



Vegetasi Riparian Danau Pascatambang di Taman Hutan Raya Lati Petangis, Paser, Kalimantan Timur

Naufal Hafidh Mahdi Sujarwo Putra^{1*}, Tri Retnaningsih Soeprbowati^{2,3,4}, Jumari^{3,4}, Riyan Riyadlun Najih¹, Mohammad Wahyu Diansyah¹, Syaidah Fitri¹, Listiana Ningrum¹

¹Program Studi Ilmu Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Aji Muhammad Idris Samarinda, Samarinda 75251, Kalimantan Timur, Indonesia

²Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro, Semarang 50241, Jawa Tengah, Indonesia

³Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang 50241, Jawa Tengah, Indonesia

⁴Cluster for Paleolimnology (CPalim), Universitas Diponegoro, Semarang 50241, Jawa Tengah, Indonesia

*Koresponden Penulis: naufal.hafidh@uinsi.ac.id

Abstrak

Tahura Lati Petangis merupakan taman hutan pada lanskap reklamasi bekas tambang batubara yang memiliki danau-danau pascatambang dan memerlukan evaluasi untuk menilai perkembangan pemulihan ekosistem. Penelitian ini membandingkan struktur vegetasi riparian pada dua danau pascatambang, yaitu Danau Pit I Saingprupuk Erai (stasiun 1) dan Danau Pit II Saingprupuk Duo (stasiun 3), dengan Danau Alami Gentung Dayo (stasiun 2) sebagai lokasi referensi ekologis. Pengambilan sampel menggunakan petak kuadrat sesuai tingkat pertumbuhan (pohon 20 x 20 m, tiang 10 x 10 m, pancang 5 x 5 m, dan semai 2 x 2 m) pada empat titik di setiap stasiun. Danau alami memiliki kekayaan spesies tertinggi (36 spesies) dan jumlah spesies tingkat pohon terbanyak (17 spesies), sedangkan stasiun 3 menunjukkan nilai keanekaragaman dan pemerataan tertinggi ($H' = 2,677$; $E = 0,772$). Stasiun 1 memiliki kekayaan spesies, H' , dan E terendah serta menunjukkan dominasi *Mimosa pigra* pada tingkat pancang dan *Chromolaena odorata* pada tingkat semai. Dari ketiga stasiun, ditemukan 70 spesies dari 37 famili, terdiri atas 59 spesies alami (84%) dan 11 spesies revegetasi (16%), yang menunjukkan bahwa regenerasi alami telah menjadi komponen utama komunitas riparian. *Vitex pinnata*, *Acacia mangium*, dan *Peronema canescens* merupakan pohon dominan yang berkaitan dengan revegetasi. Perbedaan antar stasiun menunjukkan bahwa pemulihan vegetasi berlangsung tidak seragam. Stasiun 3 memperlihatkan komunitas yang lebih beragam dan merata, sedangkan stasiun 1 memerlukan perhatian terhadap spesies invasif.

Kata Kunci: Indeks keanekaragaman, indeks keseragaman, indeks nilai penting, spesies alami, spesies revegetasi.

Abstract

Tahura Lati Petangis is a forest park established on a reclaimed coal-mining landscape containing several post-mining lakes and therefore requires ecological evaluation to assess recovery progress. This study compares the riparian vegetation structure at two post-mining lakes, namely Pit Lake I Saingprupuk Erai (station 1) and Pit Lake II Saingprupuk Duo (station 3), with the natural Lake Gentung Dayo (station 2) serving as the ecological reference site. Sampling was carried out using square plots according to growth stage (trees 20 × 20 m, poles 10 × 10 m, saplings 5 × 5 m, and seedlings 2 × 2 m) at four points at each station. The natural lake had the highest species richness (36 species) and the greatest number of tree-level species (17 species), while Station 3 exhibited the highest values for diversity and evenness ($H' = 2.677$; $E = 0.772$). Station 1 had the lowest species richness, H' , and E , and showed a dominance of *Mimosa pigra* at the sapling level and *Chromolaena odorata* at the seedling level. Across the three stations, 70 species from 37 families were recorded, comprising 59 spontaneously occurring species (84%) and 11 revegetation species (16 %), indicating that natural regeneration has become the primary component of the riparian community. *Vitex pinnata*, *Acacia mangium* and *Peronema canescens* are the dominant tree species associated with revegetation. Vegetation recovery varies among three stations, with Station 3 showing greater diversity and evenness, while Station 1 requires attention due to invasive species.

Keywords: Diversity index, evenness index, important value index, natural species, revegetation species.

Histori Artikel

Submit : 31 Juli 2026

Direvisi : 8 Agustus 2026

Diterima : 18 Agustus 2026

DOI : 10.33474/e-jbst.v12i1.664

Sitasi : N. H. M. S. Putra, T. R. Soeprbowati, Jumari, R. R. Najih, M. W. Diansyah, S. Fitri, L. Ningrum. Vegetasi Riparian Danau Pascatambang di Taman Hutan Raya Lati Petangis, Paser, Kalimantan Timur. *Jurnal Ilmiah Biosaintropis (Bioscience-Tropic)*, vol. 12, no. 1, pp. 112–126, Aug. 2026. <https://doi.org/10.33474/ejbst.v12i1.664>



Pendahuluan

Pendapatan dari sektor pertambangan merupakan sumber pendapatan utama bagi Indonesia [1]. Besarnya pendapatan dari sektor pertambangan perlu dipertimbangkan dalam jangka panjang karena dampaknya terhadap lingkungan. Eksplorasi sumber daya mineral menyebabkan kerusakan ekosistem, masuknya zat berbahaya, dan degradasi kualitas tanah dan air, sebagaimana dibuktikan oleh parameter fisik, kimia, dan biologis. Solusi diperlukan untuk restorasi lingkungan dan keberlanjutan kawasan pascatambang [2], [3].

Reklamasi pascatambang bertujuan mengurangi dampak negatif dan memastikan penggunaan lahan yang tepat dan produktif [4]. Pemilihan jenis revegetasi perlu mempertimbangkan toleransi terhadap kondisi tanah, kecepatan pembentukan tutupan, kemampuan memperbaiki sifat tanah, serta kontribusinya terhadap suksesi berikutnya [3], [25]. Famili *Fabaceae* banyak digunakan pada lahan bekas tambang karena jenisnya yang mampu tumbuh cepat dan bersimbiosis dengan mikroorganisme pengikat nitrogen, sehingga dapat meningkatkan ketersediaan hara dan memperbaiki kondisi mikrohabitat bagi kolonisasi tumbuhan lain [20]. Pendekatan pengelolaan disesuaikan berdasarkan karakteristik wilayah dan metodologi yang digunakan [3], [5].

Tahura Lati Petangis adalah kawasan hutan yang sebelumnya merupakan bagian dari konsesi pertambangan PT BHP Kendilo Coal, yang pengelolaannya berakhir pada tahun 2002. Pada tahun 2015, kawasan tersebut secara resmi ditetapkan sebagai Taman Hutan Lati Petangis (TAHURA), seluas 3.445,37 ha dan terletak di Desa Petangis, Kecamatan Batu Engau, Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur. Penetapan tersebut diberikan berdasarkan Keputusan Menteri No. SK.4335/MenLHK-PKTL/KUH/2015 [44].

Penetapan Taman Hutan Raya (TAHURA) didasarkan pada pertimbangan untuk menyediakan habitat bagi flora dan fauna, daerah tangkapan air, dan upaya untuk mengurangi polusi udara. Area di sekitar TAHURA telah diubah menjadi perkebunan kelapa sawit, pabrik pengolahan, dan operasi pertambangan. Di dalam area Tahura Lati Petangis, terdapat sebuah danau alami, yang merupakan danau terbesar, serta tujuh danau pascatambang (danau pit), yang tersebar di seluruh area Tahura Lati Petangis [44].

Zona riparian adalah area antara ekosistem darat dan perairan. Zona ini memengaruhi morfologi dan hidrologi ekosistem, mengatur kondisi kimia, membentuk komunitas biologis, dan berfungsi sebagai area penyangga regional [6]. Vegetasi riparian adalah zona vegetasi yang berdekatan dengan badan air. Ukuran zona riparian bervariasi dari 3 hingga 50 meter dari tepi sungai, kolam, dan danau [46]. Struktur vegetasi riparian dimulai dengan tumbuhan lapisan bawah (rumput, herba, semak) diikuti oleh tumbuhan lapisan atas (liana, pohon). Vegetasi tepi danau di lingkungan semi-terestrial sangat penting untuk mendukung keanekaragaman hayati dengan menyediakan sumber makanan dan habitat bagi organisme hidup, mengatur kualitas air, menjaga keanekaragaman hayati, menyediakan jasa ekosistem perairan, dan mengidentifikasi perubahan penggunaan lahan [7], [8].

Peran zona riparian dalam pengelolaan danau pascatambang masih relatif kurang dikaji. Penelitian tentang danau pascatambang masih berfokus pada hidrologi [9], kimia air, keanekaragaman makrofit [10], perkembangan ekosistem [11], serta pemanfaatan akhir danau [12]. Kajian restorasi lahan tambang juga umumnya menekankan vegetasi terestrial, sedangkan struktur vegetasi riparian belum ditempatkan secara sistematis sebagai indikator pemulihan dan potensi pengembangan [13], [14], [15]. Padahal, komposisi dan struktur vegetasi riparian dapat merekam pengaruh penggunaan lahan dan proses regenerasi, sehingga relevan untuk mengevaluasi perkembangan ekosistem pascatambang [8], [21], [38].

Dalam penelitian ini, Danau Alami Gentung Dayo digunakan sebagai referensi ekologis, karena danau tersebut tidak termasuk dalam area reklamasi PT BHP Kendilo Coal Indonesia. Perbandingan dengan danau alami digunakan untuk menilai sejauh mana kekayaan spesies, struktur tingkat pertumbuhan, keanekaragaman, kemerataan, dan dominansi pada dua danau pascatambang telah berkembang menuju kondisi riparian yang lebih kompleks. Penelitian ini bertujuan membandingkan struktur vegetasi riparian antar stasiun, menilai kontribusi spesies revegetasi dan regenerasi alami,

mengidentifikasi spesies invasif dan status konservasi, serta menafsirkan implikasinya terhadap tahap suksesi dan pemulihan ekosistem pascatambang.

Material dan Metode

Lokasi Penelitian

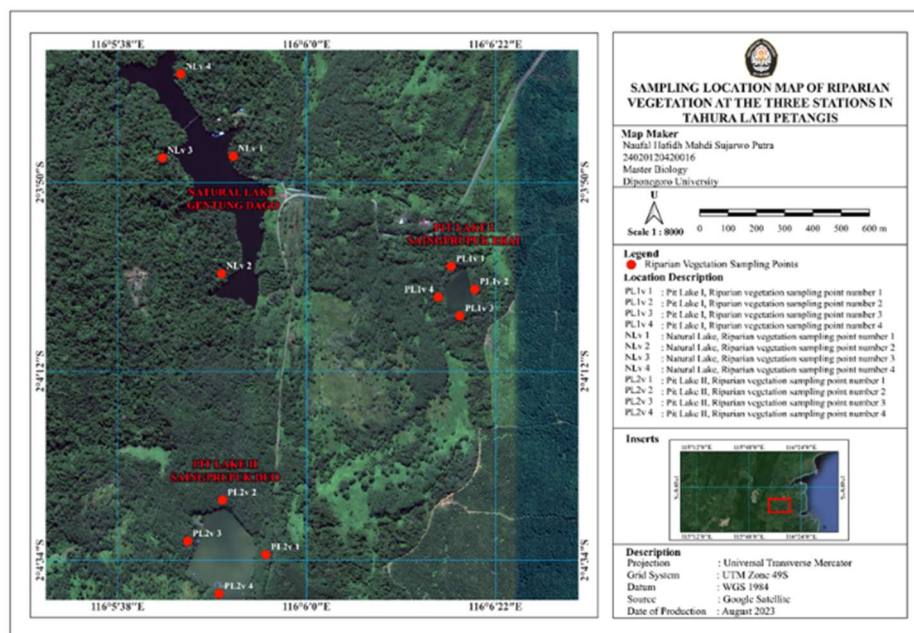
Penelitian ini berlokasi di Taman Hutan Raya Lati Petangis (Tahura Lati Petangis), yang meliputi area seluas 3.445,37 ha. Secara geografis, wilayah ini membentang (utara-selatan) dari $116^{\circ}3'40.996''\text{E}$ hingga $116^{\circ}6'21.502''\text{E}$ dan dari $2^{\circ}2'30.786''\text{S}$ hingga $2^{\circ}9'24.983''\text{S}$. Secara administratif, Tahura Lati Petangis terletak di desa Saing Prupuk, Petangis, dan Teberu Simpang Damai, Kecamatan Batu Engau, Kabupaten Paser, Kalimantan Timur. Kawasan hutan ini memiliki delapan danau, yang terdiri dari satu danau alami dan tujuh danau bekas eksplorasi pertambangan (danau lubang).

Penelitian ini berfokus pada zona riparian danau di Desa Saing Prupuk, khususnya Danau Pit I Saingprupuk Erai dan Danau Pit II Saingprupuk Duo sebagai danau pascatambang. Danau Alami Gentung Dayo digunakan sebagai lokasi referensi ekologis, karena tidak termasuk dalam area reklamasi PT BHP Kendilo Coal Indonesia (Tabel 1). Lokasi referensi digunakan untuk membandingkan atribut komunitas vegetasi, tetapi tidak diperlakukan sebagai kontrol eksperimental karena ketiga danau memiliki karakteristik lanskap, luas, dan kedalaman yang berbeda.

Tabel 1. Karakteristik Situs Penelitian

Nomor Stasiun	Nama Lokasi	Titik Koordinat	Ukuran	Kedalaman	Volume Air
Stasiun 1	Danau Pit I Saingprupuk Erai	$116^{\circ}6'17.349''\text{E}$ – $2^{\circ}2'87.800''\text{S}$	1,31 Ha	10,5 m	$94.975,00\text{ m}^3$
Stasiun 2	Danau Alami Gentung Dayo	$116^{\circ}5'48.730''\text{E}$ – $2^{\circ}3'49.080''\text{S}$	12,74 Ha	11,6 m	$1.153.383,59\text{ m}^3$
Stasiun 3	Danau Pit II Saingprupuk Duo	$116^{\circ}5'50.558''\text{E}$ – $2^{\circ}4'32.902''\text{S}$	5,79 Ha	11,67 m	$898.438,90\text{ m}^3$

Sumber: DLH Kab.Paser & FPIK UNMUL, 2020



Gambar 1. Lokasi Penelitian Danau di Taman Hutan Lati Petangis



Rancangan Penelitian dan Pengambilan Sampel

Penelitian ini dilakukan pada Januari 2023 di tiga stasiun pengamatan (Gambar 1). Di setiap stasiun pengamatan, ditempatkan 4 titik pengambilan sampel berdasarkan 4 sisi mata angin yang mengelilingi danau. Di setiap titik pengambilan sampel, ditempatkan petak kuadrat. Ukuran petak kuadrat adalah sebagai berikut: 20 m x 20 m untuk tingkat pohon, 10 m x 10 m untuk tingkat tiang, 5 m x 5 m untuk tingkat pancang, dan 2 m x 2 m untuk tingkat semai. Di setiap stasiun pengamatan terdapat 4 ulangan.

Cara Kerja Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian meliputi kamera digital, meteran, tali rafia, spidol permanen, dan kertas label. Bahan penelitian berupa sampel tumbuhan (daun, batang, akar, dan bunga apabila tersedia) yang dikoleksi dari individu yang belum dapat diidentifikasi secara langsung di lapangan untuk keperluan identifikasi lebih lanjut.

Pengamatan dilakukan dalam setiap plot dengan mencatat nama jenis, menghitung jumlah individu, mengukur basal area untuk pohon dan tiang, serta mengukur luas kanopi/coverage area untuk pancang dan semai. Karakteristik pohon merupakan kayu besar tinggi dengan diameter batang utama lebih dari 20 cm, karakteristik tiang dengan diameter antara 10 - 20 cm, karakteristik pancang memiliki tinggi 1,5 m dengan diameter batang kurang dari 10 cm, dan karakteristik semai memiliki tinggi kurang dari 1,5 m [47], termasuk di dalamnya berupa pengamatan terhadap tumbuhan bawah, jenis semak, herba, dan rumput-rumputan.

Pengambilan sampel spesies berupa daun, akar, batang, dan bunga (jika ada) dilakukan untuk keperluan identifikasi bagi spesies yang belum diketahui. Selanjutnya dari sampel yang sudah didata dan ditabulasi dalam tabel pengamatan, dilakukan analisis terhadap indeks keanekaragaman jenis Shannon-Wiener, indeks kemerataan Pielou, indeks nilai penting (INP), serta menambahkan status konservasi spesies tumbuhan berdasarkan list *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) [8], [16], [48].

Analisis Data

Analisis vegetasi dilakukan dengan menggunakan parameter berikut, kerapatan, kerapatan relatif, frekuensi, frekuensi relatif, dominasi, dominasi relatif, Indeks Keanekaragaman Spesies Shannon-Wiener (H'), Indeks Keseragaman Pielou (E), Indeks Nilai Penting (INP) [16], [17], [18], [19].

$$\text{Kepadatan} = (\text{Jumlah individu suatu spesies}) / (\text{Luas plot pengamatan})$$

$$\text{Kepadatan relatif} = (\text{Kepadatan suatu spesies}) / (\text{Total kepadatan semua spesies}) \times 100\%$$

$$\text{Frekuensi} = (\text{Jumlah plot yang ditempati oleh suatu spesies}) / (\text{Total semua plot})$$

$$\text{Frekuensi relatif} = (\text{Total frekuensi suatu spesies}) / (\text{Total frekuensi semua spesies}) \times 100\%$$

$$\text{Dominansi} = (\text{Luas dasar atau luas kanopi suatu spesies}) / (\text{Luas plot pengamatan})$$

$$\text{Dominansi relatif} = (\text{Dominansi suatu spesies}) / (\text{Dominansi semua spesies}) \times 100\%$$

Indeks Keanekaragaman Spesies Shannon-Wiener (H')

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i (\ln p_i)$$

di mana; p_i = kelimpahan relatif spesies ke- i (n_i/N), n_i = jumlah individu spesies ke- i , N = jumlah total individu suatu spesies, $\ln$ = logaritma natural

Indeks Keseragaman Pielou (E)

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

di mana: H' = Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener, S = Jumlah spesies
Indeks Nilai Penting (INP)

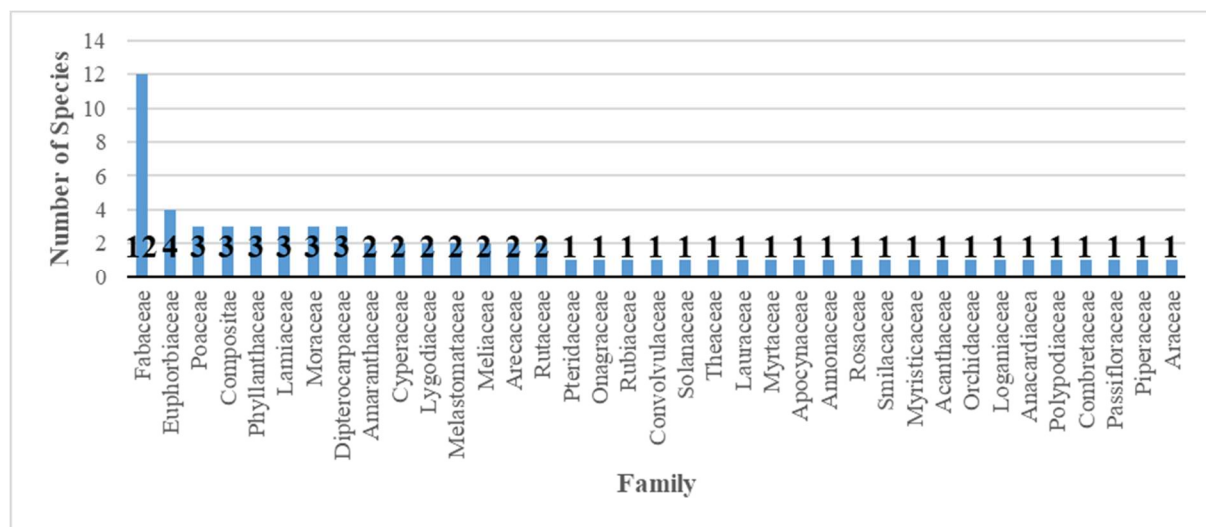
$$IVI = R_{Den} + RF + R_{Dom}$$

di mana: R_{Den} = Kepadatan Relatif, RF = Frekuensi Relatif, R_{Dom} = Dominasi Relatif

Hasil dan Diskusi

Jumlah spesies yang ditemukan dari tiga stasiun pengamatan mencapai 70 spesies yang termasuk dalam 37 famili. Stasiun 1 (Danau Pit I Saingrupuk Erai) menemukan 24 spesies tumbuhan, terdiri dari 4 spesies tingkat pohon, 2 spesies tingkat tiang, 2 spesies tingkat anakan, dan 17 spesies tingkat bibit. Di stasiun 2 (Danau Alam Gentung Dayo) ditemukan 36 spesies tumbuhan, terdiri dari 17 spesies tingkat pohon, 4 spesies tingkat tiang, 4 spesies tingkat anakan, dan 16 spesies tingkat bibit. Di stasiun 3 (Danau Pit II Saingrupuk Duo) ditemukan 32 spesies tumbuhan, terdiri dari 11 spesies tingkat pohon, 4 spesies tingkat tiang, 5 spesies tingkat pancang, dan 19 spesies tingkat semai.

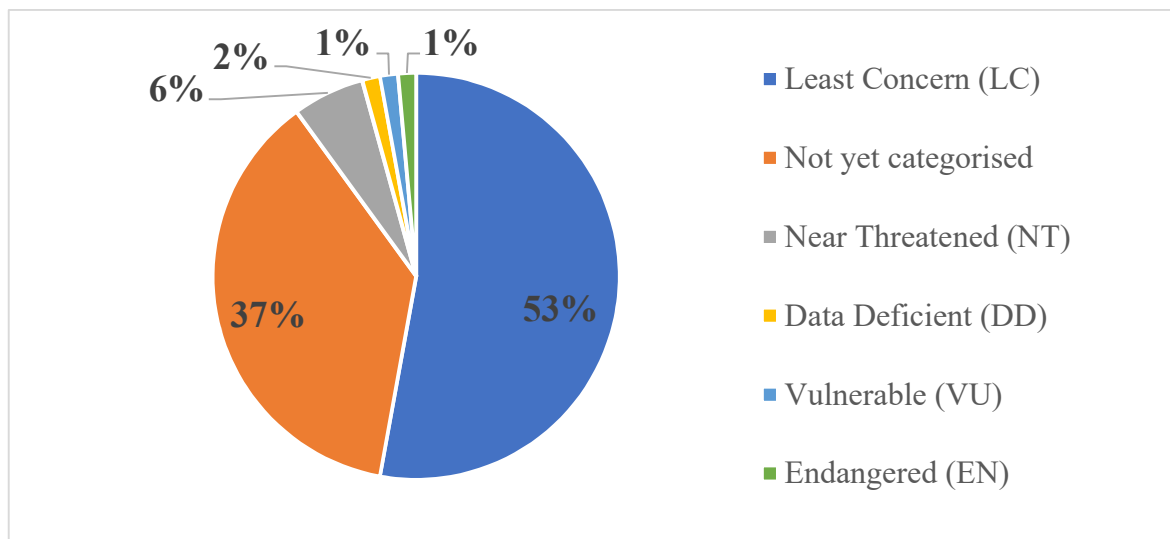
Berdasarkan Gambar 2, famili *Fabaceae* memiliki spesies terbanyak. *Mimosa pigra*, *Mimosa pudica*, *Centrosema pubescens* sebagai spesies tumbuhan bawah. *Acacia mangium*, *Albizia chinensis*, dan *Parkia timoriana* sebagai tanaman revegetasi pascatambang. Famili *Fabaceae* umumnya ditemukan di area reklamasi pascatambang batubara.



Gambar 2. Famili dan Jumlah Spesies Tumbuhan pada Vegetasi Riparian Danau Pascatambang di Lokasi Penelitian

Famili *Fabaceae* berfungsi sebagai tumbuhan perintis karena kemampuannya beradaptasi dengan tanah yang kekurangan nutrisi. Studi ekologi *Fabaceae* mampu meningkatkan infiltrasi lapisan tanah atas, memperbaiki tanah dan iklim mikro, serta membantu menjaga kelembapan udara. Selain itu, akar famili ini mampu bersimbiosis dengan mikroba pengikat nitrogen, hasil simbiosis ini berperan dalam menyediakan nitrogen di tanah untuk kepentingan pertumbuhan dan perkembangan tanaman di sekitarnya [20].

Spesies tumbuhan dikategorikan berdasarkan status terancam punahnya melalui *IUCN Red List* (International Union for Conservation of Nature). *IUCN Red List* juga berguna dalam menentukan langkah-langkah konservasi untuk spesies yang sangat terancam punah.



Gambar 3. Persentase status ancaman spesies tumbuhan pada vegetasi riparian di lokasi penelitian berdasarkan IUCN Red List

Berdasarkan Gambar 3, terdapat 37 spesies (53%) dalam kategori *Least Concern (LC)*, yang memiliki risiko gangguan dan ancaman yang rendah. Kategori yang belum tercatat sebanyak 26 spesies (37%). Empat spesies (6%), yaitu *Pterocarpus officinalis*, *Shorea leprosula*, *Swietenia mahagoni*, dan *Artocarpus odoratissimus*, tercatat sebagai *Near Threatened (NT)*, yang memiliki risiko kepunahan dalam waktu dekat. *Dipterocarpus hasseltii* (1%) termasuk kategori *Endangered (EN)*, *Eusideroxylon zwageri* (1%) termasuk kategori *Vulnerable (VU)*, dan *Myristica fragrans* (1%) termasuk kategori *Data Deficient (DD)*. Penggunaan status konservasi dalam penelitian ini dimaksudkan untuk menandai spesies yang memerlukan perhatian pengelolaan di Tahura Lati Petangis.

Jumlah spesies yang ditemukan di tiga stasiun pengamatan dapat dibagi menjadi tumbuhan revegetasi dan tumbuhan alami. Tabel 2 menunjukkan jenis spesies reklamasi yang ditanam oleh PT BHP Kendilo Coal Indonesia pada tahun 2001.

Tabel 2. Daftar Spesies Tanaman Revegetasi untuk Reklamasi Pascatambang Batubara di Area Tahura Lati Petangis oleh PT BHP Kendilo Coal Indonesia

No	Tumbuhan Revegetasi	Jenis
1	<i>Paraserianthes falcataria</i>	Tanaman dengan Pertumbuhan Cepat
2	<i>Acacia mangium</i>	Tanaman dengan Pertumbuhan Cepat
3	<i>Gmelina arborea</i>	Tanaman dengan Pertumbuhan Cepat
4	<i>Colopogonium mucunoides</i>	Legum Penutup Lahan (LCC)
5	<i>Peuraria javanica</i>	Legum Penutup Lahan (LCC)
6	<i>Vitex</i> sp.	Tanaman Perintis Lokal (Non-Dipterocarpaceae)
7	<i>Schiima walichii</i>	Tanaman Perintis Lokal (Non-Dipterocarpaceae)
8	<i>Parkhia roxburghii</i>	Tanaman Perintis Lokal (Non-Dipterocarpaceae)
9	<i>Dillenia</i> sp.	Tanaman Perintis Lokal (Non-Dipterocarpaceae)
10	<i>Eugenia</i> sp.	Tanaman Perintis Lokal (Non-Dipterocarpaceae)
11	<i>Koordersiodendrum pinnatum</i>	Tanaman Perintis Lokal (Non-Dipterocarpaceae)
12	<i>Penorema canescens</i>	Tanaman Perintis Lokal (Non-Dipterocarpaceae)
13	<i>Shorea parvifolia</i>	Tanaman Perintis Lokal (Dipterocarpaceae)
14	<i>Dipterocarpus</i> cf. <i>gracilis</i>	Tanaman Perintis Lokal (Dipterocarpaceae)
15	<i>Aleuritus moluccana</i>	Tanaman Buah
16	<i>Nephelium</i> sp.	Tanaman Buah
17	<i>Durio zibethinus</i>	Tanaman Buah
18	<i>Artocarpus integra</i>	Tanaman Buah



No	Tumbuhan Revegetasi	Jenis
19	<i>Mangifera</i> sp.	Tanaman Buah
20	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	Tanaman Buah
21	<i>Lansium domesticum</i>	Tanaman Buah
22	<i>Salacca zalacca</i>	Tanaman Buah
23	<i>Musa paradisiaca</i>	Tanaman Buah
24	<i>Terminalia catappa</i>	Tanaman Tepi Perairan

Sumber: PT BHP Kendilo Coal Indonesia, 2001

Dari 70 spesies yang tercatat, 11 spesies (16%) termasuk dalam daftar tumbuhan revegetasi, sedangkan 59 spesies (84%) merupakan tumbuhan alami yang tidak tercatat dalam daftar penanaman. *Vitex pinnata*, *Acacia mangium*, dan *Peronema canescens* ditemukan pada tiga stasiun dan menunjukkan masih kuatnya jejak vegetasi hasil revegetasi pada tingkat pohon. Namun, proporsi spesies alami yang jauh lebih tinggi menunjukkan bahwa komunitas riparian saat ini tidak lagi tersusun terutama oleh jenis yang ditanam, melainkan telah banyak menerima kolonisasi dan regenerasi spontan.

Perbandingan tumbuhan alami dan tumbuhan revegetasi menunjukkan bahwa tumbuhan revegetasi yang ditanam secara sengaja, terutama dari famili *Fabaceae*, bermanfaat dalam mendorong pertumbuhan spesies lain [20]. Spesies tumbuhan perintis membantu menyediakan kondisi pertumbuhan bagi spesies alami, meskipun laju pertumbuhan spesies alami tidak dapat ditentukan dengan pasti setelah penanaman spesies revegetasi [21]. Dominasi jumlah spesies alami sejalan dengan temuan pada lahan reklamasi tambang di Indonesia, bahwa tanaman revegetasi dapat berfungsi sebagai fasilitator awal melalui pembentukan tutupan, perbaikan mikroklimat, dan peningkatan kualitas tanah yang kemudian memungkinkan masuknya spesies spontan [20], [21], [38]. Meskipun demikian, jumlah spesies alami tidak dengan sendirinya menunjukkan bahwa struktur komunitas telah setara dengan ekosistem referensi. Danau Alami Gentung Dayo memiliki 17 spesies tingkat pohon, lebih tinggi dibandingkan stasiun 1 (4 spesies) dan stasiun 3 (11 spesies), sehingga perkembangan tumbuhan tingkat pohon tetap menjadi indikator penting untuk menilai kemajuan pemulihan. Komposisi 84% spesies alami merupakan bukti adanya regenerasi alami yang kuat, tetapi pemulihan struktural antar stasiun masih berlangsung pada tingkat yang berbeda.

Tabel 3. Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener dan Indeks Keseragaman Pielou Riparian untuk setiap Lokasi Penelitian

No	Kategori Indeks	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3
1	Indeks Keanekaragaman Shannon-Wiener (H')	2.051	2.483	2.677
	Deskripsi	Keanekaragaman spesies sedang	Keanekaragaman spesies sedang	Keanekaragaman spesies sedang
2	Indeks Keseragaman Pielou (E)	0.645	0.693	0.772
	Deskripsi	Spesies tersebar merata	Spesies tersebar merata	Spesies tersebar merata

Nilai indeks keanekaragaman Shannon-Wiener dipengaruhi oleh 2 hal, yaitu kekayaan spesies dan kelimpahan individu dari setiap spesies yang berbeda dalam suatu ekosistem. Penggunaan indeks keanekaragaman spesies mampu mengukur tingkat perkembangan ekosistem [22]. Indeks keanekaragaman spesies dengan kategori sedang, menggambarkan kondisi pertumbuhan substrat pendukung dan parameter lingkungan yang stabil, meskipun ada persaingan antar spesies dalam hal ruang dan makanan [23].

Berdasarkan tabel 3, Indeks Keseragaman Pielou (E) menunjukkan kategori distribusi spesies yang merata di tiga stasiun pengamatan, nilainya berkisar antara 0,645 - 0,772. Kategori distribusi spesies

yang merata memiliki nilai $>0,6 - 1$. Indeks keseragaman (E) menentukan stabilitas ekosistem, nilai pemerataan yang tinggi menunjukkan bahwa kelimpahan spesies pada tingkat komunitas relatif lebih seimbang, tetapi tidak meniadakan dominansi spesies pada strata pertumbuhan tertentu. Sementara itu, distribusi spesies yang tidak merata ($<0,6$) menunjukkan bahwa komunitas tersebut lebih rentan terhadap invasi, gangguan, dan stres [24]. Namun, hasil pengamatan menunjukkan bahwa spesies invasif masih ditemukan di stasiun 1, yaitu *Mimosa pigra* dan *Chromolaena odorata*, sehingga memerlukan pemantauan lebih lanjut.

Perbandingan dengan Danau Alami Gentung Dayo memperlihatkan bahwa indikator pemulihan tidak memberikan pola yang identik. Danau alami memiliki kekayaan total tertinggi (36 spesies) dan struktur pohon paling kaya (17 spesies), sedangkan stasiun 3 memiliki H' dan E tertinggi dengan 32 spesies, 11 spesies pohon, dan 19 spesies semai. Hal ini menunjukkan bahwa stasiun 3 telah membentuk komunitas yang relatif beragam dan seimbang, tetapi struktur vegetasi berkayunya masih berbeda dari lokasi referensi. Sebaliknya, stasiun 1 memiliki kekayaan total terendah (24 spesies), hanya 4 spesies pohon, serta dominasi spesies invasif pada tingkat pancang dan semai. Indeks pemerataan tidak berarti tidak terdapat spesies dominan pada setiap strata, dominansi lokal tetap dapat muncul ketika analisis INP dilakukan secara terpisah menurut tingkat pertumbuhan [24]. Penelitian ini tidak menguji faktor lingkungan atau riwayat gangguan ekosistem, sehingga perbedaan antar stasiun dipahami sebagai indikasi perbedaan tingkat pemulihan, bukan sebagai hubungan sebab-akibat [21], [38], [43].

Tabel 4. Indeks Nilai Penting (INP) Spesies Tumbuhan pada Vegetasi Riparian Danau Tahura Lati Petangis Tingkat Pohon

No	Nama Ilmiah	Nama Umum (Nama Lokal)	INP (%)		
			ST 1	ST 2	ST 3
1	<i>Acacia mangium</i> Willd.	Akasia	106.627	69.600	38.230
2	<i>Albizia chinensis</i> (Osbeck) Merr.	Sengon	-	-	14.991
3	<i>Alstonia scholaris</i> (L.) R.Br.	Pulai	-	8.546	-
4	<i>Antidesma ghaesembilla</i> Gaertn.	Asam-Asam (Brunai/Andi-Andi/Buni)	52.712	14.782	26.160
5	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	Nangka	-	-	8.477
6	<i>Artocarpus odoratissimus</i> Blanco	Tarap	-	6.248	-
7	<i>Clausena anisata</i> (Willd.) Hook.f. ex Benth.	Klausena (Sicerek, Ki mantu, Ki bajetah, Temung)	-	-	15.568
8	<i>Dipterocarpus hasseltii</i> Blume	Keruing Bunga (Palahlar)	-	7.932	-
9	<i>Eugenia</i> sp.	Jambu-jambuan (Kelat, Ki Tembaga)	-	15.700	-
10	<i>Eusideroxylon zwageri</i> Teijsm. & Binn.	Ulin (Bi, Onglen, Tebelian, Tulian)	-	8.548	-
11	<i>Ficus benjamina</i> L.	Beringin	-	12.599	-
12	<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	Jati Putih (Jati Bodas, Gamalina)	-	7.883	7.676
13	<i>Parkia speciosa</i> Hassk.	Petai	-	-	5.960
14	<i>Parkia timoriana</i> (DC.) Merr.	Kedawung	-	-	15.526
15	<i>Peronema canescens</i> Jack.	Sungkai (Jati Sabrang)	19.486	12.723	90.338
16	<i>Pterocarpus officinalis</i> Jacq.	Mukwa/Narra	-	6.033	-
17	<i>Schima wallichii</i> (DC.) Korth	Puspa	-	5.937	-
18	<i>Shorea leprosula</i> Miq	Meranti Bunga	-	30.645	-
19	<i>Shorea parvifolia</i> Dyer.	Meranti Sarang Punai	-	17.500	-



No	Nama Ilmiah	Nama Umum (Nama Lokal)	INP (%)		
			ST 1	ST 2	ST 3
20	<i>Swietenia mahagoni</i> (L.) Jacq.	Mahoni	-	13.241	-
21	<i>Terminalia catappa</i> L.	Ketapang	-	-	6.115
22	<i>Vernicia montana</i> Lour.	Pohon Tung	-	6.375	-
23	<i>Vitex pinnata</i> L.	Laban (Halaban)	121.175	55.708	70.960

Deskripsi: ST 1 (Stasiun 1, Danau Pit I Saingprupuk Erai); ST 2 (Stasiun 2, Danau Alami Gentung Dayo); ST 3 (Stasiun 3, Danau Pit II Saingprupuk Duo)

Berdasarkan perhitungan tabel 4, *V. pinnata*, *A. mangium*, dan *P. canescens* adalah spesies pohon dominan di setiap stasiun. Ketiga spesies tersebut sengaja ditanam sebagai bagian dari kegiatan reklamasi pascatambang, dan kemudian tumbuh [21]. Ketiga spesies tersebut merupakan perintis lokal yang tumbuh cepat, biasanya ditanam pada periode kedua setelah penyemaian tanaman penutup lahan (*LCC*). Tanaman *LCC* bermanfaat untuk mencegah erosi dan sedimentasi, sedangkan spesies perintis lokal bermanfaat dalam memperkaya nutrisi tanah dan memperbaiki kondisi iklim mikro tambang [25], [26]. Oleh karena itu, dominansi pohon revegetasi perlu dipahami bersama dengan tingginya proporsi spesies alami dan regenerasi pada tingkat semai serta pancang, bukan sebagai satu-satunya ukuran keberhasilan reklamasi.

Tabel 5. Indeks Nilai Penting (INP) Spesies Tumbuhan pada Vegetasi Riparian Danau Tahura Lati Petangis Tingkat Tiang

No	Nama Ilmiah	Nama Umum (Nama Lokal)	INP (%)		
			ST 1	ST 2	ST 3
1	<i>Acacia mangium</i> Willd.	Akasia	-	-	59.761
2	<i>Anaxagorea dolichocarpa</i> Sprague & Sandwith	Pelir Musang	-	10.452	-
3	<i>Calamus paspalanthus</i> Becc.	Rotan Marau Tunggal (Rotan Sanjat)	-	25.317	-
4	<i>Claoxylon indicum</i> Hassk.	(Tedimfuk, Tempayangan, Ketupuk)	-	-	30.599
5	<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	Jati Putih (Gamalina, Jati Bodas)	-	-	175.491
6	<i>Macaranga bancana</i> (Miq.) Mull. Arg.	Mahang	-	53.976	-
7	<i>Macaranga tanarius</i> (L.) Müll.Arg.	Mara	270.859	210.255	-
8	<i>Mitragyna speciosa</i> (Korth.) Havil.	Kratom	29.141	-	-
9	<i>Vitex pinnata</i> L.	Laban (Halaban)	-	-	34.148

Deskripsi: ST 1 (Stasiun 1, Danau Pit I Saingprupuk Erai); ST 2 (Stasiun 2, Danau Alami Gentung Dayo); ST 3 (Stasiun 3, Danau Pit II Saingprupuk Duo)

Berdasarkan tabel 5, *M. tanarius* dan *G. arborea* merupakan spesies tumbuhan dominan di tingkat tiang pada setiap stasiun. Pertumbuhan *M. tanarius* merupakan indikasi hutan sekunder, yaitu hutan yang terbentuk akibat aktivitas manusia, seperti aktivitas pertambangan [27]. Faktor yang menyebabkan kelimpahan individu *M. tanarius* adalah karena memiliki morfologi biji kecil yang mudah dibawa oleh agen penyerbuk, perkecambahan biji yang cepat, dan toleransi terhadap sinar matahari [28]. *G. arborea* direkomendasikan sebagai jenis tanaman revegetasi. *G. arborea* di tingkat pohon atau tiang umumnya berfungsi sebagai naungan bagi tanaman herba pirenal atau tanaman famili rumput [29], [30], [31].

Secara ekologis, *G. arborea* penting dalam meningkatkan C-organik tanah, N total tanah, pH tanah, dan menyerap karbon atmosfer [3], [32].

Tabel 6. Indeks Nilai Penting (INP) Spesies Tumbuhan pada Vegetasi Riparian Danau Tahura Lati Petangis Tingkat Pancang

No	Nama Ilmiah	Nama Umum (Nama Lokal)	INP (%)		
			ST 1	ST 2	ST 3
1	<i>Clidemia hirta</i> (L.) D. Don	Senduduk Bulu (Harendong Bulu, Senggani)	-	-	45.987
2	<i>Licuala spinosa</i> Thunb.	Palem kipas	-	105.048	-
3	<i>Melastoma malabathricum</i> L.	Senduduk (Karamunting)	-	-	59.984
4	<i>Melia azedarach</i> L.	Mindi (Renceh, Gringging, Cakra-cikri)	-	28.945	98.044
5	<i>Mimosa pigra</i> L.	Putri Malu Besar, Putri Malu Berduri (Baret)	275.904	-	-
6	<i>Rubus</i> sp.	Rasberri hutan (Akar kupor, Tempuranak, Kala kucet)	-	63.354	-
7	<i>Sauropus androgynus</i> (L.) Merr.	Katuk	24.096	-	-
8	<i>Smilax gigantea</i> Merr.	Canar (Bomooy)	-	102.652	-
9	<i>Solanum torvum</i> Sw.	Terung Pipit (Takokak, Rimbang, Cekokak, Kerlurang)	-	-	43.100
10	<i>Vitex pinnata</i> L.	Laban (Halaban)	-	-	52.885

Deskripsi: ST 1 (Stasiun 1, Danau Pit I Saingrupuk Erai); ST 2 (Stasiun 2, Danau Alami Gentung Dayo); ST 3 (Stasiun 3, Danau Pit II Saingrupuk Duo)

Berdasarkan tabel 6, *M. pigra*, *L. spinosa*, dan *M. azedarach* merupakan spesies tumbuhan tingkat pancang yang dominan di setiap stasiun. *M. pigra* dikenal sebagai spesies invasif dan mampu hidup di ekosistem lahan basah hingga kering, tepi sungai, dan di daerah yang terpengaruh oleh permukaan air [33] [34]. *L. spinosa* dapat hidup di daerah hutan hujan tropis, tepi kanal atau parit, tepi kolam air tawar, hutan pesisir, atau di hutan Dipterocarp. *M. azedarach* dapat digunakan sebagai tanaman revegetasi untuk ekosistem yang terdegradasi. *M. azedarach* juga memiliki fungsi ekologis positif dalam memperbaiki sifat tanah, memperkaya spesies mikroba tanah, dan memperbaiki sifat salin-alkali tanah [35], serta memengaruhi peningkatan total nitrogen dalam tanah [30], [36].

Tabel 7. Indeks Nilai Penting (INP) Spesies Tumbuhan pada Vegetasi Riparian Danau Tahura Lati Petangis Tingkat Semai

No	Nama Ilmiah	Nama Umum (Nama Lokal)	INP (%)		
			ST 1	ST 2	ST 3
1	<i>Acacia mangium</i> Willd.	Akasia	6.504	5.409	4.430
2	<i>Alstonia scholaris</i> (L.) R. Br.	Pulai	-	5.931	-
3	<i>Alternanthera sessilis</i> (L.) R.Br. ex DC.	Kremah	6.374	-	-
4	<i>Amaranthus spinosus</i> L.	Bayam Duri, Bayam Liar	-	-	6.179
5	<i>Amorphophallus paeoniifolius</i> (Dennst.) Nicolson	Suweg	-	-	5.521
6	<i>Andropogon aciculatus</i> Retz.	Rumput Jarum	-	79.228	21.806
7	<i>Asystasia gangetica</i> (L.) T.Anderson	Rumput Israel (Paya kumbuh, Arang Sungsang)	-	19.681	14.074



No	Nama Ilmiah	Nama Umum (Nama Lokal)	INP (%)		
			ST 1	ST 2	ST 3
8	<i>Bauhinia purpurea</i> L.	Kupu-kupu (Tayuman)	-	13.089	-
9	<i>Bulbophyllum</i> sp.	Anggrek Epifit	-	5.825	-
10	<i>Camptosperma coriaceum</i> (Jack) Hallier	Tarantang paya	-	5.750	-
11	<i>Centrosema pubescens</i> Benth.	Kacang Sentro	-	-	6.722
12	<i>Ceratopteris thalictroides</i>	Paku Rawa	11.422	-	-
13	<i>Chromolaena odorata</i> (L.) R.M.King & H.Rob.	Rumput Minjangan	140.576	-	-
14	<i>Citrus</i> sp.	Jeruk	-	6.996	-
15	<i>Clidemia hirta</i> (L.) D. Don	Senduduk Bulu (Harendong Bulu, Senggani)	6.960	-	-
16	<i>Crotalaria lanceolata</i> E.Mey.	Orok – orok	7.525	-	-
17	<i>Cyperus odoratus</i> L.	Teki Ladang, Teki Kuning	5.238	-	-
18	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Rumput Teki	31.107	-	46.444
19	<i>Drynaria quercifolia</i> (L.) J. Sm.	Paku kepala tupai	-	14.714	-
20	<i>Elephantopus tomentosus</i> L.	Kalimayi	5.445	-	-
21	<i>Imperata cylindrica</i> (L.) Raeusch.	Alang-Alang (Ilalang)	31.717	-	22.695
22	<i>Ipomoea lacunosa</i> L.	Kangkung-kangkungan	5.706	-	7.264
23	<i>Ludwigia hyssopifolia</i> (G.Don) Exell	Cacabea	10.888	-	36.856
24	<i>Lygodium japonicum</i> (Thunb.) Sw.	Paku Kapai Besar	5.679	-	6.741
25	<i>Lygodium venustum</i> Sw.	Ribu ribu	-	-	6.541
26	<i>Mimosa pudica</i> L.	Putri Malu	7.274	-	6.140
27	<i>Myristica fragrans</i> Houtt.	Pala	-	22.333	-
28	<i>Passiflora foetida</i> L.	Markisa hutan (Rambusa)	-	-	12.511
29	<i>Peronema canescens</i> Jack	Sungkai (Jati Sabrang)	-	7.963	16.590
30	<i>Phyllanthus urinaria</i> L.	Meniran Hijau	6.587	-	-
31	<i>Piper aduncum</i> L.	Sirih hutan	-	-	5.829
32	<i>Pogonatherum paniceum</i> (Lam.) Hack.	Rumput Bambu	-	26.210	62.519
33	<i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr.	Trembesi (Ki hujan)	-	-	6.304
34	<i>Schnella outimouta</i> (Aubl.) Wunderlin	Anggrek Hongkong	-	7.208	-
35	<i>Shorea leprosula</i> Miq	Meranti Bunga	-	34.926	-
36	<i>Shorea parvifolia</i> Dyer.	Meranti Sarang Punai	-	38.172	-
37	<i>Solanum torvum</i> Sw.	Terung Pipit (Takokak, Rimbang, Cekokak, Kerluran)	5.308	-	-
38	<i>Struchium sparganophorum</i> (L.) Kuntze	Kenop Air (Awa lanaru, Pacar hutang, Ombo' Dae)	5.691	-	-
39	<i>Strychnos ignatia</i> Lindl.	Ipuh Akar	-	6.564	-
40	<i>Vitex pinnata</i> L.	Laban (Halaban)	-	-	4.834

Deskripsi: ST 1 (Stasiun 1, Danau Pit I Saingrupuk Erai); ST 2 (Stasiun 2, Danau Alami Gentung Dayo); ST 3 (Stasiun 3, Danau Pit II Saingrupuk Duo)

Berdasarkan tabel 7, *C. odorata*, *A. aciculatus*, dan *P. paniceum* adalah tanaman tingkat semai dominan di setiap stasiun. *C. odorata* merupakan jenis gulma invasif dalam ekosistem. Tanaman ini



mampu hidup dominan pada umur 9 dan 17 tahun reklamasi pascatambang sebagai jenis tanaman tingkat rendah. *C. odorata* mampu bersaing dengan spesies tanaman lain melalui efek alelopati dan kemampuan untuk mentolerir paparan sinar matahari [37], [38]. *A. aciculatus* merupakan jenis tanaman dari famili *Poaceae*, famili ini dikenal karena kemampuannya untuk menahan erosi dan mengikat partikel tanah. Tanaman ini dapat digunakan untuk mempercepat proses suksesi ekologis. *P. paniceum* dapat ditemukan sebagai tumbuhan riparian di tepi sungai atau ekosistem perairan lainnya. *P. paniceum* sebagai penanda ekosistem yang mengalami transisi dalam proses suksesi ekologis. Umumnya tumbuhan ini bermula sebagai penutup lahan dasar [39], [40].

Berdasarkan perhitungan Indeks Nilai Penting (INP), ditemukan dua spesies tumbuhan invasif dominan di stasiun 1, yaitu *M. pigra* pada tingkat pancang dan *C. odorata* pada tingkat semai. Spesies invasif adalah spesies yang mendominasi suatu habitat dan keberadaannya dapat menyebabkan kerugian ekologis, ekonomi, dan sosial [45]. Mekanisme invasi *M. pigra* adalah melalui simbiosis dengan jamur mikoriza dan rizobia tanah sehingga memengaruhi pasokan nutrisi, pelepasan senyawa alelokimia [33], [34], dan memodifikasi struktur komunitas mikroba tanah [41]. Meskipun penelitian tentang kualitas air danau menunjukkan adanya pencemaran organik yang ditandai dengan fenol yang melewati baku mutu [42], namun penelitian ini tidak mengukur konsentrasi alelokimia, sehingga keberadaan kedua spesies tersebut tidak dapat digunakan untuk menyimpulkan terjadinya pencemaran organik di danau. Implikasi dari data penelitian menunjukkan tekanan kompetitif terhadap regenerasi vegetasi riparian di Stasiun 1, sehingga pemantauan dan pengendalian spesies invasif diperlukan untuk mendukung regenerasi spesies alami di Tahura Lati Petangis.

Komposisi vegetasi menunjukkan indikasi transisi dari suksesi awal menuju suksesi pertengahan, tetapi proses tersebut berlangsung tidak seragam antar stasiun. Bukti yang mendukung interpretasi ini adalah tingginya proporsi spesies alami (59 dari 70 spesies; 84%), keberadaan semai dan pancang pada seluruh stasiun, serta koeksistensi pohon hasil revegetasi dengan spesies yang beregenerasi secara spontan [38]. Selain itu, untuk mencapai keberhasilan reklamasi, diharapkan spesies revegetasi akan menurun dan digantikan oleh spesies alami [20]. Penelitian lain menjelaskan bahwa dibutuhkan waktu 13 tahun untuk perkembangan tumbuhan setelah reklamasi, 10 tahun digunakan untuk proses adaptasi dan pertumbuhan, dan 3 tahun kemudian memasuki tahap perkembangan yang stabil [43]. Suksesi merupakan proses yang berkelanjutan, dan salah satu ciri suksesi progresif adalah banyaknya spesies tumbuhan alami yang ditemukan dibandingkan dengan spesies perintis [38]. Meskipun demikian, dominasi *M. pigra* dan *C. odorata* di stasiun 1 menunjukkan bahwa suksesi progresif dapat disertai hambatan berupa invasi spesies asing. Karena penelitian ini hanya dilakukan pada satu waktu, tahap suksesi ditentukan berdasarkan kondisi vegetasi saat pengamatan dan tidak menunjukkan perubahan vegetasi secara langsung dari waktu ke waktu.

Kesimpulan

Ketiga stasiun menunjukkan keanekaragaman spesies sedang ($H' = 2,051-2,677$), tetapi memiliki struktur komunitas yang berbeda. Danau Alami Gentung Dayo sebagai lokasi referensi memiliki kekayaan spesies tertinggi (36 spesies) dan jumlah spesies tingkat pohon terbanyak (17 spesies), sedangkan stasiun 3 memiliki nilai H' dan E tertinggi (2,677 dan 0,772). Stasiun 1 memiliki kekayaan spesies dan nilai H' serta E terendah, sekaligus menunjukkan dominasi *Mimosa pigra* pada tingkat pancang dan *Chromolaena odorata* pada tingkat semai sebagai spesies invasif. Secara keseluruhan, 59 dari 70 spesies (84%) merupakan spesies alami dan hanya 11 spesies (16%) termasuk daftar revegetasi, yang menunjukkan bahwa regenerasi alami telah menjadi komponen utama pemulihan vegetasi riparian setelah lebih dari 20 tahun reklamasi. Dominansi *Vitex pinnata*, *Acacia mangium*, dan *Peronema canescens* pada tingkat pohon menunjukkan masih bertahannya tumbuhan jenis revegetasi, sedangkan keberadaan spesies alami pada berbagai tingkat pertumbuhan mendukung indikasi transisi dari suksesi awal menuju suksesi pertengahan. Reklamasi menunjukkan kemajuan melalui regenerasi alami, tetapi pemulihan berlangsung tidak seragam dan stasiun 1 memerlukan prioritas pemantauan serta pengendalian spesies invasif.



Daftar Pustaka

- [1] H. M. Caesarina and F. P. Hirsan, "Danau Seran, a pit lake in an ex-mining area as an opportunity for sustainable tourism," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 413, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/413/1/012026.
- [2] I. M. Apostu, M. Lazar, and F. Faur, "A model to evaluate the flooding opportunity and sustainable use of former open-pits," *Sustain.*, vol. 12, no. 21, pp. 1–20, 2020, doi: 10.3390/su12219275.
- [3] Pratiwi, B. H. Narendra, C. A. Siregar, M. Turjaman, A. Hidayat, H. H. Rachmat, B. Mulyanto, Suwardi, Iskandar, R. Maharani, Y. Rayadin, R. Prayudyaningsih, T. W. Yuwati, R. Prematuri, and A. Susilowati, "Managing and reforesting degraded post-mining landscape in Indonesia: A review," *Land*, vol. 10, no. 6, 2021, doi: 10.3390/land10060658.
- [4] A. S. Worlanyo and L. Jiangfeng, "Evaluating the environmental and economic impact of mining for post-mined land restoration and land-use: A review," *J. Environ. Manage.*, vol. 279, no. September 2020, 2021, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111623.
- [5] S. G. Gebrehiwot, W. Bewket, T. Mengistu, H. Nuredin, C. A. Ferrari, and K. Bishop, "Monitoring and assessment of environmental resources in the changing landscape of Ethiopia: a focus on forests and water," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 193, no. 10, pp. 1–13, 2021, doi: 10.1007/s10661-021-09421-3.
- [6] F. Cuassolo, V. Díaz Villanueva, and B. Modenutti, "Low-decomposition rates of riparian litter in a North Patagonian ultraoligotrophic lake," *Limnologica*, vol. 90, no. November 2020, 2021, doi: 10.1016/j.limno.2021.125906.
- [7] F. Chen, S. Lu, X. Hu, Q. He, C. Feng, Q. Xu, N. Chen, N. H. Ngo, and H. Guo, "Multi-dimensional habitat vegetation restoration mode for lake riparian zone, Taihu, China," *Ecol. Eng.*, vol. 134, no. April, pp. 56–64, 2019, doi: 10.1016/j.ecoleng.2019.05.002.
- [8] T. R. Soeprbowati, J. Jumari, T. R. Saraswati, H. C. Suhry, and P. Gell, "Land-use changes concerning the riparian vegetation in Galela Lake, North Maluku, Indonesia," *Ecol. Eng.*, vol. 170, no. July, p. 106368, 2021, doi: 10.1016/j.ecoleng.2021.106368.
- [9] M. A. Lund, E. van Etten, J. Polifka, M. Q. Vasquez, R. Ramessur, D. Yangzom, and M. L. Blanchette, "The Importance of Catchments to Mine-Pit Lakes: Implications for Closure," *Mine Water Environ.*, vol. 39, no. 3, pp. 572–588, 2020, doi: 10.1007/s10230-020-00704-8.
- [10] M. Oszkinis-Golon, M. Frankowski, and A. Pukacz, "Macrophyte Diversity as a Response to Extreme Conditions in the Post-Mining Lakes of the Muskau Arch (West Poland)," *Water*, vol. 13, no. 20, p. 2909, 2021, doi: 10.3390/w13202909.
- [11] C. D. McCullough, M. Schultze, and J. Vandenberg, "Realizing Beneficial End Uses From Abandoned Pit Lakes," *Minerals*, vol. 10, no. 2, p. 133, 2020, doi: 10.3390/min10020133.
- [12] A. C. Johnstone, "Are pit lakes an environmentally sustainable closure option for opencast coal mines?," *J. South. African Inst. Min. Metall.*, vol. 121, no. 121, pp. 531–536, 2021, doi: 10.17159/2411-9717/1551/2021.
- [13] J. Ahirwal and V. C. Pandey, "Restoration of Mine Degraded Land for Sustainable Environmental Development," *Restor. Ecol.*, vol. 29, no. 4, 2020, doi: 10.1111/rec.13268.
- [14] M. Schultze, J. Vandenberg, C. D. McCullough, and D. Castendyk, "The future direction of pit lakes: part 1, Research needs," *Mine Water Environ.*, pp. 533–543, 2022, doi: 10.1007/s10230-022-00850-1.
- [15] A. Soni, B. Mishra, and S. Singh, "Pit lakes as an end use of mining: A review," *J. Min. Environ.*, vol. 5, no. 2, pp. 99–111, 2014.
- [16] A. Y. Malik, D.P. Singh, M. Yunus, G.A. Bhat, G. Shukla, J. A. Bhat, M. M. Rather, and S. Chakravarty, "Diversity and structure of plant assemblages in open scrub vegetation patches of Dachigam National Park at Kashmir Himalayas," *Trees, For. People*, vol. 3, no. November 2020, p. 100060, 2021, doi: 10.1016/j.tfp.2020.100060.
- [17] A. Magurran, "Measuring Biological Diversity - Chapter 2," *Meas. Biol. Divers.*, pp. 18–215, 2004.
- [18] P. W. Price, *Ecology Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance Charles J. Krebs*, vol. 23, no. 4. 1973. doi: 10.2307/1296598.



- [19] C. E. Shannon and W. Weaver, "The Theory of Mathematical Communication," *Int. Bus.*, p. 131, 1949, [Online]. Available: https://pure.mpg.de/rest/items/item_2383164_3/component/file_2383163/content
- [20] L. Kondratenko, D. Gura, V. Shaidullina, R. Rogulin, and S. Kondrashev, "Restoration of vegetation around mining enterprises," *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 29, no. 3, pp. 1881–1886, 2022, doi: 10.1016/j.sjbs.2021.10.034.
- [21] M. A. Soendjoto, M. K. Riefani, D. Triwibowo, F. Wahyudi, D. Choirun, and Y. P. Perdana, "Spontaneously growing plants on revegetation sites of former coal mine in South Kalimantan Province, Indonesia," *Biodiversitas*, vol. 24, no. 3, pp. 1610–1620, 2023, doi: 10.13057/biodiv/d240333.
- [22] D. Omayio and E. Mzungu, "Modification of Shannon-Wiener Diversity Index towards Quantitative Estimation of Environmental Wellness and Biodiversity Levels under a Non-comparative Scenario," *J. Environ. Earth Sci.*, vol. 9, no. 9, pp. 46–57, 2019, doi: 10.7176/jees/9-9-06.
- [23] S. Naniu, D. W. K. Baderan, and M. S. Hamidun, "the Composition and Diversity of Plant Species in Upsa," *J. Ris. dan Pengemb. Ilmu Pengetah.*, vol. 6, no. 1, pp. 73–81, 2021, [Online]. Available: <http://ejurnal.pps.ung.ac.id/index.php/JPS/article/view/585/476>
- [24] A. J. Daly, J. M. Baetens, and B. De Baets, "Ecological diversity: Measuring the unmeasurable," *Mathematics*, vol. 6, no. 7, 2018, doi: 10.3390/math6070119.
- [25] M. Wijayanti, G. Kapp, and I. Mansur, "Evaluation Of Revegetation Practices In Post-Mined Areas Of Indonesia". *Biotropia*, 27(3), 189–198, 2020. <https://doi.org/10.11598/btb.0.0.0.1031>
- [26] B. Standardisasi, I. Lingkungan, and H. Dan, "Badan Standardisasi Instrumen LHK [Halaman 1 dari 13,]" pp. 1–13, 2022.
- [27] Karmini, Karyati, and K. Y. Widiati, "The role of tropical abandoned land relative to ecological and economic aspects," *For. Soc.*, vol. 4, no. 1, pp. 181–194, 2020, doi: 10.24259/fs.v4i1.8939.
- [28] Y. Nugroho, Supandi, Suyanto, J. Matatula, and P. Y. A. P. Wirabuana, "Influence of understorey diversity on wildlife at the coal mining reclamation area in south kalimantan, indonesia," *Biodiversitas*, vol. 22, no. 9, pp. 3736–3742, 2021, doi: 10.13057/biodiv/d220917.
- [29] J. Ahirwal, S. Kumari, A. K. Singh, A. Kumar, and S. K. Maiti, "Changes in soil properties and carbon fluxes following afforestation and agriculture in tropical forest," *Ecol. Indic.*, vol. 123, 2021, doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107354.
- [30] P. Kumar, A. Kumar, M. Patil, N. K. Sharma, and A. N. Singh, "Plant diversity development under planted woody species on coal mine spoil in a dry tropical environment, India: A case study," *J. Ecol. Eng.*, vol. 21, no. 2, pp. 228–243, 2020, doi: 10.12911/22998993/116330.
- [31] K. G. Lestari, S. W. Budi, and D. T. Suryaningtyas, "The impact of revegetation activities in various post-mining lands in Indonesia (study of literature)," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 959, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/959/1/012038.
- [32] P. Singh, A. K. Ghosh, S. Kumar, M. Kumar, and P. K. Sinha, "Influence of input litter quality and quantity on carbon storage in post-mining forest soil after 14 years of reclamation," *Ecol. Eng.*, vol. 178, no. February, p. 106575, 2022, doi: 10.1016/j.ecoleng.2022.106575.
- [33] H. Kato-noguchi and S. Asia, "Invasive Mechanisms of One of the World ' s Worst Alien Plant Species Mimosa pigra and Its Management and species," 2023.
- [34] A. Welgama, S. Florentine, and J. Roberts, "A Global Review of the Woody Invasive Alien Species Mimosa pigra (Giant Sensitive Plant): Its Biology and Management Implications," *Plants*, vol. 11, no. 18, p. 2366, 2022. doi: 10.3390/plants11182366.
- [35] N. Li, T. Shao, Y. Zhou, Y. Cao, H. Hu, Q. Sun, X. Long, Y. Yue, X. Gao, Z. Rengel, "Effects of planting Melia azedarach L. on soil properties and microbial community in saline-alkali soil," *L. Degrad. Dev.*, vol. 32, no. 10, pp. 2951–2961, 2021, doi: 10.1002/ldr.3936.
- [36] L. Feng, X. Tian, Y. A. El-Kassaby, J. Qiu, Z. Feng, J. Sun, G. Wang, T. Wang, "Predicting suitable habitats of Melia azedarach L. in China using data mining," *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–10, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-16571-y.
- [37] A. A. Adesipo, S. Akinbiola, O. O. Awotoye, A. T. Salami, and D. Freese, "Impact of mining on



- the floristic association of gold mined sites in Southwest Nigeria,” *BMC Ecol.*, vol. 20, no. 1, pp. 1–13, 2020, doi: 10.1186/s12898-020-00276-9.
- [38] L. Hapsari, Trimanto, and S. Budiharta, “Spontaneous plant recolonization on reclaimed post-coal mining sites in East Kalimantan, Indonesia: Native versus alien and succession progress,” *Biodiversitas*, vol. 21, no. 5, pp. 2003–2018, 2020, doi: 10.13057/biodiv/d210527.
- [39] I. Faozan, K. Kaoru, and S. Rahayu, “Succession Of Vascular Communities On Pyroclastic Deposits Seven Years After A Volcanic Eruption On Mount Merapi,” vol. 34, no. 4, pp. 406–414, 2022.
- [40] N. D. Takarina, I. L. Sinaga, and T. R. Kultsum, “Riparian plant diversity in relation to artisanal mining sites in cikidang river, Banten, Indonesia,” *Biodiversitas*, vol. 22, no. 1, pp. 401–407, 2021, doi: 10.13057/biodiv/d220149.
- [41] Q. Y. Xu, D. Wang, G. M. Quan, H. M. Xiang, and J. E. Zhang, “Invasive *Chromolaena odorata* species specifically affects growth of its co-occurring weeds,” *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, vol. 1470, no. 1, pp. 57–66, 2020, doi: 10.1111/nyas.14330.
- [42] N. H. M. S. Putra, T. R. I. R. Soeprbowati, and J. Jumari, “Comparison between Pollution Index and STORET Methods in Determining Post-Mining Lake Water Quality in Lati Petangis Forest Park, Paser, East Kalimantan after Reclamation: Methods in determining post-mining lake water quality,” *Borneo J. Resour. Sci. Technol.*, vol. 14, no. 1 SE-General, pp. 1–17, Jun. 2024, doi: 10.33736/bjrst.6065.2024.
- [43] Y. Guan, J. Wang, W. Zhou, Z. Bai, and Y. Cao, “Identification of land reclamation stages based on succession characteristics of rehabilitated vegetation in the Pingshuo opencast coal mine,” *J. Environ. Manage.*, vol. 305, no. August 2021, p. 114352, 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.114352.
- [44] DLH Kabupaten Paser and FPIK Universitas Mulawarman. "Laporan Fauna Danau Taman Hutan Raya Lati Petangis Kabupaten Paser". Tanah Grogot.
- [45] Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. "Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.94 Tahun 2016" tentang Jenis Invasif. Jakarta.
- [46] D. L. Grebner, P. Bettinger, J. P. Siry, and K. Boston, "Introduction to forestry and natural resources (Second edition)". 2021. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-05067-7>
- [47] M. R. Farhan, S. Lestari, M. K. R. A. Hasriaty, M. Nasrullah, N. Asiyah, and A. Triastuti, Analisis Vegetasi Tumbuhan Di Resort Pattunuang- Karaenta Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung. 2019.
- [48] International Union for Conservation of Nature. *The IUCN Red List of Threatened Species*. 2026. Accessed on <https://www.iucnredlist.org/>