



Original Article

Keanekaragaman Diptera kanopi pada empat tipe penggunaan lahan berbeda di Jambi, Sumatra, Indonesia

The diversity of dipteran canopy on the four different land use types in Jambi, Sumatra, Indonesia

Ulfa Ulinnuha¹, Damayanti Buchori^{1,2}, Jochen Drescher³, Stefan Scheu³, Rizky Nazarrreta¹, Kasmiatun⁴, Paramita Hayu Widhyastuti⁵, Akhmad Rizali⁵, Purnama Hidayat^{1*}

¹Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University, Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia, ²Center for Transdisciplinary and Sustainability Science (CTSS), IPB University Jalan Raya Pajajaran No.27, Bogor 16127, Indonesia, ³Department of Animal Ecology, J. F. Blumenbach Institute of Zoology and Anthropology, University of Göttingen, Göttingen 37073, Germany, ⁴Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), Divisi Proteksi Tanaman, Jalan Pematangsiantar - Tanah Jawa, Marihat, Sumatera Utara 21128, Indonesia, ⁵Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Jalan Veteran, Malang 65145, Indonesia

Penulis korespondensi:

Purnama Hidayat
(phidayat@apps.ipb.ac.id)

Diterima: Januari 2025

Disetujui: Maret 2026

Sitasi:

Ulinnuha U, Buchori D, Drescher J, Scheu S, Nazarrreta R, Kasmiatun, Widhyastuti PH, Rizali A. Hidayat P. 2026. Keanekaragaman Diptera kanopi pada empat tipe penggunaan lahan berbeda di Jambi, Sumatra, Indonesia. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 23(1):11–29. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.23.1.11>

ABSTRAK

Alih fungsi hutan menjadi perkebunan monokultur dapat menyebabkan penurunan tutupan kanopi pohon dan keanekaragaman serangga, salah satunya Diptera. Diptera merupakan kelompok serangga yang berperan penting bagi keseimbangan ekosistem. Penelitian ini bertujuan untuk memelajari dampak konversi hutan menjadi perkebunan monokultur terhadap keanekaragaman dan komposisi Diptera pada empat tipe penggunaan lahan di Jambi, Sumatra. Pengambilan sampel Diptera dilakukan dengan menggunakan metode pengasapan kanopi pohon pada dua lanskap, yaitu di dalam dan sekitar area Taman Nasional Bukit Duabelas dan Hutan Harapan. Pada masing-masing lanskap, ditentukan empat tipe penggunaan lahan, yaitu hutan alami, hutan karet, perkebunan karet, dan perkebunan kelapa sawit. Total individu Diptera yang dikoleksi sejumlah 13.513 individu, terdiri atas 39 famili, 169 genus, dan 399 spesies. Adapun famili yang paling dominan yaitu Cecidomyiidae, sementara spesies yang paling dominan yaitu *Procontarinia* sp.01. Kelimpahan dan kekayaan spesies Diptera tertinggi ditemukan di hutan alami, kemudian diikuti hutan karet. Kelimpahan terendah ditemukan di perkebunan kelapa sawit, sedangkan kekayaan spesies terendah ditemukan di perkebunan karet. Hasil uji ANOVA menunjukkan tipe penggunaan lahan berbeda berpengaruh terhadap kelimpahan dan kekayaan spesies Diptera. Sementara itu, perbedaan lanskap tidak berpengaruh terhadap kelimpahan dan kekayaan spesies Diptera. Komposisi spesies Diptera dipengaruhi oleh tipe penggunaan lahan, lanskap, dan interaksi keduanya. Komposisi Diptera di hutan alami dan hutan karet menunjukkan kemiripan tertinggi, sedangkan kemiripan terendah pada hutan alami dan perkebunan kelapa sawit. Perubahan komposisi ini didorong oleh spesies *turnover*. Selain itu, konversi lahan juga menyebabkan peralihan dominansi, hutan didominasi oleh famili Cecidomyiidae, lalu dominasi beralih ke famili Ceratopogonidae di perkebunan monokultur.

Kata kunci: lalat, nyamuk, perubahan tata guna lahan, serangga arboreal, sawit, karet

ABSTRACT

Rainforest conversion into monoculture plantations has decreased tree canopy cover and insect diversity, including Diptera. Diptera is a group of insects that play a crucial role in maintaining the balance of ecosystems. This study aimed to assess the impact of forest conversion to plantations on the diversity and composition of Diptera across four land use types in Jambi, Sumatra. Diptera sampling was conducted using canopy fogging in two landscapes: Bukit Duabelas National Park and Harapan Rainforest. In each landscape, four land use types were determined: forest, jungle rubber, rubber plantation, and oil palm plantation. A total of 13,513 Diptera individuals were collected, representing 39 families, 169 genera, and 399 species. The dominant family is Cecidomyiidae, and

the dominant species is *Procontarinia* sp. 01. The highest abundance and species richness was found in forest, followed by jungle rubber. The lowest abundance was found in oil palm plantations, while the lowest species richness was found in rubber plantations. ANOVA test results indicated that different land use type significantly influenced Diptera abundance and species richness, whereas landscape had no significant effect. Diptera composition was influenced by land use type, landscape, and the interaction between land use type and landscape. Diptera composition in forest and jungle rubber showed the highest similarity, while the lowest similarity was in forest and oil palm plantation. This composition change was driven by species turnover. In addition, land conversion also caused a shift in dominance, with forests dominated by Cecidomyiidae, then dominance shifted to Ceratopogonidae in monoculture plantations.

Key words: arboreal insects, flies, land use change, mosquitos, oil palm, rubber

PENDAHULUAN

Hutan hujan tropis dataran rendah merupakan kawasan dengan ekosistem yang kaya akan keanekaragaman hayati flora dan fauna (Myers et al. 2000), akan tetapi keberlangsungannya terancam akibat meningkatnya laju konversi hutan (Gibson et al. 2011). Perubahan fungsi hutan menjadi lahan perkebunan, khususnya untuk karet dan kelapa sawit menjadi salah satu faktor utama penurunan luas area hutan primer di Jambi (Drescher et al. 2016). Alih fungsi hutan tersebut tidak hanya menurunkan jumlah populasi dan spesies yang hidup di dalamnya, akan tetapi juga berpengaruh signifikan pada proses distribusi energi, khususnya antara jejaring makanan di atas permukaan tanah (herbivor dan predator) dan di bawah tanah (fungivor, bakterivor, dan dekomposer) (Potapov et al. 2024). Berdasarkan laporan Margono et al. (2014) terdapat beberapa pulau di Indonesia yang terus mengalami alih fungsi hutan menjadi kawasan perkebunan, di antaranya Sumatra, Kalimantan, dan Papua (Margono et al. 2014). Salah satu provinsi di pulau Sumatra yang mengalami alih fungsi hutan menjadi kawasan perkebunan karet dan kelapa sawit, yaitu Provinsi Jambi. Luas area hutan di Jambi terus mengalami penurunan sejak tahun 1970-an sehingga hanya tersisa sebesar 28% pada tahun 2023 (Laumonier et al. 2010; BPS Provinsi Jambi 2025a). Adapun luas area perkebunan kelapa sawit dan karet saat ini dilaporkan berturut-turut sebesar 1.135.357 hektar atau 60% dan 601.754 hektar atau 32% dari seluruh perkebunan di Jambi (BPS Provinsi Jambi 2025b).

Konversi hutan menjadi kawasan perkebunan monokultur diketahui berdampak negatif bagi berbagai spesies yang hidup di dalamnya, di antaranya dapat menurunkan keanekaragaman spesies tumbuhan, khususnya yang bergantung pada ekosistem hutan primer (Rembold et al. 2017). Selain itu, diketahui juga dapat meningkatkan ancaman spesies invasif yang dapat mengganggu kehidupan spesies asli di kawasan hutan tersebut (Rembold et al. 2017). Lebih lanjut,

alih fungsi lahan juga berpengaruh signifikan terhadap keberlanjutan hidup berbagai fauna, khususnya serangga. Beberapa penelitian di Jambi melaporkan adanya penurunan kelimpahan dan kekayaan berbagai kelompok serangga akibat adanya alih fungsi hutan, antara lain semut (Nazarreta et al. 2020; Desriana et al. 2023; Ehlers et al. 2024), kupu-kupu (Panjaitan et al. 2020), Hymenoptera parasitoid (Azhar et al. 2022a), kumbang Curculionidae, Chrysomelidae, Elateridae, dan Staphylinidae (Kasmiatun et al. 2022). Penurunan keanekaragaman serangga ini menyebabkan perubahan aliran energi antartrofik dalam jejaring makanan dan menurunkan fungsi ekologisnya (Pollierer et al. 2023).

Penelitian mengenai dampak perubahan tata guna lahan pada berbagai jenis serangga saat ini semakin berkembang dan telah banyak dilaporkan, akan tetapi belum banyak yang melaporkan secara khusus terkait Diptera. Ordo Diptera merupakan kelompok serangga yang memiliki ciri morfologi berupa sepasang sayap dan sepasang halter, terbagi menjadi dua subordo, yaitu Brachycera dan Nematocera (Kirk-Spriggs et al. 2017a). Diptera mempunyai peran yang penting di alam, yaitu sebagai musuh alami (parasitoid, predator), herbivor (fitofag), penyerbuk, dan pengurai (Kirk-Spriggs et al. 2017a). Sejauh ini, telah dilaporkan bahwa terdapat 176.080 spesies Diptera yang telah dideskripsikan dari seluruh dunia, terdiri atas 17.973 genus dan 298 famili (GBIF 2025). Diptera memiliki penyebaran yang luas dan dapat hidup di berbagai tipe habitat, seperti di peternakan (Zimmer et al. 2014), pemukiman (Chen et al. 2016), pegunungan (Navai et al. 2017), hutan (Quaglia et al. 2020), sekitar danau (Erram & Burkett-Cadena 2021), dan habitat dengan tumbuhan berbunga (Heiduk et al. 2023). Lanskap dengan hutan yang luas diketahui memiliki kelimpahan dan kekayaan spesies Diptera yang lebih tinggi dibandingkan dengan lanskap dengan hutan yang terfragmentasi (Smith & Mayfield 2015).

Keberadaan Diptera pada suatu ekosistem dipengaruhi oleh komposisi dan struktur vegetasi, juga iklim mikro (Kirk-Spriggs et al. 2017a). Tutupan

kanopi menjadi salah satu faktor penting pendukung keberlanjutan ekosistem hutan karena dapat memengaruhi iklim mikro di dalam habitat serangga (Drescher et al. 2016). Hasil penelitian Scherber et al. (2014), kelimpahan Diptera mencapai 300 individu/plot di kawasan dengan tutupan kanopi >90%, sementara kelimpahannya meningkat menjadi 500 individu/plot pada tutupan kanopi 70% sehingga ada kenaikan kelimpahan Diptera ketika tutupan kanopi berkurang. Namun demikian, pola tersebut berbeda dengan hasil penelitian terhadap ordo serangga lain di Jambi, yang telah disebutkan sebelumnya (Nazarreta et al. 2020; Panjaitan et al. 2020; Azhar et al. 2022a; Kasmiatun et al. 2022, Desriana et al. 2023; Ehlers et al. 2024).

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji respons Diptera kanopi di Jambi terhadap perubahan tutupan kanopi, dengan membandingkan pola yang dilaporkan oleh Scherber et al. (2014) dengan pola yang telah dilaporkan pada ordo serangga lain di Jambi. Penelitian ini secara khusus dilakukan untuk mengetahui dampak alih fungsi lahan hutan terhadap keberadaan Diptera, dengan merujuk penelitian sebelumnya (Pollierer et al. 2023; Ehlers et al. 2024; Potapov et al. 2024). Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk mempelajari pengaruh perubahan tipe penggunaan lahan hutan menjadi kawasan agroforestri dan perkebunan monokultur terhadap keanekaragaman dan komposisi Diptera kanopi. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan data awal mengenai keanekaragaman dan komposisi serangga Diptera kanopi di hutan alami, hutan karet, perkebunan karet, dan perkebunan kelapa sawit, di Jambi, Sumatra.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan lokasi penelitian

Penelitian ini merupakan bagian dari kerja sama penelitian jangka panjang antara Indonesia dan Jerman, CRC990/EFForTS (*Collaborative Research Centre 990: Ecological and Socioeconomic Functions of Tropical Lowland Rainforest Transformation Systems*) Fase 1, dengan nomor izin koleksi sampel S.710/KKH-2/2013 yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam (PHKA), Kementerian Kehutanan Indonesia. Proses koleksi sampel dilakukan dari bulan Juli hingga Oktober 2013 pada musim kemarau, di dalam dan sekitar kawasan Taman Nasional Bukit Duabelas dan Hutan Harapan, Jambi, Sumatra. Taman Nasional Bukit Duabelas merupakan kawasan konservasi yang dikelola oleh Balai Konservasi Sumberdaya Alam Jambi. Sementara itu, kawasan Hutan Harapan merupakan area hutan sekunder yang telah dilakukan upaya restorasi oleh

PT. REKI (Restorasi Ekosistem Konservasi Indonesia). Adapun proses identifikasi sampel yang telah terkoleksi dilakukan dari bulan Februari hingga Juli 2018 dan Desember 2018 hingga April 2019 di Laboratorium Pengendalian Hayati, Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Plot pengamatan

Kawasan di dalam dan sekitar Taman Nasional Bukit Duabelas dan Hutan Harapan dikategorikan sebagai skala lanskap. Pada masing-masing lanskap terdapat empat tipe penggunaan lahan, yaitu hutan alami, hutan karet, perkebunan karet, dan perkebunan kelapa sawit. Tipe penggunaan lahan hutan alami merupakan kawasan hutan primer yang terdegradasi dan mengalami penebangan selektif, akan tetapi tidak banyak mengalami gangguan dari manusia (Margono et al. 2014). Sementara itu, hutan karet merupakan kawasan agroforestri dengan sistem pertanian ekstensif, yang dikembangkan melalui penanaman tanaman karet di kawasan hutan sekunder atau hutan yang sebelumnya mengalami kerusakan, kemudian dibiarkan tumbuh secara alami tanpa perawatan intensif (Rembold et al. 2017). Adapun kawasan perkebunan karet (*Hevea brasiliensis*) dan perkebunan kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan area perkebunan monokultur yang dikelola masyarakat lokal dengan sistem pertanian intensif (Drescher et al. 2016). Setiap tipe penggunaan lahan ditentukan empat plot inti berukuran 50 m × 50 m dengan jarak antarplot sekitar 40 m (32 plot inti) (Drescher et al. 2016). Proses pengambilan sampel dilakukan sebanyak tiga ulangan pada kanopi pohon berbeda dengan luas area sekitar 5 m × 5 m yang kemudian dijadikan sebagai subplot. Total subplot yang digunakan sebanyak 96 subplot (2 lanskap × 4 tipe penggunaan lahan × 4 plot inti × 3 ulangan) (Gambar 1).

Pengambilan sampel

Pengambilan sampel Diptera kanopi dilakukan dengan menggunakan metode pengasapan kanopi (*fogging*). Adapun pohon yang dipilih untuk proses pengasapan merupakan pohon dengan kanopi yang mewakili kondisi habitat pada area plot tersebut. Pengasapan kanopi pohon dilakukan dengan menggunakan alat Swingfog® SN50 *fogger* (Swingtec GmbH, Germany) dengan bahan yang dilarutkan berupa 50 ml DECIS 25 EC® (insektisida piretroid dengan bahan aktif deltametrin, 25 g/l) dan 4,0–4,5 l minyak putih petroleum. Insektisida piretroid bersifat *knockdown* yang dapat melemahkan sistem motorik atau menyebabkan kelumpuhan sementara pada serangga (Athanasios et al. 2021). Proses pengasapan dilakukan pada pagi hari sekitar pukul



Gambar 1. Lokasi penelitian EFForTS di Jambi (Amrulloh et al. 2022).

Figure 1. Location of EFForTS study sites in Jambi (Amrulloh et al. 2022).

06.00 WIB dengan mengarahkan alat *fogging* ke kanopi pohon target selama 20 menit. Sebanyak 16 wadah penampung berbentuk limas terbalik berbahan nilon berukuran 1 m × 1 m dipasang mengelilingi pohon di bawah kanopi target. Pada bagian bawah wadah penampung tersebut juga dipasang botol koleksi berisi alkohol 70% untuk menampung serangga yang mengalami efek *knockdown*. Setelah 2 jam pengasapan, serangga yang jatuh ke wadah penampung tersebut dikumpulkan, dimasukkan ke dalam botol sampel, lalu diberi label sesuai kode plot dan tanggal pengambilan sampel. Botol berisi sampel tersebut dibawa ke laboratorium dan disimpan pada suhu kurang lebih -20 °C untuk disortir dan diidentifikasi lebih lanjut.

Identifikasi Diptera

Sampel Diptera kanopi terlebih dahulu dipisahkan dari sampel artropoda lainnya. Kemudian sampel tersebut diidentifikasi lebih lanjut berdasarkan tingkat subordo, famili, hingga morfospesies. Proses identifikasi dilakukan dengan menggunakan beberapa buku kunci identifikasi, antara lain McAlpine et al. (1981, 1987), Kirk-Spriggs et al. (2017a, 2017b, 2021), dan Nugroho & Mujiyono (2021). Setelah proses identifikasi selesai, sebanyak satu hingga dua individu dari setiap morfospesies dipisahkan dan dijadikan sampel master.

Analisis data

Analisis data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak R 4.5.2 dan RStudio 2025.09.2+418 (R Core Team 2025). Kode R yang digunakan merupakan hasil modifikasi dari analisis Junggebauer et al. (2021), Ramos et al. (2022), dan Ehlers et al. (2024), yang divisualisasikan dengan *ggplot2* (Wickham 2016).

Indeks keanekaragaman alfa yang digunakan, yaitu Shannon-Wiener, Simpson, dan Evenness yang dianalisis menggunakan paket *vegan::diversity* (Oksanen et al. 2025). Pengaruh perbedaan tipe penggunaan lahan terhadap kelimpahan dan kekayaan spesies Diptera kanopi dianalisis menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA) dengan pemodelan *generalized linear model* (GLM), menggunakan Famili Negative Binomial untuk analisis kelimpahan dan Famili Gaussian untuk kekayaan spesies. Famili dipilih berdasarkan visualisasi Q-Q plot dan nilai *akaike information criterion* (AIC) terendah. Uji lanjut menggunakan Tukey dengan taraf $\alpha = 5\%$. Data divisualisasikan menggunakan gabungan *barplot*. Estimasi kekayaan spesies Diptera kanopi dihitung berdasarkan nilai *abundance-based coverage estimator* (ACE) menggunakan perangkat lunak EstimateS 9.10, lalu divisualisasikan menggunakan kurva akumulasi spesies. Peringkat kelimpahan spesies dianalisis menggunakan paket RankAbund (Hartke 2020) untuk mengetahui pola dominansi pada setiap tipe penggunaan lahan. Tumpang tindih spesies dan famili pada empat tipe penggunaan lahan dianalisis menggunakan *vegan*, lalu divisualisasikan menggunakan diagram Venn. Analisis komposisi spesies dilakukan dengan menggunakan model glm multivariat, lalu divisualisasikan dengan boral (Hui 2025) dan ggboral (Bedward 2020). Penelitian ini juga menganalisis spesies *turnover* yang merupakan bagian dari keanekaragaman beta menggunakan indeks Bray-Curtis. Spesies *turnover* adalah pergantian spesies antar komunitas, ketika ada spesies tertentu yang hilang pada suatu lokasi lalu digantikan oleh spesies yang lain (Baselga 2010), merupakan konsekuensi dari perubahan kondisi lingkungan (Qian et al. 2005).

HASIL

Total Diptera kanopi yang ditemukan sejumlah 13.513 individu, terdiri atas 39 famili, 73 subfamili, 169 genus, dan 399 spesies. Subordo Nematocera memiliki kelimpahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan Subordo Brachycera, yaitu 11.329 dan 2.184 individu (Tabel 1). Adapun famili yang mendominasi di seluruh tipe penggunaan lahan, yaitu Cecidomyiidae dari Subordo Nematocera. Sementara itu, lima spesies yang mendominasi hanya mencakup 30,6% dari total individu yang ditemukan, yaitu *Procontarinia* sp.01 (1.242 individu), *Mycodiplosis* sp.02 (900 individu), *Culicoides* sp.01 (789 individu), *Miastor* sp.02 (729 individu), dan *Macrolabis* sp.01 (470 individu) (Tabel 2). Berdasarkan masing-masing tipe penggunaan lahan, spesies yang mendominasi di hutan alami dan hutan karet, yaitu *Procontarinia* sp.01, masing-masing sebanyak 742 dan 390 individu. Kemudian di perkebunan karet terdapat *Brachypogon* sp.01 sebanyak 216 individu dan di perkebunan kelapa sawit terdapat *Dasyhelea* sp.01 sebanyak 103 individu. Adapun persentase spesies Diptera yang berhasil didapatkan dari 32 plot menggunakan metode pengasapan kanopi pohon adalah sebesar 87,4%. Berdasarkan nilai ACE, diperkirakan masih terdapat spesies yang belum terdeteksi pada setiap tipe penggunaan lahan (Tabel 3). Kemiringan kurva akumulasi spesies yang masih curam mengindikasikan jumlah spesies Diptera terus bertambah seiring penambahan plot (Gambar 2A).

Kelimpahan dan kekayaan spesies Diptera di dua lanskap dan empat tipe penggunaan lahan

Berdasarkan perbedaan lanskap, kelimpahan Diptera lebih tinggi di Hutan Harapan dibandingkan dengan di Bukit Duabelas, yaitu 6.800 dan 6.713 individu. Lebih lanjut, pada masing-masing tipe penggunaan lahan, kelimpahan Diptera kanopi tertinggi ditemukan di lahan hutan alami, yaitu sebanyak 5.113 individu atau

37,8% dari keseluruhan individu yang ditemukan (Tabel 3). Kemudian kelimpahan tertinggi kedua terdapat pada hutan karet (4.175 individu; 30,9%), diikuti perkebunan karet (2.564 individu; 19%), dan terendah di perkebunan kelapa sawit (1.661 individu; 12,3%) (Tabel 3). Selain memiliki kelimpahan tertinggi, tipe penggunaan lahan hutan alami juga memiliki kekayaan spesies tertinggi, yaitu sebanyak 287 spesies. Kemudian diikuti oleh hutan karet (263 spesies), perkebunan kelapa sawit (201 spesies), dan terendah perkebunan karet (187 spesies) (Tabel 2; Gambar 3). Berdasarkan hasil ANOVA, tipe penggunaan lahan berpengaruh nyata terhadap kelimpahan (glm; $\chi^2_{(3,27)} = 23,5$; $p < 0,001$) dan kekayaan spesies Diptera kanopi (glm; $F_{(3,27)} = 7,2$; $p < 0,01$), akan tetapi perbedaan lanskap tidak berpengaruh (kelimpahan, glm: $\chi^2_{(1,30)} = 0,005$; $p = 0,9$; kekayaan spesies, glm: $F_{(1,30)} = 0,1$; $p = 0,7$) (Gambar 4A, 4B). Hasil ANOVA dari interaksi lanskap dan tipe penggunaan lahan juga menunjukkan hasil yang tidak signifikan terhadap kelimpahan (glm; $\chi^2_{(3,24)} = 4,4$; $p = 0,2$) dan kekayaan spesies (glm; $F_{(3,24)} = 1,5$; $p = 0,3$) (Gambar 4A, 4B). Rata-rata kelimpahan Diptera di hutan alami sekitar dua kali lebih tinggi dibandingkan dengan perkebunan karet dan tiga kali lebih tinggi dibandingkan dengan perkebunan kelapa sawit (Gambar 5A). Uji lanjut Tukey menunjukkan bahwa perbedaan tersebut signifikan, sedangkan perbandingan antara hutan alami dan hutan karet tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan (Gambar 5A). Pola serupa terlihat pada kekayaan spesies Diptera (Gambar 5B).

Indeks keanekaragaman Diptera di empat tipe penggunaan lahan

Berdasarkan indeks Shannon-Wiener, keempat tipe penggunaan lahan memiliki kompleksitas keanekaragaman Diptera yang tinggi ($H' > 3$), yang tertinggi ditemukan pada perkebunan kelapa sawit. Kurva peringkat kelimpahan pada perkebunan kelapa

Tabel 1. Kelimpahan brachyceran dan nematoceran di empat tipe penggunaan lahan

Table 1. Abundance of brachyceran and nematoceran on four types of use

Subordo	Hutan alami (Forest)	Hutan karet (Jungle rubber)	Perkebunan karet (Rubber plantation)	Perkebunan kelapa sawit (Oil palm plantation)	Total (Total)
Subordo Brachycera (Brachycera Suborder)	783	576	420	405	2.184
Famili (Family)	22	21	13	16	27
Subfamili (Subfamily)	35	35	25	27	45
Spesies (Species)	164	126	71	80	230
Subordo Nematocera (Nematocera Suborder)	4.330	3.599	2.144	1.256	11.329
Famili (Family)	12	11	10	10	12
Subfamili (Subfamily)	24	23	23	23	27
Spesies (Species)	123	137	116	121	169

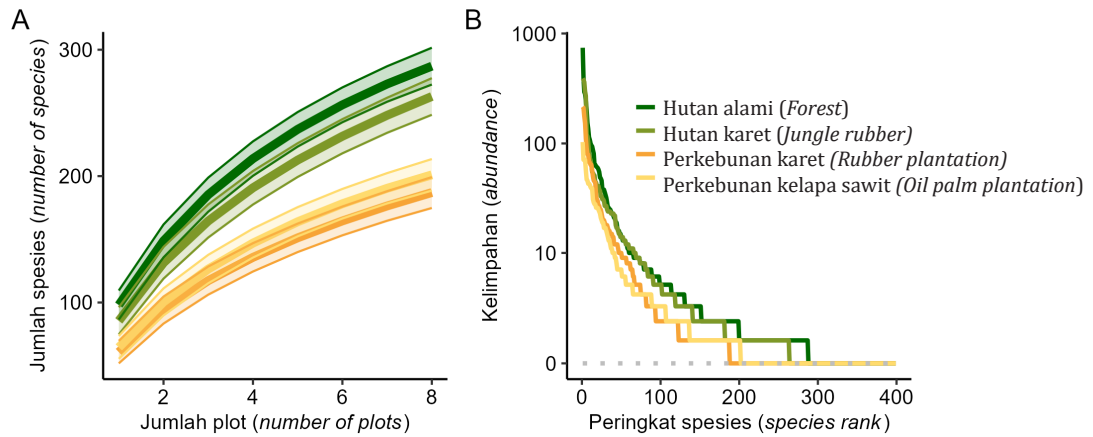
Tabel 2. Spesies dominan di empat tipe penggunaan lahan**Table 2.** Dominant species on four land use types

Tipe penggunaan lahan (Land use type)	Peringkat (Rank)	Spesies (Species)	Famili (Family)	Kelimpahan (Abundance)	%
Keseluruhan (Overall)	1	<i>Procontarinia</i> sp.01	Cecidomyiidae	1.242	9,2
	2	<i>Mycodiplosis</i> sp.02	Cecidomyiidae	900	6,7
	3	<i>Culicoides</i> sp.01	Ceratopogonidae	789	5,8
	4	<i>Miastor</i> sp.02	Cecidomyiidae	729	5,4
	5	<i>Macrolabis</i> sp.01	Cecidomyiidae	470	3,5
Kelimpahan lima spesies dominan (Abundance of five dominant species)				4.130	30,6
Hutan alami (Forest)	1	<i>Procontarinia</i> sp.01	Cecidomyiidae	742	14,5
	2	<i>Mycodiplosis</i> sp.02	Cecidomyiidae	396	7,7
	3	<i>Asphondylia</i> sp.03	Cecidomyiidae	294	5,8
	4	<i>Miastor</i> sp.02	Cecidomyiidae	283	5,5
	5	<i>Culicoides</i> sp.01	Ceratopogonidae	244	4,8
Kelimpahan lima spesies dominan (Abundance of five dominant species)				1.959	38,3
Hutan karet (Jungle rubber)	1	<i>Procontarinia</i> sp.01	Cecidomyiidae	390	9,3
	2	<i>Mycodiplosis</i> sp.02	Cecidomyiidae	379	9,1
	3	<i>Miastor</i> sp.02	Cecidomyiidae	362	8,7
	4	<i>Culicoides</i> sp.01	Ceratopogonidae	298	7,1
	5	<i>Macrolabis</i> sp.01	Cecidomyiidae	270	6,5
Kelimpahan lima spesies dominan (Abundance of five dominant species)				1.699	40,7
Perkebunan karet (Rubber plantation)	1	<i>Brachypogon</i> sp.01	Ceratopogonidae	216	8,4
	2	<i>Rheotanytarsus</i> sp.03	Chironomidae	211	8,2
	3	<i>Culicoides</i> sp.01	Ceratopogonidae	176	6,9
	4	<i>Paramyia</i> sp.13	Milichiidae	153	6,0
	5	<i>Dasyhelea</i> sp.01	Ceratopogonidae	111	4,3
Kelimpahan lima spesies dominan (Abundance of five dominant species)				867	33,8
Perkebunan kelapa sawit (Oil palm plantation)	1	<i>Dasyhelea</i> sp.01	Ceratopogonidae	103	6,2
	2	<i>Culicoides</i> sp.01	Ceratopogonidae	71	4,3
	3	<i>Gonomyia</i> sp.01	Limoniidae	71	4,3
	4	<i>Krenosmittia</i> sp.03	Chironomidae	71	4,3
	5	<i>Forcipomyia</i> sp.01	Ceratopogonidae	57	3,4
Kelimpahan lima spesies dominan (Abundance of five dominant species)				373	22,5

Tabel 3. Keanekaragaman Diptera di empat tipe penggunaan lahan**Table 3.** Diversity of Diptera on four land use types

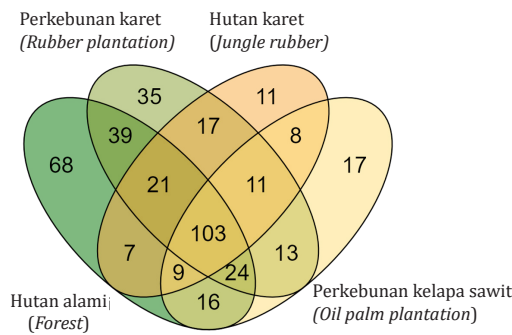
Tipe penggunaan lahan (Land use type)	Kelimpahan (Abundance)	Famili (Family)	Subfamili (Subfamily)	Genus (Genera)	Spesies (Species)	ACE (ACE)	Spesies dikoleksi (Collected species) (%)
Hutan alami (Forest)	5.113	34	59	129	287	369	77,9
Hutan karet (Jungle rubber)	4.175	32	58	133	263	344	76,5
Perkebunan karet (Rubber plantation)	2.564	23	48	105	187	270	69,2
Perkebunan kelapa sawit (Oil palm plantation)	1.661	26	50	113	201	254	79

ACE: abundance-based coverage estimator.



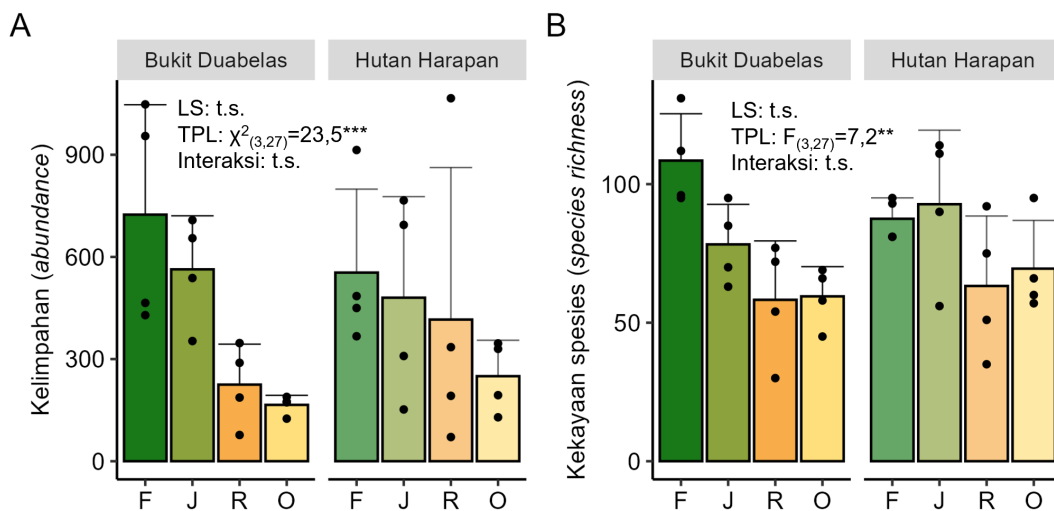
Gambar 2. Keterwakilan sampel Diptera di empat tipe penggunaan lahan. A: kurva akumulasi spesies; B: peringkat kelimpahan dari 399 spesies Diptera.

Figure 2. Representativeness of Diptera samples on four land use types. A: species accumulation curve; B: rank abundance of 399 Diptera species.



Gambar 3. Diptera di empat tipe penggunaan lahan.

Figure 3. Diptera on four land use types.



Gambar 4. Pengaruh konversi lahan terhadap Diptera di lanskap Bukit Duabelas dan Hutan Harapan. A: kelimpahan dan B: kekayaan spesies pada empat tipe penggunaan lahan (F: hutan alami; J: hutan karet; R: perkebunan karet; O: perkebunan kelapa sawit). Hasil uji statistik untuk setiap variabel prediktor ditunjukkan sebagai berikut: LS: lanskap, TPL: tipe penggunaan lahan, interaksi: interaksi antara lanskap dan tipe penggunaan lahan, t.s.: tidak signifikan, *: $p < 0.01$; **: $p < 0.001$.

Figure 4. Effects of land use conversion on Diptera in the Bukit Duabelas and Harapan landscapes. A: abundance and B: species richness across four land use types (F: forest; J: jungle rubber; R: rubber plantation; O: oil palm plantation). Results of statistical tests for each predictor variable are presented as follows: LS: landscape; TPL: land-use type; interaction: interaction between landscape and land use type, n.s.: not significant, *: $p < 0.01$, **: $p < 0.001$.

sawit menunjukkan penurunan yang paling landai, menandakan distribusi kelimpahan individu yang lebih merata dan tidak terjadi dominansi spesies tertentu (Gambar 2B, Tabel 4). Pola ini sesuai dengan nilai indeks Evenness (E) dan Simpson (1 - D) yang lebih tinggi pada perkebunan kelapa sawit, meskipun kekayaan spesiesnya lebih rendah dibandingkan dengan hutan alami (Tabel 4).

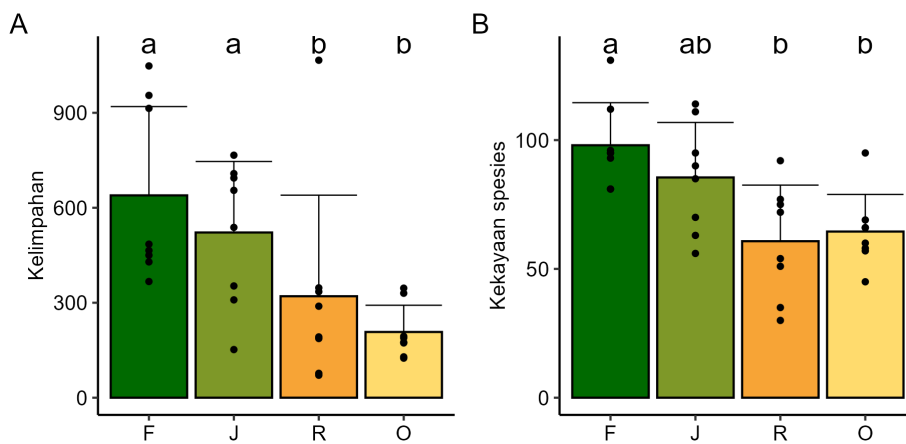
Komposisi spesies Diptera di dua lanskap dan empat tipe penggunaan lahan

Hasil analisis multivariat menunjukkan perbedaan tipe penggunaan lahan ($wald_{(3,27)} = 44,5; p < 0,001$), lanskap ($wald_{(1,30)} = 23,3; p < 0,001$), dan interaksi keduanya ($wald_{(3,27)} = 25; p < 0,001$) memengaruhi komposisi Diptera. Berdasarkan nilai Bray-Curtis, komposisi Diptera pada hutan alami (BF) paling mirip dengan hutan karet (BJ) di lanskap Bukit Duabelas (Tabel 5, Gambar 6). Komposisi Diptera yang paling berbeda ditemukan antara hutan alami (BF) dan perkebunan kelapa sawit (BO) di lanskap Bukit Duabelas (Tabel 5, Gambar 6). Hasil ini mengindikasikan bahwa *turnover rate* paling rendah terjadi ketika hutan alami

beralih menjadi hutan karet. Sebaliknya, *turnover rate* paling tinggi ketika hutan alami dikonversi menjadi perkebunan kelapa sawit. *Turnover* juga dapat dilihat dari pergantian spesies pada setiap tipe penggunaan lahan sebagaimana ditunjukkan Gambar 3 dan Tabel 6. Lebih lanjut, Gambar 3 dan Tabel 7 menampilkan sebanyak 26% atau 103 spesies yang dijumpai di seluruh tipe penggunaan lahan. Hal ini mengindikasikan adanya spesies generalis yang mampu beradaptasi di berbagai habitat, termasuk habitat yang telah mengalami konversi. Spesies generalis yang paling mendominasi adalah *Procontarinia* sp.01 (Cecidomyiidae) (Tabel 2).

PEMBAHASAN

Konversi hutan menjadi kawasan perkebunan monokultur, khususnya karet dan kelapa sawit berdampak signifikan terhadap keberadaan Diptera pada suatu ekosistem. Penelitian ini menunjukkan bahwa kawasan hutan alami dan agroforestri hutan karet dapat mendukung kelimpahan dan kekayaan spesies Diptera yang lebih tinggi dibandingkan dengan kawasan perkebunan karet dan perkebunan kelapa sawit. Pola ini mengindikasikan Diptera merespons



Gambar 5. Pengaruh konversi lahan terhadap Diptera. A: kelimpahan dan B: kekayaan spesies (hasil uji Tukey taraf $\alpha = 5\%$). Huruf menunjukkan tipe penggunaan lahan (F: hutan alami; J: hutan karet; R: perkebunan karet; O: perkebunan kelapa sawit).

Figure 5. Effect of land conversion on Diptera. A: abundance and B: species richness (Tukey test results at $\alpha = 5\%$). The letter indicates the land use type (F: forest; J: jungle rubber; R: rubber plantation; O: oil palm plantation).

Tabel 4. Keanekaragaman Diptera di empat tipe penggunaan lahan

Table 4. Diversity of Diptera on four land use types

Tipe penggunaan lahan (Land use type)	Spesies (Species)	Shannon-Wiener (H')	Simpson (1-D)	Evenness (E)
Hutan alami (Forest)	287	3.59 ab	0.94 ab	0.78 a
Hutan karet (Jungle rubber)	263	3.56 ab	0.95 ab	0.80 a
Perkebunan karet (Rubber plantation)	187	3.33 a	0.93 a	0.83 ab
Perkebunan kelapa sawit (Oil palm plantation)	201	3.71 b	0.96 b	0.89 b

Huruf yang mengikuti nilai pada setiap baris menunjukkan perbedaan yang signifikan berdasarkan uji Tukey ($\alpha = 0,05$). (Letters following the values in each row indicate significant differences according to Tukey's test ($\alpha = 0.05$)).

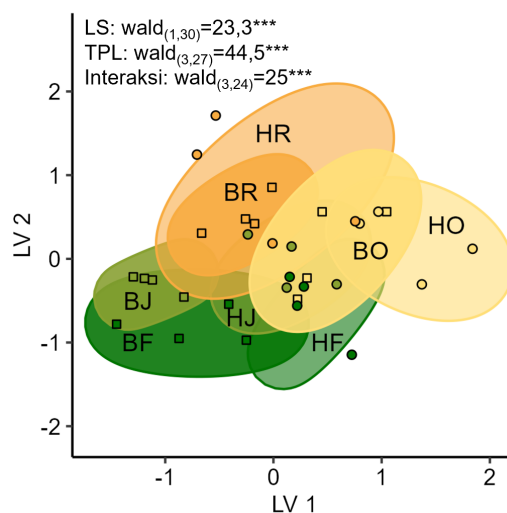
Tabel 5. Nilai indeks kemiripan Bray-Curtis Diptera di empat tipe penggunaan lahan di lanskap Bukit Duabelas dan Hutan Harapan

Table 5. Bray-Curtis similarity index score of Diptera on four land use types in Bukit Duabelas and Harapan Rainforest landscapes

Type penggunaan lahan (<i>Land use type</i>)	BF	BJ	BR	BO	HF	HJ	HR	HO
BF	1,00							
BJ	0,60	1,00						
BR	0,36	0,41	1,00					
BO	0,24	0,29	0,44	1,00				
HF	0,53	0,58	0,37	0,30	1,00			
HJ	0,52	0,51	0,51	0,41	0,49	1,00		
HR	0,36	0,33	0,42	0,33	0,27	0,46	1,00	
HO	0,26	0,28	0,43	0,48	0,27	0,43	0,37	1,00

Huruf pertama menunjukkan lanskap Bukit Duabelas (B) atau Hutan Harapan (H), huruf kedua menunjukkan tipe penggunaan lahan (F: hutan alami; J: hutan karet; R: perkebunan karet; O: perkebunan kelapa sawit).

(The first letter indicates the landscape of Bukit Duabelas (B) or Harapan Rainforest (H), the second letter indicates the land use type (F: forest; J: jungle rubber; R: rubber plantation; O: oil palm plantation)).



Gambar 6. Komposisi spesies Diptera pada lanskap dan tipe penggunaan lahan yang berbeda. Huruf pertama menunjukkan lanskap Bukit Duabelas (B) atau Hutan Harapan (H), huruf kedua menunjukkan tipe penggunaan lahan (F: hutan alami; J: hutan karet; R: perkebunan karet; O: perkebunan kelapa sawit). Hasil uji statistik mengenai pengaruh variabel prediktor dituliskan sebagai berikut: LS: lanskap; TPL: tipe penggunaan lahan; interaksi: interaksi antara lanskap dan tipe penggunaan lahan, ***: nilai $p < 0.001$.

Figure 6. Diptera species composition on different landscapes and land use types. The first letter indicates the landscape of Bukit Duabelas (B) or Harapan Rainforest (H), the second letter indicates the land use type (F: forest; J: jungle rubber; R: rubber plantation; O: oil palm plantation). Results of statistical tests for each predictor variable are presented as follows: LS: landscape, TPL: land use type, interaction: interaction between landscape and land use type, *** = $p < 0.001$.

perubahan kompleksitas vegetasi yang menjadi habitatnya. Konversi hutan menjadi perkebunan monokultur berarti melakukan penyederhanaan struktur vegetasi. Pengaruh vegetasi menjadi pembahasan penting mengingat objek yang diteliti adalah Diptera yang berasosiasi dengan kanopi pohon.

Kawasan hutan alami dan hutan karet relatif mirip, yaitu memiliki kompleksitas vegetasi yang tinggi, lapisan kanopi yang rapat, dan intensitas pengolahan lahan yang rendah bahkan tidak sama sekali (Drescher et al. 2016; Rembold et al. 2017). Vegetasi di hutan

alami paling kompleks, dengan kekayaan spesies 1,5 kali lebih tinggi dibandingkan dengan hutan karet dan 4 kali lebih tinggi dibandingkan dengan perkebunan karet dan perkebunan kelapa sawit (Rembold et al. 2017). Kompleksitas vegetasi ini berhubungan positif dengan kekayaan spesies artropoda (Basset et al. 2012). Habitat yang kompleks berarti menyediakan banyak ceruk (*niche*) dengan sumber daya berupa pakan yang beragam, juga tempat berlindung dan melakukan oviposisi (Prince et al. 2011). Keanekaragaman ceruk mendukung kelimpahan dan kekayaan spesies Diptera

Tabel 6. Spesies yang dijumpai di tipe penggunaan lahan tertentu**Table 6.** Species found on certain land use types

Famili (Family)	F	J	R	O
Asilidae	<i>Ommatius</i> sp.01 <i>Philonicus</i> sp.02	<i>Philonicus</i> sp.01		
Calliphoridae		<i>Rhyncomya flavibasis</i>		
Cecidomyiidae		<i>Didactilomyia</i> sp.01		
Celyphidae		<i>Acelyphus</i> sp.01		
Chamaemyiidae		<i>Leucopis</i> sp.01		
Ceratopogonidae	<i>Allohelea</i> sp.01			
Chironomidae				<i>Polypedilum</i> sp.02
Chloropidae	<i>Chloropidae</i> sp.01 <i>Chloropsina</i> sp.02 <i>Chloropsina</i> sp.03 <i>Chloropsina</i> sp.05 <i>Chloropsina</i> sp.06 <i>Chloropsina</i> sp.07 <i>Chloropsina</i> sp.08 <i>Dicraeus</i> sp.03 <i>Gampsocera</i> sp.01 <i>Gaurax</i> sp.09 <i>Gaurax</i> sp.11 <i>Gaurax</i> sp.15 <i>Gaurax</i> sp.17 <i>Parectecephala</i> sp.01 <i>Rhopalopterum</i> sp.06 <i>Tricimba</i> sp.01	<i>Elachiptera</i> sp.01 <i>Elachiptera</i> sp.02 <i>Gaurax</i> sp.01 <i>Incertella</i> sp.06 <i>Rhodesiella</i> sp.02 <i>Rhodesiella</i> sp.04	<i>Incertella</i> sp.02	<i>Tricimba</i> sp.02
Culicidae	<i>Anopheles</i> sp.03			
Dolichopodidae	<i>Diaphorus</i> sp.01 <i>Sciapus</i> sp.01 <i>Xanthochlorus</i> sp.01			<i>Diaphorus</i> sp.02 <i>Enlinia</i> sp.01
Drosophilidae	<i>Drosophila</i> sp.09 <i>Drosophila</i> sp.11 <i>Drosophila</i> sp.12 <i>Drosophila</i> sp.13 <i>Drosophila</i> sp.14 Drosophilidae sp.01 <i>Stegana</i> sp.01 <i>Stegana</i> sp.02	<i>Drosophila</i> sp.03 <i>Leucophenga</i> sp.03		<i>Leucophenga</i> sp.04 <i>Mycodrosophila</i> sp.01
Empididae	<i>Empis</i> sp.01 <i>Empis</i> sp.02 <i>Empis</i> sp.03			
Hybotidae	<i>Bicellaria</i> sp.01			
Keroplastidae		<i>Macrocera</i> sp.03 <i>Macrocera</i> sp.04		
Lauxaniidae	<i>Homoneura</i> sp.03 <i>Homoneura</i> sp.04 <i>Homoneura</i> sp.06	<i>Homoneura</i> sp.02 <i>Homoneura</i> sp.09 <i>Phobeticomyia</i> sp.01 <i>Trigonometopus</i> sp.01		
Limoniidae	<i>Gonempeda</i> sp.01	<i>Antocha</i> sp.02 <i>Dicranomyia</i> sp.01 <i>Libnotes</i> sp.02 Limoniinae sp.01	<i>Antocha</i> sp.01 <i>Epiphragma</i> sp.01 <i>Gonomyia</i> sp.02 Limnophilinae sp.01	<i>Antocha</i> sp.03 <i>Libnotes</i> sp.03 <i>Limonia</i> sp.01

F: hutan alami (forest); J: hutan karet (jungle rubber); R: perkebunan karet (rubber plantation); O: perkebunan kelapa sawit (oil palm plantation).

Tabel 6. Spesies yang dijumpai di tipe penggunaan lahan tertentu (Lanjutan...)
Table 6. Species found on certain land use types (Continue...)

Famili (Family)	F	J	R	O
Lonchaeidae		<i>Dasiops</i> sp.03		<i>Dasiops</i> sp.05
Lygistorrhinidae	<i>Lygistorrhina</i> sp.01			
Milichiidae	<i>Neophyllomyza</i> sp.05 <i>Paramyia</i> lutea <i>Paramyia</i> sp.02 <i>Paramyia</i> sp.06 <i>Paramyia</i> sp.14 <i>Phyllomyza</i> sp.02 <i>Phyllomyza</i> sp.03 <i>Stomosis</i> sp.03		<i>Stomosis</i> sp.02	
Muscidae	<i>Atherigona</i> sp.02	<i>Atherigona</i> sp.03	<i>Atherigona</i> sp.06	<i>Atherigona</i> sp.08
Muscidae	<i>Atherigona</i> sp.04	<i>Thricops</i> sp.02		
Mycetophilidae	<i>Neoempheria</i> sp.02	<i>Azana</i> sp.02 <i>Neoempheria</i> sp.01		<i>Allactoneura</i> sp.01
Odiniidae	<i>Odinia</i> sp.01 <i>Odinia</i> sp.02			
Pipunculidae	<i>Pipunculus</i> sp.02	<i>Pipunculus</i> sp.01		<i>Tomosvaryella</i> sp.01
Scatopsidae	<i>Rhegmoclemina</i> sp.02			
Sciaridae	<i>Scythropochroa</i> sp.03			<i>Rhynchosciara</i> sp.01
Sciomyzidae		<i>Sepedomerus</i> sp.01		
Sphaeroceridae	<i>Poecilosomella</i> sp.01 <i>Terrilimosina</i> sp.01			<i>Poecilosomella</i> sp.02
Stratiomyidae	<i>Gongrosargus</i> sp.01 <i>Hermetia</i> sp.01 <i>Isomerocera</i> sp.01 <i>Pseudoxymyia</i> sp.01	<i>Hermetis</i> sp.02 <i>Sargus</i> sp.01	<i>Tinda</i> sp.02 <i>Zabrachia</i> sp.01	<i>Sagaricera</i> sp.01
Syrphidae		<i>Myolepta</i> sp.01 <i>Myolepta</i> sp.02		
Tabanidae	<i>Hamatabanus</i> sp.01			
Tachinidae	Tachinidae sp.02 Tachinidae sp.03 Tachinidae sp.05 Tachinidae sp.06			Tachinidae sp.01
Tephritidae		<i>Dacus</i> sp.01	<i>Anastrepha</i> sp.01	
Tephritidae			<i>Cornutrypeta</i> sp.01	
Xylophagidae	<i>Dialysis</i> sp.01			

F: hutan alami (forest); J: hutan karet (jungle rubber); R: perkebunan karet (rubber plantation); O: perkebunan kelapa sawit (oil palm plantation).

yang lebih tinggi di hutan dibandingkan dengan perkebunan, sejalan dengan penelitian Geeraert et al. (2018). Kondisi ini juga memungkinkan keberadaan spesies Diptera dengan ceruk yang spesifik dan terspesialisasi sehingga hanya ditemukan di hutan alami dan hutan karet. Berdasarkan laporan Rembold et al. (2017), terdapat 13 spesies tumbuhan yang hanya ditemukan di hutan alami dan hutan karet. Salah satu spesies tumbuhan tersebut kemungkinan merupakan inang dari *Asphondylia* sp.02, yaitu spesies dari Cecidomyiidae yang hanya ditemukan di kedua tipe penggunaan lahan ini. Maia (2024) melaporkan, setiap spesies dari Genus *Asphondylia* menginduksi puru

pada tumbuhan inang yang spesifik, yaitu *Asphondylia braziliensis* sp. nov. pada *Struthanthus acuminatus* (Ruiz. & Pav.) Kuijt (Loranthaceae), *Asphondylia fluminensis* sp. nov. pada *Erythroxylum ovalifolium* Peyr (Erythroxylaceae), *Asphondylia marambaiensis* sp. nov. pada *Lantana fucata* Lindl. (Verbenaceae), *Asphondylia varroniae* sp. nov. pada *Varronia curassavica* Jacq. (Cordiaceae), dan *Asphondylia xerezi* sp. nov. pada *Heliotropium* sp. (Heliotropiaceae).

Tutupan kanopi di hutan alami paling rapat dibandingkan dengan tiga tipe penggunaan lahan lainnya sehingga suhu udara lebih rendah dan kelembapan lebih tinggi (Drescher et al. 2016).

Tabel 7. Sebanyak 103 spesies generalis dari 18 famili di empat tipe penggunaan lahan
Table 7. A total of 103 generalist species from 18 families on four land use types

Famili (<i>Family</i>)	Spesies (<i>Species</i>)	F	J	R	O
Cecidomyiidae	<i>Asphondylia</i> sp.01	23	52	4	7
	<i>Asphondylia</i> sp.03	294	23	10	7
	<i>Camptomysia</i> sp.01	55	33	7	4
	<i>Didactilomyia</i> sp.02	87	13	12	17
	<i>Feltiella</i> sp.01	12	4	8	5
	<i>Feltiella</i> sp.02	14	24	11	3
	<i>Giardomyia</i> sp.01	2	7	5	1
	<i>Heteropeza</i> sp.01	2	2	1	3
	<i>Lestremia</i> sp.01	4	9	3	2
	<i>Macrolabis</i> sp.01	136	270	50	14
	<i>Miastor</i> sp.01	5	5	6	12
	<i>Miastor</i> sp.02	283	362	44	40
	<i>Micromysia</i> sp.01	21	31	20	42
	<i>Monardia</i> sp.01	4	17	2	6
	<i>Mycodiplosis</i> sp.01	16	31	45	9
	<i>Mycodiplosis</i> sp.02	396	379	79	46
	<i>Peromyia</i> sp.01	48	70	15	21
	<i>Procontarinia</i> sp.01	742	390	67	43
	<i>Rhopalomyia</i> sp.01	38	14	12	3
	<i>Vitisiella</i> sp.01	94	24	7	7
<i>Winnertzia</i> sp.01	25	41	10	9	
<i>Winnertzia</i> sp.02	9	6	9	6	
Ceratopogonidae	<i>Allohelea johannseni</i>	23	74	3	2
	<i>Alluaudomyia</i> sp.01	10	11	1	2
	<i>Alluaudomyia</i> sp.02	7	23	16	4
	<i>Alluaudomyia</i> sp.03	9	41	33	4
	<i>Alluaudomyia</i> sp.04	2	2	12	5
	<i>Atrichopogon</i> sp.01	21	23	15	31
	<i>Bezzia</i> sp.01	4	4	1	3
	<i>Bezzia</i> sp.02	5	5	1	1
	<i>Brachypogon</i> sp.01	81	120	216	43
	<i>Culicoides</i> sp.01	244	298	176	71
	<i>Culicoides</i> sp.02	62	22	25	4
	<i>Culicoides</i> sp.03	34	10	3	5
	<i>Culicoides</i> sp.04	154	81	9	26
	<i>Dasyhelea</i> sp.01	64	103	111	103
	<i>Forcipomyia</i> sp.01	46	51	31	57
	<i>Heteromyia</i> sp.01	2	1	2	1
	<i>Monohelea maculipennis</i>	96	27	64	1
	<i>Stenoxenus</i> sp.01	4	6	18	5
<i>Stilobezzia</i> sp.03	114	116	91	25	
Chironomidae	<i>Corynoneura</i> sp.01	2	15	19	4
	<i>Derotanypus</i> sp.01	3	2	1	4
	<i>Glyptotendipes</i> sp.02	8	14	27	6
	<i>Glyptotendipes</i> sp.03	14	12	68	11
	<i>Glyptotendipes</i> sp.04	2	3	23	2
	<i>Krenosmittia</i> sp.01	3	1	2	4
	<i>Krenosmittia</i> sp.02	5	2	18	20
	<i>Lasiodiamesa</i> sp.01	7	25	4	3
	<i>Lasiodiamesa</i> sp.02	9	18	8	6
	<i>Lasiodiamesa</i> sp.03	58	22	20	4
	<i>Lasiodiamesa</i> sp.04	2	1	1	2

F: hutan alami (*forest*); J: hutan karet (*jungle rubber*); R: perkebunan karet (*rubber plantation*); O: perkebunan kelapa sawit (*oil palm plantation*).

Tabel 7. Sebanyak 103 spesies generalis dari 18 famili di empat tipe penggunaan lahan (*Lanjutan...*)
Table 7. A total of 103 generalist species from 18 families on four land use types (*Continue...*)

Famili (<i>Family</i>)	Spesies (<i>Species</i>)	F	J	R	O
	<i>Polypedilum</i> sp.01	32	41	64	4
	<i>Rheotanytarsus</i> sp.01	13	38	80	19
	<i>Rheotanytarsus</i> sp.02	2	7	57	8
	<i>Rheotanytarsus</i> sp.03	22	44	211	10
	<i>Rheotanytarsus</i> sp.04	1	5	2	1
	<i>Symbiocladius</i> sp.01	7	8	4	5
	<i>Symbiocladius</i> sp.02	1	1	9	1
	<i>Thienemanniella</i> sp.01	24	6	8	5
	<i>Thienemanniella</i> sp.02	2	4	27	47
	<i>Thienemanniella</i> sp.03	100	55	17	13
	<i>Zavrelia</i> sp.01	19	15	25	4
	<i>Zavrelia</i> sp.02	60	24	21	4
Chloropidae	<i>Gaurax</i> sp.12	61	17	4	1
	<i>Gaurax</i> sp.14	3	12	6	4
	<i>Gaurax</i> sp.16	7	4	9	2
Culicidae	<i>Mimomyia</i> sp.02	9	4	3	1
Dolichopodidae	<i>Chrysotus</i> sp.01	1	5	2	3
	<i>Diaphorus</i> sp.03	9	11	9	10
	<i>Sciapus</i> sp.02	10	7	9	17
	<i>Sciapus</i> sp.04	7	12	5	13
	<i>Thrypticus</i> sp.01	2	13	16	6
	<i>Xanthochlorus</i> sp.05	1	2	2	1
Drosophilidae	<i>Drosophila</i> sp.04	3	3	1	7
	<i>Drosophila</i> sp.10	2	14	18	29
Ephydriidae	<i>Ptilomyia</i> sp.01	25	5	1	3
Keroplastidae	<i>Macrocera</i> sp.01	2	2	5	3
Lauxaniidae	<i>Sapromyza</i> sp.01	6	2	1	2
Limoniidae	<i>Gonomyia</i> sp.01	4	8	14	71
	<i>Trentepohlia (Monogoma)</i> sp.01	2	16	5	19
Lonchaeidae	<i>Dasiops</i> sp.04	7	5	1	1
Milichiidae	<i>Neophyllomyza</i> sp.02	7	4	2	7
	<i>Paramyia</i> sp.04	4	8	5	17
	<i>Paramyia</i> sp.09	10	3	1	11
	<i>Paramyia</i> sp.10	29	13	46	16
	<i>Paramyia</i> sp.13	108	64	153	15
Phoridae	<i>Dohrniphora</i> sp.01	3	14	1	3
	Metopininae sp.01	6	33	12	39
	Metopininae sp.02	26	12	30	23
	Metopininae sp.04	2	9	1	24
	Metopininae sp.05	3	23	15	28
Psychodidae	<i>Lutzomyia</i> sp.01	49	24	2	1
	<i>Telmatoscopus</i> sp.01	26	11	1	3
Scatopsidae	<i>Colobostema</i> sp.01	1	1	3	2
	<i>Holoplagia</i> sp.01	5	3	3	2
Sciaridae	<i>Bradysia</i> sp.01	64	44	14	39
	<i>Scatopsciara</i> sp.03	201	54	8	28
	<i>Scatopsciara</i> sp.05	15	10	2	4
	<i>Scatopsciara</i> sp.06	13	8	1	2
	<i>Scatopsciara</i> sp.07	19	11	2	4
	<i>Scythropochroa</i> sp.01	5	4	10	7
Tephritidae	<i>Urophora</i> sp.01	1	3	1	5

F: hutan alami (*forest*); J: hutan karet (*jungle rubber*); R: perkebunan karet (*rubber plantation*); O: perkebunan kelapa sawit (*oil palm plantation*).

Lingkungan yang lembap dan intensitas cahaya rendah meningkatkan kelimpahan dan kekayaan spesies sebagian famili dari Diptera (Toledo-Hernandez et al. 2021). Lingkungan yang ternaungi dan tidak terekspos sinar matahari secara langsung, yaitu di dalam kanopi pohon menjadi lokasi *lek* bagi kelompok Diptera jantan (Kaspi & Yuval 1999; Field et al. 2003). *Lek* bertujuan untuk menarik serangga betina yang siap kawin (Prince et al. 2011). Famili Diptera yang melakukan *lek* antara lain Drosophilidae, Tephritidae, Platystomatidae, Ephydriidae, Micropezidae, Tabanidae, Therevidae, dan Bombyliidae (Marshall 2017).

Kerapatan tutupan kanopi memengaruhi keanekaragaman tumbuhan di hutan, yang secara tidak langsung memengaruhi keberadaan Diptera. Namun demikian, keberadaan suatu spesies tumbuhan tidak berdampak seragam terhadap seluruh Diptera, mengingat ceruk ekologi Diptera sangat beragam dan tidak semua spesies Diptera adalah fitofag (Marshall et al. 2017). Scherber et al. (2014) melaporkan, tutupan kanopi yang rapat dapat membatasi keberadaan tumbuhan herba sehingga menurunkan kelimpahan dan kekayaan Superfamili Empidoidea dan Famili Phoridae. Keberadaan herba lebih kuat pengaruhnya terhadap Empidoidea karena menjadi tempat Hybotidae predator mencari mangsa dan sebagian anggota Empididae merupakan serangga pengunjung herba berbunga (Scherber et al. 2014). Namun demikian, pola yang dilaporkan Scherber et al. (2014) tersebut berbeda dengan hasil penelitian yang kami lakukan. Menurut Scherber et al. (2014), penentuan strata saat pengambilan sampel berpengaruh terhadap hasil, kelimpahan, dan kekayaan spesies Diptera yang diperoleh dari strata tumbuhan herba di atas permukaan tanah akan berbeda dengan yang diperoleh dari kanopi pohon. Perbedaan hasil tersebut karena persebaran spesies Diptera di hutan bervariasi pada setiap strata, dengan proporsi 49% di permukaan tanah, 64% di kanopi pohon, dan 27% di atas kanopi pohon (de Souza Amorim et al. 2022). Perbedaan persebaran spesies Diptera setiap strata tersebut diduga memengaruhi keterwakilan sampel dalam penelitian kami yang hanya mencapai 87,4% dari metode pengasapan kanopi pohon. Penelitian selanjutnya perlu mempertimbangkan penambahan jumlah plot dan menerapkan pengambilan sampel multistrata.

Tutupan kanopi yang rapat di hutan alami membatasi keberadaan tumbuhan epifit yang menempel pada pohon sehingga kelimpahannya rendah (Böhnert et al. 2016). Kelimpahan epifit yang paling tinggi ditemukan di perkebunan kelapa sawit dengan kanopi terbuka (Böhnert et al. 2016). Keberadaan tumbuhan epifit di perkebunan kelapa sawit mendukung kelimpahan dan

kekayaan spesies serangga kanopi karena menyediakan habitat dan sumber makanan (Suzanti et al. 2016). Epifit merupakan habitat bagi larva Ceratopogonidae karena kondisinya lembap dan terdapat badan air di dalamnya (Kirk-Spriggs et al. 2017b). Sejalan dengan temuan kami di perkebunan kelapa sawit, Ceratopogonidae menunjukkan kelimpahan paling tinggi dibandingkan dengan 25 famili lainnya. *Dasyhelea* sp.01 adalah spesies yang paling dominan di perkebunan kelapa sawit, kemungkinan karena bromelia epifit adalah salah satu *breeding site* yang baik bagi *Dasyhelea* (Winder 1977).

Kelimpahan Ceratopogonidae yang tinggi di perkebunan karet tidak berkaitan dengan keberadaan epifit. Epifit tidak dapat berkembang dengan baik di pohon karet karena struktur batangnya relatif halus, berbeda dengan batang kelapa sawit yang tersusun atas pelepah-pelepah yang mengakumulasi bahan organik dan mendukung keberadaan epifit (Böhnert et al. 2016). Kelimpahan Ceratopogonidae diduga berhubungan dengan keberadaan pohon karet. Sesuai laporan Kirk-Spriggs et al. (2017b), beberapa spesies dari Ceratopogonidae merupakan polinator penting bagi tanaman karet. Hasil penelitian kami menunjukkan bahwa kelimpahan Ceratopogonidae di perkebunan karet dua kali lebih tinggi dibandingkan dengan perkebunan kelapa sawit. Selain itu, pada sesama lahan hutan, kelimpahan Ceratopogonidae lebih tinggi di hutan karet dibandingkan dengan hutan alami. Ceratopogonidae yang paling dominan di perkebunan karet adalah *Brachypogon* sp.01. Namun demikian, *Brachypogon* bukan merupakan polinator tumbuhan karet, melainkan predator dari Chironomidae (Kirk-Spriggs et al. 2017b). Tingginya kelimpahan *Brachypogon* sp.01 kemungkinan berhubungan dengan ketersediaan mangsa, yaitu Chironomidae yang memang paling melimpah di perkebunan karet dibandingkan dengan tipe penggunaan lahan lainnya.

Dominasi Ceratopogonidae di kawasan perkebunan mengindikasikan terjadinya peralihan famili dominan jika hutan dikonversi menjadi perkebunan. Di kawasan hutan, Cecidomyiidae merupakan famili yang paling dominan, lalu dominasi beralih ke Ceratopogonidae di kawasan perkebunan. Namun demikian, pada tingkat ordo, pola umum tetap menunjukkan penurunan kelimpahan dan kekayaan spesies Diptera di perkebunan, sebagaimana terjadi pada serangga lain seperti semut, kupu-kupu, tawon parasitoid, dan kumbang (Nazarreta et al. 2020, Panjaitan et al. 2020, Azhar et al. 2022a, Kasmiatun et al. 2022, Desriana et al. 2023, Ehlers et al. 2024).

Penurunan kelimpahan dan kekayaan spesies Diptera di kawasan perkebunan berkaitan dengan intensifikasi lahan. Aktivitas pengelolaan lahan

meliputi pengaplikasian pupuk dan pestisida kimia, pengambilan getah karet, dan pemanenan tandan kelapa sawit (Allen et al. 2015). Aktivitas tersebut dapat mengganggu populasi serangga sehingga menurunkan kelimpahan dan kekayaan spesies (Haneda & Yuniar 2015). Penurunan kelimpahan dan kekayaan spesies semakin meningkat seiring bertambahnya intensitas dan frekuensi pengelolaan lahan (Haneda & Yuniar 2015).

Kelimpahan Diptera di perkebunan kelapa sawit paling rendah, namun memiliki kompleksitas keanekaragaman yang paling tinggi karena tidak ada spesies yang mendominasi secara ekstrem. Kelimpahan setiap spesies Diptera di kawasan ini cenderung merata. Spesies Diptera dengan kelimpahan paling tinggi, yaitu *Dasyhelea* sp.01 (Ceratopogonidae) yang hanya mencakup 6% dari keseluruhan Diptera di kawasan ini. Aktivitas pemanenan dan pemangkasan pelepah secara berkala menyebabkan perubahan struktur kanopi yang bersifat temporer (Grass et al. 2020). Kondisi ini diduga menyebabkan iklim mikro yang dinamis di kanopi kelapa sawit sehingga menghambat terbentuknya dominansi spesies Diptera di kawasan ini. Berbeda dengan perkebunan, intervensi manusia di kawasan hutan alami relatif terbatas sehingga kondisi iklim mikro lebih stabil dan dominansi spesies tertentu lebih tinggi, yaitu *Procontarinia* sp.01 (Cecidomyiidae) dengan kelimpahan mencapai 15%.

Procontarinia sp.01 ditemukan di semua tipe penggunaan lahan, yang berarti spesies tersebut bersifat generalis dan mampu menyebar dengan baik. *Procontarinia* merupakan Diptera fitofag penyebab puru pada daun dan bunga yang memiliki rentang distribusi yang luas dan plastisitas ekologi sehingga dapat ditemukan pada berbagai tipe penggunaan lahan sepanjang tahun (Amouroux et al. 2013; Susila et al. 2022). Plastisitas ekologi yang baik merupakan ciri khas dari spesies Diptera generalis sehingga mendukung kemampuannya untuk beradaptasi bahkan mendominasi di berbagai habitat, serta membedakannya dari spesies spesialis (Boudreau et al. 2021).

Konversi lahan mendorong terjadinya perubahan komposisi Diptera. Berdasarkan indeks Bray-Curtis, perubahan komposisi paling kecil ditemukan ketika hutan alami dikonversi menjadi hutan karet, yaitu sebesar 40% sebagaimana yang terjadi pada kumbang daun (Amrulloh et al. 2022). Struktur vegetasi hutan alami dan hutan karet tidak jauh berbeda sehingga komposisi Diptera cenderung mirip. Sebaliknya, perubahan komposisi yang paling besar terjadi ketika hutan alami dikonversi menjadi perkebunan kelapa

sawit, dengan tingkat perubahan mencapai 76%. Perubahan komposisi Diptera ini didorong oleh Spesies *turnover*. *Turnover rate* pada perkebunan kelapa sawit lebih tinggi, kemungkinan karena struktur vegetasi lebih homogen dan tingkat intensifikasi lahan lebih besar dibandingkan dengan hutan karet, sejalan dengan laporan García-Martínez (2015).

Konversi menyebabkan sebanyak 135 spesies Diptera dari hutan alami hilang dan digantikan oleh 49 spesies pendatang di perkebunan kelapa sawit. Spesies Diptera yang hilang didominasi oleh Famili Chloropidae, Drosophilidae, dan Milichiidae, berturut-turut sebanyak 37, 13, dan 12 spesies. Sebaliknya, spesies pendatang terutama termasuk dalam dari Famili Limoniidae, Dolichopodidae, Chironomidae, dan Milichiidae, masing-masing sebanyak 8, 6, 4, dan 4 spesies. Pada famili lain juga dijumpai spesies yang hilang dan spesies pendatang, namun jumlah spesies tersebut relatif sedikit. Spesies *turnover* ini dapat terjadi karena setiap spesies memiliki sensitivitas, kemampuan adaptasi, dan toleransi yang bervariasi terhadap dinamika kondisi lingkungan (Taradipha et al. 2018). Spesies Diptera yang hilang di perkebunan kelapa sawit kemungkinan adalah spesies spesialis dari hutan alami yang memiliki ceruk spesifik dan ruang penyebaran terbatas sehingga tidak ditemukan di kawasan ini, sejalan dengan laporan Daawia & Dianingsih (2023). Spesies Diptera pendatang kemungkinan adalah spesies yang toleran terhadap tekanan lingkungan, yaitu aktivitas pengelolaan lahan secara intensif di perkebunan kelapa sawit yang mencakup homogenisasi vegetasi, pemanenan, pemangkasan, pemupukan, dan penyemprotan insektisida (Mohd-Azlan et al. 2023).

Diptera merupakan konsumen primer dan konsumen sekunder dalam jejaring makanan, sedangkan tumbuhan berperan sebagai produsen (Kirk-Spriggs et al. 2017a). Interaksi antarkomponen dalam jejaring makanan biasanya sudah membentuk hubungan yang erat sehingga hilangnya satu komponen akan menimbulkan efek domino, yaitu turut hilangnya komponen pada tingkat trofik berikutnya (Schowalter 2011). Jonsson et al. (2006) menguraikan bahwa hilangnya konsumen primer pada struktur jejaring makanan yang sederhana lebih berisiko terhadap kepunahan konsumen sekunder, yang pada akhirnya mengancam kestabilan ekosistem. Jika konversi hutan menjadi kawasan perkebunan terus berlanjut, diperkirakan ekosistem menjadi semakin homogen dan lebih rentan terhadap gangguan (Laliberté & Tylianakis 2010). Upaya konservasi yang dapat dilakukan salah satunya melalui pengayaan pada kawasan perkebunan, yaitu menanam berbagai jenis tanaman

lokal di di dalamnya, sehingga dapat meningkatkan keanekaragaman hayati dan mempertahankan fungsi ekologi (Teuscher et al. 2016; Azhar 2022b; Zemp et al. 2019; Zemp et al. 2023), sekaligus meningkatkan hasil panen di lahan tersebut (Gérard et al. 2017).

KESIMPULAN

Konversi hutan menjadi perkebunan monokultur menyebabkan penurunan kelimpahan dan kekayaan spesies Diptera kanopi secara signifikan. Kelimpahan terendah ditemukan di perkebunan kelapa sawit, sedangkan kekayaan spesies terendah ditemukan di perkebunan karet. Konversi lahan juga menyebabkan peralihan dominansi, kawasan hutan didominasi oleh Cecidomyiidae, lalu dominansi beralih ke Ceratopogonidae di kawasan perkebunan monokultur. Perubahan komposisi Diptera yang paling besar terjadi ketika hutan alami dikonversi menjadi perkebunan kelapa sawit. Perubahan komposisi ini didorong oleh spesies *turnover*, yaitu hilangnya spesies tertentu dan digantikan oleh spesies pendatang. Namun demikian, terdapat spesies yang tetap ditemukan di seluruh tipe penggunaan dengan kelimpahan tinggi, yaitu *Procontarinia* sp.01. Penelitian ini menyoroti pentingnya keanekaragaman tumbuhan dan kompleksitas struktur kanopi bagi komunitas Diptera. Upaya konservasi melalui pengayaan tumbuhan di kawasan perkebunan monokultur disarankan sebagai langkah untuk meningkatkan keanekaragaman hayati dan mempertahankan fungsi ekologi. Langkah ini tidak hanya penting untuk mempertahankan keanekaragaman Diptera, tetapi juga spesies tumbuhan dan binatang lain yang saling terkait dalam jejaring makanan di ekosistem.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada *Deutsche Forschungsgemeinschaft Germany (DFG) Research Foundation* yang telah memberikan dukungan pendanaan CRC990/EFForTS (*Ecological and Socioeconomic Function of Tropical Lowland Rainforest Transformation Systems*) atas kerja sama penelitian yang diberikan. Terima kasih diucapkan kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah memberikan dukungan pendanaan studi.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen K, Corre MD, Tjoa A, Veldkamp E. 2015. Soil nitrogen-cycling responses to conversion of lowland forests to oil palm and rubber plantations in Sumatra, Indonesia. *Public Library of Science One*. 10:1–21. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133325>.
- Amouroux P, Normand F, Nibouche S, Delatte H. 2013. Invasive mango blossom gall midge, *Procontarinia mangiferae* (Felt) (Diptera: Cecidomyiidae) in Reunion Island: ecological plasticity, permanent and structured populations. *Biological Invasions*. 15:1677–1693. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10530-012-0400-0>.
- Amrulloh R, Noerdjito WA, Istiaji B, Hidayat P, Buchori D. 2022. Keanekaragaman dan kelimpahan kumbang daun (Coleoptera: Chrysomelidae) pada empat tipe penggunaan lahan yang berbeda di Taman Nasional Bukit Duabelas dan Hutan Harapan, Provinsi Jambi. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 19:147–163. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.19.2.147>.
- Athanassiou CG, Kavallieratos NG, Arthur FH, Nakas CT. 2021. Rating knockdown of flour beetles after exposure to two insecticides as an indicator of mortality. *Scientific Reports*. 11. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78982-z>.
- Azhar A, Hartke TR, Böttges L, Lang T, Larasati A, Novianti N, Tawakkal I, Hidayat P, Buchori D, Scheu S, Drescher J. 2022a. Rainforest conversion to cash crops reduces abundance, biomass and species richness of parasitoid wasps in Sumatra, Indonesia. *Agricultural and Forest Entomology*. 24:506–515. DOI: <https://doi.org/10.1111/afe.12512>.
- Azhar A, Tawakkal MI, Sari A, Rizali A, Tarigan SD, Nazarreta R, Buchori D. 2022b. 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.v5i2.82>.
- Basset Y, Cizek L, Cuénoud P, Didham RK, Guilhaumon F, Missa O, Novotny V, Ødegaard F, Roslin T, Schmidl J, Tishechkin AK, Winchester NN, Roubik DW, Aberlenc H, Bail J, Barrios H, Bridle JR, Castaño-Meneses G, Corbara B, Curletti G, da Rocha WD, De Bakker D, Delabie JHC, Dejean A, Fagan LL, Floren A, Kitching RL, Medianero E, Miller SE, de Oliveira EG, Orivel J, Pollet M, Rapp M, Ribeiro SP, Roisin Y, Schmidt JB, Sørensen L, Leponce M. 2012. Arthropod diversity in a tropical forest. *Science*. 338:1481–1484. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1226727>.
- Boudreau DR, Hammami N, Moreau G. 2021. Environmental and evolutionary factors favouring the coexistence of sarcosaprophagous Calliphoridae species competing for animal necromass. *Ecological Entomology*. 46:1–8. DOI: <https://doi.org/10.1111/een.13076>.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Provinsi Jambi. 2025a. *Luas Kawasan Hutan dan Perairan Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Jambi (ha), 2023*. BPS Provinsi Jambi. Available at: <https://jambi.bps.go.id/id/statistics-table/3Umpod09GaG5RbTIOYTJwaVFXWnJPRmQ1Wm1wMVp6MDkjmW==/luas-kawasan-hutan-dan-konservasi-perairan-sup--1--sup--menurut-kabupaten-kota-dan-fungsi-hutan-di-provinsi-jambi--ha---2023.html?year=2023> [accessed 14 December 2025].
- [BPS] Badan Pusat Statistik Provinsi Jambi. 2025b. *Provinsi Jambi dalam Angka 2025*. Jakarta: BPS Provinsi Jambi.
- Baselga A. 2010. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and*

- Biogeography*. 19:134–143. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x>.
- Bedward M. 2020. Ggboral: view BORAL model results with ggplot. R package version 0.1.7. Available at: <https://github.com/mbedward/ggboral> [accessed 13 May 2025].
- Böhnert T, Wenzel A, Altenhövel C, Beeretz L, Tjitrosoedirdjo SS, Meijide A, Rembold K, Kreft H. 2016. Effects of land-use change on vascular epiphyte diversity in Sumatra (Indonesia). *Biological Conservation*. 202:20–29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.08.008>.
- Chen H, Chou J, Lin C, Wen Y, Wang W. 2016. Seasonal yeast compositions in *Forcipomyia taiwana* (Diptera: Ceratopogonidae). *Journal Asia-Pacific Entomology*. 19:509–514. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2016.04.020>.
- Daawia D, Dianingsih N. 2023. Dampak konversi hutan menjadi perkebunan kelapa sawit terhadap keanekaragaman dan kelimpahan kupu-kupu Superfamili Papilionoidea. *Jurnal Biologi Papua*. 15:28–38. DOI: <https://doi.org/10.31957/jbp.2680>.
- de Souza Amorim D, Brown BV, Boscolo D, Ale-Rocha R, Alvarez-Garcia DM, Balbi MIPA, Barbosa AD, Capellari RS, de Carvalho CJB, Couri MS, Dioz RDP, Fachin DA, Ferro GB, Flores HF, Frare LM, Gudín FM, Hauser M, Lamas CJE, Lindsay KG, Marinho MAT, Marques DWA, Marshall SA, Mello-Patiu C, Menezes MA, Morales MN, Nihei SS, Oliveira SS, Pirani G, Ribeiro GC, Riccardi PR, de Santis MD, Santos D, dos Santos JR, Silva VC, Wood EM, Rafael JA. 2022. Vertical stratification of insect abundance and species richness in an Amazonian tropical forest. *Scientific Reports*. 12:1734. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05677-y>.
- Desriana R, Buchori D, Maryana N. 2023. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1220:012025. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1220/1/012025>.
- Drescher J, Rembold K, Allen K, Beckschäfer P, Buchori D, Clough Y, Faust H, Fauzi AM, Gunawan D, Hertel D, Irawan B, Jaya NS, Klarner B, Kleinn C, Knohl A, Kotowska MM, Krashevskaya V, Krishna V, Leuschner C, Lorenz W, Meijide A, Melati D, Nomura N, Perez-Cruzado C, Qaim M, Siregar IZ, Steinebach S, Tjoa A, Tschardtke T, Wick B, Wiegand K, Kreft H, Scheu S. 2016. Ecological and socio-economic functions across tropical land use systems after rainforest conversion. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 371:1–8. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0275>.
- Ehlers J, Hartke TR, Janotta N, Mawan A, Nazarreta R, Desriana R, Hidayat P, Buchori D, Scheu S, Pollierer MM, Drescher J. 2024. Trophic change and community decline in acrobat ants after rainforest conversion to cash crops. *Ecology and Evolution*. 14:1–11. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.70694>.
- Erram D, Burkett-Cadena N. 2021. Oviposition of *Culicoides insignis* (Diptera: Ceratopogonidae) under laboratory conditions with notes on the developmental life history traits of its immature stages. *Parasit Vectors*. 14:1–9. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13071-021-05025-5>.
- Field SA, Kaspi R, Yuval B. 2003. Why do calling medflies (Diptera: Tephritidae) cluster? Assessing the empirical evidence for models of medfly lek evolution. *Florida Entomologist*. 85:63–72. DOI: [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2002\)085\[0063:WDCMDT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2002)085[0063:WDCMDT]2.0.CO;2).
- García-Martínez M.Á, Martínez-Tlapa DL, Pérez-Toledo G.R, Quiroz-Robledo LN, Castaño-Meneses G, Laborde J, Valenzuela-González JE. 2015. Taxonomic, species and functional group diversity of ants in a tropical anthropogenic landscape. *Tropical Conservation Science*. 8:1017–1032. DOI: <https://doi.org/10.1177/194008291500800412>.
- [GBIF] Global Biodiversity Information Facility. 2025. *Diptera*. Available at: <https://www.gbif.org/> [accessed 15 December 2025].
- Geeraert L, Aerts R, Jordaens K, Dox I, Wellens S, Couri M, Berecha G, Honnay O. 2018. Intensification of Ethiopian coffee agroforestry drives impoverishment of the Arabica coffee flower visiting bee and fly communities. *Agroforestry Systems*. 93:1729–1739. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0280-0>.
- Gérard A, Wollni M, Hölscher D, Irawan B, Sundawati L, Teuscher M, Kreft H. 2017. Oil-palm yields in diversified plantations: initial results from a biodiversity enrichment experiment in Sumatra, Indonesia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 240: 253–260. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.026>.
- Gibson L, Lee TM, Koh LP, Brook BW, Gardner TA, Barlow J, Peres CA, Bradshaw CJA, Laurance WF, Lovejoy TE, Sodhi NS. 2011. Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. *Nature*. 478:378–381. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature10425>.
- Grass I, Kubitzka C, Krishna V V, Corre MD, Mußhoff O, Pütz P, Drescher J, Rembold K, Ariyanti ES, Barnes AD, Brinkmann N, Brose U, Brümmer B, Buchori D, Daniel R, Darras KA, Faust H, Fehrmann L, Hein J, Hennings N, Hidayat P, Hölscher D, Jochum M, Knohl A, Kotowska MM, Krashevskaya V, Kreft H, Leuschner C, Lobite NJS, Panjaitan R, Polle A, Potapov AM, Purnama E, Qaim M, Röhl A, Scheu S, Schneider D, Tjoa A, Tschardtke T, Veldkamp E, Wollni M. 2020. Trade-offs between multifunctionality and profit in tropical smallholder landscapes. *Nature Communications*. 11:1–13. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15013-5>.
- Haneda NF, Yuniar N. 2015. Komunitas semut (Hymenoptera: Formicidae) pada empat tipe ekosistem yang berbeda di Desa Bungku Provinsi Jambi. *Jurnal Silviculture Tropika*. 6:203–209. DOI: <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010707>.
- Hartke T. 2020. RankAbund: calculate rank abundances and plot rank abundance curves. R package version 0.2.0. Available at: <https://github.com/tamarahartke/RankAbund> [accessed 13 May 2025].
- Heiduk A, Brake I, Shuttleworth A, Johnson SD. 2023. ‘Bleeding’ flowers of *Ceropegia gerrardii* (Apocynaceae-Asclepiadoideae) mimic wounded insects to attract kleptoparasitic fly pollinators. *New Phytologist*. 239:1490–1504. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.18888>.
- Hui FK. 2025. Boral: bayesian ordination and regression analysis. R package version 2.0.3.

- Jonsson T, Karlsson P, Jonsson A. 2006. *Food web structure affects the extinction risk of species in ecological communities. Handbook of Environmental Chemistry, Volume 5: Water Pollution*. 199:93–106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.06.012>.
- Jungebauer A, Hartke TR, Ramos D, Schaefer I, Buchori D, Hidayat P, Scheu S, Drescher J. 2021. Changes in diversity and community assembly of jumping spiders (Araneae: Salticidae) after rainforest conversion to rubber and oil palm plantations. *PeerJ*. 9:1–26. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.11012>.
- Kasmiatun, Hartke TR, Buchori D, Hidayat P, Siddikah F, Amrulloh R, Hiola MS, Najmi L, Noerdjito WA, Scheu S, Drescher J. 2022. Rainforest conversion to smallholder cash crops leads to varying declines of beetles (Coleoptera) on Sumatra. *Biotropica*. 55:119–131. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.13165>.
- Kaspi R, Yuval B. 1999. Mediterranean fruit fly leks: factors affecting male location. *Functional Ecology*. 13:539–545. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1999.00344.x>.
- Kirk-Spriggs AH, Sinclair BJ, Marshall SA. 2017a. *Manual of Afrotropical Diptera. Volume 1. Introductory chapters and keys to Diptera families*. Pretoria: South African National Biodiversity Institute (SANBI Publishing).
- Kirk-Spriggs AH, Sinclair BJ, Marshall SA. 2017b. *Manual of Afrotropical Diptera. Volume 2. Nematocerous Diptera and lower Brachycera*. Pretoria: South African National Biodiversity Institute (SANBI Publishing).
- Kirk-Spriggs AH, Sinclair BJ, Marshall SA. 2021. *Manual of Afrotropical Diptera. Volume 3. Brachycera-Cyclorrhapha excluding Calyptrate*. Pretoria: South African National Biodiversity Institute (SANBI Publishing).
- Laumonier Y, Uryu Y, Stüwe M, Budiman A, Setiabudi B, Hadian O. 2010. Eco-floristic sectors and deforestation threats in Sumatra: identifying new conservation area network priorities for ecosystem-based land use planning. *Biodiversity and Conservation*. 19:1153–1174. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9784-2>.
- Maia, V. C. 2024. Five new species of *Asphondylia* (Diptera, Cecidomyiidae, Asphondyliini) from Brazilian restinga (Atlantic Forest). *Papéis Avulsos de Zoologia*. 64:1–30. DOI: <https://doi.org/10.11606/1807-0205/2024.64.008>.
- Margono BA, Potapov PV, Turubanova S, Stolle F, Hansen MC. 2014. Primary forest cover loss in Indonesia over 2000 – 2012. *Nature Climate Change*. 4:730–735. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2277>.
- McAlpine JF, Peterson BV, Shewell GE, Teskey HJ, Vockeroth JR, Wood DM. 1981. *Manual of Nearctic Diptera. Volume 1*. Ottawa: Biosystematics Research Institute.
- McAlpine JF, Peterson BV, Shewell GE, Teskey HJ, Vockeroth JR, Wood DM. 1987. *Manual of Nearctic Diptera. Volume 2*. Ottawa: Research Branch, Agriculture Canada.
- Mohd-Azlan J, Conway S, Travers TJ, Lawes MJ. 2023. The filtering effect of oil palm plantation on potential insect pollinator assemblages from remnant forest patches. *Land*. 12:1–20. DOI: <https://doi.org/10.3390/land12061256>.
- Myers N, Mittermeier RA, Mitterleier CG, da Fonseca GAB, Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 403:853–858. DOI: <https://doi.org/10.1038/35002501>.
- Navai S, Dominiak P, Szadziewski R. 2017. Vertebrate blood-feeding biting midges of the Subgenus *Lasiohelea* Kieffer of *Forcipomyia* Meigen in Europe (Diptera: Ceratopogonidae) with new synonyms. *Annales Zoologici*. 67:823–835. DOI: <https://doi.org/10.3161/00034541ANZ2017.67.4.016>.
- Nazarreta R, Hartke TR, Hidayat P, Scheu S, Buchori D, Drescher J. 2020. Rainforest conversion to smallholder plantations of rubber or oil palm leads to species loss and community shifts in canopy ants (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News*. 30:175–186. DOI: https://doi.org/10.25849/myrmecol.news_030175.
- Nugroho SS, Mujiyono M. 2021. Pembaruan informasi taksonomi nyamuk dan kunci identifikasi fotografis genus nyamuk (Diptera: Culicidae) di Indonesia. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 18:55–71. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.18.1.55>.
- Oksanen J, Simpson G, Blanchet F, Kindt R, Legendre P, Minchin P, O'Hara R, Solymos P, Stevens M, Szocs E, Wagner H, Barbour M, Bedward M, Bolker B, Borcard D, Carvalho G, Chirico M, De Caceres M, Durand S, Evangelista H, FitzJohn R, Friendly M, Furneaux B, Hannigan G, Hill M, Lahti L, McGlenn D, Ouellette M, Ribeiro Cunha E, Smith T, Stier A, Ter Braak C, Weedon J, Borman T. 2025. *Vegan: community ecology package*. DOI: <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.vegan>.
- Panjaitan R, Drescher J, Buchori D, Peggie D, Harahap IS, Scheu S, Hidayat P. 2020. Diversity of butterflies (Lepidoptera) across rainforest transformation systems in Jambi, Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*. 21:5119–5127. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211117>.
- [GBIF] Global Biodiversity Information Facility. 2025. *Diptera*. Available at: <https://www.gbif.org/> [accessed 15 December 2025].
- Pollierer M, Drescher J, Potapov A, Kasmiatun K, Mutiari M, Nazarreta R, Hidayat P, Buchori D, Scheu S. 2023. Rainforest conversion to plantations fundamentally alters energy fluxes and functions in canopy arthropod food webs. *Ecology Letters*. 26:1663–1675. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.14276>.
- Potapov AM, Drescher J, Darras K, Wenzel A, Janotta N, Nazarreta R, Kasmiatun, Laurent V, Mawan A, Utari EH, Pollierer MM, Rembold K, Widyastuti R, Buchori D, Hidayat P, Turner E, Grass I, Westphal C, Tschardt T, Scheu S. 2024. Rainforest transformation reallocates energy from green to brown food webs. *Nature*. 627:116–122. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07083-y>.
- Prince PW, Denno RF, Eubanks MD, Finke DL, Kaplan I. 2011. *Insect Ecology: Behavior, Populations and Communities*. Cambridge University Press. New York. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511975387>.
- Qian H, Ricklefs RE, White PS. 2005. Beta diversity of angiosperms in temperate floras of eastern Asia and eastern North America. *Ecology Letter*. 8:15–22. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00682.x>.
- Quaglia AI, Blosser EM, McGregor BL, Runkel AE, Sloyer KE, Erram D, Wisely SM, Burkett-Cadena ND. 2020.

- Tracking community timing: pattern and determinants of seasonality in *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) in Northern Florida. *Viruses*. 12:1–25. DOI: <https://doi.org/10.3390/v12090931>.
- R Core Team. 2025. R: a language and environment for statistical computing. Available at: <https://www.r-project.org/> [accessed 13 May 2025].
- Ramos D, Hartke TR, Buchori D, Dupérré N, Hidayat P, Lia M, Harms D, Scheu S, Drescher J. 2022. Rainforest conversion to rubber and oil palm reduces abundance, biomass and diversity of canopy spiders. *PeerJ*. 1:1–27. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.13898>.
- Rembold K, Mangopo H, Tjitrosoedirdjo SS, Kreft H. 2017. Plant diversity, forest dependency, and alien plant invasions in tropical agricultural landscapes. *Biological Conservation*. 213:234–242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.07.020>.
- Scherber C, Vockenhuber EA, Stark A, Meyer H, Tscharnkte T. 2014. Effects of tree and herb biodiversity on Diptera, a hyperdiverse insect order. *Oecologia*. 174. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-013-2865-7>.
- Schowalter D. 2011. *Insect Ecology, An Ecosystem Approach*. San Diego: Academic Press. ISBN: 978-0-12-381351-0.
- Smith TJ, Mayfield MM. 2015. Diptera species and functional diversity across tropical Australian countryside landscapes. *Biological Conservation*. 191:436–443. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.07.035>.
- Susila IW, Sumiartha IK, Supartha IW, Yudha IKW, Utama IWEK, Yasa IWS, Wiradana PA. 2022. Abundance, distribution mapping and DNA barcoding of *Procontarinia robusta* (Diptera: Cecidomyiidae), a mango gall midge in Bali, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 23:6428–6436. DOI: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231241>.
- Suzanti F, Kuswardani RA, Rahayu S, Susanto A. 2016. Contribution of epiphytes on the canopy insect population in oil palm plantations in North Sumatera. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 11:6982–6998.
- Taradipha MRR, Rushayati SB, Haneda NF. 2018. Karakteristik lingkungan terhadap komunitas serangga. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*. 9:394–404. DOI: <https://doi.org/10.29244/jpsl.9.2.394-404>.
- Teuscher M, Gerard A, Brose U, Buchori D, Clough Y, Ehbrecht M, Holscher D, Irawan B, Sundawati L, Wollni M, Kreft H. 2016. Experimental biodiversity enrichment in oil-palm-dominated landscapes in Indonesia. *Frontiers in Plant Science*. 7:1–15. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01538>.
- Toledo-Hernandez M, Tscharnkte T, Tjoa A, Anshary A, Cyio B, Wanger TC. 2021. Landscape and farm-level management for conservation of potential pollinators in Indonesian cocoa agroforests. *Biological Conservation*. 257:1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109106>.
- Laliberté E, Tylianakis JM. 2010. Deforestation homogenizes tropical parasitoid-host networks. *Ecology*. 91:1740–1747. DOI: <https://doi.org/10.1890/09-1328.1>.
- Wickham H. 2016. *Ggplot2: elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag New York. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4_9.
- Winder JA. 1977. Field observations on Ceratopogonidae and other Diptera: Nematocera associated with cocoa flowers in Brazil. *Bulletin of Entomological Research*. 67:57–63. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0007485300010890>.
- Zemp DC, Ehbrecht M, Seidel D, Ammer C, Craven D, Erkelenz J, Irawan B, Sundawati L, Holscher D, Kreft H. 2019. Mixed-species tree plantings enhance structural complexity in oil palm plantations. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 283:1–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.06.003>.
- Zemp DC, Guerrero-Ramirez N, Brambach F, Darras K, Grass I, Potapov A, Röhl A, Arimond I, Ballauff J, Behling H, Berkelmann D, Biagioni S, Buchori D, Craven D, Daniel R, Gailing O, Ellsäßer F, Fardiensah R, Hennings N, Irawan B, Khokthong W, Krashevskaya V, Krause A, Kückes J, Li K, Lorenz H, Maraun M, Merk MS, Moura CCM, Mulyani YA, Paterno GB, Pebrianti HD, Polle A, Prameswari DA, Sachsenmaier L, Scheu S, Schneider D, Setiajiati F, Setyaningsih CA, Sundawati L, Tscharnkte T, Wollni M, Holscher D, Kreft H. 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>.
- Zimmer J, Brostaux Y, Haubruge E, Francis F. 2014. Larval development sites of the main *Culicoides* species (Diptera: Ceratopogonidae) in northern Europe and distribution of coprophilic species larvae in Belgian pastures. *Veterinary Parasitology*. 205:676–686. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.08.029>.