

PERAN NAUNGAN PEPAYA (*Carica papaya L.*) DAN PISANG (*Musa paradisiaca L.*) DALAM MENINGKATKAN POPULASI SERANGGA MUSUH ALAMI, PREDATOR DAN PARASITOID PADA KAKAO (*Theobroma cacao L.*)

(*The Role of Papaya (*Carica Papaya L.*) and Banana (*Musa Paradisiaca L.*) Shade In Increasing The Population of Natural Enemy Insects, Predators, and Parasitoids on Cocoa (*Theobroma cacao L.*)*)

Christopher Dionisius Arya Abhiswa¹, Wiwin Windriyanti¹, Ramadhani Mahendra Kusuma^{1*}

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Jl. Rungkut Madya, Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Surabaya, Jawa Timur

*E-mail korespondensi: ramadhani_mahendra.agro@upnjatim.ac.id

ABSTRACT

*The purpose of this study is to determine the presence of natural enemies and pollinating insects on cocoa plants (*Theobroma cacao L.*). This research was conducted during the vegetative phase, using the method of direct field observation. Insects collected from the nest were brought to the laboratory for observation. The research results show that using yellow traps, 44 insect genera were found in cocoa plantations shaded by papaya, and 38 insect genera were found in cocoa plantations shaded by bananas. The level of insect diversity in cocoa plantations shaded by bananas and papaya is considered good. This finding indicates that the pest population is naturally suppressed by pollinators and natural enemies at the research site. The results of the Shannon-Wiener diversity index (H') analysis showed moderate diversity in both locations, the species evenness index (E') indicated a high category in both locations, the species richness index (R') showed a high category in both areas, and the dominance index (C') indicated a low category for both areas. This research is expected to serve as a foundation for sustainable, environmentally friendly, and ecologically friendly pest control approaches.*

Keywords : *Banana shade, Diversity insect, Natural enemies, Papaya shade, Pollinator insects*

PENDAHULUAN

Serangga adalah kelompok hewan yang paling banyak ditemukan di berbagai wilayah permukaan bumi, termasuk darat, laut, dan udara. Mereka hidup dengan berbagai cara, seperti memakan tumbuhan, serangga, atau hewan lain (Hasyimuddin *et al.*, 2017). Sebagian besar spesies tumbuhan bergantung pada proses penyerbukan yang dibantu oleh berbagai jenis serangga polinator. Proses ini dilakukan oleh serangga polinator liar dan polinator yang dipelihara, seperti lebah. Populasi tumbuhan baik dibudidayakan maupun alami sangat bergantung pada komunitas serangga polinator liar ini. Serangga berfungsi sebagai penyerbukan bunga, meskipun mereka pada dasarnya tidak terlibat secara langsung dalam proses polinasi. Serangga memakan nektar bunga. Namun, secara tidak sengaja, polen atau serbuk sari menempel pada tubuh serangga dan terbawa hingga menempel pada kepala putik bunga lain, menyebabkan penyerbukan terjadi (Tarwotjo *et al.*, 2019).

Berbagai jenis serangga memainkan peran penting dalam proses penyerbukan tanaman berbunga. Menurut Robson (2014), sebagian besar serangga yang berpartisipasi dalam penyerbukan berasal dari ordo Hymenoptera (semut dan lebah), Coleoptera (kumbang), Lepidoptera (kupu-kupu dan ngengat), dan Diptera (lalat). Namun, lebah dari superfamili Apoidea adalah jenis serangga yang berperan paling besar dalam penyerbukan. Lebah biasanya digunakan sebagai penyerbuk dan sangat penting untuk menanam tanaman hortikultura intensif. Sebuah istilah yang digunakan untuk menggambarkan hubungan

antara serangga dan bunga ini adalah mutualisme. Serangga memakan bunga dalam bentuk nektar dan serbuk sari, dan tanaman mendapatkan manfaat dari proses penyerbukan yang dilakukan serangga (Tawotjo *et al.*, 2019).

Tanaman kakao juga dapat diberikan naungan, dan keanekaragaman serangga dapat dipengaruhi oleh pohon naungan ini. Menurut penelitian, keanekaragaman hayati di perkebunan kakao yang diberi naungan lebih tinggi dibandingkan dengan ekosistem hutan lainnya. Tanaman pisang (*Musa paradisiaca* L.) adalah salah satu jenis pohon yang sering digunakan sebagai naungan di perkebunan kakao. Namun, keragaman serangga pada pohon naungan tersebut masih belum diketahui (Rasiska & Khairullah, 2017). Struktur komunitas arthropoda dibentuk oleh naungan, yang berfungsi sebagai filter ekologis dan secara fundamental mengubah kondisi lingkungan. Dalam sistem agroforestri atau lahan yang ditutupi kanopi, tercipta iklim mikro yang lebih sejuk, lembap, dan terlindung dari sinar matahari langsung.

Pohon pisang (*Musa* sp.) memainkan peran penting dalam menyediakan lingkungan mikro yang stabil bagi serangga yang bermanfaat. Daun-daunnya yang lebar dan rimbun secara efektif memberikan naungan, yang dapat menurunkan suhu udara dan permukaan tanah sekaligus menjaga kelembapan di wilayah tersebut. Kondisi ini menciptakan tempat perlindungan yang ideal bagi serangga, baik musuh alami maupun polinator. Ini memungkinkan mereka untuk berlindung dari predator dan menghindari panas ekstrim pada siang hari (Perfecto *et al.*, 2014). Struktur fisik pohon pisang, mulai dari pelepah hingga serasah di pangkalnya, menyediakan habitat yang kompleks bagi berbagai predator, termasuk kumbang predator dan laba-laba. Kelelawar biasanya menyerbuki bunga pisang, tetapi nektar yang melimpah dari jantung pisang juga menjadi makanan bagi serangga lain, seperti semut dan lebah, yang berkontribusi pada keseimbangan ekosistem (Klein *et al.*, 2007).

Naungan pepaya (*Carica papaya* L.) melakukan banyak hal untuk lingkungan, terutama sebagai pakan floral untuk serangga polinator dan musuh alami. Bunga pepaya, terutama pada tanaman jantan dan hermafrotit, menghasilkan nektar dan polen, yang sangat disukai oleh berbagai jenis lebah, termasuk *Apis cerana indica* dan *Apis dorsata*, yang berfungsi sebagai polinator (Dey *et al.*, 2016). Untuk proses penyerbukan tanaman, ketersediaan sumber pakan ini sangat penting. Ini juga penting untuk mendukung populasi musuh alami. Tanon parasitoid, yang merupakan agen pengendali hayati penting, sangat bergantung pada nektar sebagai sumber energi untuk bertahan hidup lebih lama, meningkatkan kesuburan, dan lebih efektif dalam mencari inang hama (Wäckers *et al.*, 2005). Naungan pepaya membantu menjaga populasi musuh alami di lahan pertanian tetap stabil, bahkan ketika populasi hama utama menurun. Oleh karena itu, untuk meningkatkan layanan ekosistem penyerbukan dan pengendalian hama alami, integrasi pohon pepaya ke dalam lanskap pertanian adalah strategi konservasi biologis yang berhasil.

Naungan secara fundamental mengubah kondisi lingkungan dan bertindak sebagai filter ekologis yang membentuk struktur komunitas arthropoda. Dalam sistem agroforestri atau lahan dengan tutupan kanopi, tercipta iklim mikro yang lebih sejuk, lembap, dan terlindung dari paparan sinar matahari langsung. Kondisi ini terbukti sangat menguntungkan bagi kelompok arthropoda yang sensitif terhadap panas dan kekeringan. Sebuah studi terkini pada sistem agroforestri kopi menemukan bahwa kelimpahan dan keanekaragaman arthropoda tanah, khususnya dari famili *Formicidae* (semut) dan *Staphylinidae* (kumbang rove), secara signifikan lebih tinggi pada lahan dengan tingkat naungan yang rapat dibandingkan lahan yang lebih terbuka (Nadiyah, 2021). Peningkatan populasi semut dan kumbang predator di bawah naungan ini menunjukkan potensi untuk meningkatkan proses dekomposisi serta menekan populasi hama secara hayati, yang pada akhirnya mendukung kesehatan ekosistem pertanian secara keseluruhan.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu

Sampel serangga diambil dari lahan kakao di Desa Curahdukuh, Kecamatan Kraton, Kabupaten Pasuruan (112° 50' 3" Bujur Timur dan 7° 38' 19" Lintang Selatan). Tanaman kakao yang digunakan sebagai penelitian ini, yaitu tanaman kakao varietas sulawesi yang sudah memasuki fase generatif. Fase

vegetatif pada tanaman kakao ditandai dengan munculnya batang dan daun. Tanaman naungan pada lahan penelitian yaitu tanaman pisang dengan varietas kapok merah (*Musa paradisiaca L.*).

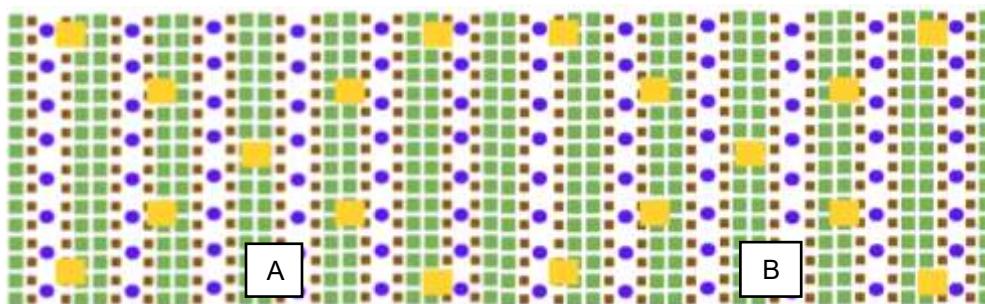
Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan yaitu mikroskop Digital, jaring serangga (sweep net), preparate, hand conter, termohigrometer, pin serangga ukuran 0, 3, 4, 5, plastik koleksi, gelas plastik, pinset, jarum suntik, gunting, ajir, meteran, Microsoft excel, Graphpad Prism, kamera handphone sebagai dokumentasi pengamatan, proses identifikasi dibantu dengan kunci determinasi dan juga aplikasi iNaturalist dan situs web Bugguide.net (<https://bugguide.net>). Bahan yang digunakan adalah alat tulis, lembar pengamatan, yellow trap, alcohol (aseton) 70%, kertas pias, kertas karton, label.

Metode Penelitian

Pengamatan dan Pengambilan Sampel

Penelitian ini dilakukan pengamatan secara langsung dan penggunaan perangkap digunakan untuk mengetahui keberadaan serangga. Untuk mengumpulkan sampel serangga melalui pengamatan perangkap kuning dipasang secara diagonal dengan jarak sekitar 2 meter antar perangkap. Selama dua bulan, observasi dilakukan dua kali seminggu, dimulai saat tanaman memasuki fase vegetatif. Mengambil sampel serangga dari tanaman kakao adalah bagian dari penelitian ini. Ini dimulai dengan menentukan lokasi sampel, menentukan tata letak dan pemasangan perangkap, mengidentifikasi serangga, dan kemudian menganalisis data untuk mengetahui keanekaragaman serangga di tanaman kakao.



Gambar 1. Denah pemasangan yellow trap pada lahan kakao yang ternaungi pisang (A) dan ternaungi papaya (B)

Perangkap yellow trap dipasang menggunakan ajir kemudian diletakkan antara tanaman kakao dengan jarak 2 meter antar perangkap. Perangkap yellow trap dibuat sebanyak 9 perangkap disetiap lahan berbentuk diagonal untuk mendapatkan sampel. Perangkap dibiarkan selama 24 jam. Pengambilan sampel dilakukan pada pagi hari antara pukul 07.00 hingga 09.30, dan serangga yang tertangkap disimpan dalam botol sampel, penangkapan dilakukan 2 kali seminggu (Putriyani *et al.*, 2024)

Identifikasi Serangga

Perhitungan jumlah serangga, identifikasi, lokasi dan waktu pengambilan serangga kemudian dicatat dalam buku catatan. Dilakukan identifikasi sampel serangga yang diperoleh melalui perangkap kuning. Menggunakan trap merah untuk memantau serangga: langkah pertama adalah memasang trap merah di antara tanaman kakao dengan jarak satu meter, dan aplikasi iNaturalis digunakan untuk mencocokkan foto dan karakteristik serangga. Setelah jebakan dipasang, serangga harus diperiksa dan dikumpulkan secara teratur. Untuk menghindari kerusakan spesimen, serangga yang terperangkap harus dipindahkan dengan hati-hati menggunakan pinset atau sikat lembut. Selain itu, harus dicatat berapa banyak dan jenis serangga yang berhasil ditangkap.

Tahap berikutnya adalah identifikasi serangga. Serangga yang dikumpulkan diamati secara morfologi menggunakan kaca pembesar atau mikroskop dengan perbesaran 100x untuk memeriksa bentuk, sayap, antena, dan kakinya. Untuk membantu proses identifikasi, juga diukur dimensi tubuh dan bagian tertentu, seperti panjang sayap. Pada tahap ini, ciri-ciri serangga dicocokkan dengan spesies yang sudah tercatat dengan menggunakan referensi taksonomi dan panduan identifikasi dari buku studi serangga. Jika ada kesulitan dalam mengidentifikasi dapat berkonsultasi dengan ahli entomologi atau

menggunakan aplikasi identifikasi digital sebagai alternatif. Mendokumentasikan dan mencatat spesimen serangga segera setelah ditemukan. Ini termasuk mencatat taksonomi spesies, lokasi, dan tanggal pengumpulan, serta mengambil foto untuk dokumentasi visual (Dharmayanti, 2016). Hasil identifikasi serangga dapat digunakan untuk mengontrol hama atau melindungi keanekaragaman hayati. Misalnya, identifikasi ini dapat membantu mengidentifikasi apakah serangga yang ditemukan adalah pollinator, predator alami, atau hama.

Parameter Pengamatan

Parameter pengamatan dari penelitian ini yaitu jumlah individu arthropoda yang tertangkap selama penelitian dilakukan, indeks keanekaragaman, indeks kekayaan, indeks kemerataan, dan indeks dominansi arthropoda pada agroekosistem kakao.

1. Indeks Keanekragaman Serangga

Indeks keanekaragaman serangga pada lahan tanaman kakao dihitung dengan menggunakan indeks Shannon Wiener (H') (Tustiyani *et al.*, 2020).

$$H' = - \sum \left(\frac{n_i}{N} \right) \left(\ln \frac{n_i}{N} \right)$$

Keterangan:

H' : indeks keanekaragaman jenis

n_i : Jumlah individu dari seluruh jenis

N : Jumlah total individu dari seluruh jenis

Hasil nilai keanekaragaman yang telah didapatkan, bisa dilihat sesuai dengan nilai tolak ukur sebagai berikut :

$H' < 1,0$: Keanekaragaman rendah

$1,0 < H' < 3,322$: Keanekaragaman sedang

$H' > 3,322$: Keanekaragaman tinggi

2. Indeks Dominasi Serangga

Indeks dominasi pada suatu lahan tanaman kakao dihitung menggunakan rumus Simpson (Tustiyani *et al.*, 2020) yaitu :

$$C = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

Keterangan :

C : Indeks dominasi

n_i : Jumlah individu ke-i

N : Jumlah seluruh individu

Hasil nilai dominasi yang telah didapatkan, bisa dilihat sesuai dengan nilai tolak ukur sebagai berikut :

$0 < C \leq 0,5$: Dominasi rendah

$0,5 < C \leq 0,75$: Dominasi sedang

$0,75 < C \leq 1,0$: Dominasi tinggi

3. Indeks Kemerataan

Indeks Kemerataan (Index of Evenness) berfungsi untuk mengetahui kemerataan setiap jenis dalam setiap komunitas yang dijumpai. Indeks kemerataan dapat dihitung dengan rumus berikut dalam (Wijayanto *et al.*, 2022):

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Keterangan:

E : Indeks Kemerataan.

H' : Keanekaragaman Jenis.

Ln : Logaritma Natural.

S : Jumlah Jenis.

Menurut (Setiarno *et al.*, 2022) kriteria pengukuran kemerataan jenis adalah sebagai berikut:
 $E < 0,3$: Tingkat kemerataan jenis tergolong rendah.

$0,3 < E < 0,6$: Tingkat kemerataan jenis tergolong sedang.

$E \geq 0,6$: Tingkat kemerataan jenis tergolong tinggi.

4. Indeks Kekayaan

Indeks kekayaan jenis (species richness) merupakan ukuran kuantitatif yang menggambarkan perbedaan jumlah jenis atau spesies pada suatu komunitas tertentu. Semakin banyak jumlah spesies yang ditemukan dalam suatu komunitas, maka semakin tinggi pula indeks kekayaan jenisnya. Indeks kekayaan jenis dapat diukur menggunakan rumus (Wijayanto *et al.*, 2022):

$$R = \frac{S - 1}{\ln(N)}$$

Keterangan:

R : Indeks kekayaan jenis.

S : Jumlah total jenis yang teramati.

ln : Logaritma natural.

N : Jumlah total individu yang teramati.

Kriteria nilai Indeks Kekayaan Jenis Margalef (Wijayanto *et al.*, 2022) adalah sebagai berikut :

$R < 2,5$: Tingkat kekayaan jenis rendah.

$2,5 < R < 4$: Tingkat kekayaan jenis sedang.

$R > 4$: Tingkat kekayaan jenis tinggi.

Analisis data

Penelitian ini bersifat diskriptif kuantitatif. Data hasil penelitian ditabulasi dengan menggunakan GraphPad Prism. Penyajian data disajikan dalam bentuk tabel. Parameter yang diamati meliputi indeks keanekaragaman, indeks kekayaan, indeks kemerataan, dan indeks dominansi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Identifikasi Serangga

Berdasarkan hasil pengamatan pada lahan kakao yang ternaungi pohon pisang dan pohon papaya pada yellow trap, ditemukan total 2.246 musuh alami dan polinator. Rincian jumlah pada tanaman kakao yang ternaungi pohon pisang 360 parasitoid, 282 predator, 194 polinator.

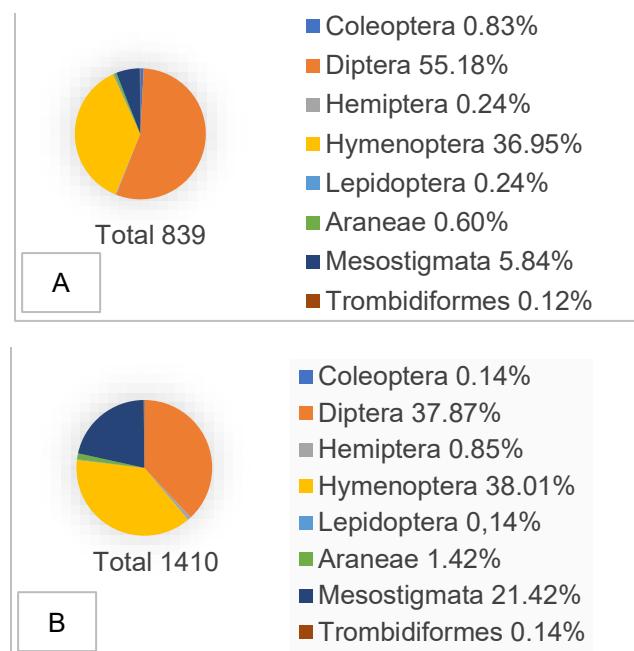
Tabel 1. Jenis dan Populasi Musuh Alami dan Polinator

| No. | Insect | Ordo | Jenis Serangga | | Σ Populasi (Ekor) | |
|-----|--------|---------|----------------|----------------|--------------------------|--------|
| | | | Famili | Genus | Pisang | Pepaya |
| 1 | Insect | Diptera | Staphylinidae | Halobrecta | 7 | 2 |
| 2 | | | | Bezzia | 30 | 10 |
| 3 | | | | Culicoides | 35 | 38 |
| 4 | | | | Dasyhelea | 13 | 10 |
| 5 | | | | Downshelea | 11 | 3 |
| 6 | | | | Forcipomyia | 66 | 132 |
| 7 | | | | Argyra | 11 | 5 |
| 8 | | | | Eutonia | 1 | 2 |
| 9 | | | | Habrobracon | 1 | 1 |
| 10 | | | | Lonchopteridae | 70 | 90 |

| | | | | | |
|---------------|----------------|-------------------|-----------------|-----|------|
| 11 | | Muscidae | Musca | 39 | 16 |
| 12 | | Phoridae | Phora | 1 | 4 |
| 13 | | | Megaselia | 182 | 218 |
| 14 | | Tabanidae | Tabanus | 1 | 0 |
| 15 | | Derbidae | Sikaiana | 0 | 1 |
| 16 | | | Deraeocoris | 0 | 1 |
| 17 | Hemiptera | Miridae | Orthotylus | 0 | 4 |
| 18 | | | Renardia | 2 | 4 |
| 19 | | Notonectidae | Cemus | 0 | 2 |
| 20 | | | Aphytis | 3 | 2 |
| 21 | | Aphelinidae | Eretmocerus | 2 | 5 |
| 22 | | | Encarsia | 15 | 25 |
| 23 | | | Microplitis | 4 | 9 |
| 24 | | Braconidae | Cotesia | 31 | 25 |
| 25 | | | Pseudognaphodon | 38 | 33 |
| 26 | | Ceraphronidae | Ceraphron | 5 | 7 |
| 27 | | Eulophidae | Melittobia | 3 | 2 |
| 28 | Hymenoptera | | Aprostocetus | 7 | 2 |
| 29 | | | Acanthognathus | 29 | 28 |
| 30 | | | Camponotus | 11 | 7 |
| 31 | | Formicidae | Oecophylla | 0 | 1 |
| 32 | | | Tapinoma | 69 | 84 |
| 33 | | | Brachymyrmex | 23 | 205 |
| 34 | | | Anagrus | 47 | 92 |
| 35 | | Mymaridae | Cnecomymar | 14 | 7 |
| 36 | | | Gonatocerus | 7 | 5 |
| 37 | Lepidoptera | Trichogrammatidae | Trichogramma | 4 | 2 |
| 38 | | Lycaenidae | Athamas | 2 | 2 |
| 39 | | Araneidae | Araneus | 2 | 11 |
| 40 | Araneae | Salticidae | Synemosyna | 0 | 8 |
| 41 | Arachnida | Theridiidae | Coleosoma | 3 | 1 |
| 42 | | Mesostigmata | Laelapidae | 3 | 4 |
| 43 | | | Parasitidae | 46 | 298 |
| 44 | Trombidiformes | Erythraeidae | Callidosoma | 1 | 2 |
| JUMLAH | | | | 44 | 839 |
| | | | | | 1410 |

Rincian jumlah pada tanaman kakao yang ternaungi pohon papaya 438 parasitoid, 763 predator, 209 polinator. Keanekaragaman musuh alami dan pollinator pada lahan kakao yang dinaungi pohon pisang terdiri dari 8 ordo, 24 famili, 38 genus. Keanekragaman musuh alami dan pollinator pada lahan kakao yang ternaungi pohon papaya terdiri dari 8 ordo, 26 famili, 44 genus. Secara keseluruhan, musuh alami dan pollinator yang teridentifikasi pada lahan tersebut mencakup 8 ordo, antara lain Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Aranae, Mesotigmata, Trombidiformes. Selain itu, ditemukan juga 26 famili yang meliputi Staphylinidae, Aphelinidae, Ceratopogonidae, Dolichopodidae, Hybotidae, Lonchopteridae, Muscidae, Phoridae, Tabanidae, Derbidae, Miridae, Notonectidae, Aphelinidae, Braconidae, Ceraphronidae, Eulophidae, Formicidae, Mymaridae, Trichogrammatidae, Lycaenidae, Araneidae, Salticidae, Theridiidae, Laelapidae, Parasitidae, Erythraeidae. Genus yang didapatkan 44 yang meliputi Halobrecta, Eretmocerus, Bezzia, Culicoides, Dasyhelea, Downeshelea, Forcipomyia, Argyra, Eutonia, Drapetis, Lonchoptera, Musca, Phora, Tabanus, Sikaiana, Deraeocoris Orthotylus, Renardia,

Cemus, Aphytis, Encarsia, Microplitis, Cotesia, Pseudognaptodon, Ceraphron, Melittobia, Aprostocetus, Acanthognathus, Camponotus, Oecophylla, Tapinoma, Brachymyrmex, Anagrus, Cnecomymar, Gonatocerus, Megaselia, Trichogramma, Athamas, Araneus, Synemosyna, Coleosoma, Cornodendrolaelaps, Coleogamasus, Callidosoma, Leptus.



Gambar 2. Persentase musuh alami dan pollinator pada lahan kakao yang dinaungi pohon pisang (A) dan pohon pepaya (B) berdasarkan ordo.

Gambar 1 menunjukkan bahwa persentase ordo tertinggi pada lahan kakao yang ternaungi pohon pisang adalah ordo Diptera sebesar 55,18% dan ordo Hymenoptera sebesar 38,01% pada lahan kakao yang ternaungi pohon papaya. Kondisi ekosistem di suatu wilayah berkorelasi dengan keanekaragaman serangga di sana. Semakin banyak jenis serangga yang berbeda menunjukkan bahwa ekosistem tersebut masih dalam kondisi baik (Windriyanti *et al.*, 2023). Karena mikroklimat yang lebih sejuk dan lembab menurunkan suhu ekstrem pada imago sekaligus menyediakan substrat basah gelap (serasah, kayu lapuk, jamur, atau epifit) yang penting bagi banyak larva Diptera dan tempat inang bersembunyi, yang meningkatkan kelangsungan hidup dan keberhasilan mencari mangsa atau inang (Jarrett *et al.*, 2024). Serangga predator seperti Dolichopodidae dan parasitoid seperti Tachinidae hidup lebih baik di hutan tropis karena kompleksitas ruang yang dihasilkan oleh struktur berlapis. Kedua famili ini terbukti lebih banyak ditemukan di strata kanopi, dan mereka menunjukkan bahwa mereka lebih suka lingkungan berstruktur dan ternaungi daripada lantai terbuka. Selain itu, sistem agroforestri yang lebih teduh biasanya menyediakan kombinasi sumber daya yang mendukung kelimpahan Diptera (de Souza Amorim *et al.*, 2022).

Habitat dan sumber daya yang lebih beragam di lahan kakao yang dinaungi pohon pepaya membuat ordo Hymenoptera lebih tinggi di sana dibandingkan dengan lahan kakao tanpa naungan. Serangga Hymenoptera sangat menyukai mikroklimat yang lebih stabil dengan kelembaban dan suhu ideal yang diciptakan oleh pohon naungan seperti pepaya (Dissanayaka *et al.*, 2024). Ini adalah tempat yang sangat disukai oleh serangga untuk berlindung, mencari makan, dan berkembang biak (Dissanayaka *et al.*, 2024). Selain itu, bunga pohon naungan menarik serangga penyerbuk dan parasitoid yang penting bagi ekosistem kakao, memberikan nektar dan serbuk sari tambahan (Indriati *et al.*, 2020).

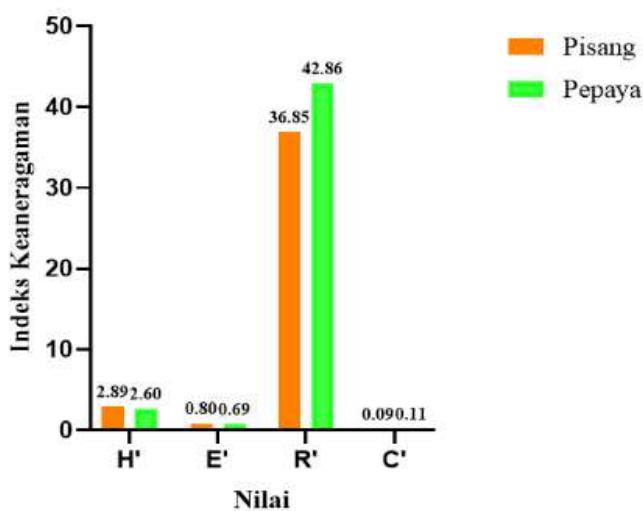
Pohon naungan meningkatkan keragaman struktural ekosistem agroforestry dan memberi musuh alami hama kakao, seperti semut dan tawon parasitoid, lebih banyak tempat bersarang dan persembunyian. Dengan demikian, populasi musuh alami ini secara efektif mengendalikan hama kakao, seperti kepik penghisap buah, melalui mekanisme pengendalian hayati alami. Pada akhirnya, ini dapat meningkatkan produktivitas kakao dan mengurangi ketergantungan pada pes. Akibatnya, sistem agroforestri yang mengandung pohon pisang dan pepaya meningkatkan keseimbangan ekosistem dan

mendukung keanekaragaman serangga, terutama dari ordo *Hymenoptera*. *Hymenoptera* populasi 36.95% di lahan kakao dengan pohon pisang dan Diptera populasi 37.87% di lahan kakao dengan pohon papaya. Ada juga berbagai Ordo yang ditemukan di lahan kakao, seperti Mesotigmata 5.84% dan 21.42%, Coleoptera 0,83% dan 0,14%; Hemiptera 0,24% dan 0,85%; Lepidoptera 0,24% dan 0,14%; Aranae 0,60% dan 1,42%; dan Trombidiformes 0,12% dan 0,14%. Sistem agroforestri menciptakan lingkungan yang stabil dengan kelembaban dan suhu yang stabil. Ini adalah kondisi yang ideal untuk kelangsungan hidup dan perkembangbiakan berbagai serangga dan laba-laba (Indriati et al., 2020).

Arthropoda, termasuk serangga polinator (Diptera dan Lepidoptera) dan musuh alami (Coleoptera), tertarik pada sumber makanan tambahan dari bunga dan serasah organik. Studi menunjukkan bahwa keanekaragaman tanaman naungan seperti pisang meningkatkan kelimpahan dan keragaman arthropoda (Noriega et al., 2018). Diversitas struktural diberikan oleh keberadaan pohon pisang dan pepaya. Vegetasi berlapis-lapis ini, dari kanopi atas hingga serasah daun di tanah, menjadi habitat penting bagi berbagai ordo, termasuk laba-laba (Aranae) dan tungau predator (Mesostigmata, Trombidiformes). Kompleksitas ini meningkatkan populasi musuh alami, yang membantu mengendalikan hama hayati dan populasi serangga penyebuk yang beragam. Secara keseluruhan, ini meningkatkan ketahanan ekosistem kakao (Noriega et al., 2018).

2. Keanekaragaman Musuh Alami dan Polinator

Keanekaragaman musuh alami dan polinator berperan penting dalam ekosistem pertanian. Penilaian keanekaragaman musuh alami pada tanaman kakao yang ternaungi pohon pisang dan pohon pepaya dilakukan menggunakan beberapa indeks, termasuk indeks keanekaragaman jenis (H'), indeks kemerataan jenis (E'), indeks kekayaan jenis (R'), dan indeks dominansi (C'). Hasil analisis dari indeks-indeks tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini,



Gambar 3. Indeks Keanekaragaman Serangga pada Lahan kakao

2.1. Indeks Keanekaragaman Jenis (H')

Hasil perhitungan indeks keanekaragaman jenis (H') menunjukkan bahwa nilai pada lahan kakao yang ternaungi pohon pisang adalah sebesar 2,89 dan pada lahan kakao yang ternaungi pohon pepaya sebesar 2,60. Melihat nilai indeks keanekaragaman tersebut diantara 1-3 maka keanekaragaman jenis pada lahan tersebut termasuk kategori sedang, yang dapat diartikan mengarah kedalam kondisi baik. Nilai indeks keanekaragaman pada lahan kakao dengan tanaman naungan pisang lebih tinggi daripada lahan kakao yang ternaungi pohon pepaya sehingga menunjukkan bahwa kanopi yang lebih lebar dapat meningkatkan nilai indeks keanekaragaman jenis. Keberagaman arthropoda lebih tinggi pada sistem agroekosistem pisang berbasis campuran spesies dibandingkan dengan *monoculture*, dengan spesies *Hymenoptera* predator dan parasit lebih banyak ditemukan, yang memiliki kualitas tanah lebih baik (Vera-aviles et al., 2020).

2.2. Indeks Kemerataan Jenis (E')

Hasil perhitungan indeks kemerataan jenis (E') menunjukkan bahwa nilai pada lahan kakao yang ternaungi pohon pisang adalah sebesar 0,80 dan pada lahan kakao yang ternaungi pohon pepaya sebesar 0,69. Melihat nilai indeks kemerataan tersebut diantara 0,6 - 1 maka kemerataan jenis pada kedua lahan termasuk kategori tinggi, yang dapat diartikan semua jenis musuh alami dan serangga polinator menyebar secara merata pada lahan tanpa ada yang mendominasi. Tingginya nilai indeks kemerataan jenis dapat dipengaruhi oleh lingkungan yang menyediakan makanan dan habitat bagi musuh alami dan serangga polinator. Sehingga, musuh alami dan polinator tidak mengalami persaingan dan menyebar merata pada lahan. Keseragaman yang lebih tinggi sering dikaitkan dengan ekosistem yang lebih stabil, yang dapat berkontribusi pada peningkatan hasil dan keberlanjutan dalam praktik pertanian (Marcelino *et al.*, 2024).

2.3. Indeks Kekayaan Jenis (R')

Hasil perhitungan indeks kekayaan jenis (R') menunjukkan bahwa nilai pada lahan kakao yang ternaungi pohon pisang adalah sebesar 36,85 dan pada lahan kakao yang ternaungi pohon pepaya sebesar 42,86. Kedua nilai tersebut lebih dari 5 yang dapat diartikan bahwa kekayaan jenis pada kedua lahan termasuk dalam kategori tinggi. menunjukkan bahwa ekosistem Pepaya lebih tangguh terhadap perubahan lingkungan dan lebih mampu mempertahankan fungsinya. Penelitian terbaru menekankan bahwa tanaman dengan ketahanan tinggi berperan penting dalam menjaga stabilitas agroekosistem, meningkatkan produktivitas pertanian, dan menghadapi tekanan akibat perubahan iklim dan peristiwa cuaca ekstrem (Asghar *et al.*, 2025). dan juga menunjukkan bahwa keberagaman spesies dalam agroekosistem berkontribusi pada ketahanan terhadap stres lingkungan (Wan *et al.*, 2024).

2.4. Indeks Dominansi (C')

Hasil perhitungan indeks dominansi (C') menunjukkan bahwa nilai pada lahan kakao yang ternaungi pohon pisang adalah sebesar 0,09 dan pada lahan kakao yang ternaungi pohon pepaya sebesar 0,11. Kedua nilai tersebut kurang dari 0,5 yang dapat diartikan bahwa indeks dominansi pada kedua lahan termasuk dalam kategori rendah. rendahnya konektivitas habitat mempengaruhi proses ekologis seperti penyerbukan, penyebaran biji, dan pergerakan spesies liar, yang pada akhirnya dapat menyebabkan penurunan keragaman spesies dan fungsi ekosistem (Wang *et al.*, 2021).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil keanekaragaman serangga musuh alami dan pollinator di Desa Curahdukuh, Kecamatan Kraton, Kabupaten Pasuruan, diperoleh kesimpulan bahwa Total populasi serangga musuh alami dan polinator yang ditemukan pada lahan kakao dengan naungan pisang sejumlah 839 individu yang terdiri dari 2 kelas, 8 ordo, 24 famili, dan 38 genus. Populasi musuh alami dan pollinator yang ditemukan pada lahan kakao dengan naungan pohon pepaya berjumlah 1410 individu terdiri dari 2 kelas, 8 ordo, 26 famili, dan 44 genus. Perbedaan nilai indeks keanekaragaman (H'), kemerataan (E'), kekayaan jenis (R'), dan dominansi (C') antara tanaman kakao yang ternaung pisang dan pepaya disebabkan oleh perbedaan kondisi mikroklimat dan karakteristik ekologis dari kedua jenis tanaman penaung tersebut. Naungan pisang yang lebih rapat menciptakan lingkungan dengan suhu yang lebih stabil, kelembapan yang tinggi, serta serasah daun yang melimpah, sehingga mendukung komunitas serangga yang lebih beragam, merata, dan seimbang (H' dan E' tinggi, C' rendah). Sementara itu, naungan pepaya dengan tajuk yang lebih terbuka menghasilkan kondisi yang lebih panas dan kering, namun menarik lebih banyak jenis serangga pengunjung seperti polinator karena keberadaan bunga dan sumber nektar, sehingga meningkatkan kekayaan jenis (R') tetapi menurunkan keanekaragaman dan kemerataan komunitas. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perbedaan struktur tajuk, intensitas cahaya, kelembapan, serta ketersediaan sumber pakan dan tempat berlindung merupakan faktor utama yang menyebabkan variasi nilai indeks keanekaragaman serangga pada tanaman kakao yang ternaung pisang dan pepaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Asghar, W., Craven, K. D., Swenson, J. R., Kataoka, R., Mahmood, A., & Farias, J. G. (2025). Enhancing the Resilience of Agroecosystems Through Improved Rhizosphere Processes: A Strategic Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(1), 1–29. <https://doi.org/10.3390/ijms26010109>
- de Souza Amorim, D., Brown, B. V., Boscolo, D., Ale-Rocha, R., Alvarez-Garcia, D. M., Balbi, M. I. P. A., de Marco Barbosa, A., Capellari, R. S., de Carvalho, C. J. B., Couri, M. S., de Vilhena Perez Dios, R., Fachin, D. A., Ferro, G. B., Flores, H. F., Frare, L. M., Gudin, F. M., Hauser, M., Lamas, C. J. E., Lindsay, K. G., Rafael, J. A. (2022). Vertical stratification of insect abundance and species richness in an Amazonian tropical forest. *Scientific Reports*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05677-y>
- Dey, K., Mondal, S., & Mandal, S. (2016). Flower-visitor diversity with reference to pollen dispersal and pollination of *Carica papaya* L. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 3(2), 65–71. <http://s-o-i.org/1.15/ijarbs-2016-3-2-12>
- Dharmayanti, R. I. & N. I. (2016). Jurnal biologi Indonesia. *Jurnal Biologi Indonesia*, 12(2), 2.
- Dissanayaka, D. M. N. S., Udumann, S. S., & Atapattu, A. J. (2024). Synergies Between Tree Crops and Ecosystems in Tropical Agroforestry. *Agroforestry*, 49–87. <https://doi.org/10.1002/9781394231164.ch3>
- Hasyimuddin, Syahribulan, & Usman, A. A. (2017). Peran Ekologis Serangga Tanah Di Perkebunan Patallassang Kecamatan Patallassang Kabupaten Gowa Sulawesi Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Biology for Life*, 1(10), 70–78. <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/psb/article/download/4818/4322>
- Indriati, G., Susilawati, & Puspitasari, M. (2020). Insect diversity of cacao (*Theobroma cacao* L.) plantation under different shade trees in Pakuwon, Sukabumi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 418(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/418/1/012017>
- Jarrett, C., Cyril, K., Haydon, D. T., Wandji, C. A., Ferreira, D. F., Welch, A. J., Powell, L. L., & Matthiopoulos, J. (2024). Fewer pests and more ecosystem service-providing arthropods in shady African cocoa farms: Insights from a data integration study. *Journal of Applied Ecology*, 61(2), 304–315. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14563>
- Klein, A. M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
- Marcelino, S. M., Gaspar, P. D., do Paço, A., Lima, T. M., Monteiro, A., Franco, J. C., Santos, E. S., Campos, R., & Lopes, C. M. (2024). Agricultural Practices for Biodiversity Enhancement: Evidence and Recommendations for the Viticultural Sector. *AgriEngineering*, 6(2), 1175–1194. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6020067>
- Nadiyah, F. A. (2021). Keanekaragaman Arthropoda Tanah Di Agroforestri Kopi (*Coffea* sp.) di Desa Tambaksari Kecamatan Purwodadi Kabupaten Pasuruan (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Noriega, J. A., Hortal, J., Azcárate, F. M., Berg, M. P., Bonada, N., Briones, M. J. I., Del Toro, I., Goulson, D., Ibanez, S., Landis, D. A., Moretti, M., Potts, S. G., Slade, E. M., Stout, J. C., Ulyshen, M. D., Wackers, F. L., Woodcock, B. A., & Santos, A. M. C. (2018). Research trends in ecosystem services provided by insects. *Basic and Applied Ecology*, 26, 8–23. <https://doi.org/10.1016/J.BAAE.2017.09.006>
- Perfecto, I., Vandermeer, J., & Philpott, S. M. (2014). Complex ecological interactions in the coffee agroecosystem. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45, 137–158. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091923>
- Putriyani, R., Saylendra, A., Putri, W. E., & Sulistyorini, E. (2024). Keanekaragaman Serangga di Kebun Teh PTPN VIII di Goalpara Kabupaten Sukabumi. *Jurnal Budidaya Pertanian*, 20(1), 54–63. <https://doi.org/10.30598/jbdp.2024.20.1.54>
- Rasiska, S., & Khairullah, A. (2017). Efek Tiga Jenis Pohn Penaung terhadap Keragaman Serangga pada Pertanaman Kopi di Perkebunan Rakyat Manglayang, Kecamatan Cilengkrang, Kabupaten Bandung. *Agrikultura*, 28(3), 161–166. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v28i3.15750>
- Robson, D. B. (2014). Identification of plant species for crop pollinator habitat. *Journal of Pollination*

- Ecology*, 14(21), 218–234. [https://doi.org/https:// doi.org/10.26786/1920-7603\(2014\)21](https://doi.org/10.26786/1920-7603(2014)21)
- Tarwotjo, U., Hadi, M., & Rahadian, R. (2019). Variasi Warna Dan Ketinggian Sticky Trap Dengan Atraktaan Methyl Eugenol Sebagai Pengikat Serangga Polinator Dan Serangga Lainnya Pada Musim Bunga Pohon Jambu Air Merah Delima. *Jurnal Bioma*, 21(1), 86–90.
- Tustiyani, I., Utami, V. F., & Tauhid, A. (2020). Identifikasi Keanekaragaman Dan Dominasi Serangga Pada Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus* L.) Dengan Teknik Yellow Trap. *Agritrop : Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian (Journal of Agricultural Science)*, 18(1), 89–97. <https://doi.org/10.32528/agritrop.v18i1.3258>
- Vera-aviles, D., Suarez-capello, C., Llugany, M., Poschenrieder, C., De Santis, P., & Cabezas-guerrero, M. (2020). Arthropod diversity influenced by two musa-based agroecosystems in ecuador. *Agriculture (Switzerland)*, 10(6), 1–13. <https://doi.org/10.3390/agriculture10060235>
- Wäckers, F. L., Van Rijn, P. C. J., & Bruun, J. (2005). Plant-provided food for carnivorous insects: A protective mutualism and its applications. *Plant-Provided Food for Carnivorous Insects: A Protective Mutualism and Its Applications*, June, 1–356. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542220>
- Wan, N. F., Dainese, M., Wang, Y. Q., & Loreau, M. (2024). Cascading social-ecological benefits of biodiversity for agriculture. *Current Biology*, 34(12), R587–R603. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2024.05.001>
- Wijayanto, M. A., Windriyanti, W., dan Rahmadhini, N. 2022. Biodiversitas arthropoda permukaan dan dalam tanah pada kawasan agroforestri di Kecamatan Wonosalam Jombang Jawa Timur. *Jurnal Pertanian Agros*, 24(2), 1090-1102
- Windriyanti, W., Rahmadhini, N., Fernando, I., & Kusuma, R. M. (2023). Arthropods discovered on refugio flowering plants in *Mangifera indica* plantation. *Biodiversitas*, 24(9), 4747–4754. <https://doi.org/10.13057/biodiv/ d240915>