



Original Article

***Tree islands* memengaruhi interaksi tritrofik antara tanaman, herbivor, dan parasitoid pada habitat perkebunan sawit di Desa Bungku, Jambi, Sumatra**

Tree islands alter tritrophic interactions among plants, herbivore, and parasitoids in oil palm habitats in Bungku Village, Jambi, Sumatra

Gusthi Ayu Permatasari^{1*}, Purnama Hidayat¹, Kasmiatun¹, Azru Azhar³, Damayanti Buchori^{1,2}

¹Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University, Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia, ²Center for Transdisciplinary and Sustainability Sciences (CTSS), IPB University, Jalan Raya Pajajaran No. 27, Bogor 16128, Indonesia. ³JFB-Institute of Zoology and Anthropology, University of Göttingen, Untere Karspüle 2, Göttingen 37073, Germany

Penulis korespondensi:

Gusthi Ayu Permatasari
(gusthiayupbio2016@gmail.com)

Diterima: Juli 2024

Disetujui: April 2025

Sitasi:

Permatasari GA, Hidayat P, Kasmiatun, Azhar A, Buchori B. 2025. *Tree islands* memengaruhi interaksi tritrofik antara tanaman, herbivor, dan parasitoid pada habitat perkebunan sawit di Desa Bungku, Jambi, Sumatra. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 22(2):126–140

ABSTRAK

Interaksi tritrofik adalah interaksi tiga tingkatan trofik dalam komunitas (produsen, herbivor dan karnivor). Pada penelitian ini, tiga tingkatan trofik ini adalah (1) vegetasi (sawit dan tumbuhan lain), (2) serangga dari Ordo Lepidoptera sebagai herbivor, dan (3) parasitoid dari Ordo Hymenoptera dan Diptera sebagai karnivor. Kompleksitas vegetasi seringkali memengaruhi tingkatan trofik dalam jejaring makanan (*food web*). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh keberadaan “pulau pohon” (*tree island*) terhadap pola interaksi tritrofik, tingkat parasitisasi, kelimpahan, dan kekayaan antara parasitoid, Lepidoptera, dan tanaman di perkebunan kelapa sawit. Penelitian ini dilakukan di perkebunan kelapa sawit yang telah ditanami dengan beberapa spesies pohon sehingga membentuk *ecological tree island*. Enam jenis pohon *Peronema canescens* (sungkai), *Shorea leprosula* (meranti tembaga), *Dyera polyphylla* (jelutung), *Parkia speciosa* (petai), *Archidendron pauciflorum* (jengkol), and *Durio zibethinus* (durian) yang telah ditanam dengan kombinasi yang berbeda pada luasan plot berukuran (5 m × 5 m, 10 m × 10 m, 20 m × 20 m, 40 m × 40 m²). Terdapat tiga kombinasi pengayaan di dalam pulau pohon sebagai perlakuan, yaitu satu jenis tanaman, enam jenis tanaman, dan kontrol (tanpa pengayaan). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan spesies pohon pada ekosistem sawit memengaruhi kekayaan jenis herbivor dan mampu meningkatkan keberadaan parasitoid generalis. Tingkat parasitisasi parasitoid dipengaruhi oleh jenis pohon yang ditanam, namun tidak dipengaruhi oleh jumlah spesies pohon. Kelimpahan parasitoid tidak dipengaruhi oleh jumlah spesies pohon. Secara keseluruhan penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan *tree island* meningkatkan kompleksitas jejaring makanan, namun tidak diiringi dengan meningkatnya kelimpahan dan peran parasitoid di perkebunan sawit.

Kata kunci: agroforestri, heterogen, parasitisasi, pulau pohon

ABSTRACT

Tritrophic interactions refer to interactions among three trophic levels within a community (producers, herbivores, and carnivores). In oil palm ecosystems, these three trophic levels consist of (1) vegetations, (2) Lepidopterans as herbivores, and (3) Hymenopterans and some of Dipterans as carnivores. Vegetation complexity often influences trophic levels within the food web. This study aimed to investigate the influence of tree island in oil palm plantation on tritrophic interaction, parasitism and abundance of natural enemies. The research was conducted in oil palm plantations which had been enriched with several tree species to form tree islands. Six tree species *Peronema canescens*, *Shorea leprosula*, *Dyera polyphylla*, *Parkia speciosa*, *Archidendron pauciflorum*, and *Durio zibethinus* were planted in different combinations within plots of various sizes (5 m × 5 m, 10 m × 10 m, 20 m × 20 m, and 40 m × 40 m). There were three enrichment combinations within the tree islands, i.e., one plant species, six plant species, and control (without enrichment). The

results showed that adding tree species in oil palm plantations influenced herbivore species richness and increased the presence of generalist parasitoids. The parasitism rate of Lepidoptera pests was affected by the tree species planted but not by the number of tree species. Parasitoid abundance was not affected by the number of tree species. Overall, this study indicated that the tree islands might increase the complexity of food webs; however, it was not necessarily followed with increased parasitoid abundance nor functional role in oil palm plantations.

Key words: agroforestry, heterogeneity, parasitism, tree islands

PENDAHULUAN

Transformasi hutan menjadi kawasan perkebunan kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) telah menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati dan terganggunya fungsi ekosistem di berbagai kawasan tropis, khususnya di Indonesia (Drescher et al. 2016; Foster et al. 2011). Salah satu upaya rehabilitasi yang dapat dikembangkan untuk mengembalikan fungsi jasa ekosistem dalam perkebunan kelapa sawit adalah dengan memperkaya keanekaragaman vegetasi melalui pengayaan pohon dalam bentuk *tree islands* di area perkebunan kelapa sawit (Zemp et al. 2023). Hasil penelitian Zemp et al. (2023) menunjukkan bahwa penerapan *tree islands* secara signifikan meningkatkan keanekaragaman hayati dan memperbaiki fungsi ekosistem tanpa mengurangi nilai ekonomi dari hasil kelapa sawit secara keseluruhan. Model penelitian ini memberi peluang baru untuk melakukan pengamatan lebih jauh terkait dinamika interaksi antar organisme yang berkembang dalam kawasan agroekosistem di wilayah tropis, termasuk interaksi tritrofik antara tanaman inang, serangga herbivora, dan musuh alaminya.

Interaksi tritrofik merupakan bagian penting dalam pengendalian hayati secara alami. Interaksi tritrofik berkaitan erat dengan hubungan antara organisme dari tiga tingkatan trofik berbeda pada rantai makanan, yaitu antara tumbuhan sebagai sumber makanan (produsen/tingkat trofik pertama), herbivor yang mengonsumsi tumbuhan (tingkat trofik kedua), dan musuh alami, khususnya parasitoid yang memarasit herbivor (tingkat trofik ketiga) (Jactel et al. 2019). Keberadaan parasitoid sangat dipengaruhi oleh kehadiran inangnya (herbivor) yang menjadi sumber makanan (Jactel et al. 2021). Sementara itu, kelimpahan herbivor sangat dipengaruhi oleh struktur dan kompleksitas vegetasi yang berkaitan erat dengan ketersediaan sumber daya makanan, habitat untuk bernaung, dan kesesuaian iklim mikro (Jactel et al. 2021; Luke et al. 2020). Oleh karena itu, semakin tinggi tingkat trofik maka akan bergantung terhadap spesies trofik di bawahnya.

Kawasan dengan kondisi vegetasi yang heterogen umumnya memiliki tingkat tritrofik yang stabil sehingga ledakan populasi herbivor juga sulit terjadi (Lin 2011). Meningkatnya populasi herbivor dapat

menjadi ancaman apabila terjadi ledakan populasinya sebagai hama pada area tanaman budi daya, khususnya di kawasan perkebunan kelapa sawit. Adapun hama penting pada pertanaman kelapa sawit sebagian besar berasal dari Ordo Lepidoptera, di antaranya ulat api (Famili Limacodidae), ulat kantong (Famili Psychidae), dan ulat bulu (Famili Erebidae) (Tawakkal et al. 2019). Hama-hama tersebut diketahui dapat menyebabkan kehilangan hasil yang signifikan pada pertanaman kelapa sawit (Nushasnita et al. 2020). Oleh sebab itu, keberadaan *tree islands* dapat menjadi alternatif untuk menciptakan heterogenitas struktural pada area perkebunan kelapa sawit sehingga dapat mendorong perkembangan populasi musuh alami untuk memberikan tekanan terhadap herbivor (Zemp et al. 2023). Penelitian oleh Jactel et al. (2021) juga menunjukkan bahwa keanekaragaman spesies pohon dapat meningkatkan resistensi hutan terhadap serangan serangga herbivor.

Penelitian *tree islands* pada kawasan perkebunan di Indonesia telah dilakukan oleh Zemp et al. (2023) dan Paterno et al. (2024) dalam proyek penelitian Biodiversity Enrichment Experiment (EForTS-BEE). Penelitian ini merupakan penelitian jangka panjang dengan membangun *tree islands* pada perkebunan kelapa sawit di Jambi (Teuscher et al. 2016; Paterno et al. 2024). Penambahan *tree islands* mampu meningkatkan biodiversitas dan fungsi ekosistem, seperti musuh alami, penyerbukan, dekomposisi, dan siklus nutrisi (Teuscher et al. 2016; Azhar et al. 2022; Zemp et al. 2023). Berdasarkan hasil tersebut, penelitian ini merupakan penelitian lebih lanjut dari plot penelitian yang sama dengan secara khusus mengamati lebih dalam terkait mekanisme parasitisasi dan interaksi parasitoid di dalam plot pengayaan. Konsep predasi pada perkebunan monokultur dan perkebunan berbasis pengayaan pohon diketahui memiliki pengaruh yang berbeda terhadap parasitoid (Altieri & Nicholls 2019). Oleh sebab itu, tujuan penelitian untuk mempelajari pengaruh pengayaan *tree islands* terhadap pola interaksi tritrofik, kelimpahan, dan kekayaan parasitoid, Lepidoptera herbivor, dan tanaman, serta pengaruhnya terhadap tingkat parasitisasi.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan tempat penelitian

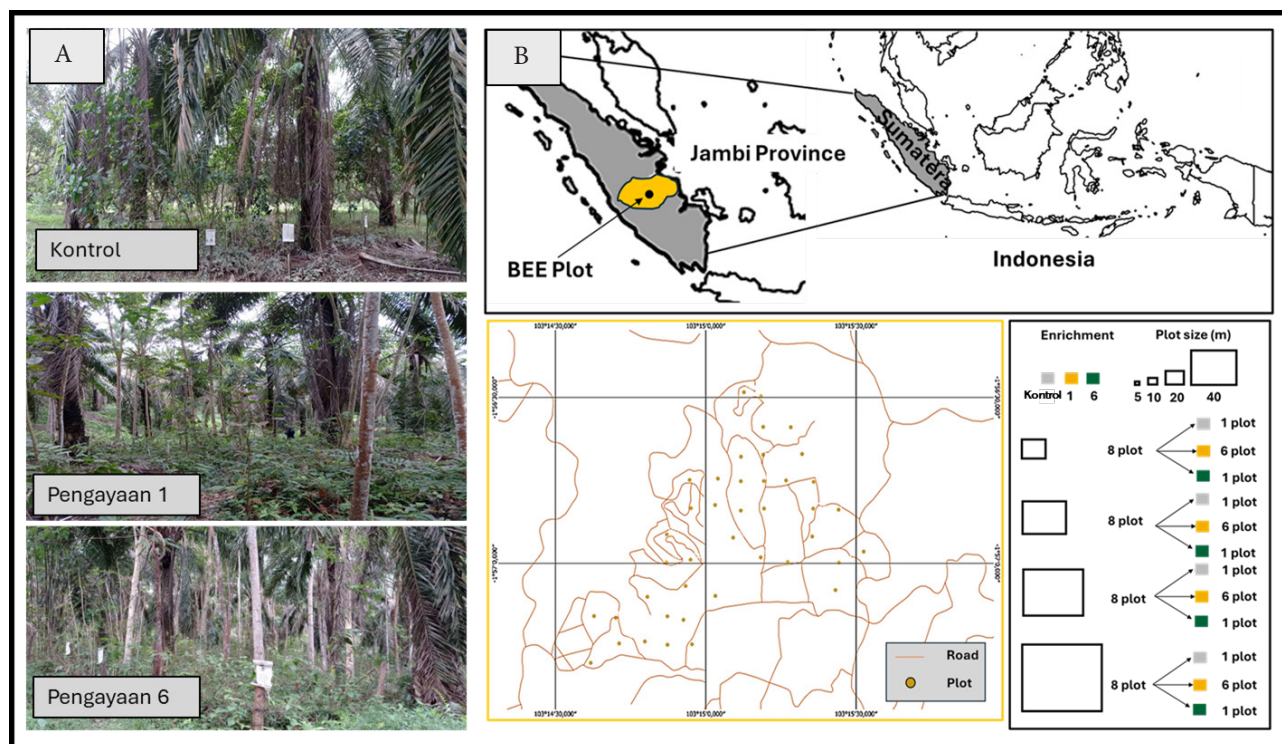
Penelitian ini merupakan bagian dari proyek kerja sama jangka panjang antara Indonesia dan Jerman, CRC990-EFForTS, yang sudah dimulai sejak tahun 2013 (Drescher et al. 2016). Pengambilan sampel dilakukan di perkebunan kelapa sawit yang telah diberi pulau pohon, yang merupakan bagian dari penelitian Biodiversity Enrichment Experiment (EFForTS-BEE) (Teuscher et al. 2016). Penelitian dilakukan di area perkebunan kelapa sawit milik PT Humusindo, di Desa Bungku, Kecamatan Bajubang, Kabupaten Batanghari, Provinsi Jambi, Sumatra (Gambar 1). Adapun luas area perkebunan kelapa sawit yang digunakan, yaitu sebesar 140 ha. Proses pengambilan sampel dilakukan mulai dari bulan Agustus hingga Oktober 2022. Identifikasi serangga dilakukan di Laboratorium Pengendalian Hayati, Departemen Proteksi Tanaman, Institut Pertanian Bogor, dari bulan Oktober 2022 sampai Agustus 2023.

Penentuan plot

Rancangan plot penelitian menggunakan desain *random partitions* dari Bell et al. (2009), yang berguna membentuk variabel menjadi pengaruh yang independen tanpa ulangan. Area perkebunan kelapa sawit yang telah dipilih sebagai plot penelitian diberi

perlakuan tanpa menggunakan herbisida, pestisida, pupuk, dan tanpa pemangkasan tumbuhan bawah selama dua tahun. Adapun spesies tanaman lokal yang digunakan untuk perlakuan pengayaan terdiri atas tanaman sungkai (*Peronema canescens*, Lamiaceae) dan meranti tembaga (*Shorea leprosula*, Dipterocarpaceae) memiliki nilai ekonomi sebagai penghasil kayu, jelutong (*Dyera polyphylla*, Apocynaceae) sebagai penghasil getah karet, dan beberapa tanaman penghasil buah, antara lain petai (*Parkia speciosa*, Fabaceae), jengkol (*Archidendron pauciflorum*, Fabaceae), dan durian (*Durio zibethinus*, Malvaceae). Total plot yang diamati sebanyak 32 plot dan terbagi menjadi tiga variabel pengamatan, antara lain:

1. Variabel pengamatan dengan penambahan spesies yang berbeda, meliputi P1, P6, dan plot kontrol. Plot pengayaan 1 (P1) merupakan plot yang hanya ditanami satu spesies tanaman dengan jumlah individu pohon sesuai ukuran plot. Plot pengayaan 6 (P6) merupakan plot yang ditanam enam spesies tanaman dengan jumlah individu pohon sesuai ukuran plot. Adapun plot kontrol, yaitu plot tanpa penanaman enam spesies pohon dan hanya memiliki vegetasi spontan tumbuh (PST) dan tumbuhan bawah (TB) yang tumbuh alami.
2. Variabel pengamatan spesies pohon, yaitu enam spesies tanaman lokal yang berbeda.



Gambar 1. Peta lokasi sebaran dan pembagian plot penelitian. A: keadaan masing-masing plot; B: jumlah plot yang digunakan.

Figure 1. Map of research plot distribution and allocation. A: conditions of each plot; B: design the number of plots used.

3. Variabel tingkat ukuran plot yang berbeda, terdiri atas ukuran 5 m × 5 m, 10 m × 10 m, 20 m × 20 m, dan 40 m × 40 m.

Jumlah plot yang terdiri atas satu spesies pohon (tunggal), yaitu sebanyak 24 plot, kemudian plot dengan enam spesies pohon yang ditanam bersamaan sebanyak 4 plot, dan plot kontrol tanpa tanaman lokal sebanyak 4 plot (Gambar 1).

Pengambilan sampel

Sampel serangga yang diamati pada penelitian ini berfokus pada kelompok Ordo Lepidoptera yang diketahui sebagai hama utama pada pertanaman kelapa sawit. Koleksi sampel Lepidoptera terbagi menjadi dua bagian, yaitu larva dan pupa. Adapun metode yang digunakan untuk mengoleksi kedua jenis sampel tersebut antara lain:

1. *Hand collection* (koleksi langsung dengan tangan)

Sampel Lepidoptera dikoleksi di dalam plot, melalui pengambilan langsung dengan menggunakan tangan pada area tumbuhan bawah yang terjangkau. Metode pengambilan sampel dilakukan dengan metode *linear transect count* (LTC) sebanyak tiga transek. Panjang transek sama dengan ukuran plot, sementara lebar transek berukuran dua meter.

2. *Beating sheet*

Metode ini dilakukan dengan cara menggoyangkan pelepah pohon kelapa sawit yang berada di dalam dan di luar plot untuk menjatuhkan serangga yang berada pada area pelepah tersebut. Lebih lanjut, kain muslin berukuran 4 m × 2 m dibentangkan di bawah pelepah sawit yang terpilih untuk menangkap serangga yang jatuh setelah digoyangkan. Pada setiap plot dipilih tiga pohon kelapa sawit, kemudian pada masing-masing pohon ditentukan 3–5 pelepah untuk dihentakkan atau digoyangkan. Apabila terdapat plot *tree islands* yang tidak memiliki pohon kelapa sawit di dalam area plot tersebut, khususnya pada plot dengan ukuran 5 m × 5 m dan 10 m × 10 m maka dipilih pohon kelapa sawit yang berada di sekitar area plot dengan jarak kurang lebih 50 m. Adapun proses *beating* (hentakan) dilakukan sebanyak 20 kali.

Setelah sampel Lepidoptera pra-dewasa berhasil dikumpulkan, sampel tersebut kemudian dibawa ke laboratorium untuk dipelihara. Proses pemeliharaan dilakukan hingga parasitoid keluar. Lepidoptera yang terparasit akan mengeluarkan serangga parasitoid yang selanjutnya akan diidentifikasi berdasarkan karakter morfologinya. Sebelum dan setelah diidentifikasi, sampel parasitoid dimasukkan ke dalam alkohol 70% dan disimpan di dalam freezer.

Identifikasi serangga

Identifikasi Lepidoptera dilakukan dari tingkat famili hingga morfospesies dengan membandingkan karakter morfologi berdasarkan buku identifikasi. Adapun buku yang digunakan untuk mengidentifikasi larva dan imago Lepidoptera, yaitu *"The Book of Caterpillars"* (James 2017) dan juga beberapa literatur lainnya dari jurnal dan website. Lebih lanjut, identifikasi parasitoid juga dilakukan dari tingkat famili hingga morfospesies dengan menggunakan buku identifikasi *"Hymenoptera of The World"* (Goulet & Huber 1993) untuk parasitoid dari Ordo Hymenoptera dan buku *"Manual of Nearctic Diptera"* (McAlpine et al. 1981) untuk Ordo Diptera.

Pengamatan dan identifikasi vegetasi tumbuh

Pengamatan vegetasi dilakukan pada setiap plot penelitian. Adapun jenis vegetasi yang diamati terbagi dalam 3 kategori, yaitu tumbuhan bawah (TB), pohon spontan tumbuh (PST), dan pohon pengayaan. Tumbuhan bawah merupakan jenis vegetasi yang tumbuh pada kisaran tinggi kurang dari 150 cm. Sementara itu, pohon spontan tumbuh merupakan jenis vegetasi pohon yang tumbuh secara alami dengan ketinggian di atas 150 cm, sedangkan pohon pengayaan merupakan 6 tanaman lokal yang ditanam secara sengaja pada area plot penelitian. Pada masing-masing plot pengamatan, ditentukan subplot berukuran 1 m × 1 m untuk mengamati berbagai jenis vegetasi tumbuhan bawah. Penentuan subplot dilakukan secara acak sebanyak 3 kali ulangan. Pohon atau liana diidentifikasi berdasarkan kriteria *diameter breast height* (DBH) di atas 10 cm dan tinggi pohon di atas 150 cm (Krebs 1978). Adapun proses identifikasi dilakukan dengan menggunakan beberapa literatur online dan melalui situs web www.theplantlist.com (TPL 2013).

Analisis data

Data dianalisis dengan menggunakan program R versi 4.4.0 (R Core Team 2024). Perhitungan tingkat parasitisasi dilakukan menggunakan rumus Ulina (2019). Analisis keanekaragaman alfa yang meliputi kelimpahan, kekayaan, dan tingkat parasitisasi dilakukan dengan menggunakan analisis ragam (ANOVA) dengan pemodelan *generallinear model* (GLM), untuk membandingkan variasi kelimpahan, kekayaan, dan parasitisasi pada Lepidoptera dan parasitoid dengan faktor perlakuan penambahan spesies pohon (Kontrol, P1, P6), perbedaan spesies, dan ukuran plot. Pemodelan ini memungkinkan menggunakan variabel faktor lebih dari satu dan sesuai digunakan pada data yang tidak berdistribusi normal. Kemudian pemodelan *linear mixed model* (LMM) dengan *fixed*

factor adalah jenis tumbuhan dan jumlah spesies tumbuhan (pengayaan), sedangkan *random factor* adalah ukuran plot, pemodelan ini memungkinkan menggunakan kombinasi antara variabel utama dan variabel acak. Analisis kelimpahan dan kekayaan dilakukan dengan menggunakan *package vegan* (Oksanen et al. 2025) dan *ggplot2* untuk visualisasi data (Wickam 2016). Pengembangan model analisis diawali dengan menguji semua variabel, kemudian disederhanakan dengan menghilangkan variabel yang tidak berpengaruh. Model variabel terbaik ditentukan dengan memilih nilai *akaike information criterion* (AIC) terendah. Uji non-parametrik Kruskal-Wallis digunakan apabila pemodelan GLM tidak dapat menormalkan distribusi data. Adapun uji lanjut dilakukan dengan menggunakan Tukey *honestly significant difference* (HSD). Analisis korelasi juga dilakukan antar variabel kelimpahan dan kekayaan Lepidoptera, parasitoid, dan vegetasi dengan menggunakan rumus Spearman untuk korelasi hubungan antara parasitoid dengan Lepidoptera herbivor, dan rumus Pearson untuk menguji hubungan tanaman dengan parasitoid serta herbivor. Adapun analisis interaksi tritrofik dilakukan dengan menggunakan *package bipartite* (Hothorn et al. 2008). Visualisasi interaksi tritrofik menggunakan *package bipartite* (Dormann et al. 2023).

HASIL

Total individu serangga yang ditemukan secara keseluruhan berjumlah 488 individu, terdiri atas 264 individu Lepidoptera herbivor dan 224 individu parasitoid (Tabel 1). Lepidoptera herbivor yang ditemukan terdiri atas 11 famili yang terkoleksi dan 7 famili terparasit (Lampiran 1). Adapun 3 famili dengan jumlah individu tertinggi antara lain Famili Erebidae (N = 114), Geometridae (N = 25), dan Psychidae (N = 24) (Tabel 1). Sementara itu, parasitoid yang ditemukan terdiri atas dua ordo, antara lain Ordo Hymenoptera dengan jumlah 6 famili, yaitu Braconidae (N = 21), Eulophidae (N = 122), Ceraphronidae (N = 6), Bethylidae (N=64), Chalcididae (N = 3), Agaonidae (N = 1) dengan jumlah total 217, dan Ordo Diptera dengan 1 famili, yaitu Tachinidae (N = 7) (Lampiran 2). Parasitoid dengan jumlah individu tertinggi berasal dari Famili Eulophidae (Ordo Hymenoptera), adapun frekuensi spesies yang paling banyak keluar dari inang berasal dari Famili Braconidae (Ordo Hymenoptera).

Tingkat parasitisasi dan jenis parasitoid pada perkebunan kelapa sawit dengan pengayaan pohon (*tree islands*)

Parasitoid yang ditemukan pada setiap pengayaan terdiri atas parasitoid generalis dan spesialis.

Parasitoid yang dominan ditemukan pada semua plot merupakan parasitoid generalis dengan tipe soliter. Parasitoid dengan tipe soliter memarasitasi hingga 60% Lepidoptera pra-dewasa (Tabel 1). Interaksi yang melibatkan parasitoid *Pediobius* sp. (Hymenoptera: Eulophidae) dan larva *Mahasena corbetti* (Lepidoptera: Psychidae) dari dua tanaman inang yang berbeda, menunjukkan *parasitoid load* tertinggi (jumlah total larva parasitoid dalam satu inang) di antara morfospesies parasitoid lainnya, dengan total *parasitoid load* sebanyak 76 individu. Ulat kantong ini tidak hanya diparasit oleh *Pediobius* sp., tetapi juga morfospesies parasitoid lainnya yang tercatat sebelumnya, seperti parasitoid *Trichospilus* sp. (Hymenoptera: Eulophidae) yang menyerang pada tahap larva-pupa. Parasitoid tipe generalis seperti *Microplitis* sp. (Hymenoptera: Braconidae) diketahui menyerang satu famili (Erebidae) di lapangan. Sementara itu, *Triraphis* menyerang tiga famili yang berasal dari enam morfospesies yang berbeda (Tabel 1). Komposisi spesies tanaman di plot pengayaan juga berdampak pada peningkatan dominasi beberapa spesies Lepidoptera dan parasitoid. Ditemukan bahwa Lepidoptera yang menjadi inang bagi parasitoid di dominasi oleh Famili Erebidae yang menyerang tanaman utama maupun tumbuhan spontan tumbuh.

Spesies pohon dengan random faktor ukuran plot memengaruhi tingkat parasitisasi secara signifikan (LMM, $x^2 = 25,449$, $P = 0,0006$), sedangkan faktor jumlah spesies pohon dengan random faktor ukuran plot tidak memengaruhi tingkat parasitisasi (LMM, $x^2 = 0,4324$, $p = 0,5108$) sehingga tidak ada beda nyata antara jumlah spesies pohon 0, 1 dan 6 (Tabel 2). Uji lanjut Tukey faktor spesies tanaman terhadap parasitisasi total (kanopi dan tumbuhan bawah) menunjukkan terdapat beda nyata antara durian dengan lima spesies pohon lain (sungkai ($z = -4,206$, $p < 0,001$), petai ($z = -2,828$, $p = 0,004$) jelutung ($z = -2,302$, $p = 0,02$), jengkol ($z = -2,377$, $p = 0,01$), meranti tembaga ($z = -3,007$, $p = 0,002$). Parasitisasi tertinggi terdapat pada plot jengkol dengan beda nyata dengan plot sungkai yang memiliki parasitisasi terendah ($z = -2,718$, $p = 0,006$).

Pengaruh pengayaan pohon (*tree islands*) terhadap kelimpahan dan kekayaan Lepidoptera herbivor, parasitoid, dan vegetasi

Berdasarkan analisis ragam (ANOVA), kelimpahan Lepidoptera herbivor tidak dipengaruhi secara nyata oleh perbedaan jumlah spesies pohon, ukuran plot, dan spesies pohon (Tabel 3). Akan tetapi, jumlah spesies pohon dan jenis spesies pohon menunjukkan pengaruh signifikan terhadap kekayaan Lepidoptera herbivor, meskipun ukuran plot tidak berbeda nyata.

Tabel 1. Kelimpahan dan spesies inang tanaman, Lepidoptera, parasitoid dan lokasi interaksi tritrofik
Table 1. Abundance and host plant species, Lepidoptera, parasitoid, and tritrophic interaction location

Tanaman (Plant)	Spesies/Famili Lepidoptera (Species/Famili Lepidoptera)	N1	Parasitoid	Tipe parasitoid (Parasitoid type)	Lokasi parasitoid (Parasitoid location)	N2
	Erebidae	114				
<i>Macaranga</i> sp.	Erebidae sp. 01	1	<i>Brachymeria</i> sp.01	Soliter	P1M	1
<i>Macaranga</i> sp.	Erebidae sp. 01	1	<i>Triraphis</i> sp.05	Soliter	P1Pt	1
<i>Clidemia hirta</i>	Erebidae sp. 02	1	<i>Triraphis</i> sp.05	Soliter	kontrol	1
<i>E. guineensis</i>	Erebidae sp. 03	1	<i>Buluka</i> sp.01	Soliter	P1S	1
<i>E. guineensis</i>	Erebidae sp. 04	2	<i>Beyarslania</i> sp. 01	Soliter	P6	2
<i>E. guineensis</i>	Erebidae sp. 04	1	Eulophidae sp.01	Gregarius	Kontrol	14
<i>E. guineensis</i>	Erebidae sp. 04	11	<i>Triraphis</i> sp.01	Soliter	P1J, P1D, P6	11
<i>E. guineensis</i>	Erebidae sp. 05	1	<i>Canalirogas</i> sp.	Soliter	P6	1
<i>Macaranga</i> sp.	Erebidae sp. 06	1	<i>Triraphis</i> sp.06	Soliter	P1J _g	1
<i>E. guineensis</i>	Erebidae sp. 07	1	<i>Ceratosolen</i> sp.01	Soliter	P1J	1
<i>E. guineensis</i>	Erebidae sp. 08	1	<i>Microplitis</i> sp.	Soliter	P1D	1
<i>E. guineensis</i>	Erebidae sp. 08	1	Bethylidae sp.01	Gregarius	P1D	9
<i>E. guineensis</i>	Erebidae sp. 09	2	Hym Pupa sp.02	Soliter	P1M	2
<i>E. guineensis</i>	Erebidae sp. 10	1	Eulophidae sp.01	Gregarius	P1J	17
<i>E. guineensis</i>	<i>Calliteara horsfieldii</i>	1	<i>Carcelia</i> sp.	Gregarius	P1D	7
<i>E. guineensis</i>	Geometridae	25				
<i>E. guineensis</i>	Geometridae sp. 01	1	Chalcidinae sp.01	Soliter	kontrol	1
	Geometridae sp. 02	1	Hym Pupa sp.02	Soliter	P1M	1
<i>E. guineensis</i>	Geometridae sp. 03	1	<i>Triraphis</i> sp.01	Soliter	P1D	1
<i>E. guineensis</i>	Geometridae sp. 04	1	Bethylidae sp.01	Gregarius	P1S	6
<i>E. guineensis</i>	Geometridae sp. 05	1	Eulophidae sp.02	Gregarius	P6	12
	Crambidae	1				
<i>E. guineensis</i>	Crambidae sp .01	1	Bethylidae sp.03	Gregarius	P1J	37
	Tortricidae	1				
<i>E. guineensis</i>	Tortricidae sp. 01	1	Bethylidae sp02	Gregarius	P1Pt	12
<i>E. guineensis</i>	Noctuidae	18				
<i>E. guineensis</i>	Noctuidae sp. 01	1	<i>Ceraphron</i> sp.01	Gregarius	P6	6
	Noctuidae sp. 01	1	Chalcidinae sp.01	Soliter	kontrol	1
<i>E. guineensis</i>	Noctuidae sp. 02	1	Chalcidinae sp02	Soliter	P1M	1
	Noctuidae sp. 02	1	<i>Triraphis</i> sp.01	Soliter	kontrol	1
<i>E. guineensis</i>	Psychidae	24				
	<i>Mahasena corbetti</i>	1	<i>Pediobius</i> sp.01	Gregarius	P1J	76
<i>E. guineensis</i>	Limacodidae	21				
<i>E. guineensis</i>	<i>Olona</i> sp. 01	1	Hym Pupa sp.01	Soliter	kontrol	1
<i>E. guineensis</i>	<i>Olona</i> sp. 01	1	<i>Trichospilus</i> sp.	Gregarius	kontrol	5
	<i>Olona</i> sp. 01	1	Eulophidae sp01	Gregarius	kontrol	5

Pupa yang terparasit tidak termasuk dalam tabel ini; N1: jumlah individu Lepidoptera terparasit; N2: jumlah individu parasitoid tiap inang; P1 dan P6: pengayaan sesuai jumlah spesies tumbuhan; D: durian; Pt: petai; J: jengkol; M: meranti tembaga; Jg: jelutung; S: sungkai.

(Parasitized pupae are not included in this table; N1: Number of individual parasitized Lepidoptera; N2: Number of individual parasitoids per host; P1 and P6: enrichment according to the number of plant species; D: durian; Pt: petai; J: jengkol; M: meranti tembaga; Jg: jelutung; S: sungkai.)

Jumlah individu dan spesies Lepidoptera herbivor tertinggi ditemukan pada plot kontrol dan plot sungkai, sedangkan terendah terdapat pada plot yang ditanami pohon petai dan jelutung (Tabel 2). Pada kelompok parasitoid, spesies pohon berpengaruh secara signifikan terhadap kelimpahan parasitoid, namun jumlah spesies pohon dan ukuran plot tidak (Tabel 3). Sementara itu, kekayaan parasitoid hanya dipengaruhi secara

signifikan oleh jumlah spesies pohon. Kelimpahan individu parasitoid tertinggi ditemukan pada plot jengkol, sedangkan kekayaan spesies parasitoid tertinggi terdapat pada plot kontrol dan pengayaan kombinasi (pengayaan 6 tanaman).

Analisis korelasi menunjukkan, kekayaan spesies Lepidoptera herbivor berkorelasi positif dengan kekayaan parasitoid. Selain itu, hubungan korelasi

Tabel 2. Tingkat parasitisasi berdasarkan analisis varian dengan pemodelan *linear mixed models* (LMM)**Table 2.** Parasitism rate test based analysis of variance with linear mixed models (LMM)

Plot	n	Lepidoptera		Parasitoid		Tingkat parasitisasi (%) (Parasitism rate (%))		
		S	N	S	N	Kelapa sawit (Pr/T)	Tumbuhan bawah (Pr/T)	Total
Kontrol	4	10	47	6	18	29,03 (9/31)	25 (4/16)	27,65 bc
P1D	4	6	30	4	20	21,43 (6/28)	0 (0/2)	20,00 a
P1Pt	4	4	17	2	12	7,14 (1/14)	33,3 (1/3)	11,76 bc
P1J	4	6	29	4	134	33,33 (9/27)	0 (0/2)	31,03 c
P1M	4	5	38	3	5	28,17 (9/30)	12,50 (1/8)	26,31 bc
P1Jg	4	4	17	1	1	14,28 (2/14)	33,3(1/3)	17,65 bc
P1S	4	7	47	2	7	13,33 (2/15)	0 (0/32)	4,25 b
P6	4	7	39	6	27	66,67 (12/18)	4,76 (1/21)	33,33 c

P1 dan P6: pengayaan sesuai jumlah spesies tumbuhan; D: durian; Pt: petai; J: jengkol; M: meranti tembaga; Jg: jelutung; S: sungkai; Pr: jumlah Lepidoptera terparasit; T: jumlah Lepidoptera terkoleksi; N: kelimpahan; K: kekayaan.

(P1 and P6: enrichment according to the number of plant species; D: durian; Pt: petai; J: jengkol; M: meranti tembaga; Jg: jelutung; S: sungkai; Pr: number of parasitized Lepidoptera; T: total number of collected Lepidoptera; A: abundance; R: richness.)

Tabel 3. Pengaruh penambahan spesies pohon, tingkat ukuran plot dan spesies pohon terhadap parasitisasi, kelimpahan, kekayaan parasitoid dan Lepidoptera berdasarkan analisis ragam dengan *general linear model* (GLM)**Table 3.** The effects of tree enrichment, plot size level, and plant species on abundance, parasitoid richness, and Lepidoptera in tritrophic interactions based analysis of variance (ANOVA) with general linear model (GLM)

Variabel (Variable)	AIC	F / χ^2	p-value
Lepidoptera (N)			
Jumlah spesies (Enrichment level)	227,8	0,210	0,8116
Ukuran plot (Plot size)	224,2	1,079	0,3736
Spesies pohon (Plant species)	225,2	0,954	0,4851
Lepidoptera (S)			
Jumlah spesies (Enrichment level)	116,9	14,479	0,043*
Ukuran plot (Plot size)	127,9	2,88	0,4096
Spesies pohon (Plant species)	123,6	11,009	0,004*
Parasitoid (N)			
Jumlah spesies (Enrichment level)	738,5	0,090	0,9136
Ukuran plot (Plot size)	628,3	1,426	0,256
Spesies pohon (Plant species)	441,5	3,010	0,02*
Parasitoid (S)			
Jumlah spesies (Enrichment level)	101,6	6,80	0,03*
Ukuran plot (Plot size)	109,5	0,616	0,892
Spesies pohon (Plant species)	103,0	1,594	0,164

AIC: akaike information criterion adalah ukuran yang digunakan dalam pemilihan model statistik; *: beda nyata pada taraf kepercayaan 95%. N: kelimpahan; S: kekayaan.

(AIC: akaike information criterion, used in statistical model selection; *: significantly different at the 95% confidence level. A: abundance, R: richness.)

positif juga ditunjukkan pada kelimpahan vegetasi dan kelimpahan Lepidoptera herbivor. Adapun hubungan korelasi pada variabel lainnya menunjukkan tidak adanya korelasi, seperti antara kelimpahan tumbuhan/vegetasi tidak berkorelasi positif dengan kelimpahan parasitoid. Hubungan antar kekayaan spesies tumbuhan dan kekayaan spesies Lepidoptera maupun parasitoid juga menunjukkan tidak ada hubungan korelasi. Selain itu, kelimpahan individu Lepidoptera juga tidak berkorelasi positif terhadap kelimpahan dan kekayaan spesies parasitoid (Tabel 4).

Sementara itu, pada uji lanjut Tukey pada kelimpahan parasitoid terdapat beda nyata antara tanaman jengkol dibandingkan dengan lima spesies tanaman lain (petai ($z = -7,808$, $p < 0,001$)); jelutong ($z = 4,88$, $p < 0,001$); meranti tembaga ($z = -7,220$, $p < 0,001$); durian ($z = -7,935$, $p < 0,001$); sungkai ($z = -7,614$, $p < 0,001$)).

Hubungan korelasi antar variabel menunjukkan bahwa kekayaan Lepidoptera berkorelasi positif dengan kekayaan Hymenoptera. Hubungan korelasi positif lain juga ditunjukkan pada kelimpahan vegetasi dan kelimpahan Lepidoptera. Analisis korelasi menunjukkan tidak ada korelasi antara variabel kelimpahan dan kekayaan tanaman terhadap kekayaan dan kelimpahan parasitoid (Tabel 4).

Pengaruh pengayaan pohon (*tree islands*) terhadap pola interaksi tritrofik antara Lepidoptera herbivor, parasitoid, dan vegetasi

Analisis pola interaksi tritrofik dilakukan pada masing-masing jenis pengayaan, meliputi P1 (pengayaan hanya dengan satu spesies pohon), P6 (pengayaan dengan enam spesies pohon secara langsung), dan kontrol. Pola interaksi trofik pada kanopi dan tumbuhan bawah kelapa sawit tidak dipengaruhi oleh jumlah spesies pohon, hal tersebut terlihat antara plot kontrol, pengayaan 1 dan 6 yang tidak berbeda pada trofik I, II dan III, interaksi antara trofik pertama dan kedua (dari bawah ke atas) menggambarkan hubungan antara tumbuhan/vegetasi yang diamati dengan Lepidoptera herbivor (Gambar 2 dan 3). Sementara pada tingkatan kedua dan ketiga menggambarkan hubungan antara Lepidoptera dan parasitoid. Gambar 2A menunjukkan interaksi tritrofik pada plot kontrol, sebanyak delapan Famili Lepidoptera herbivor yang berasosiasi dengan sembilan jenis tumbuhan, ditemukan berinteraksi dengan enam spesies parasitoid.

Pengayaan dengan satu spesies pohon lokal, salah satunya sungkai (P1-sungkai), menunjukkan sebanyak tujuh Famili Lepidoptera yang berasosiasi dengan 12 jenis tumbuhan, berinteraksi dengan dua spesies parasitoid (Gambar 2B). Plot jengkol (P1-jengkol), hasil yang ditemukan menunjukkan sebanyak enam famili

Tabel 4. Hubungan antara kelimpahan dan kekayaan vegetasi dengan parasitoid serta Lepidoptera pada interaksi tritrofik

Table 4. Relationship between vegetation abundance and richness with parasitoid and Lepidoptera in tritrophic interactions

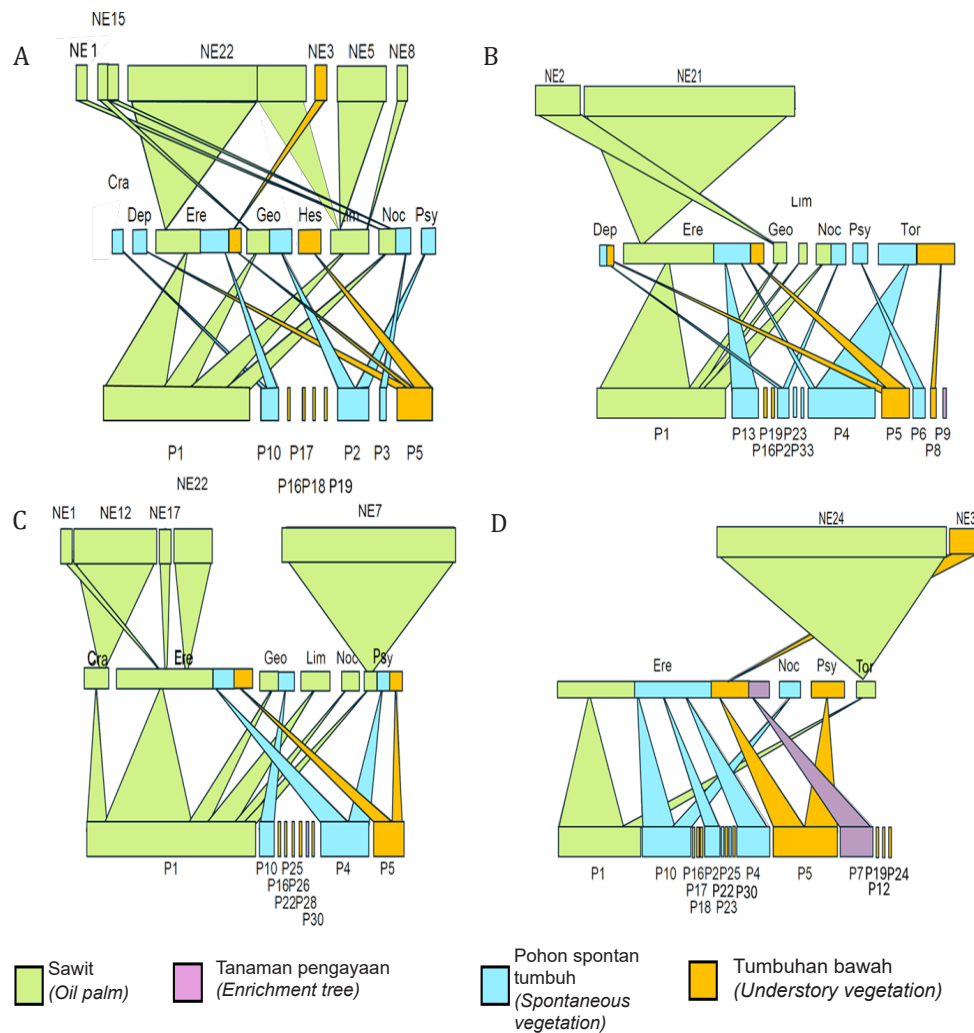
Variabel (Variable)	ρ/r	p -value
Tumbuhan (N) (Plant (N))		
Lepidoptera (N)	0,38	0,03*
Parasitoid(N)	0,27	0,133
Lepidoptera (S)	0,12	0,507
Parasitoid (S)	0,26	0,143
Tumbuhan (S) (Plant (S))		
Lepidoptera (S)	0,24	0,183
Parasitoid (S)	0,24	0,192
Lepidoptera (N)	0,20	0,268
Parasitoid(N)	0,24	0,192
Lepidoptera (N) (Lepidopteran (N))		
Parasitoid (N)	0,07	0,721
Parasitoid (S)	0,23	0,199
Lepidoptera (S) (Lepidopteran (S))		
Parasitoid (S)	0,47	0,007*
Parasitoid (N)	0,30	0,091

ρ/r : analisis korelasi Spearman/Pearson; S: kekayaan; N: kelimpahan; *: beda nyata pada taraf kepercayaan 95%.

(ρ/r : Spearman/Pearson correlation analysis; R: richness; A: abundance; *: significantly different at the 95% confidence level.)

Lepidoptera yang berasosiasi dengan 10 jenis tumbuhan, berinteraksi dengan lima spesies parasitoid (Gambar 2C). Adapun pada plot pengayaan petai (P1-petai) menunjukkan sebanyak empat Famili Lepidoptera yang berasosiasi dengan 16 jenis tumbuhan, berinteraksi dengan dua spesies parasitoid (Gambar 2D). Total Lepidoptera yang ditemukan berasosiasi dengan tumbuhan pada plot pengayaan dengan tanaman meranti (P1-meranti) menunjukkan sebanyak lima Famili Lepidoptera yang berasosiasi dengan 14 jenis

tumbuhan, berinteraksi dengan tiga spesies parasitoid (Gambar 3A). Plot pengayaan durian (P1-durian) terdapat enam Famili Lepidoptera yang berasosiasi dengan 15 jenis tumbuhan, berinteraksi dengan empat spesies parasitoid (Gambar 3B). Adapun plot pengayaan dengan satu spesies pohon terakhir, yaitu jelutung (P1-jelutung) menunjukkan empat Famili Lepidoptera yang berasosiasi dengan 16 jenis tumbuhan, akan tetapi yang berinteraksi hanya satu spesies parasitoid (Gambar 3C). Sementara itu, pada plot pengayaan dengan



Keterangan (Remarks):

NE1: *Triraphis* sp.01; NE2: *Buluka* sp.; NE3: *Triraphis* sp.05; NE5: *Trichospilus* sp.; NE7: *Pediobius* sp.01; NE8: *Hym* sp.01; NE11: Chalcididae; NE12: Bethyridae sp.03; NE15: Chalcidinae sp.01; NE17: *Ceratosolen* sp.01; NE21: Bethyridae sp.01; NE22: Eulophidae sp.01; NE24: Bethyridae sp.02; Cra: Crambidae; Psy: Psychidae; Noc: Noctuidae; Ere: Erebidae; Lim: Limacodidae; Geo: Geometridae; Tot: Tortricidae; Dep: Depressariidae; Hes: Hesperidae; Nym: Nymphalidae; P1: *Elaeis guineensis*; P2: *Bambusa* sp.; P3: *Antidesma* sp.; P4: *Macaranga* sp.; P5: *Clidemia hirta*; P6: *Alstonia* sp.; P7: *Parkia speciosa*; P8: Euphorbiaceae; P9: *Peronema canescens*; P10: *Ficus* sp.; P12: *Solanum jamaicens*; P13: *Leea indica*; P14: *Shorea leprosula*; P15: Pteridaceae; P16: *Adiantum latifolium*; P17: *Nephrolepis biserrata*; P18: Dennstaedtiaceae; P19: *Axonopus compressus*; P20: *Durio zibethinus*; P21: *Commersonia bartramia*; P22: Apocynaceae; P23: *Hibiscus macrophyllus*; P24: *Melastoma malabathricum*; P25: *Selaginella* sp.; P26: Unidentified; P27: *Calausena excavate*; P28: *Dyera polyphylla*; P29: *Archidendron pauciflorum*; P30: *Cyrtococcum patens*; P31: *Croton argyratus*; P32: *Uncaria cordata*; P33: *Swietenia mahagoni*.

Catatan: NE: parasitoid; P: tumbuhan. (Remarks: NE: natural enemies; P: plant)

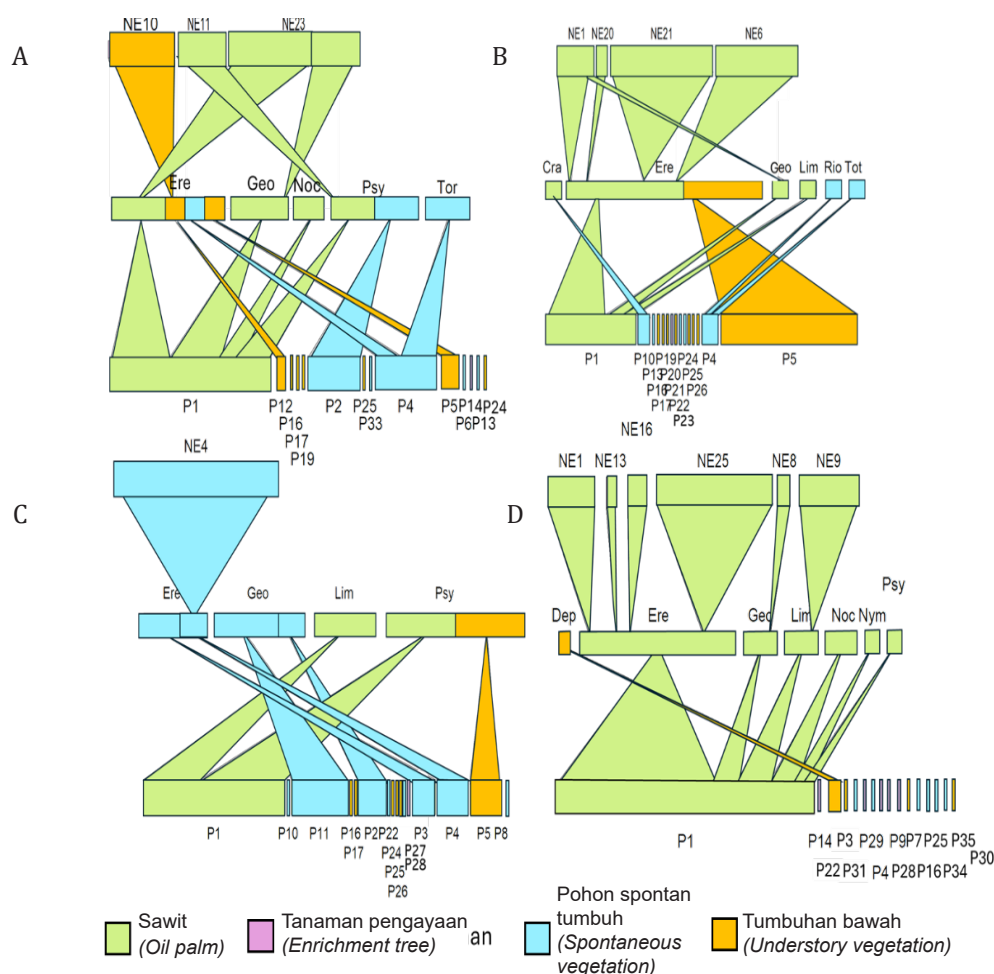
Gambar 2. Interaksi tritrofik antara tumbuhan, Lepidoptera dan parasitoid pada A: kontrol; B: P1 sungkai (*Peronema canescens*); C: P1 jengkol (*Archidendron pauciflorum*); D: P1 petai (*Parkia speciosa*). (P1: pengayaan satu jenis tumbuhan).

Figure 2. Tritrophic interaction between plant, Lepidoptera and parasitoid on A: kontrol; B: P1 sungkai (*Peronema canescens*); C: P1 jengkol (*Archidendron pauciflorum*); D: P1 petai (*Parkia speciosa*). (P1: enrichment with one plant species).

enam spesies pohon lokal sekaligus (pengayaan 6), ditemukan sebanyak 15 tumbuhan berasosiasi dengan tujuh famili Lepidoptera dan berasosiasi dengan enam spesies parasitoid (Gambar 3D).

Plot kontrol memiliki parasitoid yang cenderung generalis jika dibandingkan dengan plot yang diberi pengayaan. Plot kontrol dan plot pengayaan enam spesies pohon memiliki beberapa persamaan, yaitu memiliki enam spesies parasitoid yang menyerang pada jaring-jaring makanan dan memiliki dua spesies yang

sama *Triraphis* (Hymenoptera: Braconidae) dan *Hym.01* (pupa)) (Gambar 2A dan 3D). Rata-rata parasitoid yang muncul berasal dari Lepidoptera yang menyerang pohon utama (sawit), hanya plot yang terdiri dari pohon jelutung yang ditemukan parasitoid yang menyerang Lepidoptera dengan inang bukan pohon kelapa sawit. Dari interaksi ini maka rata-rata parasitoid yang keluar merupakan spesialis Lepidoptera herbivor yang menyerang pohon kelapa sawit.



Keterangan (Remarks):

NE1: *Triraphis* sp.01; NE4: *Triraphis* sp.06; NE8: *Hym* sp.01; NE9: *Ceraphron* sp.01; NE10: *Brachymeria* sp.01; NE11: Chalcididae; NE13: *Canaliroga* sp.01; NE20: *Microplitis* sp.; NE21: Bethyridae sp.01; NE23: Hymenoptera sp.02; NE25: Eulophidae sp.02.; Cra: Crambidae; Psy: Psychidae; Noc: Noctuidae; Ere: Erebidae; Lim: Limacodidae; Geo: Geometridae; Tot: Tortricidae; Dep: Depressariidae; Hes: Hesperidae; Nym: Nymphalidae; P1: *Elaeis guineensis*; P2: *Bambusa* sp.; P3: *Antidesma* sp.; P4: *Macaranga* sp.; P5: *Clidemia hirta*; P6: *Alstonia* sp.; P7: *Parkia speciosa*; P8: Euphorbiaceae; P9: *Peronema canescens*; P10: *Ficus* sp.; P12: *Solanum jamaicens*; P13: *Leea indica*; P14: *Shorea leprosula*; P15: Pteridaceae; P16: *Adiantum latifolium*; P17: *Nephrolepis biserrata*; P18: Dennstaedtiaceae; P19: *Axonopus compressus*; P20: *Durio zibethinus*; P21: *Commersonia bartramia*; P22: Apocynaceae; P23: *Hibiscus macrophyllus*; P24: *Melastoma malabathricum*; P25: *Selaginella* sp.; P26: Unidentified; P27: *Calausena excavate*; P28: *Dyera polyphylla*; P29: *A. pauciflorum*; P30: *Cyrtococcum patens*; P31: *Croton argyratus*; P32: *Uncaria cordata*; P33: *Swietenia mahagoni*; P34: *Cratogeomys formosum*; P35: *Clerodendrum laevifolium*.

Catatan: NE: parasitoid; P: tumbuhan. (Remarks: NE: natural enemies; P: plant).

Gambar 3. Interaksi tritrofik antara tumbuhan, Lepidoptera dan parasitoid pada: A: P1 meranti (*Shorea leprosula*); B: P1 durian (*Durio zibethinus*); C: P1 jelutung (*Dyera polyphylla*); D: P6 (pengayaan enam jenis tumbuhan). (P1 dan P6: pengayaan sesuai jumlah jenis tumbuhan).

Figure 3. Tritrophic interaction between plant, Lepidoptera and parasitoid on: A: P1 meranti (*Shorea leprosula*); B: P1 durian (*Durio zibethinus*); C: P1 jelutung (*Dyera polyphylla*); D: P6 (enrichment with six plant species). (P1 and P6: enrichment according to the number of plant species).

PEMBAHASAN

Studi ini memperlihatkan keberadaan pulau pohon (*tree island*) di perkebunan kelapa sawit yang ditanam dengan berbagai jenis spesies pohon dan variasi kombinasinya terhadap interaksi tanaman, herbivor, dan parasitoid. Tidak hanya interaksi, studi ini juga menunjukkan pengaruh pulau pohon dan tingkatan pengayaan spesies pohon di perkebunan kelapa sawit terhadap kelimpahan dan kekayaan serangga herbivor dan musuh alaminya.

Plot yang ditanami pohon jengkol memiliki kelimpahan dan parasitisasi tertinggi di antara plot dengan lima spesies tanaman pengayaan lain. Jengkol merupakan tanaman dengan ketahanan tinggi kedua dan kerapatan pohon tertinggi dibandingkan dengan lima jenis pohon pengayaan lain (Zemp et al. 2019). Hubungan parasitisasi dan kelimpahan parasitoid yang tinggi pada plot ini disebabkan oleh kesesuaian tanaman yang beradaptasi dengan komunitas vegetasi. Oleh sebab itu, terbentuk efek *downstream*, yaitu interaksi antar tanaman memengaruhi organisme lain contohnya parasitoid (Li et al. 2023a). Selain itu, tanaman ini cukup subur sehingga memiliki bunga yang banyak yang mengundang fase imago Hymenoptera untuk mengonsumsi nektar dan menempati relung yang banyak tersedia di antara komunitas vegetasi berbunga (Scwarz et al. 2024). Tanaman petai memiliki ketahanan hidup tertinggi ketiga (Zemp et al. 2019) dan merupakan plot yang memiliki kelimpahan herbivor dan keanekaragaman parasitoid tertinggi. Meskipun belum pernah dilaporkan ada kemungkinan besar efek spesies tanaman petai dapat meningkatkan kelimpahan serangga. Jika ditinjau pada tingkat famili, tanaman petai dan jengkol berada dalam famili (Fabaceae) yang sama dan memiliki ketahanan hidup yang tinggi. Kedua spesies pohon ini memiliki kanopi yang rimbun dan diameter batang yang besar. Laporan Abdulrashid et al. (2022), rata-rata spesies tanaman yang berada di dalam Famili Fabaceae memiliki keanekaragaman artropoda yang tinggi dibandingkan dengan famili lain (Moraceae dan Combretaceae). Penelitian ini menjadi temuan baru bahwa plot yang memiliki jengkol dan petai memiliki potensi dalam pengembangan pengayaan pohon yang berkelanjutan.

Berbeda dengan tanaman petai dan jengkol, plot yang memiliki pohon sungkai tidak menunjukkan korelasi positif ataupun pengaruh yang signifikan terhadap parasitisasi dan kelimpahan komunitas serangga, meskipun tanaman ini memiliki ketahanan hidup tertinggi pertama (Zemp et al. 2023). Hal ini sama dengan yang dilaporkan pada Li et al. (2023), akibat pertumbuhan tanaman yang cepat pada plot

sungkai menciptakan kerapatan kanopi yang tinggi sehingga memungkinkan terjadinya *trade-off* yang berakibat pada penurunan aktivitas serangga termasuk kelimpahan serangga pada plot tersebut.

Penambahan pulau pohon (*tree island*) pada perkebunan menjadikan vegetasi lebih heterogen, penambahan pohon ini diketahui memenuhi syarat untuk dikatakan sebagai agroforestri. Penelitian Jose (2009) mengungkapkan sistem agroforestri terdiri atas beranekaragam spesies pohon tahunan maupun semak yang terdiri atas lebih lima spesies vegetasi. Pengayaan pohon yang memiliki keanekaragaman vegetasi yang tinggi menjadi dasar pembentukan hipotesis musuh alami (Menalled et al. 1999). Hipotesis ini menyatakan bahwa keanekaragaman vegetasi yang tinggi meningkatkan ketersediaan sumber makanan dan relung alternatif untuk musuh alami (Jactel et al. 2021). Selain itu, penambahan pohon dilaporkan dapat meningkatkan kelimpahan dan efisiensi parasitisasi untuk mengendalikan populasi hama (Buchori et al. 2008; Rusch et al. 2016; Ulina et al. 2019; Redlich et al. 2020). Namun, beberapa penelitian lain menemukan hasil netral (Klapwijk & Björkman 2018; Syahidah et al. 2021).

Pohon spontan tumbuh (PST), tumbuhan bawah, dan tanaman pengayaan memiliki peran penting dalam membangun komposisi komunitas vegetasi. Pada masa perawatan dan pemeliharaan selama beberapa tahun, pemangkasan tumbuhan bawah menggunakan hewan ternak dan mesin pemangkas. Hal ini menjadi salah satu cara dalam menekan penggunaan herbisida, selain itu penggunaan pestisida yang digunakan juga dikontrol secara berkala. Sampai saat ini, penambahan plot pengayaan sudah berhasil meningkatkan fungsi ekosistem pada perkebunan sawit sebanyak 25% dan semakin meningkat dari beberapa tahun (Zemp et al. 2019; Zemp et al. 2023). Namun, terdapat beberapa faktor yang berpotensi menjadi kendala dan harus diperhatikan ke depan, seperti adanya kematian spesies tanaman pengayaan, kemudian bertambah bahkan terganti dengan PST. Oleh sebab itu, perubahan struktur komunitas vegetasi harus diperhatikan

Macaranga sp. (Euphorbiaceae), *Ficus* sp. (Moraceae), dan tumbuhan bawah berbunga pada komunitas vegetasi suatu perkebunan merupakan salah satu indikator bahwa semua plot memiliki perawatan dan manajemen konservasi vegetasi yang baik (Maulana et al. 2019). Semua plot memiliki berbagai macam spesies tumbuhan berbeda. Spesies dominasi di antara spesies tumbuhan lain membentuk struktur vegetasi dengan karakteristik unik pada suatu area, spesies tersebut adalah timau (*Ficus*) (Lampiran

3). Tumbuhan ini memiliki banyak bunga dan tumbuh sangat melimpah di semua plot sehingga mengundang serangga herbivor dan parasitoid yang mengisap nektar (Maulana et al. 2019). Parasitoid sangat bergantung dengan keberadaan herbivor sebagai inang sehingga kelimpahan dan kekayaan jenis parasitoid banyak dipengaruhi dari penyebaran herbivor.

Ketersediaan sumber makanan herbivor secara tidak langsung menjadi faktor keberadaan parasitoid (Buck 2019). Mekanisme mediasi antara kelimpahan tumbuhan dan parasitoid memperkuat adanya korelasi antara kekayaan Lepidoptera dan kekayaan parasitoid (Tabel 5). Menurut Bianchi et al. (2006), PST biasanya terdapat pada habitat yang lebih beragam dan kompleks dengan berbagai spesies pohon. Keanekaragaman ini dapat mendukung lebih banyak jenis serangga herbivora sehingga akan menarik lebih banyak jenis parasitoid (Jactel et al. 2021). Faktor lain yang menjadi penyebab tanaman pengayaan memiliki lebih sedikit parasitisasi dibandingkan plot dengan PST adalah manajemen penanaman. Perawatan tanaman pengayaan memerlukan banyak interaksi dengan manusia (sanitasi, pemupukan, pestisida, dan panen) dan berakibat pada keberadaan musuh alami (Tscharntke et al. 2016; Kishinevsky et al. 2016). Selain itu, pada laporan Li et al. (2023a), kematian pohon pengayaan yang tinggi menjadi salah satu faktor terbesar terjadinya keterbukaan kanopi. Keterbukaan kanopi yang tinggi memungkinkan terbentuk lebih banyak habitat, sementara kelimpahan herbivora menurun dengan meningkatnya kekayaan spesies pohon (korelasi negatif), sejalan dengan hipotesis konsentrasi sumber daya (*resource concentration hypothesis*) (Li et al. 2023a). Plot kontrol hanya memiliki pohon sawit di dalam plot sehingga perawatan tanaman pada plot ini tidak kompleks, seperti pada plot dengan pohon pengayaan. Oleh sebab itu, plot ini didominasi PST dan tumbuhan bawah yang subur (Lampiran 3). Sedikitnya gangguan manajemen pertanian pada plot kontrol menjadi salah satu faktor parasitoid melimpah dan mencari nektar lebih banyak pada PST dan tumbuhan bawah (Kishinevsky et al. 2016).

Hasil pengayaan vegetasi ini menciptakan kontrol dari atas ke bawah (*top-down control*), yang kehadiran spesies parasitoid yang bervariasi terjadi karena beragamnya Lepidoptera yang menempati berbagai vegetasi sehingga menyerang hama tanaman utama. Teori mekanisme *top-down* adalah kelimpahan Lepidoptera yang lebih tinggi di suatu area menyediakan lebih banyak inang potensial bagi parasitoid yang dapat meningkatkan kelimpahan maupun kekayaan parasitoid (Jactel et al. 2021; Thierry et al. 2022). Namun, potensi

peran parasitoid ini tergantung pada beberapa hal, yaitu spesies parasitoid lain yang muncul bersama-sama, spesies inang alternatif yang tersedia, atau keduanya (Thierry et al. 2022). Hasil yang sama pada Kishinevsky et al. (2016), menemukan bahwa area yang memiliki tanaman pengayaan yang lebih banyak, cenderung memiliki efek yang sama dengan area yang memiliki tanaman pengayaan lebih sedikit terhadap kelimpahan spesies trofik atas (parasitoid). Namun, hal ini hanya berlaku pada efektifitas dan efisiensi peran parasitoid dalam memarasit Lepidoptera. Hasil yang berbeda kemungkinan akan didapatkan pada kelimpahan dan kekayaan parasitoid secara keseluruhan.

Berdasarkan pola interaksi tritrofik, jumlah spesies tanaman dan jumlah spesies Lepidoptera merupakan faktor utama yang memengaruhi kompleksitas interaksi parasitisasi. Area pengamatan dengan banyak spesies tanaman dapat memiliki dua dampak (hipotesis musuh alami) terhadap kelimpahan parasitoid, yaitu melimpahnya spesies herbivor (inang) atau melimpahnya relung habitat potensial (Jactel et al. 2021). Selain itu, terdapat faktor-faktor yang harus diperhatikan, seperti usia dan jumlah individu pohon pengayaan yang dapat menyederhanakan interaksi trofik makanan dalam ekosistem tersebut (Rizali et al. 2023).

Parasitoid yang ditemukan memiliki dua tipe, yaitu spesialis dan generalis dengan dua tipe perkembangbiakan, yaitu gregarius dan soliter. *Pediobius* sp. (Eulophidae) merupakan tipe parasitoid gregarius. Selain itu, genus ini dikenal sebagai parasitoid spesialis untuk ulat kantong dan tercatat berasosiasi dengan tanaman inang kelapa sawit di pulau Jawa dan ditemukan tersebar di negara-negara Asia Tenggara lainnya (Purnamasari & Ubaidillah 2007). Genus *Trichospilus* sp. (Braconidae) merupakan parasitoid generalis yang menyerang secara gregarius. Parasitoid *Trichospilus* sp. diketahui mampu menyerang delapan famili dari Lepidoptera (Diego et al. 2020). Adapun *Microplitis* sp. (Braconidae) merupakan parasitoid yang menyerang secara soliter, beberapa gregarius dan beberapa spesies merupakan tipe generalis, menyerang sampai dengan tiga famili (Fernandez-Triana et al. 2015). Di area pengamatan genus-genus ini menyerang dua sampai tiga Famili Lepidoptera berbeda, kemudian dari dua Famili Lepidoptera tersebut, masing-masing memiliki inang yang berbeda, yaitu tanaman utama dan tumbuhan spontan tumbuh sehingga tumbuhan yang beraneka ragam dapat menjadi relung alternatif untuk mengundang parasitoid generalis datang. Pada pengamatan ini ditemukan spesies parasitoid yang sama dengan menyerang *Calliteara horsfieldii*

(Saunders) pada penelitian Tawakkal et al. (2019), yaitu parasitoid dari Ordo Diptera dengan Genus *Carcelia* sp. Parasitoid ini merupakan parasitoid generalis dan gregarius yang menyerang empat famili termasuk Erebiidae, Limacodidae, dan Noctuidae (Arnaud 1978). Selain itu, pada penelitian sebelumnya Famili Braconidae juga dilaporkan mendominasi kekayaan spesies parasitoid yang dikoleksi (Tawakkal et al. 2019; Azhar et al. 2022; Li et al. 2023a). Sementara itu, spesies Famili Erebiidae yang melimpah di perkebunan sawit disebabkan oleh preferensi makanan yang luas. Untuk mengatasi masalah ini di masa mendatang, upaya lebih lanjut diperlukan untuk mengidentifikasi musuh alami yang spesifik untuk Famili Erebiidae sebagai strategi pengendalian.

Keberadaan parasitoid khususnya Hymenoptera dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah sebaran dan populasi inang Lepidoptera. Dalam penelitian ini jumlah spesies tanaman (pengayaan) tidak memiliki pengaruh terhadap parasitisasi dan keanekaragaman parasitoid. Spesies pohon yang mendominasi lebih memengaruhi kelimpahan Lepidoptera dan menjadi faktor utama keberadaan parasitoid yang melimpah dan tingginya tingkat parasitisasi pada plot pengamatan. Penelitian ini sama dengan penelitian Li et al. (2023a) yang sebelumnya juga dilakukan pada plot yang sama tahun 2018, faktor spesies tanaman menjadi faktor utama pengaruh terhadap tingginya kekayaan musuh alami dan herbivor. Sementara itu, jumlah spesies tanaman (jumlah spesies pohon) tidak memengaruhi kelimpahan dan kekayaan musuh alami dan herbivor bahkan berbanding terbalik dengan meningkatnya kekayaan vegetasi. Penanaman pohon pengayaan berdasarkan jenis yang tepat dengan tanaman utama, menjadi dasar untuk konservasi parasitoid dan stabilnya interaksi tritrofik untuk perkebunan sawit berkelanjutan

KESIMPULAN

Jumlah pengayaan spesies pohon yang lebih banyak memengaruhi pola interaksi tritrofik menjadi lebih kompleks. Hal ini terlihat bahwa beranekaragamnya Lepidoptera herbivor pada plot pengayaan enam meningkatkan lebih banyak spesies parasitoid generalis yang dapat menyerang beberapa spesies Lepidoptera sekaligus. Sementara itu, pengayaan satu hanya didominasi oleh Lepidoptera tertentu saja. Hasil ini juga menunjukkan bahwa vegetasi bawah yang rimbun pada plot kontrol menyebabkan kompleksitas tritrofik yang tidak berbeda dengan plot pengayaan enam jenis pohon yang ditanam lebih memengaruhi tingkat parasitisasi. Hal ini terlihat pada tingkat

parasitisasi yang tinggi pada plot yang hanya berisi pohon jengkol dibandingkan dengan plot kombinasi (pengayaan enam). Penambahan spesies pohon tidak memengaruhi kelimpahan parasitoid dan Lepidoptera herbivor. Namun, penambahan spesies pohon di perkebunan kelapa sawit memengaruhi kekayaan spesies Lepidoptera herbivor dan parasitoid.

DAFTAR PUSTAKA

- Altieri MA, Nicholls CI. 2019. Vegetational designs to enhance biological control of insect pests in agroecosystems. In: Souza, B, Vázquez L, Marucci R. (eds.), *Natural Enemies of Insect Pests in Neotropical Agroecosystems*. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-24733-1_1.
- Arnaud PHJ. 1978. *A Host-Parasite Catalog of North American Tachinidae (Diptera)*. Washington DC: US Dept of Agriculture, Science and Education Administration. Tersedia di: <https://archive.org/details/hostparasitecata1319arna>. [accessed 01 October 2022].
- Azhar A, Tawakkal MI, Sari A, Rizali A, Tarigan SD, Nazarreta R, Buchori D. 2022. Tree diversity enhance species richness of beneficial insect in experimental biodiversity enrichment in oil palm plantation. *International Journal of Oil Palm*. 5:39-49. DOI: <https://doi.org/10.35876/ijop>.
- Bell T, Lilley, AK, Hector, Schmid B, King L, Newman JA. 2009. A linear model method for biodiversity-ecosystem functioning experiments. *The American Naturalist*. 174:836-849. DOI: <https://doi.org/10.1086/647931>.
- Bianchi FJ, Booi CJ, Tscharntke T. 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: A review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings of The Royal Society B Biological Sciences*. 273:1715-1727 DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>.
- Buchori D, Sahari B, Nurindah. 2008. Conservation of agroecosystem through utilization of parasitoid diversity: Lesson for promoting sustainable agriculture and ecosystem health. *HAYATI: Journal of Biosciences*. 15:165-172. DOI: <https://doi.org/10.4308/hjb.15.4.165>.
- Buck JC. 2019. Indirect effects explain the role of parasites in ecosystems. *Review. Trends in Parasitology*. 35:835-847 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pt.2019.07.007>.
- Diego AcN, Fabio AdS, Rafaela VdC, Caroline DdS, Frederico WC. 2020. First report of *Trichospilus diatraeae* (Hymenoptera: Eulophidae) parasitizing pupae of *Methona themisto* (Lepidoptera: Nymphalidae). *Idesia*. 38:129-132. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292020000200129>.
- Dormann CF, Fründ J, Blüthgen N, Gruber B. 2023. Introducing the bipartite Package: Analysing Ecological Networks. R Package Version 2.18. Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=bipartite>. [accessed 20 August 2022].
- Drescher J, Rembold K, Allen K, Beckschäfer P, Buchori D, Clough Y, Faust H, Fauzi AM, Gunawan D, Hertel D, Irawan B, Jaya INS, Klarner B, Kleinn C, Knohl A, Kotowska MM,

- Krashevskaya V, Krishna V, Leuschner C, Lorenz W, Meijide A, Melati D, Nomura M, Pérez-Cruzado C, Qaim M, Siregar IZ, Steinebach S, Tjoa A, Tschardt T, Wick B, Wiegand K, Kreft H, Stefan Scheu. 2016. Ecological and socio-economic functions across tropical land-use systems after rainforest conversion. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 371:20150275. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0275>.
- Foster WA, Snaddon JL, Turner EC, Fayle TM, Cockerill TD, Ellwood MDF, Broad GR, Chung AYC, Eggleton P, Khen CV, Yusah KM. 2011. Establishing the evidence base for maintaining biodiversity and ecosystem function in the oil palm landscapes of South East Asia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 366:3277–3291. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0041>.
- Fernandez-Triaana JL, Whitfield JB, Smith MA, Kula R, Hallwachs W, Janzen D. 2015. Revision of the genera *Microplitis* and *Snellenius* (Hymenoptera, Braconidae, Microgasterinae) from Area de Conservacion Guanacaste, Costa Rica, with a key to all species previously described from Mesoamerica. *Deutsche Entomologische Zeitschrift*. 62:137–201. DOI: <https://doi.org/10.3897/dez.62.5276>.
- Goulet H, Huber JT. 1993. *Hymenoptera of the World: An Identification Guide to Families*. Ottawa: Agriculture Canada.
- Hothorn T, Bretz F, Westfall P. 2008. Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal*. 50:346–363. DOI: <https://doi.org/10.1002/bimj.200810425>.
- Jactel H, Moreira X, Castagnèyrol B. 2021. Tree diversity and forest resistance to insect pests: patterns, mechanisms, and prospects. *Annual Review of Entomology*. 66:277–296. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-041720-075234>.
- James DG. 2017. *The Book of Caterpillars: A Life-Size Guide to Six Hundred Species from Around The World*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Jose S. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems*. 76:1–10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>.
- Kishinevsky M, Keasar T, Bar-Massada A. 2016. Parasitoid abundance on plants: effects of host abundance, plant species, and plant flowering state. *Arthropod-Plant Interactions* 11:155–61. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11829-016-9476-2>.
- Klapwijk MJ, Björkman C. 2018. Mixed forests to mitigate risk of insect outbreaks. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 772–780. DOI: <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1502805>.
- Krebs JC. 1978. *Ecology the Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. London: Harper and Row Publisher.
- Li K, Grass I, Zemp DC, Lorenz H, Sachsenmaier L, Nurdiansyah F, Hölscher D, Kreft H, Tschardt T. 2023a. Tree identity and canopy openness mediate oil palm biodiversity enrichment effects on insect herbivory and pollination. *Ecological Applications*. 33:e2862. DOI: <https://doi.org/10.1002/eap.2862>.
- Li K, Grass I, Zemp DC, Lorenz H, Sachsenmaier L, Nurdiansyah F, Hölscher D, Kreft H, Tschardt T. 2023b. Supporting Data for: “Tree Identity and Canopy Openness Mediate Oil Palm Biodiversity Enrichment Effects on Insect Herbivory and Pollination.” GRO.data. DOI: <https://doi.org/10.25625/MZP7HQ>.
- Luke SH, Advento AD, Aryawan AAK, Adhy DN, Ashton-Butt A, Barclay H, Dewi JP, Drewery J, Dumbrell AJ, Edi, Eycott AE, Harianja MF, Hinsch JK, Hood ASC, Kurniawan C, Kurz DJ, Mann DJ, Matthews Nicholass KJ, Naim M, Pashkevich MD, Prescott GW, Ps S, Pujianto, Purnomo D, Purwoko RR, Putra S, Rambe TDS, Soeprapto, Spear DM, Suhardi, Tan DJX, Tao H-H, Tarigan RS, Wahyuningsih R, Waters HS, Widodo RH, Whendy, Woodham CR, Caliman J-P, Slade EM, Snaddon JL, Foster WA, Turner EC. 2020. Managing oil palm plantations more sustainably: Large-scale experiments within the biodiversity and ecosystem function in tropical agriculture (BEFTA) programme. *Frontiers in Forests and Global Change*. 2:7. DOI: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00075>.
- Maulana A, Suryanto P, Widiyatno, Faridah E, Suwignyo B. 2019. Dinamika suksesi vegetasi pada areal pasca perladangan berpindah di Kalimantan Tengah. *Journal of Forest Science*. 13:181–194. DOI: <https://doi.org/10.22146/jik.52433>.
- McAlpine JF, Peterson BV, Shewell GE, Teskey HJ. 1981. *Manual of Nearctic Diptera. Vol I. Ontario-Canada*: Ottawa: Biosystematics Research Institute Ottawa.
- Menalled FD, Marino PC, Gage SH, Landis DA. 1999. Does Agricultural landscape structure affect parasitism and parasitoid diversity?. *International Journal for Parasitology, Ecology Application*. 9:634–641. DOI: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1999\)009\[0634:DALSAP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1999)009[0634:DALSAP]2.0.CO;2).
- Nushasmita, Yaherwanti, Efendi S. 2020. Survei Hama Pada Perkebunan Kelapa Sawit Rakyat di Kecamatan Sembilan Koto Kabupaten Dharmasraya. *Agriprima*. 4:6–17. DOI: <https://doi.org/10.25047/agriprima.v4i1.347>.
- Oksanen J, Simpson GL, Blanchet FG, Kindt R, Legendre P, Minchin PR, O'Hara RB, Solymos P, Stevens MHH, Szoecs E, Wagner H, Barbour M, Weedon JT. 2025. *vegan: Community Ecology Package (Version 2.7-1)* [Computer software]. R Foundation for Statistical Computing. Available at: <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- Paterno GB, Brambach F, Guerrero-Ramírez N, Zemp DC, Cantillo AF, Camarretta N, Moura CCM, Gailing O, Ballauff J, Polle A, Schlund M, Erasmi S, Iddris NA, Khokthong W, Sundawati L, Irawan B, Hölscher D, Kreft H. 2024. Diverse and larger tree islands promote native tree diversity in oil palm landscapes. *Science*. 386:795–802. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.adp1629>.
- Purnamasari H, Ubaidillah R. 2007. Notes on parasitic wasp Genus *Pediobius* Walker (Hymenoptera: Eulophidae) of Java-Indonesia, with five new records. *Treubia*. 35:117–136.
- R Development Core Team. 2023. R: A language and environment for statistical computing. Vienna (AT). R Foundation for Statistical Computing. Tersedia di: <http://www.R-project.org>. [accessed 01 October 2022].

- Redlich S, Martin EA, Steffan-Dewenter I. 2020. Sustainable landscape, soil and crop management practices. *Journal of Applied Ecology*. 58:507–517. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13821>.
- Rusch A, Chaplin-Kramer CD, Gardiner M, Hawro V, Holland J, Landish D, Thies C, Tschardt T, Weisser WW, Winqvist C, et al. 2016. Agricultural landscape simplification reduces natural pest control: A quantitative synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 221:198–204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.039>.
- Syahidah T, Rizali A, Prasetyo LB, Pudjianto, Buchori D. 2021. Hubungan antara struktur lanskap dan keanekaragaman Hymenoptera parasitoid: Sebuah model interaksi pada pertanaman kacang panjang. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 58:507–517. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.18.1.43>.
- Scwarz J, Habel JC, Eberle J. 2024. Effects of habitat biotic features on hymenopteran diversity in East Africa. *Journal of Insect Conservation*. 28:821–830. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10841-024-00604-0>.
- Tawakkal MI, Buchori D, Rizali A, Sari A, Pudjianto. 2019. Parasitoid diversity and host-parasitoid interaction in oil palm plantations with different management system. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*. 23:39–46 DOI: <https://doi.org/10.22146/jpti.31232>.
- Teuscher M, Gérard A, Brose U, Buchori D, Clough Y, Ehbrecht M, Hölscher D, Irawan B, Sundawati L, Wollni M, Kreft H. 2016. Experimental biodiversity enrichment in oil-palm-dominated landscapes in Indonesia. *Frontiers in Plant Science*. 7:2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01538>.
- Thierry M, Pardikes NA, Ximénez-Embún MG, Proudthom G. 2022. Multiple parasitoid species enhance top-down control, but parasitoid performance is context-dependent. *bioRxiv*. DOI: <https://doi.org/10.1101/2021.07.16.452484>.
- [TPL] The Plant List 2013. A working list of all plant species. Version 1.1. Available at: <http://www.theplantlist.org/>. [accessed 20 Agustus 2022].
- Tschardt T, Karp DS, Chaplin-Kramer R, Batáry P, DeClerck F, Gratton C, Hunt L, Ives A, Jonsson M, Larsen A, Martin E, A, Martínez-Salinas A, Meehan TD, O'Rourke M, Poveda K, Rosenheim JA, Rusch A, Schellhorn N, Wanger TC, Zhang W. 2016. When natural habitat fails to enhance biological pest control – Five hypotheses. *Biological Conservation*. 204:449–458. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.001>.
- Ulina ES, Rizali A, Manuwoto S, Pudjianto, Buchori D. 2019. Does composition of tropical agricultural landscape affect parasitoid diversity and their host-parasitoid interactions?. *Agricultural and Forest Entomology*. 21:318–325. DOI: <https://doi.org/10.1111/afe.12334>.
- Wickham, H. 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis* (2nd ed.). Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>.
- Zemp DC, Ehbrecht M, Seidel D, Ammer C, Craven D, Erkelenz J, Irawan B, Sundawati L, Hölscher D, Kreft H. 2019. Mixed-species tree plantings enhance structural complexity in oil palm plantations. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 283:106564. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.06.003>.
- Zemp DC, Guerrero-Ramirez N, Brambach F, Darras K, Grass I, Potapov A, Roll A, Arimond I, Bellauf J, Behling H, et al. 2023. Tree islands enhance biodiversity and functioning in oil palm landscapes. *Nature*. 618:316–321. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06086-5>.