

# Jurnal Biotek

p-ISSN: 2581-1827 (print), e-ISSN: 2354-9106 (online)  
Website: <http://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/biotek/index>

## Pilihan Habitat Kupu-kupu (Lepidoptera: Rhopalocera) di Sepanjang Sistem Agroforestri Taman Nasional Lore Lindu dan Kawasan Enklave, Sulawesi, Indonesia

Fitrallisan<sup>\*</sup>, Soleha R<sup>1</sup>, Ria Rezki Yanti<sup>1</sup>, Cipta Afrilianti<sup>1</sup>, Elif Fitriana<sup>1</sup>, Elijonahdi<sup>2</sup>, Agmal Qodri<sup>3</sup>, Fahri Fahri<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Universitas Tadulako, Indonesia

<sup>2</sup>STKIP Yayasan Abdi Pendidikan Payakumbuh, Indonesia

<sup>3</sup>Badan Riset dan Inovasi Nasional, Indonesia

<sup>4</sup>Zoological Community of Celebes (ZCC), Indonesia.

\*Correspondence email: [fitrallisan201008@gmail.com](mailto:fitrallisan201008@gmail.com)

(Submitted: 9-11-2024, Revised: 20-12-2024, Accepted: 26-12-2024)

### ABSTRAK

Kupu-kupu telah terbukti sebagai bioindikator penting untuk menilai keanekaragaman hayati dan memantau respon ekosistem terhadap gangguan lingkungan. Memahami preferensi habitat kupu-kupu dapat membantu mengidentifikasi habitat kritis yang perlu dilestarikan untuk menjaga populasi kelompok ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pilihan habitat kupu-kupu pada enam jenis penggunaan lahan di Taman Nasional Lore Lindu (habitat hutan alami: hutan primer, hutan sekunder dan agroforestri, aliran sungai) dan kawasan Enclave Lindu dan Besoa (sistem antropogenik: kebun coklat/kakao dan pemukiman). Kupu-kupu dikoleksi dengan jaring serangga (*insect net*) dengan teknik sapuan (*sweep net*) di sepanjang garis transek pada setiap habitat. Masing-masing habitat dibagi menjadi 3 transek dengan panjang masing-masing transect 200 m secara *purposive sampling*. Pilihan habitat kupu-kupu di habitat alam dan antropogenik dievaluasi dengan membandingkan jumlah individu dan spesies di setiap habitat dan persentase famili, serta komposisi spesies antar habitat. Sebanyak 1786 individu dari 85 jenis yang tergolong dalam 5 famili kupu-kupu di TN Lore Lindu dan kawasan enklave. Jumlah individu dan jenis terbanyak ditemukan pada habitat Agroforestri 527 individu; 46 jenis), sedangkan jenis terendah ditemukan di Hutan Primer (14 jenis) dan jumlah individu terendah pada Aliran Sungai (76 individu). Nilai Keanekaragaman tertinggi terdapat di habitat agroforestri ( $H' = 3.33$  dan  $E = 0.75$ ) dan terendah di hutan primer ( $H' = 2.27$  dan  $E = 0.51$ ). Kupu-kupu Famili Nymphalidae dengan persentase spesies dan individu tertinggi yang terdistribusi di semua habitat. Kesamaan komposisi spesies kupu-kupu terbentuk menjadi 3 kelompok habitat: habitat hutan primer–aliran sungai, habitat kebun coklat–pemukiman dan habitat hutan sekunder–agroforestri. Habitat alami (hutan primer, sekunder, agroforest dan sekitar aliran sungai) memiliki jumlah jenis yang tinggi dibandingkan dengan sistem penggunaan lahan seperti kebun coklat/kakao dan pemukiman. Oleh sebab itu, habitat alami mendukung kehadiran kupu-kupu di TN Lore Lindu dan sekitarnya.

**Kata Kunci:** antropogenik, habitat alam, hutan tropis, kawasan enclave, Taman Nasional Lore Lindu, Wallacea

### ABSTRACT

*Butterflies are well-established bio-indicators for assessing biodiversity and monitoring ecosystem responses to environmental disturbances. Understanding their habitat preferences can help identify critical areas that require conservation to sustain their populations. This study aimed to determine butterfly habitat preferences across six land-use types in Lore Lindu National Park*



Copyright©2024

(natural forest habitats: primary forest, secondary forest, agroforestry, and river streams) and the Lindu and Besoa Enclave areas (anthropogenic systems: cocoa plantations and settlements). Butterflies were collected using insect nets with sweep netting techniques along transect lines in each habitat. Each habitat was divided into three 200-meter-long transects, sampled using purposive sampling. Butterfly habitat preferences in natural and anthropogenic habitats were evaluated by comparing the number of individuals and species, the percentage of families, and species composition across habitats. 1,786 individuals from 85 species across five butterfly families were recorded in Lore Lindu National Park and the surrounding enclave areas. The highest number of individuals and species was found in agroforestry habitats (527 individuals, 46 species). In contrast, primary forests had the lowest number of species (14 species), and river streams had the fewest individuals (76 individuals). The highest diversity index was found in agroforestry habitats ( $H' = 3.33$ ,  $E = 0.75$ ), while the lowest was in primary forests ( $H' = 2.27$ ,  $E = 0.51$ ). The Nymphalidae family had the highest percentage of species and individuals, distributed across all habitats. Species composition similarity among butterfly habitats grouped them into three categories: primary forest–river stream, cocoa plantation–settlement, and secondary forest–agroforestry. Natural habitats (primary forests, secondary forests, agroforestry, and areas around river streams) supported a higher number of species compared to anthropogenic systems like cocoa plantations and settlements. Therefore, natural habitats are crucial for supporting butterfly populations in Lore Lindu National Park and its surrounding areas.

**Keywords:** anthropogenic, enclave area, Lore Lindu National Park, natural habitats, tropical forest, Wallace

**How to cite:** Fitrallisan, F., R. S., Yanti, R. R., Afrilianti, C., Fitriana, E., Eljonahdi, E., Qodri, A., & Fahri, F. (2024). Pilihan Habitat Kupu-kupu (Lepidoptera: Rhopalocera) di Sepanjang Sistem Agroforestri Taman Nasional Lore Lindu dan Kawasan Enklave, Sulawesi, Indonesia. *Jurnal Biotek*, 12(2), 216–237. <https://doi.org/10.24252/jb.v12i2.52329>

## PENDAHULUAN

Kupu-kupu memiliki keanekaragaman dan tingkat endemisitas yang tinggi di hutan tropis (Collins & Morris, 1985; Jain et al., 2017; Sambhu et al., 2017; Sutton & Collins, 1991). Saat ini, banyak aktivitas dilakukan di hutan tropis untuk memenuhi kebutuhan manusia, seperti pemukiman, perkebunan, penebangan liar, pertambangan tradisional, dan pembangunan jalan (Alroy, 2017; Fahri et al., 2016; Gasparatos et al., 2017; Jones et al., 2018; Preston & Kim, 2016; Rija, 2022). Sebagai contoh, laju deforestasi tahunan di Asia tenggara sekitar 0.91% (Achard et al., 2002). Gangguan pada area alami akibat aktivitas perkebunan dan pedesaan secara langsung menghilangkan kebutuhan esensial spesies, seperti makanan, tempat berlindung, dan lokasi bersarang (Sambhu et al., 2017). Akibatnya, kemampuan spesies untuk berkembang biak menurun karena berkurangnya kondisi yang cocok untuk pertumbuhan dan reproduksi (Kocher & Williams, 2000; Sambhu et al., 2017). Hilangnya kualitas habitat kupu-kupu termasuk hilangnya tanaman larva inang, berkurangnya tanaman penghasil nektar yang menyediakan sumber energi bagi kupu-kupu dewasa akan berdampak pada populasi kupu-kupu (Chowdhury et al., 2017; Pywell et al., 2004).

Salah satu negara dengan tingkat deforestasi yang tinggi ialah Indonesia (Achard et al., 2002, 2014; Alroy, 2017). Laju kehilangan hutan tersebut terjadi di beberapa daerah, salah satunya adalah pulau dengan keunikan dan tingkat endemisitas yang tinggi seperti Sulawesi (Supriatna et al., 2020; Waltert et al., 2004). Pulau Sulawesi adalah hotspot dari endemism bahkan pada skala global (Myers et al., 2000; Whitten et al., 1987), yang disebabkan oleh sejarah dan dinamika geologi pulau ini (Herrera-Alsina et al., 2021). Salah satu daerah yang merupakan kawasan perlindungan adalah Taman Nasional Lore Lindu. Taman nasional ini sangat penting bagi masyarakat setempat, sistem hydrogeology, tentu saja juga bagi biodiversitas. Sebagai contoh, banyak laporan mengenai jenis baru hewan dari Taman Nasional Lore Lindu di Provinsi Sulawesi Tengah yang dilaporkan dalam kurun waktu kurang dari 10 tahun terakhir (Amaliah et al., 2024; Fahri et al., 2017, 2018; Gani et al., 2022; Putri et al., 2019; Stüning et al., 2017; Vitali & Fahri, 2019).

Taman Nasional Lore Lindu mencakup beberapa jenis ekosistem atau sub-bioma, seperti hutan hujan tropis, hutan pegunungan, dan danau, yang mendukung keanekaragaman hayati tinggi, termasuk sistem pertanian antropogenik (Gras et al., 2016; Maas et al., 2015; Motzke et al., 2016; Wanger et al., 2023). Dalam kurun waktu 2 dekade terakhir, Taman Nasional Lore Lindu merupakan kawasan dengan tingkat kerusakan yang tinggi di Sulawesi (Supriatna et al., 2020). Dampak dari gangguan tersebut mungkin sangat parah bagi organisme yang lebih kecil seperti invertebrata yang sangat rentan terhadap perubahan kondisi habitat seperti penetrasi cahaya (Öckinger & Smith, 2007). Kupu-kupu merupakan invertebrata yang sangat peka terhadap perubahan lingkungan dan kelompok serangga ini dianggap sebagai indikator biologis yang sangat baik, sehingga, kelompok ini sering digunakan untuk melacak perubahan lingkungan (Bogiani et al., 2012; Bonebrake et al., 2010; Thomas, 2005), bahkan mendeteksi dampak perubahan iklim pada skala global (Crossley et al., 2021; Kwon et al., 2010).

Bagi kupu-kupu, hilangnya kualitas habitat mereka seperti hilangnya tanaman larva inang, berkurangnya nektar, dan tanaman nektar yang menyediakan sumber energi bagi kupu-kupu dewasa dan struktur vegetasi akan berdampak yang sangat parah terhadap populasi kupu-kupu tersebut (Chowdhury et al., 2017; Pywell et al., 2004). Di hutan tropis, efek penebangan selektif dan bentuk-bentuk lain gangguan hutan termasuk hutan sekunder pada komunitas kupu-kupu telah

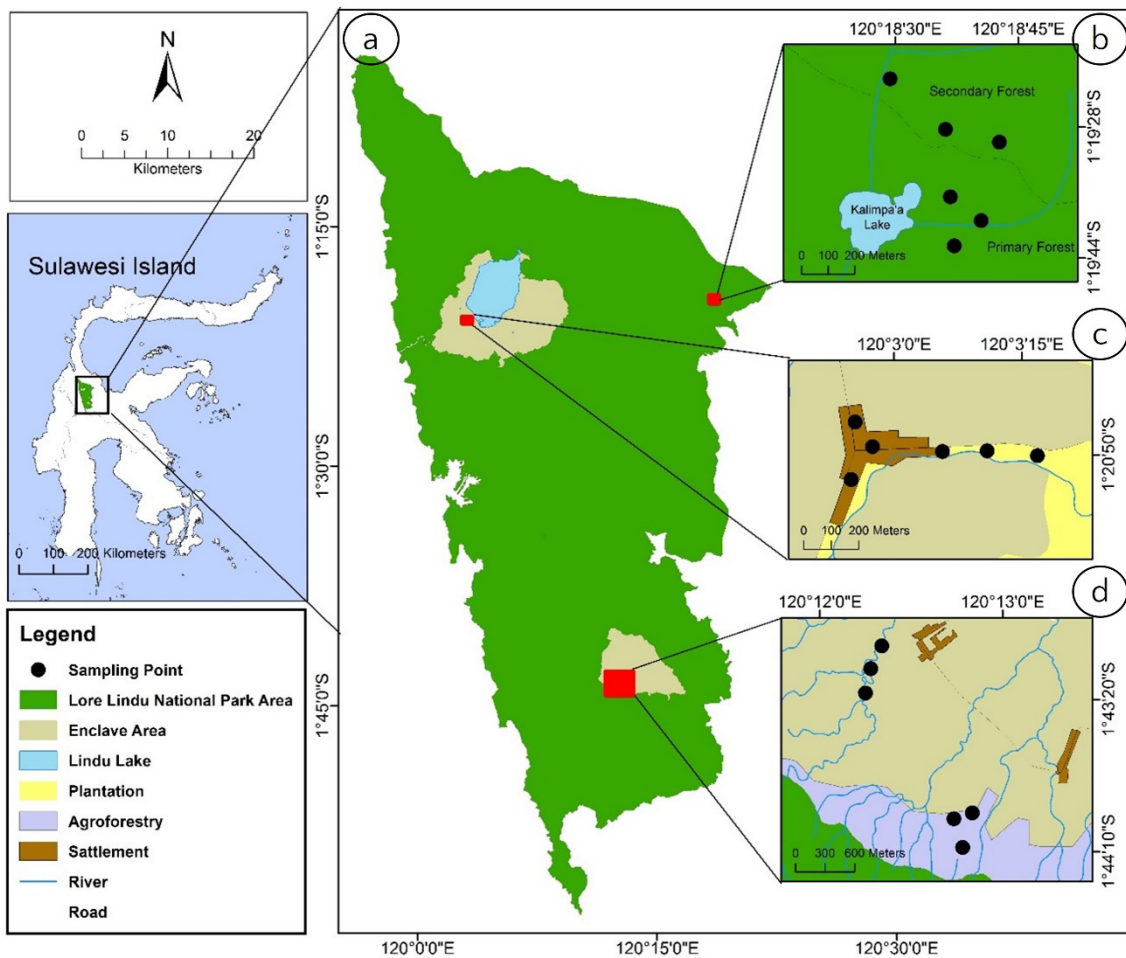
banyak dilaporkan (Burivalova et al., 2014; Montejo-Kovacevich et al., 2022; Schleuning et al., 2011; Schulze et al., 2013). Di sisi lain, serangga ini memiliki peran yang sangat penting seperti penyerbukan (Barrios et al., 2016; de Araújo et al., 2014). Kelompok ini akan memberikan respon yang berbeda terhadap alih fungsi hutan menjadi pemukiman, perkebunan dan sistem agroforestri. Dalam tulisan ini, kami menyajikan laporan mengenai pilihan habitat kupu-kupu pada enam penggunaan lahan di kawasan tropis TN Lore Lindu dan Kawasan enclave sekitarnya. Kebaruan dari laporan ini adalah update informasi dari penelitian sebelumnya yang telah dilakukan sekitar 20 tahun silam (Schulze et al., 2004) karena aktivitas antropogenik semakin tinggi. Selain itu, penelitian sebelumnya belum mempelajari pilihan habitat kupu-kupu di area pemukiman di sekitar zona penyangga Taman Nasional Lore Lindu, sehingga data hasil penelitian ini adalah data awal mengenai jenis kupu-kupu di sekitar areal pemukiman/zona penyangga TN Lore Lindu. Hasil penelitian ini bermanfaat untuk mengukur bagaimana praktik penggunaan lahan yang berbeda mempengaruhi populasi kupu-kupu yang selanjutnya digunakan untuk memahami kualitas habitat baik habitat dengan fungsi ekologis dan habitat yang memerlukan restorasi serta memberikan panduan untuk pembangunan berkelanjutan.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan di Kawasan Taman Nasional Lore Lindu yang merupakan kawasan yang dilindungi dan Kawasan Enklave Lindu yang berada di Kabupaten Sigi dan Enklave Behoa yang berada di Kabupaten Poso Sulawesi Tengah (Gambar 1). Taman Nasional Lore Lindu merupakan kawasan hutan hujan tropis dengan luas sekitar 2180 km<sup>2</sup>, meliputi hutan dataran rendah dan pegunungan (200 hingga 2.610 meter di atas permukaan laut) dan curah hujan tahunan sekitar 500–2.500 mm. Aktivitas penelitian di Taman Nasional Lore Lindu dilakukan atas persetujuan Kantor Balai Besar Taman Nasional Lore Lindu dengan nomor SIMAKSI (Nomor: S.88/IV-T.33/TK/2016). Koleksi dilakukan pada enam tipe habitat dan atau penggunaan lahan (selanjutnya disebut habitat) yaitu hutan primer, hutan sekunder, agroforestri, aliran sungai, kebun kakao dan pemukiman (Gambar 2). Koleksi dilakukan pada dua periode, pada periode bulan Oktober–November 2016 dan periode bulan Maret–April 2023.

Koleksi sampel kupu-kupu (Lepidoptera: Rhopalocera)—Penentuan titik lokasi menggunakan teknik *purposive sampling*. *Purposive sampling* dilakukan

dengan pertimbangan pada area yang potensial untuk mendukung keberadaan, aktivitas kupu-kupu (seperti tutupan kanopi yang terbuka) dan karakteristik habitat yang relevan (keberadaan vegetasi dan sumber makanan atau nektar. Terdapat beberapa habitat dan penggunaan lahan yang ada di TN Lore Lindu seperti hutan primer, hutan sekunder, agroforestri, aliran sungai, kebun kakao dan pemukiman, Habitat tersebut merupakan perwakilan habitat (termasuk penggunaan lahan) yang ada di TN Lore Lindu dan sekitarnya yang didasarkan pada Schulze et al., (2013) dan Whitten et al., (1987).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di enam penggunaan lahan di Taman Nasional Lore Lindu (a), sekitar danau Kalimp'a (b), and kawasan enclave (c: Enclave Lindu and d: Enclave Besoa).

Kupu-kupu dikumpulkan dengan menggunakan teknik *sweeping* (sapuan) dari 6 habitat yang telah ditentukan. Tiga transek digunakan untuk koleksi sampel dengan ukuran dengan panjang masing-masing transect 200 m (Gambar 1) (Pollard, 1977). Di setiap transect, koleksi dan pencatatan specimen dilakukan pada pukul

08.00–11.00 WITA dan pukul 13.00–16.00 WITA (total jam kerja selama 6 jam setiap hari) selama 3 hari berturut-turut. Untuk keseragaman koleksi sampel, koleksi dilakukan saat hari cerah dan tidak terjadi hujan baik di pagi-siang dan siang-sore. Koleksi dilakukan oleh 4 orang kolektor, sehingga total hari koleksi setiap habitat adalah 9 hari dan total hari kerja untuk semua habitat adalah 54 hari.

Sampel yang dikoleksi dimasukkan ke dalam kertas papilot dan diberi label yang selanjutnya diidentifikasi di laboratorium Biosistemika Hewan dan Evolusi Jurusan Biologi FMIPA Universitas Tadulako menggunakan buku identifikasi Braby, 2004; Vane-Wright & de Jong, 2003 dan website Insects (insecta) of the world.



Gambar 2. Enam Habitat atau penggunaan lahan yang menjadi lokasi koleksi kupu-kupu di Taman Nasional Lore Lindu Lore Lindu dan kawasan enklave (Enklave Lindu dan Enklave Besoa) Pemukiman (a) di desa Langko Kecamatan Lindu, kebun kakao/cokelat (b) sekitar aliran sungai (c) agroforestri (d) hutan sekunder (e) dan hutan primer (f) di ketinggian 1200 meter di atas permukaan laut (Foto: Socha, 2023).

Analisis Data—Data individu dan spesies yang dikumpulkan ditabulasikan di Ms. Excel dengan menghitung jumlah dan persentase individu (N) dan spesies (S).

Keanekaragaman kupu-kupu dianalisis menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener ( $H'$ ) dan indeks Kemerataan Evenness ( $E$ ) (Magurran, 2004). Indeks Shannon sangat relevan dalam studi ekologi karena dapat mencerminkan stabilitas ekosistem dan keberlanjutan fungsi ekosistem. Indeks ini juga memungkinkan perbandingan yang baik antara komunitas yang berbeda, baik dari segi waktu maupun lokasi, sehingga membantu mengidentifikasi dampak perubahan lingkungan atau pengelolaan lahan terhadap keanekaragaman hayati. Indeks Kemerataan Evenness juga sangat relevan dalam studi yang melibatkan berbagai tingkat trofik, sehingga dapat menunjukkan apakah gangguan pada satu tingkat trofik menyebabkan dominasi spesies tertentu di tingkat lain, dan dapat mengetahui perubahan dalam pengelolaan lahan menciptakan komunitas yang lebih homogen atau lebih terdiversifikasi (Morris et al., 2014). Indeks kesamaan Bray-Curtis (Bray & Curtis, 1957), digunakan untuk menganalisis kesamaan komposisi spesies antar habitat menggunakan paket vegan dengan metode *hclust* (*complete*) pada perangkat lunak R versi 4.4.2 (R Core Team, 2024). Perangkat lunak R merupakan *software open-source* dan pilihan yang sangat baik untuk analisis data karena kombinasi kemampuan statistik yang kuat, fleksibilitas, kemampuan visualisasi, dukungan komunitas yang besar, dan kompatibilitas dengan teknologi lainnya. Jumlah dan persentase individu dan spesies untuk setiap lokasi dan habitat/penggunaan lahan ditampilkan dalam bentuk grafik. Kesamaan kupu-kupu antarhabitat ditunjukkan dalam bentuk dendrogram.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

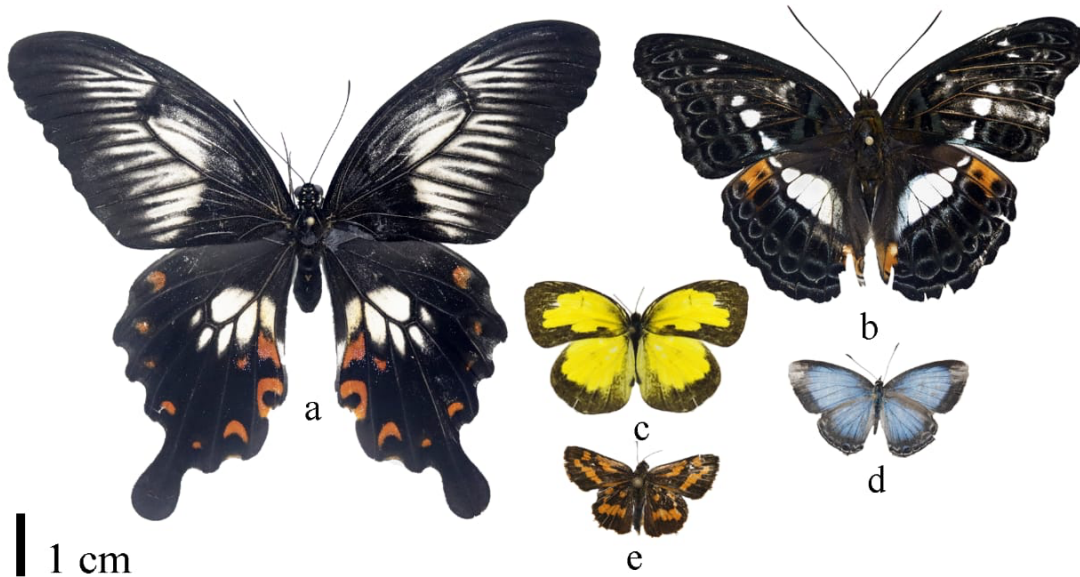
### **Biodiversitas jenis kupu-kupu di kawasan TN Lore Lindu dan Enklave—pilihan habitat**

Ditemukan sebanyak 1786 individu dari 85 jenis yang tergolong dalam 5 famili kupu-kupu di Taman Nasional Lore Lindu, Enklave Lindu dan Enklave Behoa. Jumlah individu dan jenis terbanyak ditemukan pada habitat Agroforestri (527 individu; 46 jenis), sedangkan jenis terendah ditemukan di habitat Hutan Primer (14 jenis) dan jumlah individu terendah pada habitat Aliran Sungai (76 individu) (Gambar 3.a). Keanekaragaman tertinggi terdapat di habitat agroforestri ( $H' = 3.33$  dan  $E = 0.75$ ) dan terendah di habitat hutan primer ( $H' = 2.27$  dan  $E = 0.51$ ) (Gambar 3.b).

Tabel 1. Jumlah individu dan spesies kupu-kupu di Taman Nasional Lore Lindu Lore Lindu dan kawasan enklave (Enklave Lindu dan Enklave Besoa).—PM: pemukiman,

KC: kebun kakao/cokelat, AS: sekitar aliran sungai, AG: agroforestri, HS: hutan sekunder, and HP: hutan primer.

Jumlah	PM	KK	SU	AF	HS	HP
Individu	206	274	94	527	492	193
Spesies	25	26	19	46	42	14

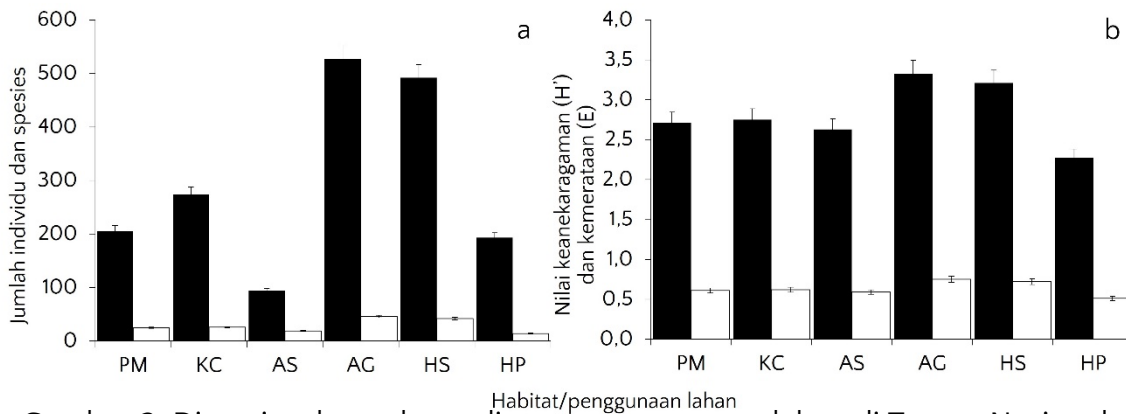


Gambar 3. Perwakilan jenis kupu-kupu di enam penggunaan lahan di Taman Nasional Lore Lindu Lore Lindu dan kawasan Enklave Lindu dan Enklave Besoa: a. *Papilio polytes Romulus* (Papilionidae), b. *Moduza lymire* (Nymphalidae), c. *Eurema tominia* (Pieridae), d. *Sancterila deliciosa* (Lycaenidae) dan e. *Potanthus fettingi* (Hesperiidae).

Sulawesi memiliki kupu-kupu sangat beragam dengan mencapai 557 spesies yang terdiri dari 133 spesies endemik atau lebih dari 40% (Vane-Wright & de Jong, 2003). Bukan hal yang baru lagi bahwa diversitas fauna di hutan tropis sangat tinggi jika dibandingkan dengan kawasan lain (Ashton & Zhu, 2020; Newbold et al., 2014; Pillay et al., 2022) termasuk Sulawesi (Corlett, 2017; Myers et al., 2000; Suzuki & Achmadi, 2015). Sulawesi adalah pulau terbesar di Kawasan Wallacea, yang merupakan pulau yang terletak di antara paparan Sunda dan Australia dan dikenal sebagai zona transisi biogeografis antara Indomalaya dan Australasia (Lohman et al., 2011; McGuire et al., 2023; Rowe et al., 2019; Suzuki & Achmadi, 2015). Kawasan Wallacea, termasuk Sulawesi, memainkan peran penting dalam



memahami pola penyebaran spesies dan evolusi biogeografi. Banyak teori yang mendukung pernyataan bahwa pulau ini dengan sejarah geology yang kompleks, yang terletak dekat dengan persimpangan lempeng Eurasia, Australia, dan Pasifik di wilayah konvergen yang kompleks (Herrera-Alsina et al., 2021; Nugraha & Hall, 2018). Alasan lain mengapa keanekaragaman hayati di Sulawesi begitu tinggi adalah isolasi geografis yang dialami pulau ini sepanjang sejarahnya. Selama jutaan tahun, fragmentasi daratan akibat pergerakan lempeng tektonik menciptakan banyak habitat yang terisolasi, sehingga menyebabkan Sulawesi memiliki endemisitas fauna yang tinggi (Lohman et al., 2011; McGuire et al., 2023; Rowe et al., 2019; Stelbrink et al., 2012; Whitten et al., 1987).



Gambar 3. Diversitas kupu-kupu di enam penggunaan lahan di Taman Nasional Lore Lindu Lore Lindu dan kawasan enklave (Enklave Lindu dan Enklave Besoa).

Jumlah individu (bar hitam) dan spesies (bar putih) kupu-kupu (a) dan nilai keanekaragaman (bar hitam) dan kemerataan (bar putih) kupu-kupu di Taman Nasional Lore Lindu Lore Lindu dan sekitarnya. Singkatan—PM: pemukiman, KC: kebun kakao/cokelat, AS: sekitar aliran sungai, AG: agroforestri, HS: hutan sekunder, and HP: hutan primer.

Nilai kelimpahan individu, spesies, keanekaragaman dan kemerataan kupu-kupu yang ditemukan di Kawasan Taman Nasional Lore Lindu dan kawasan enklave termasuk dalam kategori sedang kecuali pada habitat hutan sekunder dan agroforestri dengan kategori tinggi (Tabel 1, Gambar 3.ab). Sistem agroforestri yang teduh masih dapat mendukung keanekaragaman hayati dengan nilai yang tinggi juga terjadi pada taxa lebah, tawon, semut dan kumbang kanopi yang bahkan melebihi keanekaragaman hayati di hutan alam (Bos et al., 2007). Beberapa laporan menyebutkan bahwa sistem pertanian yang beragam seperti agroforestri (gabungan antara praktik pertanian dan kehutanan) dianggap dapat berfungsi

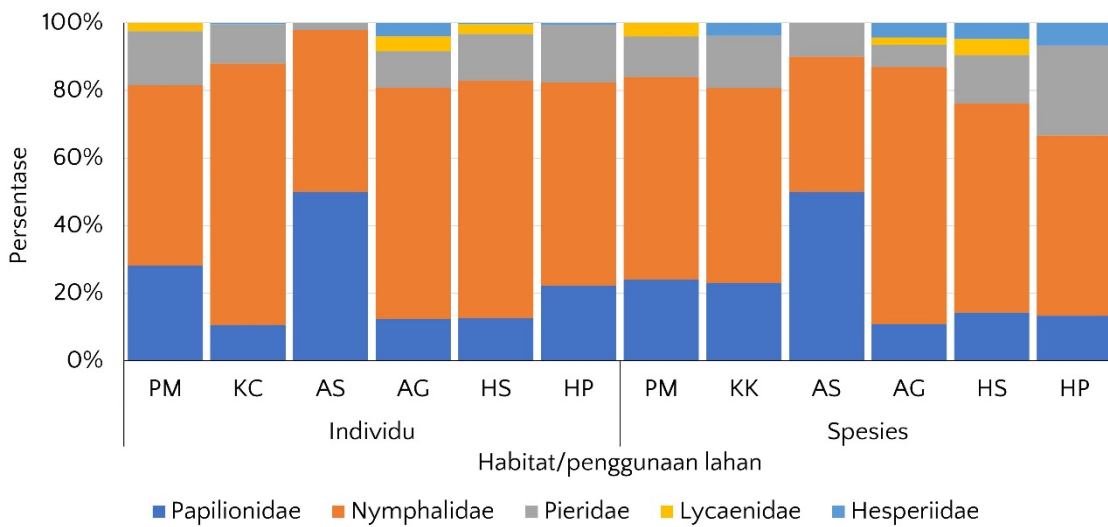
sebagai alat untuk mendukung kebijakan konservasi alam (Donald, 2004; Jose, 2012; Mcneely, 2004; Steffan-Dewenter et al., 2005; Torralba et al., 2016). Hal tersebut terjadi karena sistem agroforestri merupakan kombinasi tanaman, pohon, dan vegetasi alami yang menyediakan habitat bagi berbagai spesies flora dan fauna. Sistem ini dianggap mampu mengurangi dampak deforestasi dengan memadukan unsur kehutanan dalam lahan pertanian, agroforestri sehingga dapat mengurangi kebutuhan untuk membuka hutan baru. Selain itu, sistem ini dapat membantu menjaga siklus air, tanah, dan karbon, sehingga berkontribusi pada stabilitas ekosistem serta dapat meningkatkan pendapatan petani dengan diversifikasi hasil pertanian, sehingga menciptakan keseimbangan antara pengelolaan lahan dan konservasi alam (Benayas & Bullock, 2012; Schulze et al., 2004; Torralba et al., 2016; Udawatta et al., 2019).

Aktivitas antropogenik (seperti kebun dan pemukiman) merupakan salah satu faktor utama penyebab hilangnya keanekaragaman hayati terutama melalui perubahan habitat alami baik pada kelompok vertebrata maupun avertebrata (Newbold et al., 2014), termasuk keanekaragaman kupu-kupu. Respon kupu-kupu terhadap gangguan hutan baik secara alami maupun antropogenik telah dilaporkan di beberapa negara seperti di Finlandia (Malcolm, 2018), di Mexico dan Amerika (Amerika utara termasuk California) (Crossley et al., 2021; Kuussaari et al., 2021; Wepprich et al., 2019), Italia (Luppi et al., 2018) dan juga kawasan subtropis Barat Laut Ethiopia (Wale & Abdella, 2021). Di Kawasan tropis, respon kupu-kupu terhadap kerusakan habitat juga dilaporkan di India (Mahata et al., 2023), Vietnam (Vu & Vu, 2011), Indonesia khususnya di Sumatera dan Borneo (Hamer et al., 2003; Houlihan et al., 2013; Panjaitan et al., 2020) dan di Sulawesi (Koneri et al., 2020, 2023; Schulze et al., 2013). Kemampuan mereka dalam merespon perubahan lingkungan tersebut menjadikan kelompok kupu-kupu sebagai indikator biologi habitat alami sehingga penting untuk dikonservasi (Dennis et al., 2003; Warren et al., 2021).

#### **Famili Nymphalidae dominan di semua habitat**

Kupu-kupu Famili Nymphalidae merupakan famili dengan persentase spesies dan individu tertinggi yang terdistribusi di semua habitat, dengan jumlah 54 jenis: 1190 individu, diikuti Papilionidae 12 jenis: 304 Individu dan Famili Lycaenidae merupakan yang terendah 3 jenis: 42 individu dan Hesperidae 5 jenis: 25 individu. Jumlah individu dan spesies Famili Nymphalidae tertinggi ditemukan di habitat

agroforestri, sedangkan Famili Papilionidae adalah famili dengan jumlah persentase individu dan spesies tertinggi di habitat sekitar aliran sungai (Gambar 4).



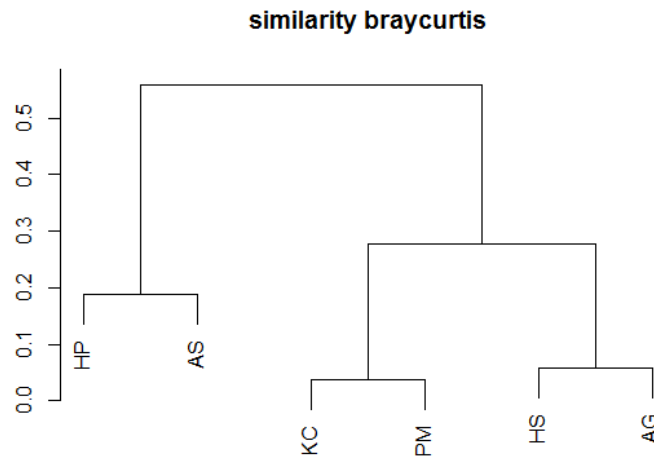
Gambar 4. Persentase jumlah individu dan spesies setiap famili kupu-kupu di enam penggunaan lahan di Taman Nasional Lore Lindu Lore Lindu dan kawasan enklave (Enklave Lindu dan Enklave Besoa). Nymphalidae dan Papilionidae adalah famili yang paling dominan menempati semua habitat. Singkatan—PM: pemukiman, KC: kebun kakao/cokelat, AS: sekitar aliran sungai, AG: agroforestri, HS: hutan sekunder, dan HP: hutan primer.

Sebanyak 5 famili kupu-kupu yang ditemukan dari TN Lore Lindu dan sekitarnya, Famili Nymphalidae merupakan famili yang hadir di semua habitat dan dengan jumlah yang banyak jika dibandingkan dengan famili lain (Gambar 4). Kupu-kupu Nymphalid ditemukan dengan jumlah yang banyak karena famili ini memiliki spesies yang sangat banyak (7200 spesies dalam 13 subfamili secara global), jika dibandingkan dengan famili lain (Kawahara, 2013; Lang, 2012). Di hutan tropis Brazil, habitat alami dengan tutupan yang minimal (seperti savana) dihuni oleh sejumlah besar kupu-kupu Nymphalidae dari pada di hutan primer (Júnior & Diniz, 2015) dan di hutan tropis Kenya (Sagwe et al., 2015). Tingginya jumlah Nymphalidae dalam penelitian ini diduga karena variasi jenis makanan yang tinggi. Nymphalidae dikenal sebagai kupu-kupu pemakan buah busuk, namun juga mereka dapat memakan getah tanaman, bangkai, dan kotoran mamalia (Freitas et al., 2014). Selain itu, Nymphalidae diketahui memiliki banyak bentuk plastisitas sehingga memungkinkan mereka beradaptasi dengan berbagai lingkungan, mulai dari perubahan habitat hingga ketersediaan makanan (van Dijk et al., 2017).

Nymphalidae ditemukan melimpah di habitat alami seperti agroforest dan hutan sekunder (gambar 4). Kupu-kupu membutuhkan habitat dengan struktur yang kompleks, seperti lantai hutan, semak, dan kanopi, untuk menyediakan sumber makanan, tempat berlindung, dan lokasi untuk bertelur. Hutan dengan habitat yang luas dan terhubung menawarkan kompleksitas vertikal yang tinggi, sangat penting untuk mendukung spesies yang memiliki preferensi habitat tertentu. Hutan ini lebih stabil dan memiliki kondisi iklim mikro yang mendukung spesies kupu-kupu sensitif yang membutuhkan lingkungan yang konsisten dan tidak terganggu. Habitat hutan yang seperti memiliki sumber makanan yang memadai seperti buah (termasuk buah yang terfermentasi), eksudat tumbuhan dan kotoran hewan. Kupu-kupu pemakan buah bergantung pada keberadaan buah yang membusuk sebagai sumber makanan utama. Habitat yang kaya dengan vegetasi asli memberikan pasokan buah yang cukup sepanjang tahun. Beberapa kupu-kupu juga memanfaatkan eksudat dari tumbuhan atau kotoran hewan sebagai sumber nutrisi tambahan. Keanekaragaman vegetasi hutan mempengaruhi ketersediaan sumber makanan ini (Uehara-Prado et al., 2007; Vu et al., 2015). Nymphalidae kelompok Satyrinae dan Morphinae lebih memilih habitat dengan naungan yang lebat—hutan tanpa tebaran sedangkan kelompok Nymphalinae dan Charaxinae lebih memilih habitat dengan celah terbuka—tutupan kanopi yang jarang di Kalimantan (Hamer et al., 2003).

#### **Komposisi spesies kupu-kupu antar habitat**

Berdasarkan nilai kesamaan Bray-Curtis, komposisi spesies kupu-kupu terbentuk menjadi 3 kelompok. Kelompok pertama adalah komposisi spesies di habitat hutan primer—aliran sungai, kelompok kedua adalah komposisi spesies di habitat kebun coklat—pemukiman dan kelompok ketiga adalah habitat hutan sekunder—agroforestri. Tiga kelompok yang terbentuk adalah habitat pemukiman—kebun kakao/cokelat, habitat hutan primer—sekitar aliran sungai dan habitat hutan sekunder—agroforestri (Gambar 5). Habitat pemukiman—kebun kakao/cokelat mengelompok karena kedua habitat tersebut hanya memiliki satu jenis tanaman (monokultur) bahkan tidak ada sama sekali. Empat habitat dalam satu cabang adalah habitat kebun coklat—pemukiman dan habitat hutan sekunder—agroforestri (gambar 5). Hal tersebut dikarenakan jumlah spesies dan individu dengan jumlah yang relatif yang sama (jumlah individu < 200 dan spesies < 100) (Tabel 1).



Gambar 5. Nilai kesamaan Bray-Curtis berdasarkan komposisi spesies kupu-kupu yang dikoleksi di enam penggunaan lahan di kawasan Taman Nasional Lore Lindu dan kawasan enklave (Enklave Lindu dan Enklave Besoa). Dendrogram dibangun menggunakan metode hclust (complete) dengan software R versi 4.2.3.

Singkatan—PM: pemukiman, KC: kebun kakao/cokelat, AS: sekitar aliran sungai, AG: agroforestri, HS: hutan sekunder, dan HP: hutan primer.

Habitat alam seperti agroforestri dan hutan sekunder memiliki kesamaan habitat yang tinggi (tabel 1, gambar 5). Habitat alam menyediakan berbagai tanaman serta akses ke tanaman inang yang lebih baik dan sumber nektar yang kaya untuk kupu-kupu dewasa (Tiple et al., 2007). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa habitat yang heterogen memainkan peran penting dalam keanekaragaman serangga, termasuk kupu-kupu (Ngongolo & Mtoka, 2013). Oleh karena itu, tutupan lahan hutan, habitat di sepanjang sungai, dan pertanian campuran yang memiliki berbagai jenis tanaman dapat mendukung jumlah dan kelompok kupu-kupu yang beragam. Sebaliknya, diversitas dan kelimpahan spesies akan menjadi rendah di pemukiman manusia, kebun/habitat monokultur, karena tingginya aktivitas antropogenik yang mengurangi kepadatan pohon dan heterogenitas habitat (Akite, 2008).

Penelitian ini tidak hanya relevan untuk konservasi kupu-kupu, tetapi juga memiliki dampak lebih luas terhadap keberlanjutan ekosistem tropis dan kesejahteraan masyarakat di sekitar Taman Nasional Lore Lindu. Taman Nasional Lore Lindu merupakan bagian dari ekosistem hutan tropis Sulawesi yang kaya akan keanekaragaman hayati, termasuk spesies kupu-kupu endemik. Memahami preferensi habitat kupu-kupu dapat membantu mengidentifikasi habitat kritis yang perlu dilestarikan untuk menjaga populasi spesies ini. Tekanan akibat deforestasi,

konversi lahan untuk pertanian, dan ekspansi pemukiman mengancam ekosistem alami. Kajian pilihan habitat kupu-kupu di berbagai tipe habitat, dapat memberikan gambaran mengenai dampak perubahan penggunaan lahan terhadap keberlangsungan populasi kupu-kupu. Kupu-kupu berperan penting dalam ekosistem sebagai penyerbuk dan indikator kesehatan lingkungan. Penelitian ini dapat memberikan informasi tentang bagaimana perubahan habitat mempengaruhi fungsi ekologis yang terkait dengan kupu-kupu. Informasi tentang preferensi habitat kupu-kupu akan mendukung pengelolaan kawasan konservasi di Lore Lindu. Data ini dapat digunakan untuk merancang strategi konservasi berbasis bukti, termasuk perlindungan habitat penting dan pengelolaan zona penyangga seperti agroforestri dan kebun kakao. Sulawesi memiliki banyak spesies kupu-kupu yang unik dan endemik, yang beberapa di antaranya mungkin terancam punah akibat hilangnya habitat. Penelitian ini penting untuk mengidentifikasi habitat yang menjadi rumah bagi spesies-spesies tersebut dan memastikan pelestariannya.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian ini, dikonfirmasi bahwa keanekaragaman dan kelimpahan kupu-kupu bervariasi sesuai habitat atau penggunaan lahan di Taman Nasional Lore Lindu dan kawasan enclave. Habitat alam (hutan primer, sekunder, agroforest dan sekitar aliran sungai) memiliki jumlah jenis yang tinggi dibandingkan dengan sistem penggunaan lahan seperti kebun coklat/kakao dan pemukiman. Kupu-kupu memilih habitat agroforestri dan habitat alam lain karena ketersediaan makanan dan kesesuaian kondisi lingkungan yang dibutuhkan. Spesies kupu-kupu harus dipantau secara teratur dan melestarikan habitatnya demi kesehatan keseluruhan ekosistem.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Achard, F., Beuchle, R., Mayaux, P., Stibig, H. J., Bodart, C., Brink, A., Carboni, S., Desclée, B., Donnay, F., Eva, H. D., Lupi, A., Raši, R., Seliger, R., & Simonetti, D. (2014). Determination of tropical deforestation rates and related carbon losses from 1990 to 2010. *Global Change Biology*, 20(8), 2540–2554. <https://doi.org/10.1111/gcb.12605>
- Achard, F., Eva, H. D., Stibig, H.-J., Mayaux, P., Gallego, J., Richards, T., & Malingreau, J.-P. (2002). Determination of Deforestation Rates of the World's Humid Tropical Forests. *SCIENCE*, 297(999), 999–1002. [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)

- Akite, P. (2008). Effects of anthropogenic disturbances on the diversity and composition of the butterfly fauna of sites in the Sango Bay and Iriiri areas, Uganda: implications for conservation. *African Journal Ecology*, 46, 3–13.
- Alroy, J. (2017). Effects of habitat disturbance on tropical forest biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(23), 6056–6061. <https://doi.org/10.1073/pnas.1611855114>
- Amaliah, R., Fahri, F., & Nguyen, A. D. (2024). New species and new record of the genus *Amyntas* Kinberg, 1867 (Oligochaeta: Megascolecidae) from Sulawesi, Indonesia. *Raffles Bulletin of Zoology*, 72, 116–126. <https://doi.org/10.26107/RBZ-2024-0010>
- Ashton, P., & Zhu, H. (2020). The tropical-subtropical evergreen forest transition in East Asia: An exploration. *Plant Diversity*, 42(4), 255–280. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2020.04.001>
- Barrios, B., Pena, S. R., Salas, A., & Koptur, S. (2016). Butterflies visit more frequently, but bees are better pollinators: The importance of mouthpart dimensions in effective pollen removal and deposition. *AoB PLANTS*, 8. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plw001>
- Benayas, J. M. R., & Bullock, J. M. (2012). Restoration of Biodiversity and Ecosystem Services on Agricultural Land. *Ecosystems*, 15(6), 883–899. <https://doi.org/10.1007/s10021-012-9552-0>
- Bogiani, P. A., Aranda, R., De Oliveira, C., & Machado, F. (2012). Riqueza de Borboletas (Lepidoptera) em um Fragmento Urbano de Cerrado em Mato Grosso do Sul, Brasil. *Ecologia*, 5(2), 93–98. [www.periodico.ebras.bio.br](http://www.periodico.ebras.bio.br/www.periodico.ebras.bio.br)
- Bonebrake, T. C., Ponisio, L. C., Boggs, C. L., & Ehrlich, P. R. (2010). More than just indicators: A review of tropical butterfly ecology and conservation. *Biological Conservation*, 143(8), 1831–1841. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.04.044>
- Bos, M. M., Höhn, P., Saleh, S., Büche, B., Buchori, D., Steffan-Dewenter, I., & Tschardtke, T. (2007). Insect diversity responses to forest conversion and agroforestry management. In T. Tschardtke, C. Lauschner, M. Zeller, E. Guharja, & A. Bidin (Eds.), *The stability of tropical rainforest margins, linking ecological, economic and social constraints of land use and conservation* (pp. 279–296).
- Braby, M. F. (2004). *The Complete Field Guide to Butterflies of Australia*.
- Bray, R. J., & Curtis, J. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27(4), 325–349.
- Burivalova, Z., Şekercioğlu, Ç. H., & Koh, L. P. (2014). Thresholds of logging intensity to maintain tropical forest biodiversity. *Current Biology*, 24(16), 1893–1898. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.06.065>
- Chowdhury, S., Hesselberg, T., Böhm, M., Islam, M. R., & Aich, U. (2017). Butterfly diversity in a tropical urban habitat (Lepidoptera: Papilionoidea). *Oriental Insects*, 51(4), 417–430. <https://doi.org/10.1080/00305316.2017.1314230>
- Collins, N. M., & Morris, M. G. (1985). *Threatened Swallowtail Butterflies of the World-The IUCN Red Data Book*.

- Corlett, R. T. (2017). Frugivory and seed dispersal by vertebrates in tropical and subtropical Asia: An update. *Global Ecology and Conservation*, 11, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.04.007>
- Crossley, M. S., Smith, O. M., Berry, L. L., Phillips-Cosio, R., Glassberg, J., Holman, K. M., Holmquest, J. G., Meier, A. R., Varriano, S. A., McClung, M. R., Moran, M. D., & Snyder, W. E. (2021). Recent climate change is creating hotspots of butterfly increase and decline across North America. *Global Change Biology*, 27(12), 2702–2714. <https://doi.org/10.1111/gcb.15582>
- de Araújo, L. D. A., Quirino, Z. G. M., & Machado, I. C. (2014). High specialisation in the pollination system of *Mandevilla tenuifolia* (J.C. Mikan) Woodson (Apocynaceae) drives the effectiveness of butterflies as pollinators. *Plant Biology*, 16(5), 947–955. <https://doi.org/10.1111/plb.12152>
- Dennis, R. L. H., Shreeve, T. G., & Dyck, H. Van. (2003). Towards a Functional Resource-Based Concept for Habitat: A Butterfly Biology Viewpoint. *Oikos*, 102(2), 417–426.
- Donald, P. F. (2004). Biodiversity Impacts of Some Agricultural Commodity Production Systems. *Conservation Biology*, 18(1), 17–37.
- Fahri, Atmowidi, T., & Noerdjito, W. A. (2016). Diversity and Abundance of Cerambycid Beetles in the Four Major Land-use Types Found in Jambi Province, Indonesia. *HAYATI Journal of Biosciences*, 23(2), 56–61. <https://doi.org/10.1016/j.hjb.2016.06.001>
- Fahri, F., Amaliah, R., Annawaty, A., & Nguyen, A. D. (2017). The earthworm genus *polypheretima* Michaelsen, 1934 (Annelida: Clitellata: Megascolecidae) from Sulawesi, Indonesia, with descriptions of four new species. *Raffles Bulletin of Zoology*, 65.
- Fahri, F., Amaliah, R., Suryobroto, B., Atmowidi, T., & Nguyen, A. D. (2018). Three new “caecate” earthworm species from sulawesi, Indonesia (Oligochaeta, megascolecidae). *ZooKeys*, 805, 1–14. <https://doi.org/10.3897/zookeys.805.24834>
- Freitas, A. V. L., Agra Iserhard, C., Pereira Santos, J., Yasmin Oliveira Carreira, J., Bandini Ribeiro, D., Henrique Alves Melo, D., Henrique Batista Rosa, A., João Marini-filho, O., Mattos Accacio, G., & Uehara-prado, M. (2014). Studies with butterfly bait traps: an overview. *Revista Colombiana de Entomología*, 40(2), 209–218.
- Gani, A., Suhendra, N., Herder, F., Schwarzer, J., Mohring, J., Montenegro, J., Herjayanto, M., & Mokodongan, F. D. (2022). A new endemic species of pelvic-brooding ricefish (Beloniformis: Adrianichthyidae: Orizias) from Lake Kalimpa'a, Sulawesi, Indonesia. *Bonn Zoological Bulletin*, 71, 77–85.
- Gasparatos, A., Doll, C. N. H., Esteban, M., Ahmed, A., & Olang, T. A. (2017). Renewable energy and biodiversity: Implications for transitioning to a Green Economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 161–184. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.030>
- Gras, P., Tscharrntke, T., Maas, B., Tjoa, A., Hafsa, A., & Clough, Y. (2016). How ants, birds and bats affect crop yield along shade gradients in tropical cacao



- agroforestry. *Journal of Applied Ecology*, 53(3), 953–963. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12625>
- Hamer, K. C., Hill, J. K., Benedick, S., Mustaffa, N., Sherratt, T. N., Maryati, M., & Chey, V. K. (2003). Ecology of butterflies in natural and selectively logged forests of northern Borneo: The importance of habitat heterogeneity. *Journal of Applied Ecology*, 40(1), 150–162. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2003.00783.x>
- Herrera-Alsina, L., Algar, A. C., Bocedi, G., Gubry-Rangin, C., Lancaster, L. T., Mynard, P., Osborne, O. G., Papadopulos, A. S. T., Creer, S., Nangoy, M., Fahri, F., Lupiyaningdyah, P., Sudiana, I. M., Juliandi, B., & Travis, J. M. J. (2021a). Ancient geological dynamics impact neutral biodiversity accumulation and are detectable in phylogenetic reconstructions. *Global Ecology and Biogeography*, 30(8), 1633–1642. <https://doi.org/10.1111/geb.13326>
- Herrera-Alsina, L., Algar, A. C., Bocedi, G., Gubry-Rangin, C., Lancaster, L. T., Mynard, P., Osborne, O. G., Papadopulos, A. S. T., Creer, S., Nangoy, M., Fahri, F., Lupiyaningdyah, P., Sudiana, I. M., Juliandi, B., & Travis, J. M. J. (2021b). Ancient geological dynamics impact neutral biodiversity accumulation and are detectable in phylogenetic reconstructions. *Global Ecology and Biogeography*, 30(8), 1633–1642. <https://doi.org/10.1111/geb.13326>
- Houlihan, P. R., Harrison, M. E., & Cheyne, S. M. (2013). Impacts of forest gaps on butterfly diversity in a Bornean peat-swamp forest. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 16(1), 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2012.10.003>
- Jain, A., Lim, F. K. S., & Webb, E. L. (2017). Species-habitat relationships and ecological correlates of butterfly abundance in a transformed tropical landscape. *Biotropica*, 49(3), 355–364. <https://doi.org/10.1111/btp.12435>
- Jones, J. P. G., Mandimbiniaina, R., Kelly, R., Ranjatson, P., Rakotojoelina, B., Schreckenber, K., & Poudyal, M. (2018). Human migration to the forest frontier: Implications for land use change and conservation management. *Geo: Geography and Environment*, 5(1). <https://doi.org/10.1002/geo2.50>
- Jose, S. (2012). Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. *Agroforestry Systems*, 85(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9517-5>
- Júnior, G. de B. F., & Diniz, I. R. (2015). Temporal dynamics of fruit-feeding butterflies (Lepidoptera: Nymphalidae) in two habitats in a seasonal Brazilian environment. *Florida Entomologist*, 98(4), 1207–1216. <https://doi.org/10.1653/024.098.0430>
- Kawahara, A. Y. (2013). Systematic revision and review of the extant and fossil snout butterflies (Lepidoptera: Nymphalidae: Libytheinae). *Zootaxa*, 3631(1), 1–74. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3631.1.1>
- Kocher, S. D., & Williams, E. H. (2000). The diversity and abundance of North American butterflies vary with habitat disturbance and geography. *Journal of Biogeography*, 27, 785–794.
- Koneri, R., Nangoy, M. J., Maabuat, P. V., & Wakhid. (2023). Butterfly species in Bogani Nani Wartabone National Park, North Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas*, 24(2), 1242–1251. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240266>
- Koneri, R., Nangoy, M. J., & Saroyo. (2020). Relationships between butterfly with feed plants in Sangihe Islands, North Sulawesi, Indonesia. *Pakistan Journal of*

- Biological Sciences, 23(6), 804–812.  
<https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.804.812>
- Kuussaari, M., Toivonen, M., Heliölä, J., Pöyry, J., Mellado, J., Ekroos, J., Hyyryläinen, V., Vähä-Piikkiö, I., & Tiainen, J. (2021). Butterfly species' responses to urbanization: differing effects of human population density and built-up area. *Urban Ecosystems*, 24(3), 515–527. <https://doi.org/10.1007/s11252-020-01055-6>
- Kwon, T. S., Kim, S. S., Chun, J. H., Byun, B. K., Lim, J. H., & Shin, J. H. (2010). Changes in butterfly abundance in response to global warming and reforestation. *Environmental Entomology*, 39(2), 337–345. <https://doi.org/10.1603/EN09184>
- Lang, S.-Y. (2012). *Nymphalidae of China (Lepidoptera, Rhopalocera)* (S.-Y. Lang, Ed.). Tshikolovets Publications.
- Lohman, D. J., De Bruyn, M., Page, T., Von Rintelen, K., Hall, R., Ng, P. K. L., Shih, H. Te, Carvalho, G. C., & Von Rintelen, T. (2011). Beyond Wallaces line: Genes and biology inform historical biogeographical insights in the Indo-Australian archipelago. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 42. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102710-145001>
- Luppi, M., Dondina, O., Orioli, V., & Bani, L. (2018). Local and landscape drivers of butterfly richness and abundance in a human-dominated area. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 254, 138–148. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.020>
- Maas, B., Tschardtke, T., Saleh, S., Dwi Putra, D., & Clough, Y. (2015). Avian species identity drives predation success in tropical cacao agroforestry. *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 735–743. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12409>
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing company.
- Mahata, A., Panda, R. M., Dash, P., Naik, A., Naik, A. K., & Palita, S. K. (2023). Microclimate and Vegetation Structure Significantly Affect Butterfly Assemblages in a Tropical Dry Forest. *Climate*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/cli11110220>
- Malcolm, S. B. (2018). Anthropogenic Impacts on Mortality and Population Viability of the Monarch Butterfly. *Annu. Rev. Entomol*, 63, 277–302. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117>
- McGuire, J. A., Huang, X., Reilly, S. B., Iskandar, D. T., Wang-Claypool, C. Y., Werning, S., Chong, R. A., Lawalata, S. Z. S., Stubbs, A. L., Frederick, J. H., Brown, R. M., Evans, B. J., Arifin, U., Riyanto, A., Hamidy, A., Arida, E., Koo, M. S., Supriatna, J., Andayani, N., & Hall, R. (2023). Species Delimitation, Phylogenomics, and Biogeography of Sulawesi Flying Lizards: A Diversification History Complicated by Ancient Hybridization, Cryptic Species, and Arrested Speciation. *Systematic Biology*, 72(4), 885–911. <https://doi.org/10.1093/sysbio/syad020>
- Mcneely, J. A. (2004). Nature vs. nurture: managing relationships between forests, agroforestry and wild biodiversity. *Agroforestry Systems*, 61, 155–165.
- Mittermeier, R. A., Myers, N., Thomsen, J. B., Da Fonseca, G. A. B., & Olivieri, S. (1998). *Society for Conservation Biology Biodiversity Hotspots and Major*

- Tropical Wilderness Areas: Approaches to Setting Conservation Priorities. In *Biology* (Vol. 12, Issue 3). <http://www.jstor.org>URL:<http://www.jstor.org/stable/2387233>[http://www.jstor.org/stable/2387233?seq=1&cid=pdf-reference#references\\_tab\\_contents](http://www.jstor.org/stable/2387233?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents)
- Montejo-Kovacevich, G., Marsh, C. J., Smith, S. H., Peres, C. A., & Edwards, D. P. (2022). Riparian reserves protect butterfly communities in selectively logged tropical forest. *Journal of Applied Ecology*, 59(6), 1524–1535. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14162>
- Morris, E. K., Caruso, T., Buscot, F., Fischer, M., Hancock, C., Maier, T. S., Meiners, T., Müller, C., Obermaier, E., Prati, D., Socher, S. A., Sonnemann, I., Wäschke, N., Wubet, T., Wurst, S., & Rillig, M. C. (2014). Choosing and using diversity indices: Insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecology and Evolution*, 4(18), 3514–3524. <https://doi.org/10.1002/ece3.1155>
- Motzke, I., Klein, A. M., Saleh, S., Wanger, T. C., & Tschardtke, T. (2016). Habitat management on multiple spatial scales can enhance bee pollination and crop yield in tropical homegardens. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 223, 144–151. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.001>
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *NATURE*, 403, 853–857. [www.nature.com](http://www.nature.com)
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. In *NATURE* | (Vol. 403). [www.nature.com](http://www.nature.com)
- Newbold, T., Hudson, L. N., Phillips, H. R. P., Hill, S. L. L., Contu, S., Lysenko, I., Blandon, A., Butchart, S. H. M., Booth, H. L., Day, J., De Palma, A., Harrison, M. L. K., Kirkpatrick, L., Pynegar, E., Robinson, A., Simpson, J., Mace, G. M., Scharlemann, J. P. W., & Purvis, A. (2014). A global model of the response of tropical and sub-tropical forest biodiversity to anthropogenic pressures. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1792). <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1371>
- Ngongolo, K., & Mtoka, S. (2013). Using Butterflies to Measure Biodiversity Health in Wazo Hill Restored Quarry. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 1(4), 81–86.
- Nugraha, A. M. S., & Hall, R. (2018). Late Cenozoic palaeogeography of Sulawesi, Indonesia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 490, 191–209. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2017.10.033>
- Öckinger, E., & Smith, H. G. (2007). Semi-natural grasslands as population sources for pollinating insects in agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 44(1), 50–59. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01250.x>
- Panjaitan, R., Drescher, J., Buchori, D., Peggie, D., Harahap, I. S., Scheu, S., & Hidayat, P. (2020). Diversity of butterflies (Lepidoptera) across rainforest transformation systems in Jambi, Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 21(11), 5119–5127. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211117>
- Pillay, R., Venter, M., Aragon-Osejo, J., González-del-Pliego, P., Hansen, A. J., Watson, J. E. M., & Venter, O. (2022). Tropical forests are home to over half of

- the world's vertebrate species. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 20(1), 10–15. <https://doi.org/10.1002/fee.2420>
- Pollard, E. (1977). A METHOD FOR ASSESSING CHANGES IN THE ABUNDANCE OF BUTTERFLIES. *Biology Conservation*, 12, 115–134.
- Preston, T. M., & Kim, K. (2016). Land cover changes associated with recent energy development in the Williston Basin; Northern Great Plains, USA. *Science of the Total Environment*, 566–567, 1511–1518. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.038>
- Putri, A. A., Fahri, F., Annawaty, A., & Hamidy, A. (2019). Ecological investigations and diversity of amphibians in Lake Kalimpa'a, Lore Lindu National Park, Central Sulawesi. *Journal of Natural History*, 53(41–42), 2503–2516. <https://doi.org/10.1080/00222933.2019.1705930>
- Pywell, R. F., Warman, E. A., Sparks, T. H., Greatorex-Davies, J. N., Walker, K. J., Meek, W. R., Carvell, C., Petit, S., & Firbank, L. G. (2004). Assessing habitat quality for butterflies on intensively managed arable farmland. *Biological Conservation*, 118(3), 313–325. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.09.011>
- R Core Team. (2024). *An Introduction to R Notes on R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics*.
- Rija, A. A. (2022). Local habitat characteristics determine butterfly diversity and community structure in a threatened Kihansi gorge forest, Southern Udzungwa Mountains, Tanzania. *Ecological Processes*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13717-022-00359-z>
- Rowe, K. C., Achmadi, A. S., Fabre, P. H., Schenk, J. J., Stepan, S. J., & Esselstyn, J. A. (2019). Oceanic islands of Wallacea as a source for dispersal and diversification of murine rodents. *Journal of Biogeography*, 46(12), 2752–2768. <https://doi.org/10.1111/jbi.13720>
- Sagwe, R. N., Muya, S. M., & Maranga, R. (2015). Effects of land use patterns on the diversity and conservation status of butterflies in Kisii highlands, Kenya. *Journal of Insect Conservation*, 19(6), 1119–1127. <https://doi.org/10.1007/s10841-015-9826-x>
- Sambhu, H., Northfield, T., Nankishore, A., Ansari, A., & Turton, S. (2017). Tropical Rainforest and Human-Modified Landscapes Support Unique Butterfly Communities That Differ in Abundance and Diversity. *Environmental Entomology*, 46(6), 1225–1234. <https://doi.org/10.1093/ee/nvx129>
- Schleuning, M., Farwig, N., Peters, M. K., Bergsdorf, T., Bleher, B., Brandl, R., Dalitz, H., Fischer, G., Freund, W., Gikungu, M. W., Hagen, M., Garcia, F. H., Kagezi, G. H., Kaib, M., Kraemer, M., Lung, T., Naumann, C. M., Schaab, G., Templin, M., ... Böhning-Gaese, K. (2011). Forest fragmentation and selective logging have inconsistent effects on multiple animal-mediated ecosystem processes in a tropical forest. *PLoS ONE*, 6(11), 1–2. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027785>
- Schulze, C. H., Steffan-Dewenter, I., & Tscharrntke, T. (2004). Effects of Land Use on Butterfly Communities at the Rain Forest Margin: A Case Study from Central Sulawesi. In G. Gerold (Ed.), *Land Use, Nature Conservation and the Stability of*

- Rainforest Margins in Southeast Asia (pp. 281–297). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Schulze, C. H., Steffan-Dewenter, I., & Tschardtke, T. (2013). Effects of Land Use on Butterfly Communities at the Rain Forest Margin: A Case Study from Central Sulawesi. In G. Gerold, M. Fremerey, & E. Guhardja (Eds.), *Land Use, Nature Conservation and the Stability of Rainforest Margins in Southeast Asia* (pp. 281–297). Heidelberg: Springer.
- Steffan-Dewenter, I., Potts, S. G., Packer, L., & Ghazoul, J. (2005). Pollinator diversity and crop pollination services are at risk [3] (multiple letters). In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 20, Issue 12, pp. 651–652). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.09.004>
- Stelbrink, B., Albrecht, C., Hall, R., & von Rintelen, T. (2012). The biogeography of Sulawesi revisited: Is there evidence for a vicariant origin of taxa on Wallace's "anomalous island"? *Evolution*, 66(7), 2252–2271. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2012.01588.x>
- Stüning, D., Fahri, F., & Hafriani, R. (2017). Three new species of the genus *Bracca* Hübner (Geometridae, Ennominae, Boarmiini) from Sulawesi, with notes on the already described species. In *Tinea* (Vol. 24, Issue 1). <https://www.researchgate.net/publication/322138008>
- Supriatna, J., Shekelle, M., Fuad, H. A. H., Winarni, N. L., Dwiyahreni, A. A., Farid, M., Mariati, S., Margules, C., Prakoso, B., & Zakaria, Z. (2020). Deforestation on the Indonesian island of Sulawesi and the loss of primate habitat. *Global Ecology and Conservation*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01205>
- Sutton, S. L., & Collins, N. M. (1991). Insects and Tropical Forest Conservation. In N.M. Collins & J.A. Thomas (Eds.), *The Conservation of Insects and their Habitats* (pp. 405–424). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-181370-3.50021-x>
- Suzuki, H., & Achmadi, A. S. (2015a). A comparative zoogeographic view on the animal biodiversity of Indonesia and Japan. In *Tropical Peatland Ecosystems* (pp. 213–226). Springer Japan. [https://doi.org/10.1007/978-4-431-55681-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-4-431-55681-7_13)
- Suzuki, H., & Achmadi, A. S. (2015b). A comparative zoogeographic view on the animal biodiversity of Indonesia and Japan. In *Tropical Peatland Ecosystems* (pp. 213–226). Springer Japan. [https://doi.org/10.1007/978-4-431-55681-7\\_13](https://doi.org/10.1007/978-4-431-55681-7_13)
- Thomas, J. A. (2005). Monitoring change in the abundance and distribution of insects using butterflies and other indicator groups. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1454), 339–357. <https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1585>
- Tiple, A. D., Khurad, A. M., & Dennis, R. L. H. (2007). Butterfly diversity in relation to a human-impact gradient on an Indian university campus. *Nota Lepidopterologica*, 30(1), 179–188. <https://www.researchgate.net/publication/237178654>
- Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P. J., Moreno, G., & Plieninger, T. (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 230, 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002>

- Udawatta, R. P., Rankoth, L. M., & Jose, S. (2019). Agroforestry and biodiversity. *Sustainability*, 11(10), 1–22. <https://doi.org/10.3390/su11102879>
- Uehara-Prado, M., Brown, K. S., & Freitas, A. V. L. (2007). Species richness, composition and abundance of fruit-feeding butterflies in the Brazilian Atlantic Forest: comparison between a fragmented and a continuous landscape. *Global Ecology and Biogeography*, 16(0), 43–54. <https://doi.org/10.1111/j.1466-822x.2006.00267.x>
- van Dijk, L. J. A., Janz, N., Schäpers, A., Gamberale-Stille, G., & Carlsson, M. A. (2017). Experience-dependent mushroom body plasticity in butterflies: Consequences of search complexity and host range. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1866). <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.1594>
- Vane-Wright, R. I., & de Jong, R. (2003). The butterflies of Sulawesi : annotated checklist for a critical island fauna. *Zoologische Verhandelingen*, 343, 1–267.
- Vitali, F., & Fahri, F. (2019). A taxonomic revision of the Acalolepta species from Sulawesi (Coleoptera, Cerambycidae). *Baltic Journal of Coleopterology*, 19(2), 167–177.
- Vu, L. V., Bonebrake, T. C., Vu, M. Q., & Nguyen, N. T. (2015). Butterfly diversity and habitat variation in a disturbed forest in northern Vietnam. *Pan-Pacific Entomologist*, 91(1), 29–38. <https://doi.org/10.3956/2014-91.1.029>
- Vu, L. Van, & Vu, C. Q. (2011). Diversity Pattern of Butterfly Communities (Lepidoptera, Papilionoidae) in Different Habitat Types in a Tropical Rain Forest of Southern Vietnam. *ISRN Zoology*, 2011, 1–8. <https://doi.org/10.5402/2011/818545>
- Wale, M., & Abdella, S. (2021). Butterfly Diversity and Abundance in the Middle Afromontane Area of Northwestern Ethiopia. *Psyche: Journal of Entomology*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8805366>
- Waltert, M., Langkau, M., Maertens, M., Hartel, M., Erasmi, S., & Muhlenberg, M. (2004). Predicting Losses of Bird Species from Deforestation in Central Sulawesi. In G. Gerold (Ed.), *Land use, nature conservation and the stability of rainforest margins in Southeast Asia*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Wanger, T. C., Brook, B. W., Evans, T., & Tschardtke, T. (2023). Pesticides reduce tropical amphibian and reptile diversity in agricultural landscapes in Indonesia. *PeerJ*, 11. <https://doi.org/10.7717/peerj.15046>
- Warren, M. S., Maes, D., van Swaay, C. A. M., Goffart, P., van Dyck, H., Bourn, N. A. D., Wynhoff, I., Hoare, D., & Ellis, S. (2021). The decline of butterflies in Europe: Problems, significance, and possible solutions. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (Vol. 118, Issue 2). National Academy of Sciences. <https://doi.org/10.1073/PNAS.2002551117>
- Wepprich, T., Adrion, J. R., Ries, L., Wiedmann, J., & Haddad, N. M. (2019). Butterfly abundance declines over 20 years of systematic monitoring in Ohio, USA. *PLoS ONE*, 14(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216270>
- Whitten, T., Henderson, G. S., & Mustafa, M. (1987). The Ecology of Sulawesi. In *THE ECOLOGY OF INDONESIA: Vol. IV* (pp. 1–754). Eric Oey.