

Struktur Komunitas dan Keanekaragaman Odonata pada Area Revegetasi Tambang PT Berau Coal di Kalimantan Timur

Yaya Rayadin^{1,2*}, Deba Oktaviansyah Putra Baharudin^{1,3}, Ifdhal Ahdiyaka¹, Sidik Robi Mardiana¹, Adinanda Azhari^{1,2}, Indra Hadiyana¹, dan Herlan Pradesta¹

¹Ecology and Conservation Center for Tropical Studies, Indonesia; e-mail: yaya.rayadin99@gmail.com

²Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Tropis Universitas Mulawarman, Indonesia.

³Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Fakultas Pascasarjana, Universitas Mulawarman, Indonesia

ABSTRAK

Reklamasi pascatambang membentuk habitat dengan kondisi yang berubah sepanjang perkembangan revegetasi, dan Odonata berpotensi digunakan sebagai indikator respons ekologis terhadap perubahan tersebut. Penelitian ini bertujuan menilai keanekaragaman, kelimpahan, dan komposisi komunitas Odonata pada kelompok revegetasi 2–4 tahun, 5–7 tahun, ≥8 tahun, dan hutan alam pada tiga site PT Berau Coal di Kalimantan Timur. Survei Odonata dewasa dilakukan pada 36 plot menggunakan metode pencarian aktif dengan upaya pengamatan yang distandardisasi. Sebanyak 920 individu dari 44 spesies tercatat selama penelitian. Jumlah individu meningkat dari 75 pada revegetasi 2–4 tahun menjadi 183 pada 5–7 tahun, 310 pada ≥8 tahun, dan 352 pada hutan alam, sedangkan kekayaan spesies meningkat berturut-turut dari 16 menjadi 27, 36, dan 44 spesies. Keanekaragaman Shannon juga meningkat dari $1,66 \pm 0,27$ pada revegetasi 2–4 tahun menjadi $3,19 \pm 0,11$ pada hutan alam. Komposisi komunitas berbeda sepanjang gradien umur revegetasi, dengan kelompok umur menjelaskan proporsi variasi yang lebih besar ($R^2 = 0,4139$; $p = 0,0001$) dibandingkan lokasi. Secara keseluruhan, kategori revegetasi yang lebih tua menunjukkan kelimpahan dan keanekaragaman Odonata yang lebih tinggi serta perubahan komposisi komunitas dibandingkan revegetasi muda. Hasil ini mendukung potensi Odonata sebagai komponen pemantauan ekologis dalam evaluasi perkembangan habitat pada kawasan reklamasi pascatambang.

Kata kunci: Habitat, Indikator, Kronosekuen, Odonata, Reklamasi Pascatambang

ABSTRACT

Post-mining reclamation creates habitats that change progressively as revegetation develops, and Odonata have potential as indicators of ecological responses to these changes. This study aimed to assess Odonata diversity, abundance, and community composition across 2–4-year, 5–7-year, and ≥8-year revegetation groups and natural forest at three PT Berau Coal sites in East Kalimantan, Indonesia. Adult Odonata were surveyed in 36 plots using standardized active-search methods. A total of 920 individuals representing 44 species were recorded. Abundance increased from 75 individuals in 2–4-year revegetation to 183 in 5–7-year revegetation, 310 in ≥8-year revegetation, and 352 in natural forest, while species richness increased from 16 to 27, 36, and 44 species, respectively. Shannon diversity also increased from 1.66 ± 0.27 in 2–4-year revegetation to 3.19 ± 0.11 in natural forest. Community composition differed along the revegetation-age gradient, with revegetation group explaining a larger proportion of variation ($R^2 = 0.4139$; $p = 0.0001$) than site. Overall, older revegetation categories supported higher Odonata abundance and diversity and showed distinct shifts in community composition compared with younger revegetation. These findings support the potential use of Odonata as a component of ecological monitoring for evaluating habitat development in post-mining reclamation areas.

Keywords: Habitat, Indicator, Chronosequence, Odonata, Post-mining reclamation

Citation: Rayadin, Y., Baharudin, D. O. P., Ahdiyaka, I., Mardiana, S. R., Azhari, A., Hadiyana, I., dan Pradesta, H. (2026). Struktur Komunitas dan Keanekaragaman Odonata pada Area Revegetasi Tambang PT Berau Coal di Kalimantan Timur. Jurnal Ilmu Lingkungan, 24(5), 1247-1259, doi:10.14710/jil.24.5.1247-1259

1. PENDAHULUAN

Reklamasi dan pascatambang pada pertambangan mineral dan batubara merupakan kewajiban untuk menata kembali lahan terganggu dan memulihkan fungsi lingkungan (PP No. 78 Tahun 2010). Namun, penilaian keberhasilan reklamasi di lapangan masih

kerap bertumpu pada indikator fisik-teknis (misalnya stabilitas lahan, tutupan vegetasi, dan kelangsungan tanaman), sehingga pemulihan yang tampak “baik” secara visual belum tentu mencerminkan pulihnya fungsi ekosistem secara menyeluruh (Aipassa, 2024). Sejumlah evaluasi revegetasi di Indonesia

menegaskan bahwa kualitas tapak dan praktik pengelolaan memengaruhi capaian reklamasi, sehingga diperlukan indikator tambahan yang merekam respon ekologis, bukan hanya pemenuhan administrasi (Fathurrahman et al., 2023).

Di lahan reklamasi, pematangan habitat berlangsung bertahap seiring bertambahnya umur revegetasi. Perubahan struktur vegetasi dan komposisinya pada berbagai umur revegetasi telah didokumentasikan di Kalimantan Timur dan menunjukkan bahwa kondisi habitat berkembang progresif menuju struktur yang lebih kompleks (Harsono et al., 2024). Selain itu, revegetasi juga berkaitan dengan perubahan kondisi mikroklimat (misalnya suhu dan kelembapan) yang dapat memengaruhi organisme yang sensitif terhadap stabilitas mikrohabitat dan heterogenitas ruang (Putri et al., 2018). Karena itu, pemantauan biota yang responsif terhadap perubahan struktur habitat dan kondisi mikrohabitat menjadi penting untuk menilai arah pemulihan ekologis pada gradien umur revegetasi.

Odonata (capung dan capung jarum) relevan sebagai bioindikator karena siklus hidupnya mengintegrasikan dua kompartemen habitat: nimfa bergantung pada kondisi perairan, sedangkan fase dewasa dipengaruhi kuat oleh struktur riparian/tepi perairan seperti naungan, ketersediaan tempat bertengger, ruang terbang, dan lokasi reproduksi (Nisita et al., 2020). Perbedaan kondisi lingkungan dan tipe habitat perairan terbukti berkorelasi dengan variasi kelimpahan dan kekayaan jenis Odonata, sehingga perubahan habitat sepanjang revegetasi berpeluang tercermin pada metrik komunitasnya (Yuditaningtyas et al., 2022). Pada skala tapak, Odonata juga sering digunakan untuk menggambarkan kualitas habitat tepi sungai atau perairan melalui perubahan struktur komunitas (Prayoga, 2025; Basyari, 2025).

Kajian Odonata pada lanskap pascatambang menunjukkan bahwa habitat perairan sekunder dapat mendukung komunitas yang beragam, tetapi kekayaan dan komposisi spesiesnya dipengaruhi oleh karakter habitat serta perkembangan suksesi pascatambang (Harabiš, 2016; Poskočilová et al., 2024). Di Indonesia, kajian Odonata pada kawasan pertambangan masih relatif terbatas. Alita et al. (2024), misalnya, mengkaji keanekaragaman Odonata pada kawasan reklamasi bekas tambang timah di Bangka yang telah berumur sekitar 16 tahun, sedangkan Rachmawati et al. (2023) mengevaluasi komunitas Odonata sebagai indikator kondisi ekologis sungai yang dipengaruhi aktivitas pertambangan batubara di Sumatera Selatan. Namun, informasi mengenai perubahan struktur komunitas Odonata pada beberapa tahap umur revegetasi dalam satu lanskap reklamasi pertambangan batubara tropis masih terbatas.

Penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut melalui pendekatan kronosekuen multisite yang

membandingkan komunitas Odonata pada revegetasi berumur 2–4 tahun, 5–7 tahun, dan ≥ 8 tahun dengan hutan alam pada tiga site pertambangan batubara di Kalimantan Timur. Berbeda dengan kajian yang terutama mendeskripsikan keanekaragaman pada satu kondisi reklamasi atau mengevaluasi habitat perairan yang terdampak pertambangan, penelitian ini mengintegrasikan metrik keanekaragaman alfa dengan analisis multivariat komposisi komunitas untuk mengevaluasi pola perubahan komunitas sepanjang gradien umur revegetasi.

Berdasarkan perkembangan struktur habitat sepanjang revegetasi serta respons komunitas Odonata terhadap tahap suksesi dan struktur habitat (French & McCauley, 2018; Harsono et al., 2024; Kolář et al., 2021), kami mengharapkan adanya pola perubahan komunitas sepanjang gradien umur revegetasi. Area revegetasi muda (2–4 tahun) diperkirakan memiliki kekayaan dan keanekaragaman spesies yang lebih rendah serta lebih banyak didominasi oleh spesies generalis yang mampu memanfaatkan habitat terbuka. Seiring meningkatnya umur revegetasi, kekayaan dan keanekaragaman Odonata diperkirakan meningkat dan komposisi komunitas bergeser menuju komunitas yang lebih beragam. Pada revegetasi lanjut (≥ 8 tahun), karakter keanekaragaman komunitas diperkirakan semakin mendekati hutan alam, meskipun komposisi spesiesnya belum tentu sepenuhnya serupa dengan kondisi rujukan.

Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah menilai keanekaragaman, kelimpahan, dan perubahan komposisi komunitas Odonata sepanjang gradien umur revegetasi (2–4 tahun, 5–7 tahun, ≥ 8 tahun) serta hutan alam pada tiga site PT Berau Coal (Binungan, Sambarata, dan Lati), serta mengidentifikasi spesies pendorong perbedaan antar tahap revegetasi.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 2 bulan, yaitu pada September–Oktober 2025, pada areal reklamasi pascatambang PT Berau Coal di Kabupaten Berau, Kalimantan Timur, mencakup tiga site operasional: Binungan (B), Sambarata (S), dan Lati (L). Unit pengamatan mewakili tahapan umur reklamasi/revegetasi yang dikelompokkan menjadi 2–4 tahun, 5–7 tahun, ≥ 8 tahun, serta hutan alam sebagai pembanding. Peta lokasi serta sebaran titik/plot pengamatan disajikan pada Gambar 1.

2.2. Prosedur Penelitian

Penelitian menggunakan rancangan kronosekuen (*chronosequence*) untuk membandingkan komunitas Odonata pada kelompok revegetasi 2–4 tahun, 5–7 tahun, ≥ 8 tahun, dan hutan alam sebagai kondisi rujukan. Pengamatan dilakukan pada tiga site operasional PT Berau Coal, yaitu Binungan (B), Sambarata (S), dan Lati (L). Pada setiap site, masing-

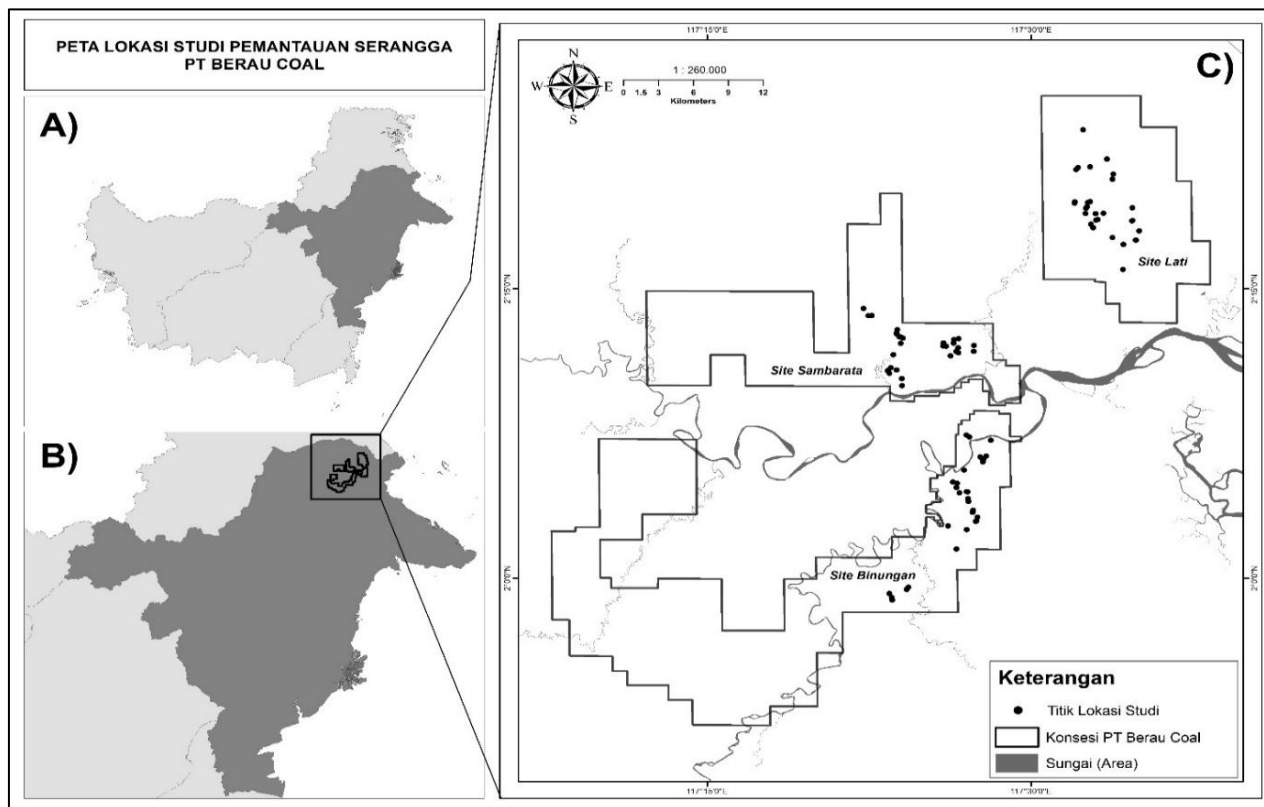
masing umur tanam diwakili oleh satu plot pengamatan. Kelompok 2–4 tahun terdiri atas plot umur 2, 3, dan 4 tahun; kelompok 5–7 tahun terdiri atas plot umur 5, 6, dan 7 tahun; sedangkan kelompok ≥ 8 tahun dalam penelitian ini terdiri atas plot umur 8, 9, dan 10 tahun. Dengan demikian, setiap kelompok umur memiliki tiga plot pada setiap site atau sembilan plot pada keseluruhan tiga site. Hutan alam juga diwakili oleh tiga plot pada setiap site, sehingga secara keseluruhan terdapat 36 plot pengamatan. Setiap plot memiliki jalur pengamatan sepanjang 100 m dengan lebar 10 m ($\pm 1.000 \text{ m}^2$). Hutan alam digunakan sebagai kondisi rujukan untuk mewakili habitat dengan struktur vegetasi alami yang lebih matang. Karakter habitat akuatik bervariasi antarunit pengamatan; pada beberapa area revegetasi, habitat akuatik berupa genangan atau kubangan sementara. Unit pengamatan pada setiap kelompok umur merupakan lokasi yang berbeda secara spasial dan digunakan sebagai representasi tahapan revegetasi dalam pendekatan kronosekuen (*space-for-time substitution*).

2.3. Prosedur Pengambilan Data

Pengambilan data Odonata dilakukan pada unit pengamatan yang mewakili empat kelompok habitat, yaitu revegetasi 2–4 tahun, 5–7 tahun, ≥ 8 tahun, dan hutan alam pada masing-masing site Binungan (B), Sambarata (S), dan Lati (L). Survei difokuskan pada Odonata fase dewasa menggunakan metode pencarian aktif/*visual encounter survey* (VES). Pada

setiap unit pengamatan, survei dilakukan sepanjang jalur 100 m dengan lebar pengamatan 10 m selama 60 menit oleh dua orang pengamat. Enam orang pengamat dibagi menjadi tiga tim, masing-masing terdiri atas dua orang. Setiap unit pengamatan dikunjungi sebanyak dua kali selama periode penelitian. Upaya pengamatan distandardisasi antarunit melalui penggunaan panjang dan lebar jalur, durasi pengamatan, jumlah pengamat, serta frekuensi kunjungan yang sama. Pengamatan dilakukan pada kondisi cuaca cerah dalam rentang operasional 08.00–17.00 WITA. Pengendalian kondisi cuaca dilakukan karena aktivitas dan keterdeteksian Odonata dewasa dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan waktu pengamatan (Pearce-Higgins & Chandler, 2020). Seluruh individu yang teramati dicatat berdasarkan spesies dan jumlah individu pada setiap unit pengamatan serta didukung dokumentasi foto untuk verifikasi identifikasi.

Sampel/rekaman Odonata yang teramati kemudian diklasifikasikan dan diidentifikasi, dan komposisi serta jumlah spesies dicatat pada setiap plot. Klasifikasi dan identifikasi mengacu pada Orr (2003) (*A Guide to the Dragonflies of Borneo: Their Identification and Biology*), serta pembaruan taksonomi dan sebaran regional melalui Dow et al. (2022) (*Revised checklist of the Odonata of Borneo*) dan Dow et al. (2024) (*Checklist Odonata of Sundaland & Wallacea*). Untuk mendukung verifikasi identifikasi berbasis foto dan perbandingan karakter morfologi, observasi juga ditelaah menggunakan iNaturalist.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Odonata di Area PT Berau Coal, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur

2.4. Analisis Data

Seluruh analisis dilakukan pada tingkat plot menggunakan R 4.5.0. Data komunitas disusun sebagai matriks plot $\times$ spesies (kelimpahan), kemudian dihitung ukuran keanekaragaman alfa dan ketidakmiripan komposisi antar plot. Analisis komunitas (Bray–Curtis, PERMANOVA/PERMDISP, dan SIMPER) dilakukan dengan fungsi-fungsi standar dalam paket vegan. (Oksanen et al., 2025).

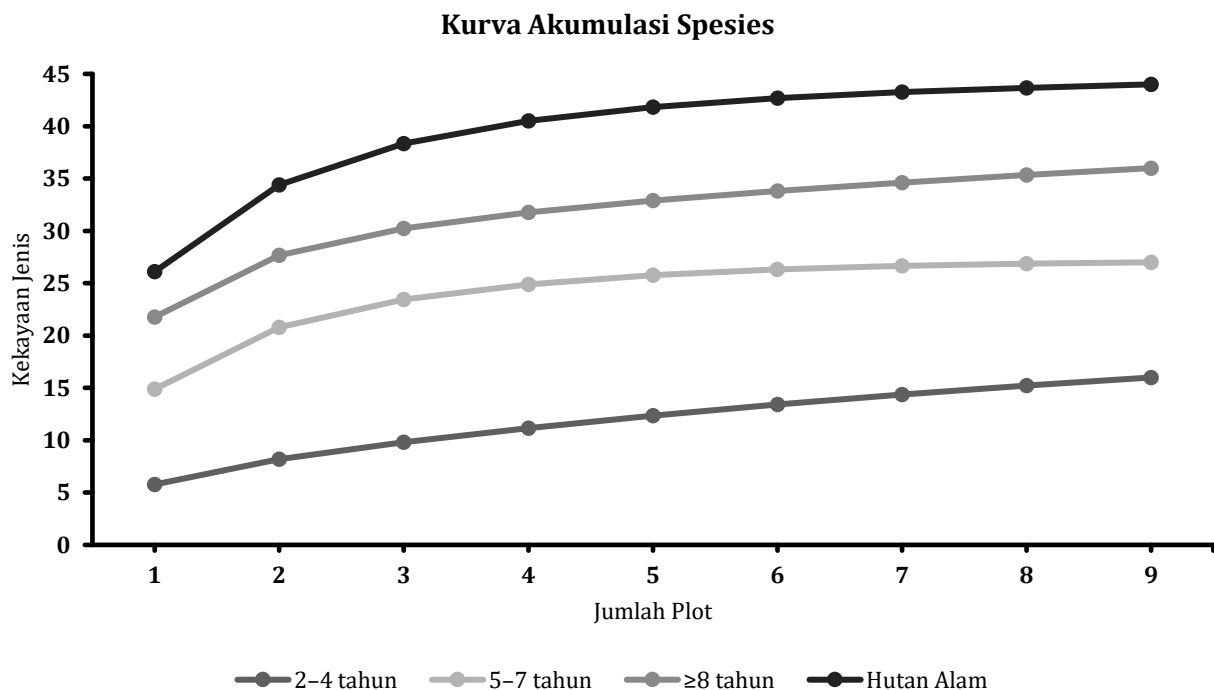
Keanekaragaman alfa dihitung per plot menggunakan indeks Shannon–Wiener (H'), Pielou's evenness (J), Simpson ($1-D$), dan Margalef (d). Perbedaan antar kelompok umur revegetasi diuji dengan Kruskal–Wallis, kemudian dilanjutkan uji pasangan Dunn. Nilai p uji pasangan dikoreksi menggunakan Benjamini–Hochberg (BH/FDR) untuk mengendalikan *false discovery rate*. (Dunn, 1964; Benjamini & Hochberg, 1995).

Kecukupan upaya sampling dievaluasi menggunakan kurva akumulasi spesies berbasis sampel (*sample-based species accumulation curve*) pada masing-masing kelompok habitat. Plot digunakan sebagai unit sampling, dengan sembilan plot pada setiap kelompok habitat. Pada setiap jumlah plot (1–9), kekayaan spesies yang diharapkan dihitung berdasarkan rerata kekayaan spesies dari seluruh kombinasi plot yang mungkin. Kecenderungan pelandaian kurva pada bagian akhir digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana

penambahan unit sampling masih menghasilkan penambahan spesies baru.

Perbedaan komposisi komunitas antar plot dianalisis menggunakan dissimilarity Bray–Curtis dari data kelimpahan (Bray & Curtis, 1957). Pengaruh kelompok umur revegetasi (Group) dan lokasi (Site) terhadap komposisi komunitas diuji menggunakan PERMANOVA berbasis permutasi dengan efek marginal (*adonis2*, *by* = "margin"), dan dilaporkan sebagai nilai R^2 serta signifikansi (Anderson, 2001). Perbedaan spesifik antar tingkat faktor diuji lebih lanjut melalui pairwise PERMANOVA untuk (i) antar kelompok umur revegetasi dan (ii) antar lokasi, dengan nilai p yang dikoreksi menggunakan Benjamini–Hochberg (BH/FDR) (Benjamini & Hochberg, 1995). PERMDISP. Homogenitas dispersi multivariat antar kelompok umur diuji menggunakan PERMDISP berbasis jarak Bray–Curtis untuk memastikan bahwa perbedaan yang terdeteksi oleh PERMANOVA tidak didorong oleh perbedaan sebaran/variabilitas dalam kelompok (Anderson, 2006).

Spesies yang paling berkontribusi terhadap ketidakmiripan komposisi antar kelompok umur diidentifikasi menggunakan SIMPER (*Similarity Percentage analysis*) berbasis Bray–Curtis. Hasil disajikan sebagai spesies kontributor hingga kontribusi kumulatif 70% pada setiap perbandingan antar kelompok umur. (Clarke, 1993; Oksanen et al., 2025).



Gambar 2. Kurva Akumulasi Spesies Odonata Berdasarkan Jumlah Plot pada Kelompok Revegetasi 2–4 Tahun, 5–7 Tahun, ≥8 Tahun, dan Hutan Alam

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perubahan Struktur Komunitas Odonata Seiring Bertambahnya Umur Revegetasi

Selama penelitian ini, kami mengumpulkan total 920 individu Odonata yang terdiri dari 44 spesies dalam 31 genus yang tercatat pada tiga site (Binungan, Sambarata, dan Lati). Secara keseluruhan, 75 individu dari 16 spesies tercatat pada revegetasi 2–4 tahun, 183 individu dari 27 spesies pada revegetasi 5–7 tahun, 310 individu dari 36 spesies pada revegetasi ≥ 8 tahun, dan 352 individu dari 44 spesies pada Hutan Alam (Tabel 1). Kurva akumulasi spesies (Gambar 2) menunjukkan kecenderungan melandai pada bagian akhir sampling pada seluruh kelompok habitat. Pada delapan dari sembilan plot, rerata kekayaan spesies yang diharapkan telah mencapai 15,22 spesies pada revegetasi 2–4 tahun, 26,89

spesies pada revegetasi 5–7 tahun, 35,33 spesies pada revegetasi ≥ 8 tahun, dan 43,67 spesies pada hutan alam, setara dengan masing-masing 95,1%, 99,6%, 98,1%, dan 99,2% dari kekayaan yang tercatat setelah seluruh sembilan plot disertakan. Pola ini menunjukkan bahwa penambahan unit sampling pada bagian akhir menghasilkan tambahan spesies yang relatif kecil, meskipun pelandaian pada revegetasi 2–4 tahun berlangsung lebih lambat dibandingkan kelompok lainnya. Secara umum, struktur komunitas memperlihatkan adanya spesies-spesies yang muncul luas pada berbagai tahap revegetasi, disertai kemunculan taksa lain yang lebih terbatas pada tahap tertentu, sehingga membentuk gradien perubahan komunitas dari revegetasi muda menuju revegetasi tua dan Hutan Alam.

Tabel 1. Distribusi Kelimpahan Spesies Odonata pada Tiap Tahap Umur Revegetasi dan Hutan Alam

No	Spesies	Tahap Revegetasi			Hutan Alam	Jumlah
		2-4 Tahun	5-7 Tahun	≥ 8 tahun		
1	<i>Agriocnemis femina</i> (Brauer, 1868)		8	11	6	25
2	<i>Agriocnemis pygmaea</i> (Rambur, 1842)		2	5	7	14
3	<i>Agrionoptera insignis</i> (Rambur, 1842)	4	10	11	9	34
4	<i>Archibasis viola</i> (Lieftinck, 1948)				4	4
5	<i>Brachydiplax chalybea</i> (Brauer, 1868)		5	8	12	25
6	<i>Camacinia gigantea</i> (Brauer, 1867)			1	11	12
7	<i>Ceriagrion cerinorubellum</i> (Brauer, 1865)	1	10	19	14	44
8	<i>Coeliccia nigrohamata</i> (Laidlaw, 1918)			4	6	10
9	<i>Copera marginipes</i> (Rambur, 1842)				1	1
10	<i>Copera vittata</i> (Selys, 1863)		2	15	16	33
11	<i>Cratilla lineata</i> (Brauer, 1878)			1	3	4
12	<i>Cratilla metallica</i> (Brauer, 1878)			1	2	3
13	<i>Diplacodes trivialis</i> (Rambur, 1842)	1	8	9	5	23
14	<i>Dysphaea dimidiata</i> (Selys, 1853)				10	10
15	<i>Elatoneura analis</i> (Selys, 1860)				1	1
16	<i>Epophthalmia vittigera</i> (Rambur, 1842)			1	5	6
17	<i>Euphaea impar</i> (Selys, 1859)	2	6	10	7	25
18	<i>Helioctypha biseriata</i> (Selys, 1859)			2	4	6
19	<i>Helioctypha fenestrata</i> (Burmeister, 1839)			2	7	9
20	<i>Ictinogomphus decoratus</i> (Selys, 1854)		6	12	10	28
21	<i>Libellago hyalina</i> (Selys, 1859)				7	7
22	<i>Macrodiplex cora</i> (Kaup in Brauer, 1867)		2	8	13	23
23	<i>Nannophya pygmaea</i> (Rambur, 1842)	1	9	12	13	35
24	<i>Neurothemis fluctuans</i> (Fabricius, 1793)	11	13	19	17	60
25	<i>Neurothemis ramburii</i> (Kaup, 1866)	12	12	11	15	50
26	<i>Neurothemis terminata</i> (Ris, 1911)	13	11	13	11	48
27	<i>Orchithemis pulcherrima</i> (Brauer, 1878)				3	3
28	<i>Orthetrum chrysis</i> (Selys, 1891)	2	6	16	13	37
29	<i>Orthetrum glaucum</i> (Brauer, 1865)	1	7	8	9	25
30	<i>Orthetrum sabina</i> (Drury, 1773)	11	14	16	10	51
31	<i>Orthetrum testaceum</i> (Burmeister, 1839)	9	14	16	10	49
32	<i>Pantala flavescens</i> (Fabricius, 1798)		5	9	5	19
33	<i>Pornothemis serrata</i> (Krüger, 1902)			1	4	5
34	<i>Pseudagrion lalakense</i> (Orr & van Tol, 2001)		2	3	6	11
35	<i>Pseudagrion microcephalum</i> (Rambur, 1842)	1	4	7	8	20
36	<i>Pseudagrion pilidorsum</i> (Brauer, 1868)		3	10	8	21
37	<i>Rhinocypha humeralis</i> (Selys, 1873)				6	6
38	<i>Rhodothemis rufa</i> (Rambur, 1842)		6	8	3	17
39	<i>Rhyothemis phyllis</i> (Sulzer, 1776)		2	7	2	11
40	<i>Rhyothemis triangularis</i> (Kirby, 1889)			6	9	15
41	<i>Trithemis aurora</i> (Burmeister, 1839)	2	6	9	11	28
42	<i>Trithemis festiva</i> (Rambur, 1842)	3	5	7	6	21
43	<i>Tyriobapta torrida</i> (Kirby, 1889)	1	5	12	13	31
44	<i>Vestalis amoena</i> (Selys, 1853)				10	10
Jumlah Jenis		16	27	36	44	44
Jumlah Individu		75	183	310	352	920

Struktur komunitas Odonata sepanjang gradien umur tanam memperlihatkan pola suksesi yang umum pada lanskap pascatambang: dari tahap revegetasi awal (2–4 tahun) yang cenderung lebih “sederhana” dan didominasi taksa berdaya sebar tinggi, menuju tahap menengah–lanjut (5–7 hingga ≥ 8 tahun) serta hutan alam yang menampung spektrum taksa lebih beragam. Pola ini umum pada habitat perairan buatan/termodifikasi, di mana komunitas pada fase suksesi awal cenderung didominasi spesies pionir dan generalis, sedangkan bertambahnya umur habitat dan kompleksitas tepi perairan membuka peluang hadirnya lebih banyak taksa dengan kebutuhan mikrohabitat yang lebih beragam (Kolář et al., 2021; Suárez-Tovar et al., 2023). Pada revegetasi 2–4 tahun, kondisi tapak umumnya masih lebih terbuka dan lebih berfluktuasi (mis. paparan cahaya, suhu/angin lokal, struktur tepi perairan yang belum stabil), sehingga komunitas lebih mudah “terkonsentrasi” pada spesies generalis yang toleran terhadap perubahan habitat. Salah satu contoh taksa yang lazim bertahan pada habitat termodifikasi adalah *Orthetrum sabina*, yang juga banyak tercatat pada gradien urbanisasi/habitat terganggu dan menunjukkan kemampuan memanfaatkan perairan terbuka serta tepian yang minim naungan (Jere et al., 2020; Worthen et al., 2021).

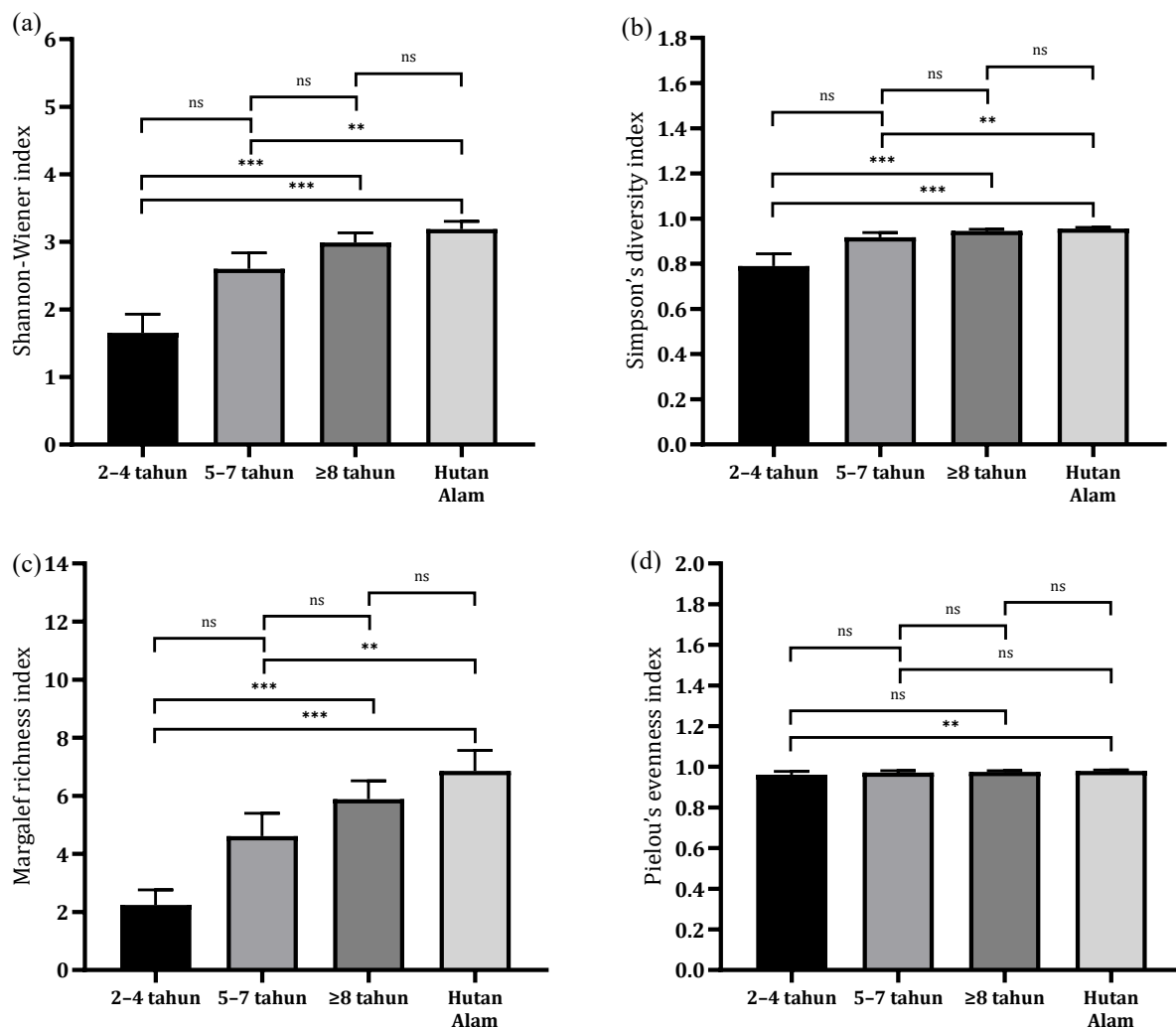
Seiring revegetasi menua (5–7 tahun hingga ≥ 8 tahun), pematangan vegetasi tepi dan meningkatnya heterogenitas mikrohabitat cenderung memperluas “ruang ekologi” yang bisa ditempati Odonata. Dalam konteks Odonata, perubahan ini penting karena struktur vegetasi dan tingkat naungan dapat menggeser keseimbangan antara taksa generalis perairan terbuka vs taksa yang lebih terkait dengan kondisi riparian/arus yang lebih stabil. Literatur menunjukkan bahwa berkurangnya vegetasi peneduh tepi sungai sering diikuti penurunan spesies hutan yang lebih spesialis dan peningkatan spesies generalis, sehingga arah pemulihan vegetasi riparian secara ekologis masuk akal bila diikuti pengayaan komposisi (Worthen et al., 2021). Pada tahap lanjut dan hutan alam, kemunculan/peningkatan kontribusi capung jarum tertentu misalnya *Dysphaea dimidiata* dan *Vestalis amoena* dapat dipahami sebagai sinyal bahwa elemen habitat bernaung dan struktur riparian yang lebih “matang” mulai tersedia, karena kedua spesies tersebut juga dilaporkan dari mosaik hutan dataran rendah Kalimantan dan diasosiasikan dengan

kondisi perairan mengalir serta karakter habitat yang dipengaruhi naungan/struktur vegetasi (Hendriks et al., 2023).

Secara komposisi, pergeseran struktur komunitas ini konsisten dengan sifat Odonata sebagai serangga “amfibi” larva berkembang di perairan, sedangkan dewasa sangat dipengaruhi kualitas zona riparian (tempat bertengger, jalur terbang, termoregulasi, dan arena reproduksi). Pola tersebut sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa perkembangan vegetasi riparian, stabilisasi tepian perairan (litoral), vegetasi emergen/marginal, dan kompleksitas struktur tepi dapat berkaitan dengan perubahan komposisi Odonata pada habitat buatan maupun habitat pada tahap suksesi lebih lanjut (Kolář et al., 2021; Datto-Liberato et al., 2024). Dengan kata lain, spesies generalis bisa tetap hadir pada tahap yang lebih tua, tetapi “dominansinya” cenderung terdilusi ketika habitat menjadi lebih beragam dan memungkinkan masuknya taksa dengan kebutuhan ekologis yang lebih spesifik—sejalan dengan kerangka pemanfaatan Odonata sebagai indikator arah pemulihan ekosistem perairan–riparian di lanskap pascatambang (Córdoba-Aguilar et al., 2022; Datto-Liberato et al., 2024).

3.2. Pemulihan Keanekaragaman Alfa Odonata Sepanjang Umur Revegetasi

Indeks alfa menunjukkan tren meningkat seiring bertambahnya umur tanam revegetasi hingga hutan alam. Nilai Shannon H' naik dari $1,66 \pm 0,27$ (2–4 tahun) menjadi $2,60 \pm 0,24$ (5–7 tahun), $2,99 \pm 0,14$ (≥ 8 tahun), dan tertinggi pada $3,19 \pm 0,11$ (hutan alam). Simpson juga meningkat dari $0,790 \pm 0,054$ (2–4 tahun) menjadi $0,917 \pm 0,021$ (5–7 tahun), $0,945 \pm 0,007$ (≥ 8 tahun), dan $0,956 \pm 0,005$ (hutan alam). Margalef meningkat dari $2,25 \pm 0,09$ (2–4 tahun) ke $4,61 \pm 0,79$ (5–7 tahun), $5,88 \pm 0,64$ (≥ 8 tahun), dan $6,86 \pm 0,71$ (hutan alam). Sebaliknya, Pielou J relatif stabil dan tinggi pada semua tahap ($0,961$ – $0,979$). Uji Dunn–BH memperlihatkan perbedaan paling konsisten pada 2–4 tahun dibanding ≥ 8 tahun dan hutan alam untuk H' , Simpson, dan Margalef (p -adj $\approx 0,0004$ – $0,000002$), serta 5–7 tahun vs hutan alam (p -adj $\approx 0,002$ – $0,0019$). Untuk Pielou J , perbedaan yang nyata terutama 2–4 tahun vs hutan alam (p -adj = $0,0089$), sedangkan perbandingan lainnya umumnya tidak berbeda nyata.



Gambar 3. Perbandingan Indeks Keanekaragaman Alfa Odonata pada Gradien Umur Revegetasi (2–4 Tahun, 5–7 Tahun, ≥8 Tahun) dan Hutan Alam: (a) Indeks Shannon–Wiener (H'), (b) Indeks Simpson, (c) Indeks Margalef, dan (d) Kemerataan (Evenness, J). Perbedaan Antar Kelompok Diuji Menggunakan Kruskal–Wallis, Dilanjutkan Uji Pasangan Dunn dengan Koreksi BH/FDR; Tanda Signifikansi Ditunjukkan sebagai ns ($p_{adj} \geq 0,05$), * ($p_{adj} < 0,05$), ** ($p_{adj} < 0,01$), dan *** ($p_{adj} < 0,001$)

Kenaikan H' dan Simpson seiring umur tanam mengindikasikan pemulihan yang tidak hanya berupa “penambahan variasi jenis”, tetapi juga peningkatan kestabilan struktur komunitas (dominansi makin rendah dan kontribusi antarspesies lebih merata). Pola ini lazim ketika habitat mengalami pematangan: bertambahnya mikrohabitat riparian–akuatik (zona tepian, variasi arus/kolam, vegetasi tepi, serta mosaik naungan–cahaya) memungkinkan lebih banyak strategi hidup (guild) terakomodasi, sehingga diversitas komposit (H') dan diversitas berbobot kelimpahan (Simpson) meningkat secara paralel. Studi pada habitat termodifikasi menunjukkan indeks diversitas Odonata dapat berbeda nyata antar tipe habitat dan tingkat gangguan, terutama karena perbedaan struktur fisik habitat dan kualitas lingkungan yang memengaruhi dominansi vs koeksistensi spesies. (Vilenica & Mihaljević, 2022).

Stabilnya nilai Pielou J yang tetap tinggi pada semua umur tanam menyiratkan bahwa pemulihan diversitas terutama digerakkan oleh bertambahnya

kompleksitas komunitas (lebih banyak spesies “ikut mengisi” komunitas) tanpa perubahan ekstrem pada pemerataan. Pola seperti ini kompatibel dengan dinamika komunitas Odonata di lanskap yang sedang pulih: spesies generalis biasanya tetap bertahan lintas tahap, tetapi seiring habitat membaik, spesies tambahan masuk dan mengurangi dominansi relatif spesies yang sebelumnya paling menonjol—sehingga H' dan Simpson meningkat, sementara J tetap tinggi. Interpretasi serupa sering muncul pada studi komparatif lintas tipe habitat yang menilai H' , Simpson, dan evenness untuk menggambarkan pergeseran dominansi serta “keseimbangan” komunitas. (Wijesooriya et al., 2022).

Kenaikan Margalef dari revegetasi muda ke tahap lanjut dan hutan alam memperkuat interpretasi bahwa pemulihan tidak hanya tercermin dari perubahan nilai indeks, tetapi juga dari bertambahnya kekayaan relatif komunitas. Secara ekologis, pola tersebut konsisten dengan hasil penelitian lain yang menunjukkan bahwa struktur habitat riparian,

vegetasi tepi, dan kondisi perairan dapat berkaitan dengan keanekaragaman komunitas Odonata. Pada sistem sungai Indonesia yang dipengaruhi aktivitas pertambangan, indeks keanekaragaman Odonata, termasuk Shannon dan Simpson, juga telah digunakan untuk menggambarkan kondisi ekologis, dengan nilai yang cenderung lebih rendah pada lokasi yang mengalami tekanan gangguan lebih tinggi (Rachmawati et al., 2023). Secara keseluruhan, hasil ini menyiratkan bahwa umur tanam revegetasi ≥ 8 tahun sudah menunjukkan karakter alfa yang mendekati hutan alam untuk beberapa metrik (misalnya perbandingan ≥ 8 tahun vs hutan alam cenderung tidak berbeda nyata), tetapi sinyal pemulihan paling kuat terlihat ketika membandingkan revegetasi termuda (2–4 tahun) dengan tahap lanjut/rujukan.

3.3. Perubahan Komposisi Komunitas Antar Kelompok Umur Revegetasi dan Antar Lokasi

Analisis *beta diversity* berbasis Bray–Curtis (Tabel 2) menunjukkan bahwa umur revegetasi (Group) merupakan pendorong utama perubahan komposisi komunitas Odonata, sedangkan lokasi (Site) memberikan kontribusi tambahan yang lebih kecil namun tetap terdeteksi. Pada model PERMANOVA yang memisahkan efek Group dan Site, variasi komposisi yang dijelaskan oleh Group jauh lebih besar dibanding Site (Group: $R^2 = 0,4139$, $p = 0,0001$; Site: $R^2 = 0,0646$, $p = 0,0431$). Secara ekologis, pola ini konsisten dengan perubahan kondisi habitat yang dilaporkan pada penelitian sebelumnya, termasuk perkembangan struktur riparian, tingkat peneduhan, kondisi iklim mikro, dan karakter tepi perairan, yang dapat berkaitan dengan variasi komposisi komunitas Odonata (Datto-Liberato et al., 2024; Rachmawati et al., 2023). Variasi antar lokasi yang masih terdeteksi kemungkinan mencerminkan konteks setempat—misalnya tipe badan air, struktur vegetasi riparian, dan konteks lanskap di sekitar plot—yang dapat membatasi kolonisasi atau memodulasi persistensi spesies pada masing-masing site (Datto-Liberato et al., 2024; Rachmawati et al., 2023; Anderson, 2001).

Uji PERMDISP (Tabel 3) memberikan konteks penting untuk menafsirkan PERMANOVA, karena PERMANOVA sensitif terhadap perbedaan dispersi antar kelompok. Ketika dispersi diuji berdasarkan Group saja, tidak ditemukan perbedaan dispersi yang signifikan ($F = 2,0658$, $p = 0,1181$). Dengan demikian, perbedaan komposisi antar kelompok umur lebih konsisten dipahami sebagai pergeseran komposisi rata-rata (centroid) antar grup, bukan terutama karena beberapa grup lebih heterogen daripada yang lain (Anderson, 2006). Dalam studi komunitas Odonata, pola pemisahan yang terutama mencerminkan pergeseran centroid lazim berkaitan dengan perubahan kualitas habitat yang terarah, misalnya dari kondisi lebih terbuka menuju habitat yang lebih kompleks/bernaungan seiring pemulihan riparian dan stabilisasi mikrohabitat perairan (French & McCauley, 2018; Ilhamdi et al., 2020). Dengan kata lain, perubahan *beta diversity* pada data ini sejalan dengan proses pemulihan habitat yang bertahap sepanjang umur revegetasi, bukan sekadar meningkatnya variasi antar plot pada grup tertentu.

Hasil PERMANOVA *pairwise* antar kelompok umur memperlihatkan bahwa semua pasangan umur revegetasi berbeda nyata setelah koreksi BH/FDR, namun kekuatan perbedaannya tidak sama. Kontras paling kuat secara konsisten melibatkan tahap revegetasi paling muda (2–4 tahun), baik terhadap tahap lebih tua maupun hutan alam (misalnya 2–4 vs hutan alam: $R^2 = 0,4849$, $p_{\text{adj}} < 0,001$; 2–4 vs ≥ 8 : $R^2 = 0,4411$, $p_{\text{adj}} < 0,001$). Ini mengindikasikan bahwa komunitas pada tahap awal masih berada pada “mode habitat terbuka/awal suksesi” yang komposisinya jauh dari tahap yang lebih matang. Sebaliknya, perbedaan antara tahap menengah dan lanjut cenderung lebih halus (5–7 vs ≥ 8 : $R^2 = 0,1039$, $p_{\text{adj}} < 0,05$), yang dapat ditafsirkan sebagai transisi komposisi yang lebih gradual ketika struktur habitat mulai stabil dan komunitas mengalami “pengisian” oleh spesies tambahan tanpa perubahan drastis pada dominansi kelompok besar (Zhang et al., 2025; Lupiyaningdyah, 2020).

Tabel 2. Hasil PERMANOVA (Bray–Curtis) untuk Komposisi Komunitas Odonata

Faktor	R^2	p-value
Site	0.0646	0.0431*
Group	0.4139	0.0001***
Residual	0.5215	–
Total	1	–

Keterangan: * $p\text{-value} < 0.05$ signifikan; ** $p\text{-value} < 0.01$ sangat signifikan; *** $p\text{-value} < 0.001$ sangat signifikan (paling kuat).

Tabel 3. Uji Homogenitas Dispersi (PERMDISP) Antar Tahap Revegetasi

Faktor	F	p.value
Group	2.0658	0.1181

Keterangan: * $p\text{-value} < 0.05$ signifikan; ** $p\text{-value} < 0.01$ sangat signifikan; *** $p\text{-value} < 0.001$ sangat signifikan. p dari uji permutasi (9999); $p > 0,05$ = tidak berbeda nyata.

Pada dimensi spasial, PERMANOVA *pairwise* antar site menunjukkan bahwa Binungan berbeda signifikan dibanding Lati ($R^2 = 0,0734$, $p_{\text{adj}} < 0,01$) dan dibanding Sambarata ($R^2 = 0,0885$, $p_{\text{adj}} < 0,01$), sedangkan Lati dan Sambarata tidak berbeda nyata ($p_{\text{adj}} \geq 0,05$). Pola ini menegaskan bahwa “efek lokasi” pada PERMANOVA utama bukan sekadar artefak statistik, melainkan kemungkinan terkait perbedaan kondisi lokal—misalnya kualitas dan tipe badan air, struktur vegetasi riparian, serta konteks lanskap dan konektivitas sumber kolonisasi—yang memengaruhi spesies mana yang mampu menetap. Bukti dari Indonesia juga menunjukkan bahwa perbedaan kondisi ekologis perairan dan tekanan penggunaan lahan dapat berkaitan dengan perbedaan indeks dan komposisi Odonata antar lokasi, sehingga variasi antar site pada lanskap pascatambang merupakan hal yang wajar (Rachmawati et al., 2023; Zulhariadi et al., 2022). Dalam konteks lanskap pascatambang, perbedaan antar site seperti ini lazim karena satuan reklamasi sering berada pada mosaik hidrologi dan konektivitas yang tidak seragam, sehingga komunitas Odonata merespons kombinasi faktor umur revegetasi dan kondisi tempat.

3.4. Spesies Pendorong Perbedaan Antar Tahap Revegetasi (SIMPER) dan Indikasi Preferensi Habitat

Berdasarkan Tabel 6 SIMPER (*Similarity Percentage analysis*); kumulatif 70%, perbedaan komunitas pada revegetasi paling muda (2–4 tahun) terhadap tahap yang lebih tua didorong kuat oleh sejumlah kecil spesies umum. Pada perbandingan 2–4 vs 5–7 tahun, lima spesies teratas—*Neurothemis terminata* (11,22%), *Neurothemis ramburii* (20,90%), *Orthetrum testaceum* (29,79%), *Neurothemis fluctuans* (37,78%), dan *Orthetrum sabina* (44,91%)—secara kumulatif sudah menjelaskan 44,91% dari rata-rata dissimilarity Bray–Curtis. Pola yang sama muncul pada 2–4 vs ≥ 8 tahun, dengan lima spesies teratas mencapai 42,39% kumulatif (*N. terminata*, *N. ramburii*, *O. testaceum*, *N. fluctuans*, *O. sabina*), serta pada 2–4 vs Hutan Alam, dengan kumulatif 41,22% (*N.*

terminata, *N. ramburii*, *O. sabina*, *O. testaceum*, *N. fluctuans*). Secara keseluruhan, pola ini mengindikasikan bahwa komunitas awal revegetasi masih “ditopang” oleh spesies-spesies toleran yang lazim di habitat terbuka/terganggu. Sebaliknya, pada perbandingan antar tahap yang lebih tua, kontribusi menjadi lebih “tersebar”: lima spesies teratas menjelaskan 25,00% pada 5–7 vs ≥ 8 tahun (*N. fluctuans*, *O. sabina*, *O. testaceum*, *O. chrysis*, *N. terminata*), 25,50% pada 5–7 vs Hutan Alam (*O. sabina*, *N. fluctuans*, *N. terminata*, *Agrionoptera insignis*, *Copera vittata*), dan hanya 16,91% pada ≥ 8 vs Hutan Alam (*O. chrysis*, *Pseudagrion pilidorsum*, *Agriocnemis femina*, *Camacinia gigantea*, *O. testaceum*). Secara ekologis, ini konsisten dengan transisi dari komunitas sederhana yang ditopang beberapa generalis menuju komunitas yang lebih kompleks, di mana banyak spesies berkontribusi kecil–menengah terhadap perbedaan antar tahap.

Dominasi pendorong pada tahap muda terutama berasal dari Libellulidae yang dikenal adaptif pada kondisi terbuka, suhu lebih tinggi, dan ketersediaan kolam/air tergenang sementara yang umum pada lanskap pascatambang. Dalam studi habitat perairan–terestrial di Indonesia, *Orthetrum sabina* dilaporkan sebagai salah satu spesies yang dapat dijumpai hampir di berbagai stasiun/habitat, menunjukkan karakter toleran dan bersebaran luas (Yuditaningtyas et al., 2022). Pola serupa juga terlihat pada kawasan reklamasi bekas tambang timah di Bangka, di mana komposisi capung dipengaruhi tipe habitat dan spesies-spesies tertentu cenderung menonjol pada unit habitat yang lebih terbuka/terganggu (Alita et al., 2024). Pada konteks revegetasi batubara, kemunculan berulang *Neurothemis* spp. dan *Orthetrum* spp. sebagai “driver” pada kontras yang melibatkan tahap muda dapat dibaca sebagai sinyal bahwa fase awal masih didominasi spesies oportunist yang cepat mengkolonisasi, sementara spesies yang lebih sensitif belum terfasilitasi secara penuh oleh struktur vegetasi riparian dan kualitas mikrohabitat akuatik.

Tabel 4. Pairwise PERMANOVA Antar Tahap Revegetasi

Perbandingan	R^2	p.Value	p.Adjusted
2–4 tahun vs 5–7 tahun	0.27783	0.0004***	0.00048***
2–4 tahun vs ≥ 8 tahun	0.44115	0.0001***	0.0002***
2–4 tahun vs Hutan Alam	0.48492	0.0002***	0.0003***
5–7 tahun vs ≥ 8 tahun	0.10392	0.0158*	0.0158*
5–7 tahun vs Hutan Alam	0.25235	0.0001***	0.0002***
≥ 8 tahun vs Hutan Alam	0.14847	0.0001***	0.0002***

Keterangan: *: $p\text{-value} < 0.05$ menunjukkan hasil signifikan secara statistik; **: $p\text{-value} < 0.01$ menunjukkan hasil sangat signifikan; ***: $p\text{-value} < 0.001$ menunjukkan hasil sangat signifikan (paling kuat). Koreksi $p\text{-value}$ menggunakan Benjamini–Hochberg (BH/FDR).

Tabel 5. Pairwise PERMANOVA Antar Site

Perbandingan	R^2	p.Value	p.Adjusted
Binungan vs Lati	0.073365	0.0032**	0.0048**
Binungan vs Sambarata	0.088463	0.0014**	0.0042**
Lati vs Sambarata	0.046812	0.06	0.06

Keterangan: *: $p\text{-value} < 0.05$ menunjukkan hasil signifikan secara statistik; **: $p\text{-value} < 0.01$ menunjukkan hasil sangat signifikan; ***: $p\text{-value} < 0.001$ menunjukkan hasil sangat signifikan (paling kuat). Koreksi $p\text{-value}$ menggunakan Benjamini–Hochberg (BH/FDR).

Tabel 6. Analisis SIMPER Dissimilarity Komposisi Spesies Odonata Antar Tahap Revegetasi (Bray-Curtis; Top 70% Kumulatif)

Species	2-4 vs 5-7	2-4 vs ≥8	2-4 vs HA	5-7 vs ≥8	5-7 vs HA	≥8 vs HA
<i>Agriocnemis femina</i>	-	-	-	0.0170(55.13%)	0.0177(40.54%)	0.0159(10.36%)
<i>Agrionoptera insignis</i>	0.0318(49.67%)	0.0282(54.43%)	0.0265(44.50%)	0.0187(40.60%)	0.0218(22.27%)	0.0139(31.86%)
<i>Camacinia gigantea</i>	-	-	-	-	0.0161(54.54%)	0.0157(13.65%)
<i>Ceragrion cerinorubellum</i>	0.0307(54.27%)	0.0317(46.69%)	0.0248(47.57%)	0.0181(51.70%)	0.0174(46.39%)	0.0124(53.87%)
<i>Coeliccia nigrohamata</i>	-	-	-	-	-	0.0116(63.92%)
<i>Copera vittata</i>	-	0.0241(57.70%)	0.0228(56.30%)	0.0204(29.13%)	0.0193(25.50%)	-
<i>Diplacodes trivialis</i>	0.0224(68.66%)	-	-	-	0.0179(34.62%)	0.0136(40.50%)
<i>Dysphaea dimidiata</i>	-	-	-	-	-	0.0139(34.78%)
<i>Euphaea impar</i>	-	-	-	-	0.0162(51.85%)	0.0142(28.94%)
<i>Ictinogomphus decoratus</i>	-	-	-	-	-	0.0133(43.29%)
<i>Macrodiplax cora</i>	-	-	0.0191(66.32%)	-	0.0176(43.48%)	0.0145(19.95%)
<i>Nannophya pygmaea</i>	0.0261(58.18%)	0.0198(66.73%)	0.0195(63.96%)	0.0184(48.03%)	0.0178(37.59%)	0.0120(61.49%)
<i>Neurothemis fluctuans</i>	0.0535(37.78%)	0.0525(35.46%)	0.0576(41.22%)	0.0268(5.41%)	0.0277(14.60%)	0.0127(48.62%)
<i>Neurothemis ramburii</i>	0.0647(20.90%)	0.0714(20.38%)	0.0702(19.14%)	0.0192(33.02%)	0.0182(31.62%)	0.0120(58.97%)
<i>Neurothemis terminata</i>	0.0750(11.22%)	0.0791(10.72%)	0.0843(10.44%)	0.0224(25.00%)	0.0241(18.63%)	-
<i>Orthetrum chrysis</i>	0.0243(61.81%)	0.0290(50.62%)	0.0241(50.55%)	0.0230(20.47%)	0.0164(49.14%)	0.0171(3.60%)
<i>Orthetrum glaucum</i>	-	-	0.0172(68.45%)	0.0154(64.61%)	0.0157(59.86%)	0.0115(66.33%)
<i>Orthetrum sabina</i>	0.0476(44.91%)	0.0512(42.39%)	0.0607(26.66%)	0.0260(10.66%)	0.0301(5.03%)	0.0137(37.65%)
<i>Orthetrum testaceum</i>	0.0594(29.79%)	0.0588(28.35%)	0.0600(34.09%)	0.0256(15.82%)	0.0295(9.96%)	0.0155(16.91%)
<i>Pantala flavescens</i>	-	-	-	0.0184(44.32%)	0.0156(62.46%)	0.0128(45.96%)
<i>Pseudagrion microcephalum</i>	-	-	-	-	-	0.0144(22.97%)
<i>Pseudagrion pilidorsum</i>	-	-	-	0.0156(61.49%)	-	0.0163(7.02%)
<i>Rhodothemis rufa</i>	-	-	-	-	0.0155(65.05%)	0.0123(56.46%)
<i>Rhyothemis triangularis</i>	-	-	-	-	-	0.0126(51.26%)
<i>Trithemis aurora</i>	-	0.0198(69.41%)	0.0214(58.95%)	0.0158(58.33%)	0.0161(57.23%)	-
<i>Trithemis festiva</i>	0.0235(65.32%)	0.0228(64.04%)	0.0210(61.55%)	0.0153(67.70%)	0.0140(69.78%)	0.0113(68.70%)
<i>Tyriobapta torrida</i>	-	0.0241(60.96%)	0.0236(53.47%)	0.0188(36.82%)	0.0184(28.57%)	-
<i>Vestalis amoena</i>	-	-	-	-	0.0143(67.44%)	0.0143(25.96%)

Keterangan: 2-4 : 2-4 tahun, 5-7 : 5-7 tahun, ≥8 : 8 tahun ke atas dan HA : Hutan Alam. Nilai menunjukkan kontribusi rata-rata tiap spesies; kontribusi kumulatif ditampilkan dalam tanda kurung.

Pada tahap revegetasi yang lebih tua dan Hutan Alam, daftar “spesies pendorong” dari SIMPER mulai memasukkan taksa yang mengindikasikan heterogenitas mikrohabitat lebih tinggi (mis. kombinasi air tenang dan aliran kecil, vegetasi tepi yang lebih rapat, dan mosaik cahaya-naungan). Konsisten dengan Tabel 6, kontras menuju Hutan Alam tidak hanya memuat Anisoptera umum, tetapi juga melibatkan taksa riparian/naungan dan capung-jarum, misalnya *Vestalis amoena*, *Dysphaea dimidiata*, *Coeliccia nigrohamata*, *Euphaea impar*, serta *Pseudagrion* spp., di samping beberapa Anisoptera seperti *Camacinia gigantea* dan *Orthetrum chrysis*. Studi di Kalimantan Tengah menegaskan bahwa komposisi Odonata berkaitan dengan karakter perairan: Anisoptera cenderung berasosiasi dengan pool/air tenang, sedangkan Zygoptera lebih terkait air mengalir, sehingga peningkatan keragaman mikrohabitat akuatik dan struktur tepi berpotensi memperkaya spektrum spesies yang “masuk” pada tahap lebih tua (Hendriks et al., 2023). Selain itu, karena Odonata memiliki siklus hidup yang bergantung pada habitat air tawar dan peka terhadap perubahan lingkungan, perubahan kualitas perairan (mis. kekeruhan, sedimentasi, vegetasi akuatik) dapat memfilter spesies yang mampu bertahan—mekanisme yang relevan untuk menjelaskan mengapa perbedaan komunitas pada tahap tua vs hutan menjadi lebih “multispesies” (Ilhamdi et al., 2020; Zunnikah et al., 2025). Di level lanskap, perubahan penutup lahan di sekitar koridor sungai juga dilaporkan berkaitan dengan perubahan keragaman/kehadiran Odonata, yang menguatkan argumen bahwa pemulihan revegetasi perlu dibaca

sebagai pemulihan mosaik habitat (Zulhariadi et al., 2022).

Komposisi spesies pendorong dari SIMPER memberi indikasi preferensi habitat yang konsisten dengan jalur pemulihan habitat pascatambang. Dominannya *Neurothemis* spp. dan *Orthetrum* spp. sebagai pendorong utama pada kontras yang melibatkan revegetasi muda (2-4 tahun) lazim dibaca sebagai sinyal habitat terbuka: banyak Libellulidae di lanskap terganggu cenderung diuntungkan oleh intensitas cahaya tinggi, ruang terbang terbuka, dan tepi perairan yang belum tertutup vegetasi rapat. Pada tahap ini, “filter” utama bukan kekurangan air semata, tetapi kualitas tepian dan struktur riparian yang masih sederhana yang seringkali menguntungkan spesies generalis dan menekan peluang bagi taksa yang lebih menuntut mikrohabitat (Henry et al., 2018; Oliveira-Junior & Juen, 2019). Sebaliknya, meningkatnya keterlibatan capung-jarum dan taksa riparian/naungan pada kontras tahap lebih tua menuju Hutan Alam konsisten dengan karakter ekologis kelompok tersebut yang dalam penelitian sebelumnya dikaitkan dengan habitat bervegetasi, bernaung, dan memiliki struktur riparian yang lebih kompleks. Dalam studi Indonesia pada lanskap reklamasi, perbedaan komposisi Odonata antar petak sering kali mengikuti variasi tipe habitat, tutupan vegetasi, dan karakter perairan; spesies generalis cenderung mendominasi area terbuka, sedangkan komponen komunitas yang lebih “riparian” meningkat ketika struktur vegetasi membaik (Alita et al., 2024; Susanto et al., 2024). Karena itu, daftar spesies pendorong dari SIMPER pada data ini dapat dipahami sebagai transisi bertahap dari komunitas

“open-habitat generalists” (mis. *Neurothemis terminata*, *Orthetrum sabina*, *Orthetrum testaceum*) menuju komunitas yang semakin memuat taksa terkait tepian yang lebih berstruktur/bernaung (mis. *Vestalis amoena*, *Dysphaea dimidiata*, *Coeliccia nigrohamata*) seiring bertambahnya umur tanam revegetasi dan membaiknya kualitas riparian.

Perlu dicatat, SIMPER bersifat deskriptif: ia memecah rata-rata dissimilarity (umumnya Bray-Curtis) dan menonjolkan kontribusi spesies, sehingga spesies yang lebih melimpah cenderung sering muncul sebagai “pendorong” meski tidak selalu bermakna sebagai indikator ekologis yang ketat. Karena itu, interpretasi preferensi habitat sebaiknya diperlakukan sebagai indikasi dan idealnya dilengkapi dengan informasi natural history, data microhabitat, atau analisis indikator (mis. IndVal) bila tersedia (Clarke, 1993; Oksanen et al., 2025).

Dalam konteks pemantauan reklamasi, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa beberapa parameter komunitas Odonata berpotensi digunakan sebagai informasi tambahan dalam evaluasi perkembangan habitat, antara lain kekayaan spesies, nilai keanekaragaman komunitas, serta perubahan komposisi antara taksa generalis habitat terbuka dan taksa yang lebih berkaitan dengan habitat bervegetasi atau riparian. Dominansi *Neurothemis* spp. dan *Orthetrum* spp. pada revegetasi muda, serta meningkatnya keterlibatan taksa seperti *Vestalis amoena*, *Dysphaea dimidiata*, dan *Coeliccia nigrohamata* pada kategori yang lebih tua dan hutan alam, dapat menjadi dasar awal dalam penyusunan parameter pemantauan biologis. Penerapannya dalam evaluasi reklamasi dapat dilakukan melalui pemantauan berkala terhadap perubahan kekayaan, keanekaragaman, dan komposisi komunitas Odonata pada plot tetap. Pengembangan parameter tersebut menjadi indikator operasional memerlukan pengujian lebih lanjut pada lokasi dan periode pengamatan yang berbeda.

4. KESIMPULAN

Komunitas Odonata menunjukkan perbedaan yang konsisten sepanjang gradien umur revegetasi. Revegetasi muda (2–4 tahun) cenderung didominasi taksa generalis habitat terbuka, sedangkan kategori revegetasi yang lebih tua menunjukkan keanekaragaman yang lebih tinggi dan komposisi komunitas yang semakin kompleks. Beberapa karakter keanekaragaman alfa pada revegetasi ≥8 tahun telah mendekati hutan alam, meskipun komposisi spesiesnya masih menunjukkan perbedaan. Pola tersebut menunjukkan potensi Odonata sebagai indikator biologis untuk mengevaluasi perkembangan ekologis habitat pada lanskap reklamasi pascatambang. Namun, penerapan Odonata sebagai indikator operasional keberhasilan reklamasi masih memerlukan validasi melalui pemantauan jangka panjang dan pengamatan pada kondisi lokasi yang lebih beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Aipassa, M. I., Oktaviani, R., & R., R. R. (2024). Evaluasi keberhasilan pelaksanaan reklamasi dan kondisi tanah pada lahan bekas tambang PT XYZ Kecamatan Tabang Kabupaten Kutai Kartanegara. *Jurnal Totem: Architecture, Environment, Region and Local Wisdom*, 5(1), 72–84. <https://doi.org/10.31293/ttm.v5i1.7238>
- Alita, A., Nurtjahya, E., & Sutrisno, H. (2024). Capung (Ordo: Odonata) di kawasan reklamasi bekas tambang timah, Belinyu, Bangka. *BIO-EDU: Jurnal Pendidikan Biologi*, 9(1), 31–42. <https://doi.org/10.32938/jbe.v9i1.6568>
- Anderson, M. J. (2001). A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 26(1), 32–46. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2001.tb00081.x>
- Anderson, M. J. (2006). Distance-based tests for homogeneity of multivariate dispersions. *Biometrics*, 62(1), 245–253. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0420.2005.00440.x>
- Basyari, S., Wibowo, N. A. A., & Suseno, Z. N. (2025). Keanekaragaman jenis capung (Odonata) dan hubungannya dengan vegetasi di Sungai Winongo, Bantul, Yogyakarta. *Jurnal Riset Daerah*, 25(1), 12–26. <https://doi.org/10.64730/jrdbantul.v25i1.138>
- Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 57(1), 289–300. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x>
- Bray, J. R., & Curtis, J. T. (1957). An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs*, 27(4), 325–349. <https://doi.org/10.2307/1942268>
- Clarke, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18(1), 117–143. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x>
- Córdoba-Aguilar, A., Beatty, C. D., & Bried, J. T. (Eds.). (2022). *Dragonflies and damselflies: Model organisms for ecological and evolutionary research* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Datto-Liberato, F. H., Lopez, V. M., Quinaia, T., do Valle Junior, R. F., Samways, M. J., Juen, L., Valera, C., & Guillermo-Ferreira, R. (2024). Total environment sentinels: Dragonflies as ambivalent/amphibiotic bioindicators of damage to soil and freshwater. *Science of the Total Environment*, 934, 173110. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173110>
- Dow, R. A., Choong, C. Y., Grinang, J., & Lupiyaningdyah, P. (2022). Revised checklist of the Odonata (dragonflies and damselflies) of Borneo. *Malayan Nature Journal*, 74(2), 217–240. <http://ir.unimas.my/id/eprint/38935>
- Dow, R. A., Choong, C. Y., Grinang, J., Lupiyaningdyah, P., Ngiam, R. W. J., & Kalkman, V. J. (2024). Checklist of the Odonata (Insecta) of Sundaland and Wallacea (Malaysia, Singapore, Brunei, Indonesia and Timor Leste). *Zootaxa*, 5460(1), 1–122. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5460.1.1>
- Dunn, O. J. (1964). Multiple comparisons using rank sums. *Technometrics*, 6(3), 241–252. <https://doi.org/10.1080/00401706.1964.10490181>

- Fathurrahman, Kissinger, Achmad, B., & Abidin, Z. (2023). Evaluasi pelaksanaan revegetasi pada lahan pascatambang batubara (studi kasus di PT. X di Kabupaten Tanah Bumbu Provinsi Kalimantan Selatan). *EnviroScientiae*, 19(4), 69–79. <https://doi.org/10.20527/es.v19i4.17799>
- French, S. K., & McCauley, S. J. (2018). Canopy cover affects habitat selection by adult dragonflies. *Hydrobiologia*, 818(1), 129–143. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3600-5>
- Harabiš, F. (2016). High diversity of odonates in post-mining areas: Meta-analysis uncovers potential pitfalls associated with the formation and management of valuable habitats. *Ecological Engineering*, 90, 438–446. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.070>
- Harsono, R., Suba, R. B., Kustiawan, W., Aipassa, M. I., Sukartiningsih, S., & Rayadin, Y. (2024). Keanekaragaman Vegetasi pada Beberapa Umur Revegetasi di Lahan Reklamasi Pascatambang Batubara PT Indominco Mandiri, Kalimantan Timur. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 589–599. <https://doi.org/10.14710/jil.22.3.589-599>
- Hendriks, J. A., Mariaty, Maimunah, S., Anirudh, N. B., Holly, B. A., Erkens, R. H. J., & Harrison, M. E. (2023). Odonata (Insecta) communities in a lowland mixed mosaic forest in Central Kalimantan, Indonesia. *Ecologies*, 4(1), 55–73. <https://doi.org/10.3390/ecologies4010006>
- Henry, E. R., Rivera, J. A., Linkem, C. N., Scales, J. A., & Butler, M. A. (2018). Damselflies that prefer dark habitats illustrate the importance of light as an ecological resource. *Biological Journal of the Linnean Society*, 123(1), 144–154. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blx122>
- Ilhamdi, M. L., Al Idrus, A., Santoso, D., & Hadiprayitno, G. (2020). Short communication: Community structure and diversity of Odonata in Suranadi Natural Park, West Lombok, Indonesia. *Biodiversitas: Journal of Biological Diversity*, 21(2), 718–723. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210238>
- iNaturalist. (2026). *iNaturalist* [Online platform]. Retrieved February 23, 2026, from <https://www.inaturalist.org>
- Jere, A., Darshetkar, A., Patwardhan, A., & Koparde, P. (2020). Assessing the response of odonates (dragonflies and damselflies) to a tropical urbanization gradient. *Journal of Urban Ecology*, 6(1), juaa029. <https://doi.org/10.1093/jue/juaa029>
- Kolář, V., Vlašánek, P., & Boukal, D. S. (2021). The influence of successional stage on local odonate communities in man-made standing waters. *Ecological Engineering*, 173, 106440. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106440>
- Lupiyaningdyah, P. (2020). The past, present and future of dragonfly research in Indonesia. *BIO Web of Conferences*, 19, 00024. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201900024>
- Nisita, R. A., Hariani, N., & Trimurti, S. (2020). Keanekaragaman Odonata di kawasan Bendungan Lempake, Sungai Karang Mumus dan Sungai Berambai Samarinda. *Edubiotik: Jurnal Pendidikan, Biologi dan Terapan*, 5(2), 123–141. <https://doi.org/10.33503/ebio.v5i02.1998>
- Oksanen, J., Blanchet, F. G., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., & Wagner, H. (2025). *vegan: Community ecology package* (Version 2.7-2) [R package]. CRAN. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Oliveira-Junior, J. M. B., & Juen, L. (2019). The Zygoptera/Anisoptera ratio (Insecta: Odonata): A new tool for habitat alterations assessment in Amazonian streams. *Neotropical Entomology*, 48, 552–560. <https://doi.org/10.1007/s13744-019-00672-x>
- Orr, A. G. (2003). *A guide to the dragonflies of Borneo: Their identification and biology*. Natural History Publications (Borneo).
- Pearce-Higgins, J. W., & Chandler, D. (2020). Do surveys of adult dragonflies and damselflies yield repeatable data? Variation in monthly counts of abundance and species richness. *Journal of Insect Conservation*, 24, 877–889. <https://doi.org/10.1007/s10841-020-00260-0>
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. (2010). *Peraturan Pemerintah Nomor 78 Tahun 2010 tentang Reklamasi dan Pascatambang*.
- Poskočilová, A.-M., Harabiš, F., Tetaur, A., & Josková, A. (2024). Restored post-mining areas as a potential ecological trap for Odonata? *Ecological Engineering*, 204, 107283. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107283>
- Prayoga, R. P. (2025). Analisis keanekaragaman capung (Odonata) di tepi Sungai Booro Dusun Mendiro Kecamatan Wonosalam Kabupaten Jombang. *Environmental Pollution Journal*, 4(3), 1062–1074. <https://doi.org/10.58954/epj.v4i3.228>
- Putri, R. O., Karyati, & Syafrudin, M. (2018). Iklim mikro lahan revegetasi pasca tambang di PT Adimitra Baratama Nusantara, Provinsi Kalimantan Timur. *Ulin: Jurnal Hutan Tropis*, 2(1), 26–34. <https://doi.org/10.32522/ujht.v2i1.1024>
- Rachmawati, A., Yustian, I., Pujiastuti, Y. A., Suparman, S. H. K., & Arinafril. (2023). Biotic and dragonfly diversity indices as ecological quality evaluation in Lahat District Rivers, South Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas: Journal of Biological Diversity*, 24(11), 6059–6068. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d241127>
- Suárez-Tovar, C. M., Rocha-Ortega, M., & Juen, L. (2023). From the forest to the city: The persistence of dragonflies and damselflies in the urban jungle. *Biodiversity and Conservation*, 33(1), 91–113. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02733-5>
- Susanto, M. A. D., Millah, N., Leksono, A. S., & Gama, Z. P. (2024). Composition and diversity of dragonflies (Odonata) in several habitat types in Lumajang Regency, East Java Province, Indonesia. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 9(2). <https://doi.org/10.22146/jtbb.88469>
- Vilenica, M., & Mihaljević, Z. (2022). Odonata assemblages in anthropogenically impacted habitats in the Drava River—A long-term study. *Water*, 14(19), 3119. <https://doi.org/10.3390/w14193119>
- Wijesooriya, M. M., Jayalath, M. G., Perera, S. J., & Samanmali, C. (2022). The odonate fauna (Insecta: Odonata) of Belihuloya, southern intermediate zone of Sri Lanka: A preliminary assessment and conservation implications. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 15, 311–328. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2022.04.003>

- Rayadin, Y., Baharudin, D. O. P., Ahdiyaka, I., Mardiana, S. R., Azhari, A., Hadiyana, I., dan Pradesta, H. (2026). Struktur Komunitas dan Keanekaragaman Odonata pada Area Revegetasi Tambang PT Berau Coal di Kalimantan Timur. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(5), 1247-1259, doi:10.14710/jil.24.5.1247-1259
- Worthen, W. B., Fravel, R. K., & Horne, C. P. (2021). Downstream changes in odonate (Insecta: Odonata) communities along a suburban to urban gradient: Untangling natural and anthropogenic effects. *Insects*, 12(3), 201. <https://doi.org/10.3390/insects12030201>
- Yuditaningtyas, M., Hadi, M., & Tarwotjo, U. (2022). Struktur Komunitas dan Habitat Odonata di Kawasan Wisata Waduk Jatibarang Semarang. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 24(1), 73-79. <https://doi.org/10.14710/bioma.24.1.73-79>
- Zhang, Y., Yang, Y., Shi, R., Li, X., Yan, H., Bai, X., & Gao, S. (2025). Investigation of insect diversity in the restoration area of Yimin Surface Mine in Inner Mongolia. *Diversity*, 17(9), 635. <https://doi.org/10.3390/d17090635>
- Zulhariadi, M., Irawan, R. D., Zulfaeda, A., & Hidayani, N. (2022). Dragonflies diversity and land cover changes in the Batubolong River, West Lombok District. *BIOTROPIA*, 29(2), 112-123. <https://doi.org/10.11598/btb.2022.29.2.1637>
- Zunnikah, Z., Hadisusanto, S., & Nurjani, E. (2025). Diversity of dragonflies (Odonata) as bioindicators of water quality in Mangkol River, Terak Village, Simpang Katis Subdistrict, Central Bangka Regency. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 27(2), 60-67. <https://doi.org/10.14710/bioma.2025.71005>