E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 395-406
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026

Exploring the Relationship between Abiotic Environmental Degradation and Papilionoidea Butterfly Diversity along a Forest Conversion Gradient in Keerom Regency, Papua

Bambang Suhartawan[1], Daawia[2]
[1)]Universitas Sains dan Teknologi Jayapura
[2)]Universitas Cenderawasih
Correspondence: basuhpapua@gmail.com

ABSTRACT

Forest conversion to oil palm plantations in Papua has degraded habitats and threatens biodiversity. This study examined the relationship between abiotic environmental parameters and Papilionoidea butterfly diversity along a forest conversion gradient in Keerom Regency, using visual transect methods across three habitat zones (secondary forest, non-productive plantation, and productive plantation) from February to June 2025. Abiotic parameters recorded were air temperature, relative humidity, canopy cover, and light intensity.

A total of 82 butterfly species from 5 families (1,247 individuals) were recorded. Diversity declined sharply along the gradient, from 70 species in secondary forest to 32 in productive plantation, with the Shannon-Wiener index dropping 37.1% (3.847 to 2.418); 12 endemic Papua species occurred only in secondary forest. All abiotic parameters differed significantly between zones (ANOVA, $p < 0.001$). Canopy cover showed the strongest positive correlation with diversity ($r = +0.967$), followed by humidity ($r = +0.956$), while temperature correlated negatively ($r = -0.943$).

A multiple linear regression model predicted diversity with high accuracy ($R^2 = 0.967$), identifying critical thresholds of canopy cover >60%, humidity >75%, and temperature <29°C. These findings confirm Papilionoidea butterflies as sensitive bioindicators of habitat degradation and provide a scientific basis for conservation and sustainable landscape management in the tropics.

Keywords: *biodiversity, bioindicator, habitat degradation, Papilionoidea butterflies, Papua*

ABSTRAK

Konversi hutan menjadi perkebunan kelapa sawit di Papua telah menyebabkan degradasi habitat yang mengancam keanekaragaman hayati. Penelitian ini mengeksplorasi hubungan antara parameter lingkungan abiotik dan diversitas kupu-kupu Papilionoidea di sepanjang gradien konversi hutan di Kabupaten Keerom, menggunakan metode transek visual pada tiga zona habitat (hutan sekunder, perkebunan non-produktif, dan perkebunan produktif) selama Februari-Juni 2025. Parameter abiotik yang diukur meliputi suhu udara, kelembaban relatif, tutupan kanopi, dan intensitas cahaya.

Hasil penelitian mencatat 82 spesies kupu-kupu dari 5 famili dengan total kelimpahan 1.247 individu. Keanekaragaman menurun tajam sepanjang gradien konversi, dari 70 spesies di hutan sekunder menjadi 32 spesies di perkebunan produktif, dengan indeks Shannon-Wiener turun 37,1% (3,847 menjadi 2,418); 12 spesies endemik Papua hanya ditemukan di hutan sekunder. Seluruh parameter abiotik berbeda signifikan antar zona (ANOVA, $p < 0,001$). Tutupan kanopi menunjukkan korelasi positif terkuat dengan keanekaragaman ($r = +0,967$), diikuti kelembaban ($r = +0,956$), sedangkan suhu berkorelasi negatif ($r = -0,943$).

Model regresi linear berganda memprediksi keanekaragaman dengan akurasi tinggi ($R^2 = 0,967$), dengan threshold kritis tutupan kanopi >60%, kelembaban >75%, dan suhu <29°C. Temuan ini mengkonfirmasi kupu-kupu Papilionoidea sebagai bioindikator sensitif terhadap degradasi habitat dan menjadi dasar ilmiah bagi strategi konservasi dan manajemen lanskap berkelanjutan di kawasan tropis.

Kata Kunci: biodiversitas, bioindikator, degradasi habitat, kupu-kupu Papilionoidea, Papua

PENDAHULUAN

Papua merupakan salah satu wilayah dengan keanekaragaman hayati tertinggi di dunia, termasuk kelompok serangga seperti kupu-kupu dari superfamili Papilionoidea, yang berperan penting sebagai penyerbuk dan indikator ekologis terhadap perubahan lingkungan (Depraz et al., 2024). Konversi hutan menjadi perkebunan, khususnya kelapa sawit, telah menyebabkan penurunan keanekaragaman dan kelimpahan kupu-kupu;

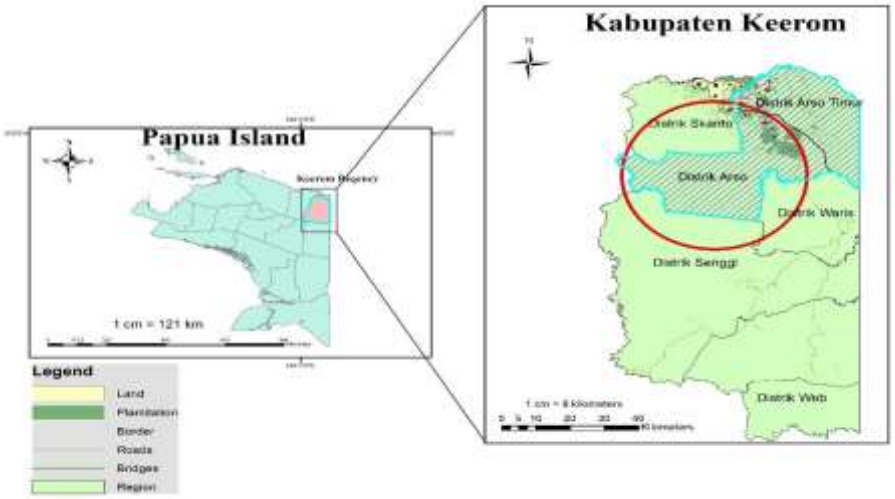
penelitian di Kabupaten Keerom menunjukkan penurunan spesies kupu-kupu sekitar 40-53% akibat konversi hutan sekunder menjadi perkebunan sawit (Daawia & Dianingsih, 2023). Kabupaten Keerom mengalami laju konversi hutan yang signifikan akibat aktivitas antropogenik, menciptakan gradien konversi dari hutan primer ke hutan sekunder, agroekosistem, dan area terbangun yang ideal untuk mengkaji dampak perubahan lingkungan abiotik terhadap distribusi dan diversitas serangga (Wardhaugh et al., 2018).

Kupu-kupu Papilionoidea sangat sensitif terhadap perubahan kualitas habitat, khususnya suhu, kelembaban, dan pencahayaan (Panjaitan et al., 2020), dengan preferensi mikrohabitat yang spesifik sehingga penurunan kualitas abiotik dapat menyebabkan penurunan jumlah dan kelimpahan spesies secara drastis (Asfiya et al., 2023). Karena sensitivitas ekologisnya, kupu-kupu sering dijadikan bioindikator untuk memantau dampak perubahan lingkungan terhadap keanekaragaman hayati (Comay et al., 2021). Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi hubungan antara degradasi lingkungan abiotik dan keanekaragaman kupu-kupu Papilionoidea di sepanjang gradien konversi hutan di Kabupaten Keerom, dengan memadukan pendekatan ekologi komunitas dan analisis parameter abiotik, guna mendukung strategi konservasi keanekaragaman hayati dan perencanaan penggunaan lahan berkelanjutan di Papua serta pengembangan model pemantauan ekologis berbasis bioindikator.

METODE PENELITIAN

1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian berlangsung selama enam bulan (Januari-Juni 2025): persiapan lapangan dan koordinasi dengan aparat kampung dilakukan pada Januari 2025, sedangkan pengambilan sampel kupu-kupu dan parameter abiotik dilakukan dua kali per bulan dari Februari hingga Juni 2025.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kabupaten Keerom, Provinsi Papua, terutama Distrik Arso, yang memiliki gradien tutupan lahan yang jelas mulai dari hutan primer dan sekunder hingga perkebunan, padang rumput, dan permukiman (Daawia & Dianingsih, 2023). Kampung Ubiyau (dominan hutan primer dan sekunder) dan Kampung Yuwanain (dominan lahan pertanian, padang rumput, dan permukiman) dipilih karena kondisi lingkungannya yang kontras, sehingga cocok digunakan sebagai titik-titik dalam gradien konversi hutan (Roy et al., 2013).

2. Desain Penelitian dan Zona Gradien

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan desain komparatif-spasial untuk membandingkan keanekaragaman kupu-kupu dan variasi parameter abiotik antar tipe habitat. Zona gradien konversi ditentukan berdasarkan tingkat gangguan lahan dan perubahan tutupan vegetasi (Cordero & Jackson, 2019), yaitu: hutan primer (struktur vegetasi utuh, kanopi rapat, intervensi manusia minimal; Kormos, 2018), hutan sekunder (gangguan ringan hingga sedang, tajuk terbuka sebagian; Chokkalingam & De Jong, 2001), agroekosistem (lahan pertanian/perkebunan campuran), dan lahan terbuka (permukiman, perkebunan sawit intensif, atau padang

rumput antropogenik). Lokasi ditentukan secara purposive berdasarkan studi pendahuluan dan citra satelit.

Setiap zona memiliki minimal tiga titik pengamatan seluas 100 × 50 meter (0,5 ha) dengan jalur transek tetap sepanjang 500 meter (Panjaitan et al., 2020), di mana kupu-kupu dicatat dalam kotak imajiner berukuran 10 × 10 × 10 meter di kedua sisi jalur (Swaay et al., 2012). Desain ini terbukti efektif untuk mendeteksi variasi spasial komunitas kupu-kupu di daerah tropis dengan heterogenitas habitat tinggi.

3. Pengambilan Data Keanekaragaman Kupu-kupu

Data keanekaragaman dikumpulkan dengan metode transek visual (Pollard Walk) yang lazim digunakan untuk survei kupu-kupu tropis secara sistematis dan non-destruktif (Daawia & Dianingsih, 2023; Panjaitan et al., 2020). Lebar pengamatan adalah 5 meter di kedua sisi jalur dan hingga ketinggian 5 meter ke atas, diamati oleh dua pengamat terlatih yang berjalan perlahan (±1 km/jam) sebanyak dua kali per bulan pada pukul 08.00-11.00 WIT, saat cuaca cerah dan aktivitas kupu-kupu berada pada puncaknya (Asfiya et al., 2023).

Spesies yang dapat dikenali langsung dicatat dan, jika memungkinkan, didokumentasikan melalui fotografi. Spesies yang sulit dikenali secara visual ditangkap menggunakan sweeping net, disimpan sementara di kotak spesimen, dan diidentifikasi menggunakan kunci determinasi lapangan (Warikar, 2021) sebelum dilepas kembali, kecuali diperlukan sebagai voucher specimen. Data yang dicatat pada setiap sesi meliputi tanggal dan waktu pengamatan, koordinat GPS, nama atau kode spesies, jumlah individu per spesies, aktivitas kupu-kupu, dan kondisi cuaca umum, yang kemudian dikompilasi secara elektronik untuk dianalisis.

4. Pengukuran Parameter Lingkungan Abiotik

Parameter abiotik (suhu udara, kelembaban relatif, intensitas cahaya, dan tutupan vegetasi) diukur bersamaan dengan pengamatan kupu-kupu agar mencerminkan kondisi ekologis aktual saat kupu-kupu beraktivitas di lapangan (Comay et al., 2021).

Suhu dan kelembaban diukur menggunakan digital thermo-hygrometer pada tiga titik representatif di sepanjang transek, pada awal, tengah, dan akhir sesi pengamatan (sekitar pukul 08.00, 09.30, dan 11.00 WIT), setelah alat didiamkan 2-3 menit hingga nilainya stabil. Intensitas cahaya diukur dengan cara yang sama menggunakan digital lux meter yang diarahkan ke langit terbuka.

Tutupan kanopi diukur pada lima titik tetap sepanjang transek (awal, ¼, tengah, ¾, akhir) menggunakan canopy densiometer, dihitung dari persentase kotak grid yang tertutup kanopi, serta divalidasi dengan hemispherical photography yang diproses menggunakan software seperti ImageJ atau GLA. Seluruh data ditransfer ke format digital (Excel/CSV) untuk pengolahan statistik lebih lanjut.

5. Analisis Data

Keanekaragaman kupu-kupu dianalisis menggunakan indeks Shannon-Wiener (H'), indeks kemerataan (E), dan indeks dominansi Simpson. Hubungan antara parameter abiotik dan keanekaragaman kupu-kupu dianalisis menggunakan regresi linear berganda serta analisis komponen utama (PCA) untuk melihat kontribusi masing-masing variabel lingkungan. Uji statistik dilakukan dengan software R atau SPSS pada tingkat signifikansi 95% ($\alpha = 0,05$) (Wardhaugh et al., 2018).

HASIL PENELITIAN

1. Komposisi dan Struktur Komunitas Kupu-kupu Papilionoidea

Selama Februari-Juni 2025, teridentifikasi 82 spesies kupu-kupu dari 5 famili: Papilionidae (18 spesies), Pieridae (15 spesies), Lycaenidae (21 spesies), Riodinidae (8 spesies), dan Nymphalidae (20 spesies), dengan total kelimpahan 1.247 individu dari 360 sesi pengamatan di 12 titik sampling (Tabel 1).

Tabel 1. Komposisi spesies dan kelimpahan kupu-kupu Papilionoidea di tiga zona habitat

Zona Habitat	Jumlah Spesies	Kelim pahan	Famili Dominan	Spesies Dominan
Hutan Sekunder	70	542	Nymphalidae (18 spp)	Graphium agamemnon (45 ind)
Perkebunan Non-produktif	48	385	Pieridae (12 spp)	Eurema hecabe (38 ind)
Perkebunan Produktif	32	320	Pieridae (9 spp)	Catopsilia pomona (42 ind)
Total	82	1.247	Nymphalidae	Graphium agamemnon

Sebanyak 12 spesies endemik Papua - termasuk Troides helena, Parides vertumnus, dan Ornithoptera priamus - hanya ditemukan di zona hutan sekunder, menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap perubahan habitat dan potensinya sebagai indikator kualitas ekosistem hutan (Rumayomi et al., 2024; Warikar, 2021).

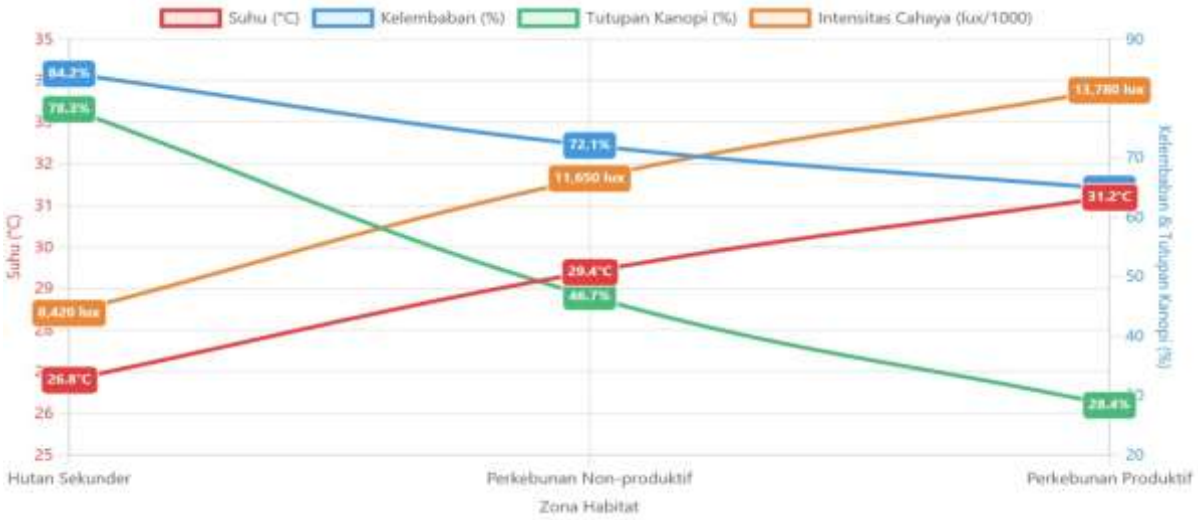
2. Parameter Lingkungan Abiotik

Pengukuran parameter abiotik menunjukkan gradien yang jelas antar zona konversi hutan (Tabel 2), dengan seluruh parameter berbeda signifikan antar zona (ANOVA, $p < 0,001$) yang dikonfirmasi oleh uji post-hoc Tukey HSD.

Tabel 2. Rata-rata parameter abiotik di tiga zona habitat (Mean ± SD). Huruf superscript berbeda menunjukkan perbedaan signifikan (Tukey HSD, $p < 0,05$)

Parameter	Hutan Sekunder	Perkebunan Non-produktif	Perkebunan Produktif	F-statistik	p-value
Suhu (°C)	26,8 ± 1,2^{a}	29,4 ± 1,8^{b}	31,2 ± 2,1^{c}	47,23	<0,001
Kelembaban (%)	84,2 ± 3,4^{a}	72,1 ± 4,2^{b}	64,8 ± 5,1^{c}	152,67	<0,001
Tutupan Kanopi (%)	78,3 ± 6,2^{a}	46,7 ± 8,9^{b}	28,4 ± 7,3^{c}	298,45	<0,001
Intensitas Cahaya (lux)	8.420 ± 1.180^{a}	11.650 ± 1.540^{b}	13.780 ± 1.890^{c}	89,34	<0,001

E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 395-406
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026



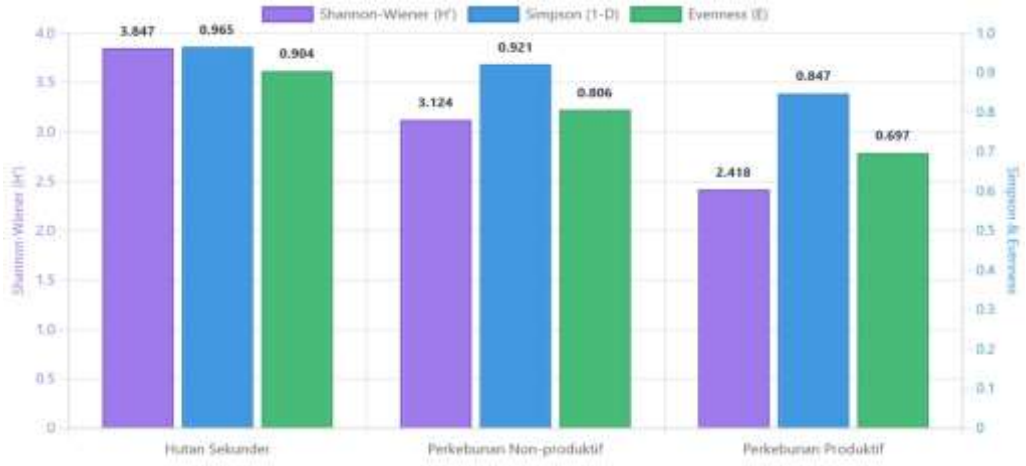
Gambar 2. Perbedaan parameter lingkungan abiotik antar zona

3. Indeks Keanekaragaman dan Struktur Komunitas

Indeks keanekaragaman menurun konsisten sepanjang gradien konversi (Tabel 3). Uji ANOVA menunjukkan perbedaan signifikan indeks Shannon-Wiener antar zona ($F_{2,33}$ = 187,42, $p < 0,001$), dan uji Tukey HSD mengkonfirmasi bahwa setiap zona berbeda signifikan satu sama lain.

Tabel 3. Indeks keanekaragaman kupu-kupu Papilionoidea di tiga zona habitat. S = kekayaan spesies, N = kelimpahan, H' = Shannon-Wiener, 1-D = Simpson, E = evenness, Dmg = Margalef

Zona Habitat	S	N	H'	1-D	E	Dmg
Hutan Sekunder	70	542	3,847 ± 0,12^{a}	0,965 ± 0,008^{a}	0,904 ± 0,021^{a}	10,87 ± 0,34^{a}
Perkebunan Non-produktif	48	385	3,124 ± 0,18^{b}	0,921 ± 0,015^{b}	0,806 ± 0,031^{b}	7,86 ± 0,28^{b}
Perkebunan Produktif	32	320	2,418 ± 0,21^{c}	0,847 ± 0,023^{c}	0,697 ± 0,038^{c}	5,34 ± 0,31^{c}



Gambar 3. Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener

4. Hubungan Parameter Abiotik dengan Keanekaragaman

Matriks korelasi Pearson (Tabel 4) menunjukkan tutupan kanopi memiliki korelasi positif terkuat dengan keanekaragaman (r = +0,967; p < 0,01), diikuti kelembaban (r = +0,956), sedangkan suhu dan intensitas cahaya berkorelasi negatif (r = -0,943 dan r = -0,921).

Tabel 4. Matriks korelasi Pearson antara parameter abiotik dan indeks keanekaragaman (** p < 0,01)

Parameter	H'	1-D	E	Dmg
Suhu	-0,943**	-0,887**	-0,765**	-0,892**
Kelembaban	0,956**	0,921**	0,823**	0,934**
Tutupan Kanopi	0,967**	0,934**	0,856**	0,945**
Intensitas Cahaya	-0,921**	-0,876**	-0,743**	-0,883**

Model regresi linear berganda terbaik untuk memprediksi indeks Shannon-Wiener adalah:

$$H' = 5{,}234 - 0{,}089(\text{Suhu}) + 0{,}023(\text{Kelembaban}) + 0{,}012(\text{Tutupan Kanopi}) - 0{,}0003(\text{Intensitas Cahaya})$$

dengan R^2 = 0,967, Adjusted R^2 = 0,956, $F_{4,31}$ = 228,47 ($p < 0,001$), dan RMSE = 0,089. Seluruh koefisien signifikan pada $p < 0,001$: suhu (t = -12,34), kelembaban (t = 8,67), tutupan kanopi (t = 11,89), dan intensitas cahaya (t = -7,43).

5. Analisis Komponen Utama dan Ordination

Analisis PCA terhadap parameter abiotik menghasilkan dua komponen utama yang menjelaskan 94,7% total varians (PC1 = 85,5%, PC2 = 9,2%). PC1 merepresentasikan gradien "kualitas habitat", dengan tutupan kanopi dan kelembaban berkorelasi positif, sedangkan suhu dan intensitas cahaya berkorelasi negatif. Analisis NMDS (stress = 0,089) menunjukkan pemisahan yang jelas antara komunitas kupu-kupu di tiga zona habitat, dengan zona hutan sekunder mengelompok terpisah dari zona yang terdegradasi, menegaskan perbedaan komposisi spesies yang nyata.

PEMBAHASAN

1. Pola Penurunan Keanekaragaman dan Perubahan Komposisi Fungsional

Keanekaragaman menurun konsisten sepanjang gradien konversi hutan: indeks Shannon-Wiener turun 37,1% dari 3,847 di hutan sekunder menjadi 2,418 di perkebunan produktif, sejalan dengan temuan Daawia & Dianingsih (2023) yang melaporkan penurunan 40-53% spesies kupu-kupu akibat konversi hutan menjadi perkebunan sawit di Keerom. Penurunan indeks kemerataan (E) dari 0,904 menjadi 0,697 menunjukkan homogenisasi komunitas, di mana spesies generalis mendominasi habitat terdegradasi (Clavel et al., 2011). Komposisi komunitas bergeser dari spesies spesialis hutan (Troides helena, Ornithoptera priamus) menjadi spesies generalis yang toleran terhadap gangguan (Catopsilia pomona, Eurema hecabe), mengindikasikan functional homogenization sebagaimana dijelaskan Solar et al. (2015) dalam konteks fragmentasi hutan tropis.

2. Parameter Abiotik sebagai Driver Perubahan Komunitas

Korelasi negatif yang sangat kuat antara suhu dan keanekaragaman (r = -0,943) menunjukkan bahwa peningkatan suhu merupakan faktor pembatas utama. Kenaikan suhu dari 26,8°C di hutan sekunder menjadi 31,2°C di perkebunan produktif melampaui toleransi termal banyak spesies tropikal yang beradaptasi dengan mikroklimat hutan yang sejuk (Clavel et al., 2011; Deutsch et al., 2008), sejalan dengan temuan Koh & Wilcove (2008) bahwa kupu-kupu hutan tropis memiliki rentang toleransi suhu yang sempit.

Penurunan kelembaban dari 84,2% menjadi 64,8% turut menciptakan stres fisiologis, mengingat kelembaban tinggi penting bagi thermoregulasi dan pencegahan desiccation (Johnson et al., 2016), yang dikonfirmasi oleh korelasi positif kuat antara kelembaban dan keanekaragaman (r = 0,956). Tutupan kanopi berperan sebagai moderator utama kondisi mikroklimat - penurunannya dari 78,3% menjadi 28,4% meningkatkan suhu, menurunkan kelembaban, dan mengubah struktur vertikal habitat yang penting bagi stratifikasi spesies kupu-kupu (Schulze et al., 2004).

3. Model Prediktif dan Threshold Kritis untuk Konservasi

Model regresi yang dikembangkan (R^2 = 0,967) menunjukkan bahwa parameter abiotik dapat memprediksi keanekaragaman dengan akurasi tinggi, sehingga dapat digunakan untuk memprediksi dampak konversi lahan, mengidentifikasi threshold kritis, dan mengevaluasi efektivitas restorasi habitat. Threshold kritis untuk mempertahankan keanekaragaman tinggi adalah tutupan kanopi >60%, kelembaban >75%, suhu <29°C, dan intensitas cahaya <10.000 lux.

4. Kupu-kupu sebagai Bioindikator dan Strategi Konservasi

Penelitian ini mengkonfirmasi bahwa kupu-kupu Papilionoidea merupakan bioindikator yang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, dengan respons cepat terhadap degradasi habitat yang memungkinkan deteksi dini sebelum dampak yang lebih luas terjadi (Thomas, 2005). Beberapa spesies berpotensi sebagai indikator

spesifik: Troides helena dan Ornithoptera priamus sebagai indikator hutan utuh, Graphium agamemnon dan Papilio ulysses sebagai indikator degradasi ringan, serta Catopsilia pomona dan Eurema hecabe sebagai indikator degradasi berat.

Temuan ini menekankan pentingnya mempertahankan koridor hutan untuk menghubungkan patch habitat yang terfragmentasi, mempertahankan mikroklimat yang diperlukan spesies sensitif, dan memfasilitasi dispersal antar populasi (Harvey et al., 2008). Program restorasi sebaiknya fokus pada pemulihan parameter abiotik kunci, misalnya penanaman pohon penaung untuk menurunkan suhu dan meningkatkan kelembaban, pemilihan spesies pohon yang cepat membentuk kanopi tertutup, serta pengelolaan intensitas cahaya melalui stratifikasi vegetasi.

5. Keterbatasan dan Rekomendasi Penelitian Lanjutan

Penelitian ini dilakukan dalam satu musim (Februari-Juni 2025) sehingga belum menangkap variasi musiman penuh dalam komunitas kupu-kupu. Penelitian lanjutan yang direkomendasikan meliputi studi longitudinal untuk memahami trajectory recovery komunitas, penelitian genetika populasi untuk mengkaji dampak fragmentasi terhadap aliran gen, analisis jejaring interaksi kupu-kupu-tanaman inang untuk memahami cascading effects, serta pengembangan protokol monitoring berbasis teknologi seperti environmental DNA dan bioacoustics.

KESIMPULAN

Penelitian ini memberikan bukti empiris yang kuat bahwa degradasi lingkungan abiotik akibat konversi hutan berdampak signifikan terhadap keanekaragaman kupu-kupu Papilionoidea di Kabupaten Keerom, Papua. Hasil penelitian menunjukkan penurunan keanekaragaman yang konsisten sepanjang gradien konversi hutan, dengan indeks Shannon-Wiener menurun 37,1% dari 3,847 di hutan sekunder menjadi 2,418 di perkebunan produktif, sementara 12 spesies endemik Papua hanya ditemukan di zona hutan sekunder. Parameter abiotik, khususnya tutupan kanopi (r = +0,967), kelembaban

(r = +0,956), dan suhu (r = -0,943), terbukti berperan sebagai driver utama perubahan struktur komunitas kupu-kupu dengan korelasi yang sangat kuat dan signifikan (p < 0,001).

Model regresi linear berganda yang dikembangkan mampu memprediksi keanekaragaman dengan akurasi tinggi (R^2 = 0,967) dan mengidentifikasi threshold kritis untuk konservasi, yaitu tutupan kanopi >60%, kelembaban >75%, dan suhu <29°C. Temuan ini mengkonfirmasi bahwa kupu-kupu Papilionoidea merupakan bioindikator yang sangat sensitif terhadap degradasi habitat, sehingga model prediktif yang dihasilkan dapat digunakan sebagai alat bantu yang efektif dalam perencanaan konservasi keanekaragaman hayati dan manajemen lanskap berkelanjutan di kawasan tropis, khususnya dalam mengantisipasi dampak negatif konversi hutan menjadi perkebunan kelapa sawit di Papua.

DAFTAR PUSTAKA

Asfiya, W., Narakusumo, R. P., Winara, A., Dwibadra, D., Darmawan, Sarino, Budiasih, Y., Ruswandi, A., Samsudin, D. A., Peggie, D., Sutadian, A. D., & Gunawan, H. (2023). Functional and Species Diversity of Butterflies in Relationship to Vegetation Cover of Kiarapayung Biodiversity Park, West Java, Indonesia (Vol. 1). Atlantis Press International BV. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-166-1_52

Chokkalingam, U., & De Jong, W. (2001). Secondary forest: A working definition and typology. International Forestry Review, 3(1), 19-26.

Clavel, J., Julliard, R., & Devictor, V. (2011). Worldwide decline of specialist species: Toward a global functional homogenization? Frontiers in Ecology and the Environment, 9(4), 222-228. https://doi.org/10.1890/080216

Comay, O., Ben Yehuda, O., Schwartz-Tzachor, R., Benyamini, D., Pe'er, I., Ktalav, I., & Pe'er, G. (2021). Environmental controls on butterfly occurrence and species richness in Israel: The importance of temperature over rainfall. Ecology and Evolution, 11(17), 12035-12050. https://doi.org/10.1002/ece3.7969

Cordero, R. D., & Jackson, D. A. (2019). Species-pair associations, null models, and tests of mechanisms structuring ecological communities. Ecosphere, 10(7). https://doi.org/10.1002/ecs2.2796

Daawia, D., & Dianingsih, N. (2023). Dampak Konversi Hutan Menjadi Perkebunan Kelapa Sawit Terhadap Keanekaragaman dan Kelimpahan Kupu-kupu Superfamili Papilionoidea. Jurnal Biologi Papua, 15(1), 28-38. https://doi.org/10.31957/jbp.2680

De Castro Solar, R. R., Barlow, J., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A. C., Thomson, J. R., Louzada, J., Maúés, M., Moura, N. G., Oliveira, V. H. F., Chaul, J. C. M., Schoereder, J. H., Vieira, I. C. G., Mac Nally, R., & Gardner, T. A. (2015). How pervasive is biotic homogenization in human-modified tropical forest landscapes? Ecology Letters, 18(10), 1108-1118. https://doi.org/10.1111/ele.12494

Depraz, E., Tan, M. K., Rahandra, E. F., Ramandey, E. R. P. F., Daawia, & Robillard, T. (2024). Taxonomy and calling songs of some species of Cardiodactylus (Gryllidae, Eneopterinae, Lebinthini) from New Guinea. Zootaxa, 5551(2), 242-262. https://doi.org/10.11646/zootaxa.5551.2.2

Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C., & Martin, P. R. (2008). Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 105(18), 6668-6672. https://doi.org/10.1073/pnas.0709472105

Harvey, C. A., Komar, O., Chazdon, R., Ferguson, B. G., Finegan, B., Griffith, D. M., Martínez-Ramos, M., Morales, H., Nigh, R., Soto-Pinto, L., Van Breugel, M., & Wishnie, M. (2008). Integrating agricultural landscapes with biodiversity conservation in the Mesoamerican hotspot. Conservation Biology, 22(1), 8-15. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00863.x

Johnson, C. A., Coutinho, R. M., Berlin, E., Dolphin, K. E., Heyer, J., Kim, B., Leung, A., Sabellon, J. Lou, & Amarasekare, P. (2016). Effects of temperature and resource variation on insect population dynamics: the bordered plant bug as a case study. Functional Ecology, 30(7), 1122-1131. https://doi.org/10.1111/1365-2435.12583

Koh, L. P., & Wilcove, D. S. (2008). Is oil palm agriculture really destroying tropical biodiversity? Conservation Letters, 1(2), 60-64. https://doi.org/10.1111/j.1755-263x.2008.00011.x

Kormos, C. (2018). OBSOLETE: Primary Forest: definition, status and future prospects for global conservation. In Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.09711-6

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

Roy, U. S., Mukherjee, M., & Mukhopadhyay, S. K. (2013). Butterfly diversity and abundance with reference to habitat heterogeneity in and around Neora Valley National Park, West Bengal, India. Our Nature, 10(1), 53-60. https://doi.org/10.3126/on.v10i1.7751

Rumayomi, N. A. A., Murdjoko, A., Ungirwalu, A., Mulyadi, & Hendrik Benu, N. M. (2024). Species Richness and Diversity in Secondary Lowland Forest, Bintuni, Bird's Head Peninsula, West Papua, Indonesia. Jurnal Manajemen Hutan Tropika, 30(2), 295-304. https://doi.org/10.7226/jtfm.30.2.295

Schulze, C. H., Waltert, M., Kessler, P. J. A., Pitopang, R., Shahabuddin, Veddeler, D., Mühlenberg, M., Gradstein, S. R., Leuschner, C., Steffan-Dewenter, I., & Tscharntke, T. (2004). Biodiversity indicator groups of tropical land-use systems: Comparing plants, birds, and insects. Ecological Applications, 14(5), 1321-1333. https://doi.org/10.1890/02-5409

Swaay, C. van, Brereton, T., Kirkland, P., & Warren, M. (2012). Manual for Butterfly Monitoring. Report VS2012.010. May 2014.

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

Wardhaugh, C. W., Stone, M. J., & Stork, N. E. (2018). Seasonal variation in a diverse beetle assemblage along two elevational gradients in the Australian Wet Tropics. Scientific Reports, 8(1), 1-12. https://doi.org/10.1038/s41598-018-26216-8

Warikar, E. L. (2021). Keragaman Jenis Kupu-Kupu Superfamili Papilionoidae di Hutan Desa Kampung Ubadari, Fakfak dan Sekitarnya. Igya Ser Hanjop: Jurnal Pembangunan Berkelanjutan, 3(2), 127-137. https://doi.org/10.47039/ish.3.2021.127-137