupaten Malang, pada periode Januari hingga Desember 2023. Lahan perlakuan menerapkan blok refugia dengan tanaman berbunga seperti kenikir (*Cosmos caudatus*), marigold (*Tagetes erecta*), dan bunga matahari (*Helianthus annuus*). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa lahan dengan refugia memiliki total 573 individu serangga, yang terdiri atas 30 morfospesies, termasuk 9 ordo predator dari famili Attelabidae, Chrysopidae, Coccinellidae, Forficulidae, Geocoridae, Hymenopodidae, Libellulidae, Mantidae, Oxyopidae, Pisauridae, Platycnemididae, Reduviidae, Salticidae, Syrphidae, Thripidae. *Coccinella* sp. tercatat sebagai spesies predator dominan dengan jumlah individu tertinggi selama periode pengamatan. Dibandingkan lahan tanpa refugia, populasi lalat buah di kebun dengan refugia menurun sebesar 45,2%. Peningkatan jumlah dan aktivitas predator ini berkontribusi langsung terhadap penurunan jumlah lalat buah dewasa dan larva yang terdeteksi pada buah jeruk. Selain itu, indeks keanekaragaman predator di lahan dengan refugia mencapai $H' = 2,48$, jauh lebih tinggi dibandingkan lahan kontrol ($H' = 1,87$). Temuan ini menegaskan bahwa kehadiran refugia yang mendukung keanekaragaman predator dapat menjadi strategi pengendalian hayati yang efektif, berkelanjutan, dan ramah lingkungan dalam menanggulangi serangan lalat buah pada tanaman jeruk.

Kata kunci: agroekosistem, biodiversitas, musuh alami, refugia, serangga predator

ABSTRACT. The diversity of predators in refugia habitats has a strategic role in suppressing the population of fruit flies (*Bactrocera* sp.), the primary pest in Batu tangerine cultivation. This study was conducted in two Batu 55 tangerine fields located in Dau District, Malang Regency, from January to December 2023. The treatment fields applied refugia blocks with flowering plants such as kenikir (*Cosmos caudatus*), marigold (*Tagetes erecta*), and sunflower (*Helianthus annuus*). Observations showed that the field with refugia had a total of 573 insect individuals, consisting of 30 morphospecies, including nine predatory orders from the families, Attelabidae, Chrysopidae, Coccinellidae, Forficulidae, Geocoridae, Hymenopodidae, Libellulidae, Mantidae, Oxyopidae, Pisauridae, Platycnemididae, Reduviidae, Salticidae, Syrphidae, Thripidae. *Coccinella* sp. was recorded as the dominant predator species with the highest number of individuals during the observation period. Compared to fields without refugia, the fruit fly population in orchards with refugia decreased by 45.2%. This increase in predator numbers and activity directly contributed. In addition, the predator diversity index in fields with refugia reached $H' = 2.48$, much higher than in control fields ($H' = 1.87$). These findings confirm that the presence of refugia that support predator diversity can be an effective, sustainable, and environmentally friendly biological control strategy in tackling fruit fly infestation in citrus crops.

Keywords: agroecosystem, biodiversity, insect predators, natural enemies, refugia

Pendahuluan

Lalat buah (*Bactrocera* sp.) adalah salah satu hama yang paling merusak yang memengaruhi produksi jeruk di seluruh dunia, termasuk di kebun jeruk keprok Batu 55 di Kecamatan Dau Kabupaten Malang. Serangan hama ini menyebabkan kerusakan buah secara langsung, hasil panen yang lebih rendah, dan menurunkan kualitas pasar, yang menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan bagi petani. Ketergantungan mayoritas petani tradisional pada insektisida kimia untuk mengatasi hama ini menimbulkan kekhawatiran serius terkait kesehatan manusia, keamanan lingkungan, dan perkembangan resistensi hama (Pathak *et al.*, 2022). Hal ini menyoroti kebutuhan mendesak akan strategi pengelolaan hama yang berkelanjutan dan ramah lingkungan yang dapat diimplementasikan secara efektif di agroekosistem jeruk (Jain *et al.*, 2023). Tingkat kerusakan akibat lalat buah di Kabupaten Malang bervariasi; menurut penelitian di Balai Perakitan dan Pengujian Tanaman Jeruk dan Buah Subtropika, Kota Batu, kerugian dapat mencapai 30–60% (Arma *et al.*, 2019), sementara studi lain melaporkan kehilangan hasil panen hingga 80%, menunjukkan besarnya dampak hama ini dan urgensi penerapan pengendalian yang efektif (Pebriyanti, 2023).

Salah satu alternatif yang menjanjikan adalah integrasi habitat refugia-area non-tanaman yang ditanami vegetasi berbunga yang mendukung kedatangan musuh alami hama. Habitat ini berfungsi sebagai reservoir ekologis, menyediakan sumber daya seperti tempat berlindung, nektar, dan mangsa alternatif yang menopang serangga predator. Memasukkan refugia ke dalam sistem kebun sejalan dengan prinsip-prinsip pengelolaan hama terpadu (PHT) dan telah terbukti meningkatkan efektivitas pengendalian hayati dengan meningkatkan populasi artropoda yang menguntungkan (Josephraj Kumar *et al.*, 2022; Rahmawati *et al.*, 2025). Pendekatan ini tidak hanya mengurangi tekanan hama tetapi juga mendukung keanekaragaman hayati dan kesehatan agroekosistem jangka panjang.

Peran keanekaragaman predator sangat penting bagi keberhasilan pengelolaan hama berbasis refugia. Komunitas predator yang beragam menawarkan berbagai mekanisme penekanan hama karena adanya perbedaan strategi berburu, waktu aktivitas, dan preferensi mangsa. Interaksi trofik yang kompleks ini meningkatkan stabilitas dan ketahanan sistem pengendalian hayati, terutama terhadap hama seperti lalat buah, yang memiliki beberapa siklus hidup dan adaptasi perilaku (Bhagarathi & Maharaj, 2023). Dengan meningkatkan kekayaan spesies dan pemerataan di antara musuh alami, refugia dapat menghasilkan pengendalian yang lebih konsisten dan efektif di berbagai kondisi lingkungan yang berbeda (Setyadin *et al.*, 2025).

Spesies tanaman berbunga seperti kenikir (*Cosmos caudatus*), marigold (*Tagetes erecta*), dan bunga matahari (*Helianthus annuus*) sangat penting dalam desain refugia. Mereka menyediakan sumber daya penting yang membantu menjaga populasi predator bahkan ketika kepadatan hama rendah. Ketersediaan makanan dan habitat yang berkelanjutan ini mendukung reproduksi dan umur panjang predator seperti kumbang betina, lacewing, laba-laba, dan lalat sirip - agen kunci dalam menekan populasi *Bactrocera* sp. (Shaw *et al.*, 2021; Rahmawati *et al.*, 2024). Keberadaan musuh alami yang berkelanjutan ini meningkatkan kesiapan sistem untuk merespons wabah hama dengan cepat.

Terlepas dari potensi manfaatnya, penelitian tentang keanekaragaman predator dalam sistem berbasis refugia di kebun jeruk di Indonesia masih terbatas. Penelitian ini mengevaluasi keanekaragaman dan kelimpahan artropoda predator di kebun jeruk keprok Batu 55 yang ditanami refugia dan non-refugia di Kabupaten Malang. Dengan menganalisis komunitas predator dan dampaknya terhadap penekanan lalat buah, penelitian ini bertujuan untuk memberikan bukti ilmiah yang mendukung nilai ekologis

dan praktis dari habitat refugia. Hasilnya diharapkan dapat menginformasikan praktik pertanian berkelanjutan dan mendorong adopsi strategi pengelolaan habitat untuk meningkatkan pengendalian hama biologis pada produksi jeruk.

Metode

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari Januari hingga Desember 2023 di Dusun Banjar Tengah, Desa Sumbersekar, Kecamatan Dau, Kabupaten Malang, Jawa Timur, pada koordinat geografis 7.916998° LS dan 112.569278° BT. Lokasi penelitian merupakan kebun jeruk keprok varietas Batu 55 (*Citrus reticulata* Blanco) yang telah berproduksi selama 2–4 tahun (Rahmawati *et al.*, 2024). Penelitian difokuskan pada dua tipe kebun: kebun dengan refugia dan kebun kontrol tanpa refugia. Ketiga jenis tanaman refugia bunga matahari (*Helianthus annuus*), marigold (*Tagetes erecta*), dan kenikir (*Cosmos caudatus*) ditanam secara berselang-seling dengan jarak antar jenis 0,65 meter, dan satu pohon jeruk berada di tengah-tengah kebun sebagai titik pusat pengamatan. Luasan pengamatan setiap kebun adalah $\pm 100 \text{ m}^2$ dengan seluruh area kebun digunakan sebagai lokasi pengamatan untuk memastikan representativitas data. Metode pengamatan dilakukan dengan teknik *sweeping* menggunakan jaring serangga. *Sweeping* dilakukan dengan membagi kebun menjadi jalur transek lurus, masing-masing transek sepanjang ± 10 meter, dan diulang sebanyak 3-5 kali per jalur tergantung ukuran kebun. Pengamatan dilakukan secara sistematis dengan melewati seluruh jalur transek untuk menangkap serangga predator yang berada di vegetasi refugia maupun pohon jeruk. Pengamatan dilakukan dua minggu sekali dari fase berbunga terhadap keberadaan serangga predator dilakukan dua minggu sekali dari fase berbunga hingga panen, dengan total 24 kali ulangan. Untuk kebun tanpa refugia, pengamatan dilakukan pada pohon jeruk dan vegetasi sekitarnya menggunakan metode yang sama, namun tanpa keberadaan tanaman refugia. *Sweeping* tetap dilakukan pada jalur transek yang sama agar data dapat dibandingkan dengan kebun dengan refugia.

Pemantauan Populasi Lalat Buah

Pemantauan populasi *Bactrocera* sp. dilakukan dari Januari hingga Desember 2023 dengan fokus pada lalat dewasa. Setiap kebun dibagi menjadi plot pengamatan dengan 3–5 pohon jeruk per plot, dan lalat buah dikumpulkan menggunakan trap berumpan metil eugenol, kemudian dihitung dan diidentifikasi. Pengamatan dilakukan setiap dua minggu sekali. Lalat buah yang tertangkap dihitung dan diidentifikasi untuk menilai populasi serta membandingkan keberadaan lalat buah antar kebun dengan refugia berbunga dan kebun kontrol tanpa refugia.

Pengambilan Sampel dan Identifikasi

Setiap sesi pengamatan dilakukan dalam tiga periode waktu, yaitu pukul 07.00–09.00, 11.00–13.00, dan 15.00–17.00. Pengamatan dilakukan selama 10 menit untuk setiap pohon jeruk dan masing-masing jenis tanaman refugia di seluruh plot. Pengumpulan data dilakukan melalui tangkapan menggunakan jaring serangga (*insect net*) dan dokumentasi visual. Spesies yang berhasil diidentifikasi langsung di lapangan dicatat, sementara spesies yang tidak teridentifikasi dikumpulkan dan dibawa ke Laboratorium Diversitas Hewan untuk analisis lebih lanjut. Spesimen kemudian diawetkan di insektarium Universitas Brawijaya. Proses identifikasi dilakukan hingga tingkat famili, genus, dan spesies menggunakan referensi daring seperti BugGuide, GBIF, serta

literatur seperti *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects* (Villet, 2005).

Analisis Data

Analisis data menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') dilakukan dengan menghitung proporsi tiap spesies predator ($p_i = n_i/N$), kemudian dikalikan dengan logaritma naturalnya ($\ln p_i$), dan dijumlahkan seluruhnya menggunakan rumus $H' = -\sum(p_i \times \ln(p_i))$. Nilai H' yang dihasilkan mencerminkan tingkat keanekaragaman: semakin tinggi nilai H' , semakin tinggi pula keanekaragaman spesies dalam komunitas tersebut (Alcocer, 2020).

Hasil dan Pembahasan

Keanekaragaman dan Peran Komunitas Predator dalam Sistem Refugia Jeruk Keprok Batu 55.

Inventarisasi serangga predator pada kebun jeruk keprok Batu 55 yang menerapkan sistem refugia berbunga menunjukkan tingkat keanekaragaman dan kelimpahan predator yang tinggi. Sebanyak 675 individu dari 30 morfospesies, mewakili 10 ordo dan 19 famili, telah teridentifikasi. Jumlah individu tertinggi ditemukan pada perlakuan refugia dengan bunga matahari (262 individu), diikuti oleh bunga marigold (197 individu), kenikir (114 individu), dan kontrol tanpa refugia (102 individu) (Tabel 1).

Pengamatan di kebun dengan refugia dilakukan secara terpisah untuk tiap jenis tanaman yang ditanam berselang-seling di sekitar pohon jeruk. Setiap jenis tanaman diamati menggunakan sweeping dan jaring serangga, sehingga jumlah individu predator dapat dicatat secara spesifik untuk masing-masing jenis refugia. Pendekatan ini memungkinkan penelitian untuk menilai kontribusi masing-masing tanaman refugia secara detail, sekaligus memperkuat pemahaman tentang peran refugia dalam meningkatkan keanekaragaman dan kelimpahan komunitas predator pada kebun jeruk keprok.

Keberagaman predator juga terlihat dari peran signifikan ordo Araneae, yang menempati posisi kedua dalam jumlah spesies dan terdiri dari famili Oxyopidae, Theridiidae, Pisauridae, dan Salticidae. Spesies seperti *Pisaurina* sp., *Synalus angustus*, dan *Misumena vatia* tercatat aktif terutama pada refugia berbasis kenikir dan marigold. Selain itu, kehadiran predator dari ordo Neuroptera (*Chrysoperla carnea*, *C. rufilabris*), Mantodea (*Creobroter gemmatus*, *Tenodera angustipennis*), dan Diptera (*Episyrphus balteatus*, *Toxomerus marginatus*) juga lebih tinggi di lahan dengan refugia dibandingkan kontrol. Temuan ini menunjukkan bahwa tanaman berbunga tidak hanya menyediakan nektar dan serbuk sari sebagai sumber makanan alternatif, tetapi juga menciptakan kondisi mikrohabitat yang optimal untuk mendukung kelangsungan hidup predator sepanjang musim tanam (Rytteri *et al.*, 2021; Sentil *et al.*, 2022).

Tabel 1. Kelimpahan Spesies Predator pada Kebun Jeruk Batu 55

Spesies	Famili	Perlakuan (dengan refugia)			Kontrol (tanpa refugia)
		Matahari	Marigold	Kenikir	
(Kutipan penulis, tahun)					
Araneae					
<i>Pisaurina sp.</i> (Simon, 1898)	Pisauridae	-	10	-	-
<i>Oxyopes javanus</i> (Thorell, 1887)	Oxyopidae	1	2	1	1
<i>Synalus angustus</i> (L.Koch, 1876)	Theridiidae	-	3	1	-
<i>Neottiura bimaculata</i> (Linnaeus, 1767)	Miridae	-	2	-	-
<i>Misumena vatia</i> (Clerck, 1758)	Theridiidae	-	2	-	-
<i>Oxyopes gracilipes</i> (White, 1849)	Oxyopidae	-	-	1	-
<i>Mopsus mormon</i> (Karsch, 1878)	Salticidae	-	1	-	-
<i>Peucetia viridans</i> (Hentz, 1845)	Oxyopidae	1	-	-	-
Coleoptera					
<i>Coccinela sp.</i> (Linnaeus, 1758)	Coccinellidae	80	69	13	36
<i>Cryptolaemus montrouzieri</i> (Mulsant, 1850)	Coccinellidae	47	12	10	30
<i>Hippodamia moesta</i> (LeConte, 1854)	Coccinellidae	15	16	28	9
<i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1773)	Coccinellidae	46	5	4	7
<i>Coccinella transversalis</i> (Fabricius, 1781)	Coccinellidae	21	3	2	3
<i>Rodolia cardinalis</i> (Mulsant, 1850)	Coccinellidae	5	3	5	2
<i>Coccinella septempunctata</i> (Linnaeus, 1758)	Coccinellidae	-	6	6	-
<i>Chrysoperla rufilabris</i> (Burmeister, 1839)	Chrysomelidae	3	2	-	-
<i>Paroplapoderus sp.</i> (Voss 1926)	Attelabidae	1	-	1	-
Dermaptera					
<i>Forficula auricularia</i> (Linnaeus, 1758)	Forficulidae	6	-	-	-
Diptera					
<i>Episyrphus balteatus</i> (De Geer, 1776)	Syrphidae	2	3	2	4
<i>Toxomerus marginatus</i> (Say, 1823)	Syrphidae	-	-	2	-
Hemiptera					
<i>Geocoris sp.</i> (Fallen, 1814)	Geocoridae	1	-	6	2
<i>Isyndus obscurus</i> (Dallas, 1850)	Reduviidae	-	1	2	-
Mantodea					
<i>Creobroter gemmatus</i> (Saussure, 1869)	Hymenopodidae	25	20	1	1
<i>Tenodera angustipennis</i> (Saussure, 1871)	Mantidae	3	20	24	3
Neuroptera					
<i>Chrysoperla carnea</i> (Stephens, 1836)	Chrysopidae	-	1	-	-
Odonata					
<i>Orthetrum sabina</i> (Drury, 1770)	Libellulidae	4	5	2	1
<i>Platynemis latipes</i> (Rambur, 1842)	Platynemididae	1	3	-	-
<i>Crocothemis erythraea</i> (Brullé, 1832)	Libellulidae	-	3	-	1
<i>Pantala flavescens</i> (Fabricius, 1798)	Libellulidae	-	3	2	2
Orthoptera					
<i>Scolothrips sexmaculatus</i> (Pergande, 1890)	Thripidae	-	2	1	-
	Jumlah	262	197	114	102
	Indeks diversitas		H' = 2,48		H' = 1,87

Hasil penelitian menunjukkan bahwa komunitas serangga predator di lahan refugia didominasi oleh spesies *Coccinella* sp., yang ditemukan pada semua jenis tanaman refugia. Jumlah individu tertinggi tercatat pada bunga matahari (80 individu), diikuti oleh marigold (69 individu) dan kenikir (28 individu). Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener ($H' = 2,48$) di lahan refugia lebih tinggi dibandingkan lahan kontrol ($H' = 1,87$), yang mengindikasikan struktur komunitas yang lebih kompleks, stabil, dan dengan sebaran spesies yang relatif merata. Tingginya keanekaragaman ini berkontribusi terhadap stabilitas fungsi ekosistem, termasuk efektivitas pengendalian hayati jangka panjang (Sofa *et al.*, 2020). Selain itu, spesies lain dari famili yang sama seperti *Cryptolaemus montrouzieri*, *Harmonia axyridis*, dan *Hippodamia moesta* juga ditemukan dalam jumlah tinggi, yang menegaskan peran penting kelompok kumbang predator ini sebagai agen pengendali hama alami.

Coccinellidae, yang mendominasi komunitas predator pada kebun jeruk keprok Batu 55, memainkan peran penting dalam memangsa kutu daun dan serangga kecil penghisap lainnya yang umum ditemukan di tanaman jeruk. Keberhasilan *Coccinella* sp. menyesuaikan diri dengan habitat refugia menunjukkan bahwa sistem ini menyediakan sumber makanan dan tempat berkembang biak yang optimal, sehingga meningkatkan kelimpahan dan kelangsungan hidup predator ini (Sicsú *et al.*, 2020). Selain itu, predator lain yang berperan dalam menurunkan populasi lalat buah (*Bactrocera* spp.) termasuk Chrysopidae (*green lacewing*), Araneae (laba-laba) dari famili Oxyopidae dan Theridiidae, serta parasit Hymenoptera kecil. Predator ini berfokus pada fase telur dan larva awal lalat buah, sebelum serangga masuk ke dalam buah, sehingga mengurangi kerusakan. Coccinellidae memangsa telur dan larva muda, Chrysopidae menyerang telur dan larva kecil, sementara laba-laba memangsa larva maupun individu dewasa yang berada di vegetasi, baik secara aktif maupun pasif, beradaptasi dengan baik di lingkungan refugia yang menyediakan lokasi berburu dan persembunyian (Nyffeler & Gibbons, 2022). Predator nectarivora seperti *Chrysoperla* spp. dan *Episyrphus balteatus* juga efektif mengendalikan telur dan larva hama skala kecil, dengan ketergantungan tinggi pada ketersediaan bunga (Pathrose *et al.*, 2023).

Kehadiran predator tingkat atas seperti *Creobroter gemmatus* dan *Tenodera angustipennis* dari ordo Mantodea, meskipun jumlahnya lebih sedikit, tetap penting sebagai regulator trofik atas. Keberadaan mereka memperkuat kestabilan komunitas predator secara menyeluruh dan menegaskan bahwa diversitas struktur trofik dalam komunitas predator mendukung efektivitas serta ketahanan sistem pengendalian hayati (Feit *et al.*, 2021). Secara keseluruhan, kombinasi predator dari berbagai tingkat trofik menunjukkan bahwa refugia floral tidak hanya meningkatkan kelimpahan Coccinellidae, tetapi juga memperkuat pengendalian alami lalat buah melalui interaksi predator yang kompleks dan berlapis.

Lebih jauh, komunitas predator di kebun refugia mencerminkan luasnya spektrum ekologis yang berhasil didukung, mencakup sembilan ordo utama: Araneae, Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Hemiptera, Mantodea, Neuroptera, Odonata, dan Orthoptera. Keragaman ini mencakup predator dengan berbagai strategi makan dan lokasi aktivitas, mulai dari predator tanah seperti Forficulidae, predator terbang seperti Libellulidae dan Platycnemididae, hingga predator kanopi tanaman seperti Chrysopidae dan Syrphidae. Ini membuktikan bahwa sistem refugia mampu menyediakan mikrohabitat yang mendukung berbagai niche, baik untuk pemburu aktif, predator oportunistik, maupun spesies yang bergantung pada bunga (Landsman, & Thiel, 2021).

Dengan komposisi komunitas yang kaya dan seimbang, penerapan refugia di kebun jeruk keprok tidak hanya meningkatkan keanekaragaman hayati tetapi juga berkontribusi langsung terhadap penekanan populasi hama utama seperti lalat buah (*Bactrocera* sp.). Stabilitas komunitas predator memperkuat ketahanan agroekosistem, mendukung sistem pengendalian hama terpadu (PHT), dan mengurangi ketergantungan pada insektisida kimia.

Populasi Lalat Buah

Pemantauan populasi *Bactrocera* sp. selama Januari hingga Desember 2023 menunjukkan bahwa penerapan refugia berbunga secara signifikan menurunkan jumlah lalat buah di kebun jeruk keprok Batu 55. Lahan perlakuan dengan refugia mencatat total 1.835 individu lalat buah, sedangkan lahan kontrol tanpa refugia mencapai 3.351 individu. Penurunan paling mencolok terjadi pada bulan Februari (111 individu vs 329 individu), Mei (321 individu vs 604 individu), dan Juli (383 individu vs 525 individu), yang merupakan periode kritis musim buah (Tabel 2).

Perbedaan mencolok antara kedua perlakuan menegaskan peran penting refugia dalam menyediakan habitat pendukung bagi musuh alami lalat buah. Tanaman seperti kenikir (*Cosmos caudatus*), marigold (*Tagetes erecta*), dan bunga matahari (*Helianthus annuus*) menyediakan sumber daya seperti nektar, serbuk sari, dan inang alternatif yang memperkuat daya tahan dan reproduksi predator serta parasitoid (De Clercq, 2024; Serée, *et al.*, 2023). Ketersediaan sumber daya ini memungkinkan musuh alami untuk tetap aktif dan efektif meskipun populasi hama menurun, sehingga menjaga tekanan kontrol hayati secara berkelanjutan.

Tabel 2. Jumlah Individu Lalat Buah (*Bactrocera* sp.) yang Terperangkap pada Lahan Perlakuan (dengan refugia) dan Kontrol (tanpa refugia)

Bulan	Perlakuan (dengan refugia)	Kontrol (tanpa refugia)
Januari	84	185
Februari	111	329
Maret	195	316
April	118	377
Mei	321	604
Juni	159	247
Juli	383	525
Agustus	88	170
September	142	103
Oktober	72	73
November	61	212
Desember	101	313
Total	1835	3351

Penurunan populasi lalat buah selama bulan-bulan puncak menunjukkan adanya korelasi negatif antara populasi predator dan hama, sebagaimana ditunjukkan oleh meningkatnya kelimpahan *Coccinella* sp., *Chrysoperla* spp., dan *Geocoris* sp. dalam

sistem refugia. Interaksi ini mendukung hipotesis bahwa keanekaragaman predator memberikan mekanisme pengendalian yang stabil melalui strategi predasi yang saling melengkapi dan kehadiran predator dari berbagai niche ekologis (Mougi *et al.*, 2022).

Pola distribusi bulanan juga menunjukkan bahwa refugia memberikan efek penekanan hama yang konsisten sepanjang tahun. Meskipun pada bulan Oktober jumlah lalat buah hampir setara antara perlakuan dan kontrol (72 individu vs 73 individu), pada bulan lainnya terjadi penurunan yang konsisten. Hal ini menunjukkan ketahanan dan keandalan sistem refugia dalam menghadapi dinamika populasi hama yang fluktuatif. Variasi musiman yang terjadi juga mencerminkan kompleksitas interaksi ekologis antara predator dan mangsa, yang sangat penting dalam konteks pengelolaan hama berkelanjutan.

Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa refugia bukan hanya memperkaya keanekaragaman predator, tetapi juga menjadi strategi efektif dalam menurunkan populasi hama utama secara ekologis dan ekonomis. Predator yang ditemukan pada kebun jeruk keprok Batu 55 berperan mengendalikan lalat buah (*Bactrocera* sp.), terutama pada fase telur dan larva awal, sebelum serangga memasuki buah dan menyebabkan kerusakan. Coccinellidae memangsa telur dan larva muda yang menempel pada daun atau buah, Chrysopidae menyerang larva kecil, sedangkan laba-laba (Araneae) menangkap larva atau individu dewasa yang bergerak di vegetasi. Beberapa predator tingkat atas seperti *Creobroter gemmatus* dan *Tenodera angustipennis* dari ordo Mantodea menjaga keseimbangan komunitas predator secara keseluruhan, memperkuat kontrol biologis pada tingkatan trofik lebih tinggi.

Keberhasilan pengendalian hama ini juga didukung oleh faktor lingkungan dan habitat, di mana refugia floral menyediakan sumber makanan (nektar dan serbuk sari), tempat berlindung, serta situs oviposisi bagi predator. Kondisi ini meningkatkan kelimpahan dan aktivitas predator, sehingga efektivitas pengendalian alami lalat buah menjadi lebih tinggi. Selama periode pengamatan, tidak dilakukan pengendalian kimia pada kedua lahan (dengan dan tanpa refugia), sehingga perbedaan populasi lalat buah terutama mencerminkan pengaruh predator dan sistem refugia itu sendiri. Dengan demikian, mekanisme pengendalian hama yang diamati bersifat alami dan ekologis, menegaskan bahwa penerapan refugia dalam sistem jeruk keprok Batu 55 merupakan strategi Pengendalian Hama Terpadu (PHT) yang berkelanjutan.

Efektivitas Refugia dalam Meningkatkan Keanekaragaman Predator dan Menekan Populasi Lalat Buah

Penerapan refugia habitat dalam budidaya jeruk keprok Batu 55 terbukti efektif meningkatkan keanekaragaman predator dan secara signifikan menurunkan populasi hama lalat buah (*Bactrocera* spp.). Tanaman berbunga seperti kenikir (*Cosmos caudatus*), marigold (*Tagetes erecta*), dan bunga matahari (*Helianthus annuus*) menyediakan sumber daya penting berupa nektar, serbuk sari, serta inang alternatif yang mendukung kolonisasi, reproduksi, dan kelangsungan hidup musuh alami, bahkan saat populasi hama rendah (Kumar *et al.*, 2021). Fungsi penyediaan sumber daya ini menciptakan fondasi ekologi yang stabil untuk sistem pengendalian hayati.

Keberhasilan refugia tidak hanya terletak pada jumlah predator, tetapi juga pada diversitas fungsional komunitas predator yang terlibat. Keluarga Coccinellidae mendominasi dengan spesies seperti *Coccinella* sp. dan *Harmonia axyridis*, yang efektif mengendalikan serangga bertubuh lunak, sementara *Chrysoperla* spp. (lacewings) dan lalat hover *Syrphidae* menambah dimensi kontrol melalui preferensi mangsa yang

beragam dan perilaku berburu yang berbeda. Strategi predasi yang saling melengkapi ini meningkatkan efisiensi penekanan populasi hama secara keseluruhan (Chen *et al.*, 2022; Haan *et al.*, 2020).

Stabilitas komunitas predator sepanjang tahun, termasuk kehadiran *Geocoris* sp. (Geocoridae), *Tenodera angustipennis* (Mantidae), dan berbagai spesies laba-laba, menunjukkan bahwa refugia mendukung overwintering dan siklus hidup predator secara berkelanjutan. Konsistensi kehadiran predator di musim-musim kritis seperti April hingga Agustus, bertepatan dengan puncak populasi lalat buah, mencerminkan respons ekologis predator terhadap dinamika hama dan menunjukkan bahwa refugia berhasil menyediakan habitat mikro yang beragam dan fungsional.

Secara kuantitatif, penerapan refugia menghasilkan penurunan populasi lalat buah sebesar 45,24%, dengan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') mencapai 2,48 dibandingkan 1,87 di lahan kontrol. Ini menunjukkan tidak hanya tingginya kekayaan dan pemerataan spesies, tetapi juga efektivitas pengendalian hayati setara dengan metode kimia, namun dengan tambahan manfaat ekologis seperti konservasi biodiversitas, perlindungan polinator, dan minimnya dampak residu terhadap lingkungan (Pålsson, *et al.*, 2022; Babafemi *et al.*, 2022).

Implikasi dari keberhasilan ini menjangkau lebih dari sekadar perlindungan tanaman. Sistem refugia membuka peluang bagi petani untuk mengurangi penggunaan pestisida sintetis, memangkas biaya produksi, serta mendapatkan akses pasar premium untuk produk berlabel ramah lingkungan. Dengan menciptakan komunitas predator yang taksonomik dan fungsional beragam, strategi ini tidak hanya menekan lalat buah tetapi juga berpotensi mengendalikan hama lain dalam sistem pertanian jeruk secara menyeluruh, menjadikannya solusi yang layak untuk diadopsi secara luas dalam program Pengendalian Hama Terpadu (PHT) di Indonesia dan kawasan tropis lainnya.

Keberhasilan penerapan refugia pada kebun jeruk keprok Batu 55 menunjukkan bahwa sistem ini tidak hanya melindungi tanaman, tetapi juga memberikan manfaat ekologis dan ekonomis. Refugia memungkinkan petani untuk mengurangi penggunaan pestisida sintetis, menekan biaya produksi, dan membuka peluang memperoleh akses pasar premium untuk produk berlabel ramah lingkungan. Dengan menciptakan komunitas predator yang beragam secara taksonomik dan fungsional, strategi ini tidak hanya menekan populasi lalat buah, tetapi juga berpotensi mengendalikan hama lain secara menyeluruh dalam sistem pertanian jeruk, menjadikannya solusi yang layak untuk diadopsi secara luas dalam program Pengendalian Hama Terpadu (PHT) di Indonesia dan kawasan tropis lainnya.

Saat ini, refugia ditanam secara berselang-seling di seluruh plot, namun belum ada rekomendasi pasti mengenai luasan optimal untuk lahan jeruk secara keseluruhan, karena luasan yang ideal bergantung pada ukuran kebun, jarak antar pohon, dan jenis tanaman refugia yang digunakan. Hal ini membuka peluang untuk penelitian lanjutan guna menentukan populasi predator dan efektivitas pengendalian hama sesuai luasan refugia pada skala lahan pertanian yang lebih luas. Hasil penelitian lanjutan ini diharapkan dapat memberikan panduan praktis bagi petani untuk mengatur distribusi dan luas refugia secara optimal, sehingga meningkatkan pengendalian hama secara alami, menekan penggunaan pestisida, dan memaksimalkan keuntungan ekologis serta ekonomi.

Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan habitat refugia berbunga secara signifikan meningkatkan keanekaragaman dan kelimpahan predator, serta secara efektif menurunkan populasi lalat buah (*Bactrocera* sp.) pada kebun jeruk keprok Batu 55. Predator yang paling dominan, yaitu Coccinellidae, efektif memangsa telur dan larva muda lalat buah, sementara Chrysopidae dan laba-laba (Araneae) turut menyerang larva dan individu dewasa yang bergerak di vegetasi, sedangkan predator tingkat atas seperti *Creobroter gemmatus* dan *Tenodera angustipennis* menjaga keseimbangan komunitas predator secara keseluruhan. Penggunaan tiga jenis tanaman refugia kenikir (*Cosmos caudatus*), marigold (*Tagetes erecta*), dan bunga matahari (*Helianthus annuus*) menunjang terbentuknya komunitas predator yang beragam dan fungsional, dengan 30 morfospesies dari 9 ordo dan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') sebesar 2,48, lebih tinggi dibandingkan kontrol ($H' = 1,87$). Penurunan populasi lalat buah sebesar 45,24% menunjukkan bahwa keanekaragaman predator yang didukung oleh refugia berperan langsung dalam pengendalian hayati. Dengan demikian, predator dalam sistem refugia berfungsi mengurangi kelangsungan hidup lalat buah pada tahap awal daur hidupnya (telur dan larva), sehingga strategi ini dapat direkomendasikan sebagai bagian dari Pengendalian Hama Terpadu (PHT) yang berkelanjutan di agroekosistem jeruk.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh asisten peneliti atas kontribusinya dalam pengambilan data sampel. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada Beasiswa Pendidikan Indonesia (BPI) melalui Pusat Pelayanan Pembiayaan dan Asesmen Pendidikan Tinggi (PPAPT) serta Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) atas dukungan pendanaan yang telah diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alcocer I, Lima H, Sugai LSM, Llusia D. 2022. Acoustic indices as proxies for biodiversity: a meta-analysis. *Biological Reviews*. 97(6):2209-2236. doi: <https://doi.org/10.1111/brv.12890>.
- Arma R, Sari DE, Irsan I. 2019. Identifikasi hama lalat buah (*Bactrocera* sp.) pada tanaman cabe. *Agrominansia*. 3(2):109-120. doi: <https://doi.org/10.34003/272007>.
- Babafemi OP, Iyiola AO, Ojeleye AE, Adebayo QS. 2022. Advantages and potential threats of agrochemicals on biodiversity conservation. In *Biodiversity in Africa: potentials, threats and conservation*. 267-292. Singapore: Springer Nature Singapore. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-19-3326-4_10.
- Bhagarathi LK, Maharaj G. 2023. Impact of climate change on insect biology, ecology, population dynamics, and pest management: A critical review. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 19(3):541-568. doi: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.19.3.1843>.
- Chen X, Jaworski CC, Dai H, Liang Y, Guo X, Wang S, Desneux N. 2022. Combining banker plants to achieve long-term pest control in multi-pest and multi-natural enemy cropping systems. *Journal of pest science*. 1-13. doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-503399/v1>.

- De Clercq P. 2024. Plants in the rearing of arthropod predators and parasitoids: Benefits, constraints, and alternatives. *Current Opinion in Insect Science*. 61:101139. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2023.101139>.
- Duff H, Debinski, D, Maxwell BD. 2024. Ecological refugia enhance biodiversity and crop production in dryland grain production systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 359:108751. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108751>.
- Feit B, Blüthgen N, Daouti E, Straub C, Traugott M, Jonsson M. 2021. Landscape complexity promotes resilience of biological pest control to climate change. *Proceedings of the Royal Society B*. 288(1951):20210547. doi: <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.0547>.
- Haan NL, Zhang Y, Landis DA. 2020. Predicting landscape configuration effects on agricultural pest suppression. *Trends in ecology & evolution*. 35(2):175-186. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.10.003>.
- Jain S, Singh H, Kore DS, Mishra S, Sharma R. 2023. A Comprehensive Review on Post Harvest Physiological Disorders in Citrus Fruit Crops (*Citrus* spp.). *Int. J. Environ. Clim. Change*. 13(10):2863-2873. doi: <https://doi.org/10.9734/ijec/2023/v13i102952>.
- Josephraj Kumar A, Mani M, Anes KM, Mohan C. 2022. Ecological engineering in pest management in horticultural and agricultural crops. *Trends in Horticultural Entomology*. 123-155. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-19-0343-4_4.
- Kumar S, Bhowmick MK, Ray P. 2021. Weeds as alternate and alternative hosts of crop pests. *Indian Journal of Weed Science*. 53(1): 14-29. doi: <https://doi.org/10.5958/0974-8164.2021.00002.2>.
- Landsman AP, Thiel CR. 2021. Habitat characteristics and climatic factors influence microhabitat selection and arthropod community structure in a globally rare central Appalachian shale barren. *Ecology and Evolution*. 11(24):18169-18180. doi: <https://doi.org/10.1002/ece3.8413>.
- Mougi A. 2022. Predator interference and complexity–stability in food webs. *Scientific reports*. 12(1):2464. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06524-w>.
- Nyffeler M, Gibbons JW. 2022. Spiders feeding on vertebrates is more common and widespread than previously thought, geographically and taxonomically. *The Journal of Arachnology*. 50(2):121-134. doi: <https://doi.org/10.1636/JoA-S-21-054>.
- Pålsson J, Porcel M, Dekker T, Tasin M. 2022. Attract, reward and disrupt: responses of pests and natural enemies to combinations of habitat manipulation and semiochemicals in organic apple. *Journal of Pest Science*. 1-13. doi: <https://doi.org/10.1007/s10340-021-01410-2>.
- Pathak VM, Verma VK, Rawat BS, Kaur B, Babu N, Sharma A, Cunill JM. 2022. Current status of pesticide effects on environment, human health and it's eco-friendly management as bioremediation: A comprehensive review. *Frontiers in microbiology*. 13:962619. doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.962619>.
- Pathrose B, Chellappan M, Ranjith, MT. 2023. Mass Production of Insect Predators. In *Commercial Insects*. 270-299. Boca Raton(FL): CRC Press. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003454960-12>.
- Pebriyanti R. 2023. Pengendalian hama lalat buah (*Bactrocera* sp.) pada tanaman jeruk (*Citrus* sp.) menggunakan perangkap sexferomon di Balai Pengujian Standar Instrumen Tanaman Jeruk dan Buah Subtropika [Disertasi]. Lampung: Politeknik Negeri Lampung.

- Rahmawati YF, Leksono AS, Gama ZP, Rizali A. 2024. Diversity of *Bactrocera* spp. in different habitat types in Citrus Orchards at Malang Regency. *Al-Hayat: Journal of Biology and Applied Biology*. 7(2):107-118.
- Rahmawati YF, Leksono AS, Rizali A, Gama ZP. 2024. Population dynamics of *Bactrocera* spp., and parasitization efficacy of *Opius* sp. (Hymenoptera: Braconidae) in citrus varieties. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 25(11):4350-4359. doi: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d251134>.
- Rahmawati YF, Leksono AS, Gama ZP, Rizali A. 2025. The impact of refuges on Citrus orchards associated with arthropods in different agroecosystem in Malang, Indonesia. *Cogent Food & Agriculture*. 11(1):2448599. doi: <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2448599>.
- Rossetto M, Kooyman R. 2021. Conserving refugia: what are we protecting and why?. *Diversity*. 13(2):67. doi: <https://doi.org/10.3390/d13020067>.
- Rytteri S, Kuussaari M, Saastamoinen M. 2021. Microclimatic variability buffers butterfly populations against increased mortality caused by phenological asynchrony between larvae and their host plants. *Oikos*. 130(5):753-765. doi: <https://doi.org/10.1111/oik.07653>.
- Sentil A, Wood TJ, Lhomme P, Hamroud L, El Abdouni I, Ihsane O, Michez D. 2022. Impact of the "farming with alternative pollinators" approach on crop pollinator pollen diet. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 10: 824474. doi: <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.824474>.
- Serée L, Barbottin A, Chiron F, Valantin-Morison M, Gardarin A. 2023. Within-field floral resources have the potential to increase parasitism rates in winter oilseed rape pests more than resources at field margins. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 344:108288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108288>.
- Setyadin Y, Leksono AS, Tarno H. 2025. Diversity and bioindicators of natural enemies in organic paddy fields implementing habitat modification. In *BIO Web of Conferences*. EDP Sciences. doi: <https://doi.org/10.1051/bioconf/202515401004>.
- Shaw B, Nagy C, Fountain MT. 2021. Organic control strategies for use in IPM of invertebrate pests in apple and pear orchards. *Insects*. 12(12):1106. doi: <https://doi.org/10.3390/insects12121106>.
- Sicsú PR, Macedo RH, Sujii ER. 2020. Lady beetle oviposition site choices. *The Florida Entomologist*. 103(2):228-235. doi: <https://doi.org/10.1653/024.103.0212>.
- Sofa A, Mininni AN, Ricciuti P. 2020. Soil macrofauna: A key factor for increasing soil fertility and promoting sustainable soil use in fruit orchard agrosystems. *Agronomy*. 10(4):456. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy10040456>.