

NILAI EKOLOGI VEGETASI POHON PADA SUKSESI SEKUNDER LIMA TAHUN PASCA PENEBAANGAN LIAR DI BLOK JATI LODADI, RESORT BANDEALIT TAMAN NASIONAL MERU BETIRI

*Ecological Value of Tree Vegetation In Secondary Succession Five Years After
Illegal Logging In The Jati Lodadi Block, Bandalit Resort, Meru Betiri
National Park*

**Rizka Fajriyah Ramadhana¹, Hari Sulistiyowati^{1*}, Herdian Rama Danurwenda²,
Suryani Ginting², Fatmawati Ningtias², dan Fendy Rahardjo³**

¹Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Jember

²PT Tempurejo Universal Life Tobacco, Jember, Jawa Timur

³Balai Taman Nasional Meru Betiri, Direktorat Jenderal Konservasi Sumber Daya Alam
dan Ekosistem, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

ABSTRACT. Bandalit Resort, located in Meru Betiri National Park (MBNP), East Java, is a conservation area subjected to significant anthropogenic pressure, particularly from illegal logging, which has altered vegetation structure and function. Although natural recovery through secondary succession has been observed; the extent of structural and functional recovery of tree vegetation five years after disturbance remains unclear. This study aimed to estimate the ecological value of tree vegetation reflected by vegetation structure and carbon stock, and analyze its relationship with abiotic factors in the Lodadi Block. Tree data were collected from 15 plots (20x20 m). Carbon stock was estimated using a semi-destructive method, and relationships with abiotic variables were examined using Principal component analysis (PCA). A total of 24 families, 37 genera, and 42 tree species were recorded, with a density of 2,377 individuals/ha, basal area of 22,22 m²/ha, and I stand volume of 94,467 m³/ha. Estimated carbon stock reached 16,36 ton C/ha (59,98 ton CO₂/ha). Soil moisture showed a positive correlation with stand volume, while soil pH and light intensity were positively associated with carbon stock. Air temperature was negatively correlated with both stand volume and carbon stock. These findings indicate an intermediate stage of forest recovery and highlight the need for site-specific and sustainable forest management strategies.

Keywords: Ecological value; Tree vegetation; Illegal logging; Succession; Resort Bandalit

ABSTRAK. Resort Bandalit di Taman Nasional Meru Betiri (TNMB), Jawa Timur merupakan kawasan konservasi yang mengalami tekanan antropogenik tinggi, terutama penebangan liar, yang berdampak pada perubahan struktur vegetasi dan fungsi ekosistem. Meskipun suksesi sekunder berlangsung, tingkat pemulihan struktural dan fungsional vegetasi pohon lima tahun pasca gangguan belum sepenuhnya diketahui. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi nilai ekologi vegetasi pohon berdasarkan struktur vegetasi tegakan dan cadangan karbon, serta menganalisis hubungannya dengan faktor abiotik di Blok Jati Lodadi. Data vegetasi pohon dikumpulkan dari 15 plot berukuran 20x20 m. Cadangan karbon diestimasi menggunakan metode semi-destruktif, sedangkan hubungan dengan faktor abiotik dianalisis menggunakan *Principal component analysis* (PCA). Tercatat 24 famili, 37 genus, dan 42 spesies dengan kepadatan 2377 individu/ha, dengan luas basal area 22,22 m²/ha, dan volume tegakan 94,467 m³/ha. Cadangan karbon mencapai 16,356 ton C/ha (59,98 ton CO₂/ha). Kelembaban tanah berkorelasi positif dengan volume tegakan, sedangkan pH tanah dan intensitas cahaya berkorelasi positif dengan cadangan karbon. Suhu udara berkorelasi negatif dengan keduanya. Hasil ini menunjukkan tahap pemulihan menengah dan menegaskan pentingnya strategi pengelolaan hutan yang berkelanjutan dan spesifik lokasi.

Kata kunci: Nilai ekologi; Vegetasi pohon; Penebangan liar; Suksesi; Resort Bandalit

Penulis untuk korespondensi: surel: sulistiyowati.fmipa@unej.ac.id

PENDAHULUAN

Hutan tropis merupakan salah satu ekosistem paling kompleks dan produktif di bumi (Rajpar, 2018), yang menyediakan berbagai layanan ekologi penting seperti penyimpanan karbon, pengaturan iklim, siklus hidrologi, pengendali erosi, dan habitat bagi keanekaragaman flora dan fauna (Velastegui-montoya *et al.*, 2022). Namun, keberlanjutan fungsi ekologi hutan tropis terus menghadapi tekanan serius akibat aktivitas antropogenik, khususnya penebangan liar (*illegal logging*). Kegiatan ini menyebabkan perubahan struktur tegakan dan komposisi vegetasi, degradasi kualitas habitat, hilangnya keanekaragaman hayati, serta penurunan jasa ekosistem utama termasuk penyimpanan karbon, kesuburan tanah, dan ketersediaan air (Aziz *et al.*, 2024; Mukti & Ihsannudin, 2024). Secara global, penebangan liar juga berkontribusi terhadap percepatan perubahan iklim dengan menyumbang sekitar 12-20% dari total emisi karbon dunia (Piabuo *et al.*, 2021). Di Indonesia, tekanan akibat penebangan liar tidak hanya terjadi pada hutan produksi, tetapi juga menjangkau Kawasan konservasi. Taman Nasional Meru Betiri (TNMB) di Jawa Timur merupakan salah satu Kawasan konservasi yang mengalami ancaman serius akibat aktivitas tersebut.

Sejak tahun 1998, TNMB telah mengalami tekanan penebangan liar secara berkelanjutan. Nazia *et al.* (2013) melaporkan adanya 20 kasus *illegal logging* hanya dalam kurun waktu lima bulan pada tahun 2011, sementara Sulistiyowati *et al.* (2023) mencatat bahwa aktivitas ini telah menyebabkan kerusakan hutan hingga 66% di TNMB selama periode 2011-2020. Kondisi ini menunjukkan tingginya tekanan antropogenik, bahkan di kawasan yang seharusnya berfungsi sebagai benteng perlindungan ekosistem hutan tropis. Tekanan penebangan liar di TNMB secara khusus terjadi di Resort Bandalit. Budiarta (2016) melaporkan adanya penebangan ilegal pada tahun 2010 yang menargetkan pohon suren (*Toona sureni*) untuk kebutuhan perahu tradisional. Aktivitas serupa kembali dilaporkan oleh Mulyadi *et al.* (2025) pada tahun 2020, berupa penebangan selektif terhadap pohon jati (*Tectona grandis*) yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Penebangan selektif ini berdampak langsung pada perubahan struktur tegakan, penurunan

biomasa, serta terganggunya fungsi ekologis hutan.

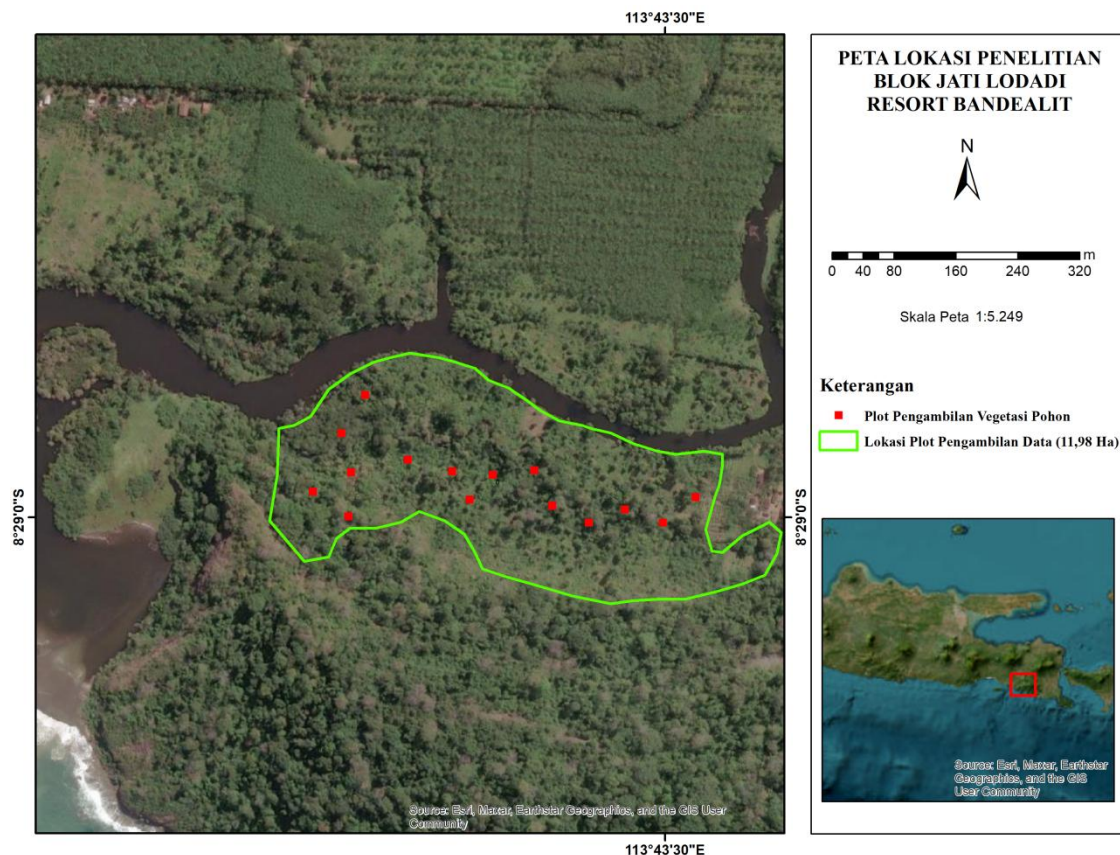
Meskipun mengalami gangguan, ekosistem hutan tropis memiliki kemampuan untuk beradaptasi dan pulih secara alami melalui proses suksesi. Suksesi merupakan perubahan bertahap dalam komposisi dan struktur komunitas tumbuhan sebagai respons terhadap perubahan lingkungan, dengan laju dan arah yang dipengaruhi oleh tingkat gangguan, kondisi abiotik, serta kemampuan adaptasi spesies penyusunnya (Duarte *et al.*, 2021, Chen *et al.*, 2023). Lima tahun pasca penebangan selektif, kawasan hutan di Resort Bandalit ini menunjukkan indikasi pemulihan alami yang ditandai dengan tumbuhnya berbagai jenis vegetasi. Kondisi ini membuka peluang untuk menilai sejauh mana proses suksesi telah memulihkan struktur dan fungsi ekosistem hutan.

Nilai ekologi mencerminkan kontribusi suatu vegetasi dalam menjalankan fungsi ekologisnya, terutama setelah mengalami gangguan. Sulistiyowati & Buot (2016) mendefinisikan nilai ekologi sebagai nilai yang hilang atau berubah dalam interaksi ekosistem akibat pengaruh faktor internal dan eksternal. Penilaian nilai ekologi melibatkan estimasi nilai struktural dan fungsional vegetasi, termasuk perannya dalam penyimpanan karbon, pengelolaan air, pengendali erosi, dan pengatur keseimbangan siklus karbon global (Martono *et al.*, 2019). Oleh karena itu, penilaian nilai ekologi vegetasi pohon dalam penelitian ini difokuskan pada dua aspek utama, yaitu nilai struktural yang direpresentasikan oleh volume pohon, dan nilai fungsional berupa potensi penyimpanan karbon. Kedua parameter ini digunakan sebagai indikator pemulihan ekosistem hutan pasca gangguan. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi nilai ekologi vegetasi pohon pada suksesi sekunder lima tahun pasca penebangan liar di Blok Jati Lodadi, Taman Nasional Meru Betiri, serta menganalisis hubungannya dengan faktor abiotik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi indikator efektivitas proses suksesi alami sekaligus memperkuat dasar ilmiah dalam pengambilan keputusan konservasi dan pengelolaan keberlanjutan pengelolaan di kawasan TNMB.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Blok Jati Lodadi yang terletak di Resort Bandialit, Taman Nasional Meru Betiri (TNMB), Provinsi Jawa Timur, Indonesia pada bulan Mei hingga Desember 2025. Lokasi penelitian ini adalah kawasan hutan terdegradasi, yang telah mengalami proses pemulihan alami dalam beberapa tahun terakhir. Pengambilan data

lapangan dilakukan di lokasi pada koordinat 8°29'00" dan 113°43'30" (Gambar 1). Topografi Resort Bandialit terletak pada ketinggian 0-200 meter diatas permukaan laut. Wilayah ini memiliki curah hujan antara 2.544 – 3.478 mm per tahun, dengan curah hujan tertinggi pada bulan November – Januari dan terendah pada bulan Juni-Agustus, serta termasuk tipe iklim C menurut Schmidt dan Ferguson (Heriyanto & Mukhtar, 2011).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Pengambilan Data

Pengambilan data vegetasi pohon dilakukan menggunakan 15 plot berukuran 20x20 m² yang diletakkan secara random dengan jarak antar plot 20m pada area luasan 11,98 ha. Pada setiap plot, seluruh individu pohon dicatat nama lokalnya, dan diukur diameter batang setinggi dada atau DBH (1.3m) dari permukaan tanah (Sutaryo, 2009). Selain itu, parameter lainnya yang diukur meliputi tinggi batang, tinggi kanopi, lebar kanopi 1 dan 2, serta persentase densitas kanopi berdasarkan Octarina *et al.* (2023). Identifikasi spesies dilakukan di lapangan dan dikonfirmasi lebih lanjut di

Laboratorium Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Pengukuran faktor abiotik meliputi intensitas cahaya, suhu udara, kelembaban udara, pH tanah, dan kelembaban tanah. Setiap parameter diukur sebanyak tiga kali ulangan pada masing-masing plot, kemudian dirata-ratakan untuk analisis selanjutnya.

Analisis Data

Nilai Ekologi Vegetasi Pohon

Nilai ekologi vegetasi pohon diestimasi berdasarkan dua komponen utama, yaitu

nilai struktural dan nilai fungsional. Nilai struktural vegetasi pohon direpresentasikan oleh volume pohon (V_t) yang dihitung sebagai akumulasi volume batang, dan volume kanopi. Volume batang dihitung berdasarkan parameter DBH dan tinggi batang, sedangkan volume kanopi dihitung berdasarkan dimensi kanopi pohon (Sulistiyowati dan Buot, 2016). Nilai fungsional vegetasi pohon diestimasi melalui kemampuan penyimpanan karbon. Total karbon tersimpan dihitung berdasarkan biomassa diatas permukaan tanah dan di bawah permukaan tanah. Estimasi biomassa batang dilakukan menggunakan persamaan allometrik yang dikembangkan oleh Chave *et al.* (2005), sedangkan biomassa kanopi dan akar dihitung menggunakan persamaan dari Ponce-Hernandez (2004).

Berat jenis (ρ) setiap spesies pohon diperoleh dari literatur *Wood Densities of Tropical Tree Species* oleh Reyes *et al.* (1992), dan digunakan dalam perhitungan biomassa melalui persamaan allometrik:

$$W_b = 0,0673 \times (\rho D^2 H)^{0,976}$$

$$W_k = V_k \times 0,5 \times \rho$$

$$W_a = 0,2 (W_b + W_k)$$

Keterangan:

W_b : Biomassa batang (kg)

W_k : Biomassa kanopi (kg)

W_a : Biomassa akar (kg)

V_k : Volume kanopi (m^3)

ρ : Berat jenis (gr/cm^3)

D : DBH (cm)

H : Tinggi (m)

Nilai biomassa selanjutnya dikonversi menjadi stok karbon dengan menggunakan fraksi karbon sebesar 0,50. Simpanan karbon kemudian dikonversi menjadi ekuivalen karbondioksida (CO_2) menggunakan faktor konversi 3,667.

Hubungan Faktor Abiotik dengan Nilai Struktur dan Fungsi

Hubungan antara nilai struktur dan fungsi vegetasi pohon dianalisis menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA).

Variabel yang dianalisis meliputi volume pohon per spesies, cadangan karbon, dan faktor abiotik yang berupa intensitas cahaya, suhu dan kelembaban udara, serta pH dan kelembaban tanah. Sebelum dianalisis, seluruh data distandarisasi untuk menghilangkan perbedaan satuan antar variabel. Analisis PCA dilakukan menggunakan perangkat lunak R Studio versi 4.5.2.

HASIL PENELITIAN DAN

PEMBAHASAN

Nilai Ekologi Vegetasi Pohon di Blok Jati Lodadi

Vegetasi pohon di Blok Jati Lodadi, Resort Bandalit terdiri dari 42 spesies yang termasuk dalam 24 famili dan 37 genus (Tabel 1). Komposisi spesies ini menunjukkan karakteristik komunitas hutan yang sedang mengalami proses suksesi sekunder. Keberadaan spesies-spesies pohon dengan sifat pionir hingga awal-menengah suksesi seperti *Macaranga tanarius* dan *Mallotus barbatulus*, mengindikasikan kondisi lingkungan yang masih relative terbuka serta ketersediaan cahaya yang tinggi, sebagai ciri umum ekosistem pasca gangguan. Spesies pionir umumnya memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan terdegradasi, laju pertumbuhan cepat, serta peran penting dalam memfasilitasi pembentukan struktur tegakan dan pemilihan fungsi ekosistem hutan pada tahap awal suksesi. Billa *et al.* (2024) menyatakan bahwa spesies yang mendominasi fase awal suksesi memiliki toleransi yang kuat terhadap tekanan lingkungan dan berperan sebagai spesies kunci dalam proses pemulihan ekosistem. Dengan demikian, komposisi vegetasi pohon di Blok Jati Lodadi mencerminkan fase pemulihan ekologis yang masih berlangsung, dengan nilai struktural dan fungsional ekosistem yang belum sepenuhnya mencapai kondisi hutan dewasa.

Tabel 1. Komposisi spesies pohon di Blok Jati Lodadi, Resort Bandealit, TNMB dan Jumlah individu per spesies pohon (ha)

No	Famili	Spesies	Jumlah Individu/ha
1	Myrtaceae	<i>Syzygium aqueum</i>	70
2	Malvaceae	<i>Pterocymbium tinctorium</i>	7
3	Euphorbiaceae	<i>Macaranga tanarius</i>	623
4	Moraceae	<i>Ficus variegata</i>	70
5	Lythraceae	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	65
6	Rubiaceae	<i>Nauclea orientalis</i>	17
7	Moraceae	<i>Ficus septica</i>	132
8	Anacardiaceae	<i>Spondias dulcis</i>	2
9	Lecythidaceae	<i>Chydenanthus excelsus (Bl.) Miers.</i>	55
10	Vitaceae	<i>Leea indica</i>	315
11	Lamiaceae	<i>Tectona grandis</i>	277
12	Malvaceae	<i>Pterospermum javanicum</i>	210
13	Euphorbiaceae	<i>Mallotus barbatus</i>	72
14	Rutaceae	<i>Harrisonia perforata (Blanco) Merr</i>	58
15	Moraceae	<i>Ficus hispida L.</i>	55
16	Lauraceae	<i>Machilus rimosus Blume</i>	30
17	Burseraceae	<i>Protium javanicum</i>	27
18	Lecythidaceae	<i>Planchonia valida L.</i>	10
19	Sapindaceae	<i>Mischocarpus sundaicus BL</i>	30
20	Amaranthaceae	<i>Gomphia serrata (Gaertn.) Kanis</i>	25
21	Anacardiaceae	<i>Mangifera sylvatica</i>	12
22	Meliaceae	<i>Azadirachta indica</i>	5
23	Myrtaceae	<i>Syzygium polyanthum (Wight) Walp</i>	5
24	Phyllanthaceae	<i>Bischofia javanica Blume</i>	13
25	Fabaceae	<i>Dalbergia latifolia Roxb</i>	75
26	Ebenaceae	<i>Diospyros cauliflora De Wild</i>	13
27	Malvaceae	<i>Kleinhovia hospita</i>	8
28	Sapotaceae	<i>Chrysophyllum cainito</i>	13
29	Anacardiaceae	<i>Dracontomelon dao (Blanco) Merr Rolfe</i>	5
30	Primulaceae	<i>Ardisia elliptica Thunb.</i>	3
31	Moraceae	<i>Streblus sp.</i>	25
32	Malvaceae	<i>Grewia acuminata Juss</i>	2
33	Achriaceae	<i>Pangium edule Reinw.</i>	5
34	Moraceae	<i>Artocarpus elasticus Reinw. ex Bl</i>	10
35	Lauraceae	<i>Actinodaphne glabra</i>	2
36	Lamiaceae	<i>Vitex pinnata</i>	5
37	Moraceae	<i>Streblus asper</i>	8
38	Thymelaeaceae	<i>Phaleria octandra</i>	7
39	Malvales	<i>Durio zibethinus</i>	5
40	Moraceae	<i>Sterblus pendulinus</i>	3
41	Lauraceae	<i>Actinodaphne borneensis Meisn.</i>	2
42	Sapindaceae	<i>Lepisanthes rubiginosa (Roxb.) Leenh.</i>	2
Total			2377

Seiring berjalannya waktu, proses suksesi alami di kawasan Blok Jati Lodadi, Resort Bandealit telah mendorong peningkatan tutupan kanopi secara bertahap. Kondisi ini memungkinkan sejumlah spesies pohon beradaptasi dan berkembang pada lingkungan pasca gangguan, sehingga memperkaya komposisi vegetasi kawasan tersebut. Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener vegetasi pohon tercatat sebesar 2.88, yang tergolong sedang. Nilai ini menunjukkan

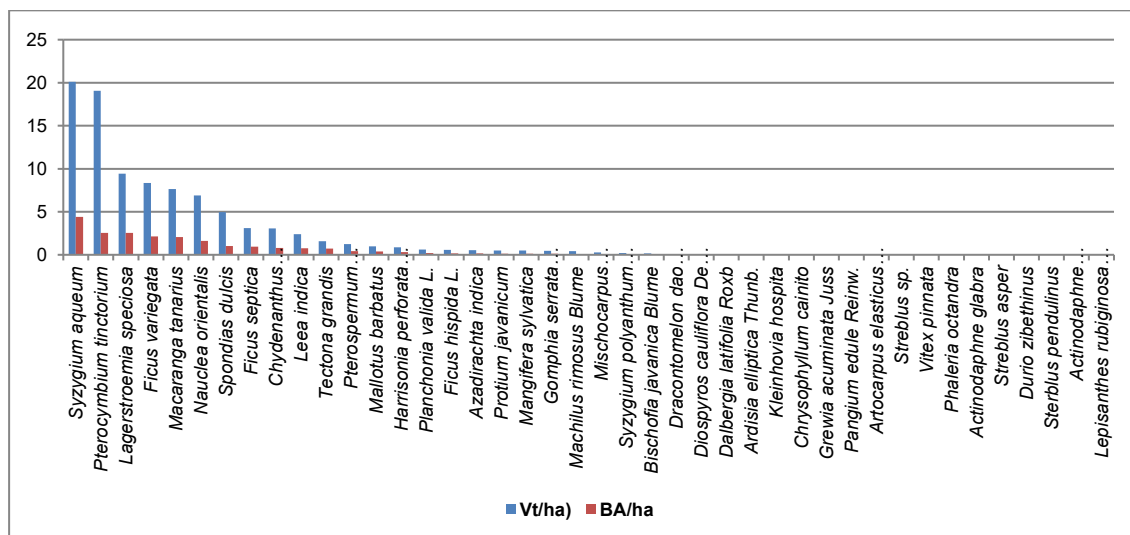
bahwa meskipun proses suksesi alami telah berlangsung, tingkat keanekaragaman spesies belum mencapai kondisi tinggi sebagaimana pada hutan primer. Keanekaragaman yang masih sedang tersebut mengindikasikan bahwa pemulihan komunitas pohon masih berada pada fase suksesi menengah, dimana dominasi beberapa spesies pionir dapat membatasi kemunculan spesies lain melalui kompetisi terhadap cahaya, nutrisi, dan ruang. Istomo

dan Fardian (2021) serta Nuraida et al. (2022) menyatakan bahwa keanekaragaman vegetasi tidak hanya ditentukan oleh lamanya waktu pemulihan, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, karakteristik tapak, dan tipe iklim. Nilai H' yang lebih tinggi umumnya mencerminkan produktivitas ekosistem dan kestabilan lingkungan yang lebih baik.

Kerapatan vegetasi pohon di Blok Jati Lodadi mencapai 2377 individu/ha, yang mencerminkan kelimpahan populasi pohon meskipun didominasi oleh beberapa spesies tertentu. Luas basal area total tercatat sebesar 22,222 m²/ha, mengindikasikan bahwa struktur tegakan telah mengalami pemulihan dan mulai berkembang. *Syzygium aqueum* memiliki kontribusi basal area terbesar yaitu 2,816 m²/ha dengan kerapatan 42 tegakan pohon per hektar. Meskipun *S. aqueum* tidak dominan secara jumlah, ukuran diameter batang yang besar menyebabkan spesies ini berperan signifikan dalam membentuk struktur komunitas. Hal ini sejalan dengan temuan Puna et al. (2023) dan Ramadhanti et al. (2022) yang menyatakan bahwa luas basal area sangat dipengaruhi oleh diameter batang, karena

peningkatan diameter menghasilkan pertambahan luas penampang batang secara eksponensial.

Luas basal area yang tinggi berkontribusi langsung terhadap volume tegakan. Total volume vegetasi pohon di Blok Jati Lodadi tercatat sebesar 94,467 m³/ha, dengan *S. aqueum* memberikan kontribusi volume terbesar 20,120 m³/ha, sedangkan volume terkecil berasal dari *Lepisanthes rubiginosa* (0,00067 m³/ha) (Gambar 2). Kontribusi volume yang besar dari *S. aqueum* berkaitan dengan kombinasi diameter batang, luas basal area yang besar, dan tinggi pohon yang relative besar. Sebaliknya, ukuran diameter dan luas basal area yang kecil menyebabkan *L. rubiginosa* hanya memberikan kontribusi volume yang sangat rendah (<1 m³/ha). Dey et al. (2021) menjelaskan bahwa volume pohon sangat ditentukan oleh diameter dan tinggi pohon, yang mencerminkan tingkat perkembangan dan kedewasaan pohon. Pohon dengan volume besar umumnya menunjukkan fase pertumbuhan yang lebih lanjut dan mampu menyediakan struktur habitat yang lebih kompleks serta mendukung berbagai fungsi ekosistem (Sulistiyowati et al. (2025).



Gambar 2. Luas basal area (m²/ha) dan total volume (m³/ha) vegetasi pohon di Blok Jati Lodadi, Resort Bandeaalit, TNMB

Nilai fungsional vegetasi pohon di Blok Jati Lodadi diestimasi berdasarkan kemampuan vegetasi dalam menyimpan karbon melalui akumulasi proses fotosintesis. Vegetasi pohon memiliki kapasitas penyimpanan karbon yang lebih besar dan berjangka panjang dibandingkan vegetasi bawah seperti herba dan semak,

karena ukuran individu yang lebih besar, struktur jaringan yang lebih padat, serta umur hidup yang lebih panjang (Sulistiyowati et al., 2024). Berdasarkan hasil estimasi, total ekuivalen karbondioksida (CO₂) yang tersekuestrasi mencapai 59,980 ton CO₂/ha. Nilai ini menunjukkan bahwa vegetasi pohon berperan penting dalam mitigasi perubahan

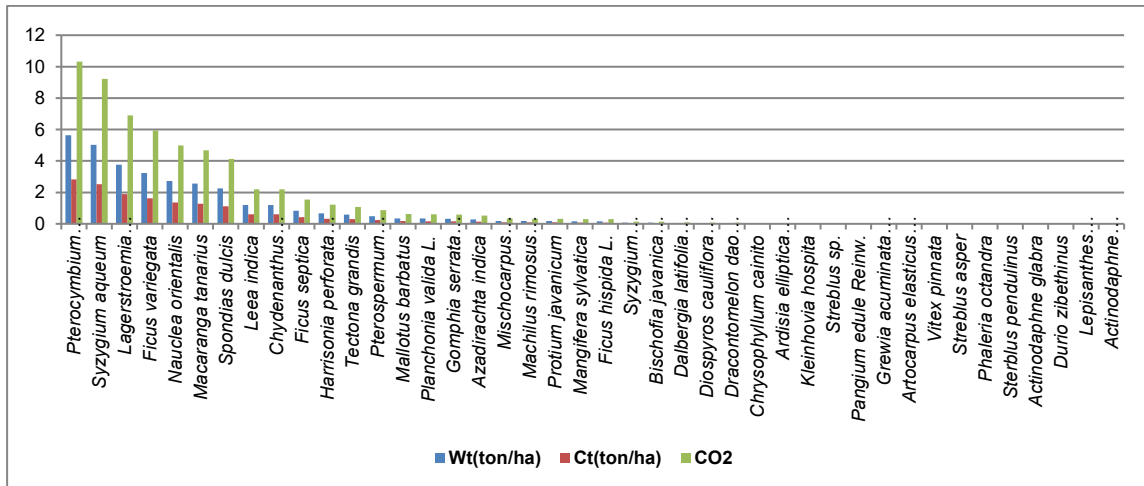
iklim melalui penyimpanan karbon dalam jangka menengah hingga panjang. Diantara spesies yang dianalisis, *Pterocymbium tinctorium* memiliki kontribusi ekuivalen CO₂ tertinggi yaitu sebesar 10,325 ton/ha, sedangkan *Actinodaphne borneensis* menunjukkan kontribusi terendah (Gambar 3). Perbedaan ini mencerminkan variasi ukuran tegakan pohon dan karakteristik pertumbuhan spesies.

Karbon yang diserap dari atmosfer akan disimpan dalam jaringan tanaman seperti batang, ranting, daun, dan akar dalam bentuk biomassa (Darmawan *et al.*, 2022). Total biomassa vegetasi pohon di Blok Jati Lodadi diperkirakan sebesar 32,713 ton/ha. Produksi dipengaruhi oleh kondisi habitat tumbuhnya seperti ketersediaan unsur hara, jenis tanah, dan intensitas cahaya yang menentukan laju pertumbuhan dan kesesuaian habitat bagi setiap spesies (Sulistiyowati & Buot, 2020). Variasi kondisi tersebut menyebabkan perbedaan biomassa antarspesies, dimana *P. tinctorium* menghasilkan biomassa tertinggi (5,631 ton/ha) sejalan dengan volume yang besar. Sebaliknya, biomassa terendah dihasilkan oleh *A. borneensis* (0,005 ton/ha) (Gambar 3).

Biomassa yang tersimpan dalam jangka waktu lama membentuk cadangan karbon vegetasi (Mojumder *et al.*, 2023). Estimasi cadangan karbon vegetasi pohon di Blok Jati Lodadi mencapai 16,356 ton C/ha. Spesies *P. tinctorium* dan *S. aqueum* memberikan kontribusi cadangan karbon tertinggi masing-masing sebesar 2,815 ton C/ha dan 2,511 ton C/ha. Meskipun jumlah individu *P. tinctorium* relatif sedikit, spesies ini memiliki DBH lebih dari 50 cm, sehingga mampu menyimpan karbon dalam jumlah besar. Sebaliknya, *A. borneensis* dan *L. rubiginosa* menunjukkan cadangan karbon terendah karena jumlah individu, tetapi lebih dipengaruhi oleh ukuran struktur pohon seperti diameter dan tinggi.

Parameter-parameter ini berkontribusi langsung terhadap biomassa, yang menjadi dasar dalam estimasi cadangan karbon.

Temuan tersebut sejalan dengan Sari *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa peningkatan diameter pohon berbanding lurus dengan peningkatan biomassa dan cadangan karbon. Selain itu, Sulistiyowati *et al.* (2024) juga melaporkan adanya korelasi positif yang signifikan antara luas basal area, volume pohon, dan cadangan karbon, dimana struktur tegakan yang lebih berkembang menghasilkan cadangan karbon yang lebih tinggi. Dalam konteks ini, total biomassa dan cadangan karbon pada pohon terutama ditentukan oleh besarnya biomassa batang sebagai komponen utama penyusun struktur pohon. Batang menyimpan proporsi biomassa terbesar dibandingkan komponen lainnya, sehingga menjadi kontributor dominan dalam akumulasi cadangan karbon. Sementara itu, biomassa kanopi sebagai bagian biomassa atas permukaan tanah berperan dalam proses penyerapan CO₂ melalui fotosintesis dan penyimpanan karbon dalam jaringan vegetatif, sedangkan biomassa akar merepresentasikan alokasi karbon pada komponen bawah permukaan tanah yang turut menyimpan karbon dalam jaringan akar, serta berperan dalam stabilisasi karbon tanah. Meskipun seluruh komponen biomassa atas dan bawah permukaan tanah secara bersama-sama membentuk cadangan karbon total, peningkatan struktur dan diameter batang memberikan kontribusi yang lebih signifikan terhadap peningkatan biomassa dan cadangan karbon, dibandingkan komponen kanopi dan akar. Hal ini memperkuat pernyataan Padang *et al.* (2023) dan (Nedhisa & Tjahjaningrum (2019) bahwa cadangan karbon berkaitan erat dengan besarnya biomassa tegakan.

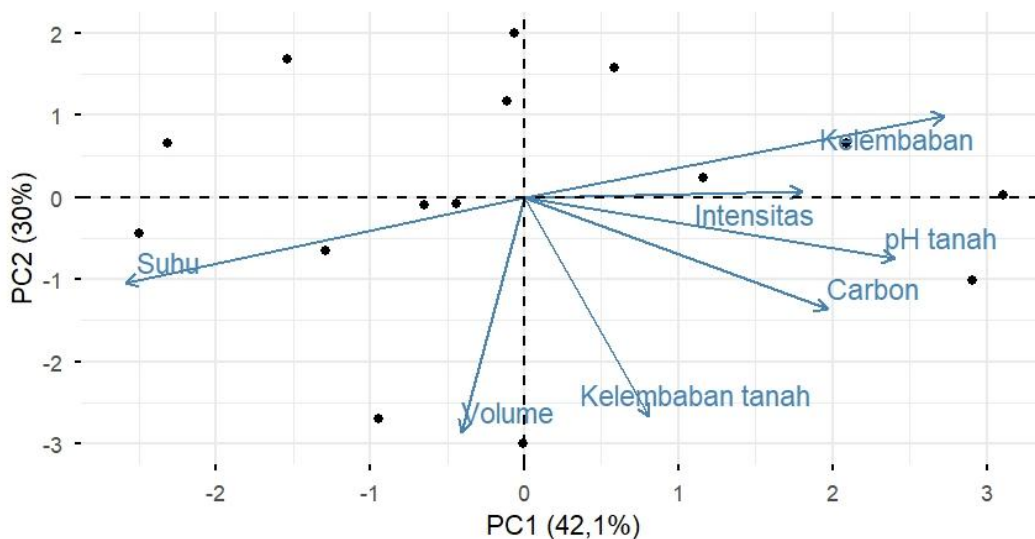


Gambar 3. Biomassa total (Wt), cadangan karbon (C), dan penyerapan CO₂ dari vegetasi pohon di Blok Jati Lodadi, Resort Bandalit, TNMB (ton/ha)

Hubungan Faktor Abiotik dengan Nilai Struktur dan Nilai Fungsi di Blok Jati Lodadi

Berdasarkan hasil analisis PCA (Gambar 4), menunjukkan bahwa kelembaban tanah menunjukkan kecenderungan hubungan positif dengan volume pohon, sementara pH

tanah dan intensitas cahaya menunjukkan kecenderungan hubungan positif dengan cadangan karbon. Sebaliknya, suhu udara berhubungan negatif dengan volume pohon dan cadangan karbon, yang ditunjukkan oleh arah vektor yang berlawanan pada biplot PCA.



Gambar 4. Analisis PCA antara Faktor Abiotik dengan Nilai Struktur dan Fungsi Vegetasi Pohon Blok Jati Lodadi, Resort Bandalit, TNMB

Hubungan positif antara kelembaban tanah dan volume pohon mengindikasikan bahwa kondisi tanah yang lebih lembab memungkinkan pertumbuhan biomassa vegetasi pohon yang lebih optimal. Kelembaban tanah menjadi faktor penting karena kandungan air di dalam tanah dapat berperan sebagai pembawa unsur hara yang diserap oleh akar tanaman. Penyerapan air

dan nutrien tersebut mendukung berlangsungnya proses fisiologis tanaman termasuk fotosintesis, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap peningkatan akumulasi biomassa dan volume tegakan. Hal ini sejalan dengan Cui *et al.* (2020) menjelaskan bahwa kelembaban tanah mendukung ketersediaan dan transportasi unsur hara di dalam tanah, sehingga

meningkatkan penyerapan nutrient oleh tumbuhan. Ketersediaan air yang memadai juga mendukung efisiensi fotosintesis, yang meningkatkan penyerapan CO₂ dan berimplikasi pada peningkatan akumulasi karbon organik (Hao *et al.*, 2025).

Selain itu, hubungan positif antara pH tanah dan cadangan karbon menunjukkan bahwa kondisi pH tanah yang lebih stabil mencerminkan kualitas tanah yang lebih baik dalam menyediakan unsur hara dan mendukung aktivitas mikroorganisme tanah. Kondisi ini berperan dalam meningkatkan efisiensi proses fisiologis tanaman dan akumulasi biomassa karbon. Prabhudev *et al.* (2023) menyatakan bahwa pH tanah berdampak signifikan pada ketersediaan nutrisi tanah dan pertumbuhan tumbuhan. Sementara Gentili *et al.* (2018) menegaskan bahwa pada kisaran pH netral atau agak asam, unsur hara umumnya tersedia dalam bentuk yang lebih mudah diserap oleh tumbuhan, sehingga mendukung peningkatan biomassa dan cadangan karbon. Hasil analisis PCA juga menunjukkan intensitas cahaya memiliki hubungan positif dengan cadangan karbon. Intensitas cahaya berperan dalam mengendalikan laju fotosintesis, sehingga peningkatan ketersediaan cahaya dapat meningkatkan penyerapan CO₂ oleh tumbuhan dan mendorong akumulasi karbon dalam biomassa. Berdasarkan Wu *et al.* (2025) juga menjelaskan bahwa intensitas cahaya berperan sebagai sumber energi utama dalam proses fotosintesis dan sebagai sinyal lingkungan yang mengatur berbagai proses fisiologis tanaman. Ketersediaan cahaya yang memadai memungkinkan tanaman menghasilkan bahan organik melalui fotosintesis secara lebih efisien, sebaliknya intensitas cahaya yang rendah dapat menurunkan pembentukan biomassa dan cadangan karbon.

Hasil analisis PCA (Gambar 4) menunjukkan adanya korelasi negatif antara suhu udara dengan volume pohon dan cadangan karbon. Pasca penebangan selektif di Blok Jati Lodadi, dapat menciptakan area yang lebih terbuka sehingga paparan cahaya matahari akan secara langsung diterima oleh permukaan tanah dan mengakibatkan terjadinya peningkatan suhu. Kondisi ini dapat mempercepat kehilangan air melalui proses transpirasi dan menghambat pertumbuhan vegetasi. Pada kondisi lingkungan yang lebih kering, tumbuhan akan terdorong untuk

menyerap air secara terus-menerus untuk mempertahankan keseimbangan fisiologisnya. Menurut pendapat Hatfield & Prueger (2015) bahwa suhu udara yang lebih tinggi dapat menimbulkan stress fisiologis pada tumbuhan. Lebih lanjut, Putra *et al.* (2023) juga mengungkapkan bahwa suhu lebih tinggi juga mempengaruhi laju fotosintesis, terutama melalui penutupan stomata dan mengurangi penyerapan CO₂. Apabila CO₂ yang diserap mengalami penurunan, maka laju pembentukan biomassa dan cadangan karbon juga turut menurun.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Kawasan Blok Jati Lodadi, Resort Bandialit, Taman Nasional Meru Betiri telah menunjukkan adanya pemulihan ekosistem lima tahun setelah penebangan liar terjadi. Penelitian ini mengungkapkan bahwa ditemukan sebanyak 42 spesies. Nilai struktural dan fungsional vegetasi pohon di kawasan ini mulai terbentuk kembali yang ditunjukkan dari nilai volume vegetasi pohon mencapai 94,467 m³/ha, dengan estimasi cadangan karbon sebesar 16,356 ton C/ha, yang ekuivalen dengan penyerapan 59,980 ton CO₂/ha. Nilai volume pohon dan cadangan karbon yang diperoleh menunjukkan bahwa vegetasi pohon yang berkembang mulai berkontribusi terhadap penyimpanan karbon, meskipun nilai dari vegetasi yang tumbuh tentu belum sebanding dengan vegetasi awal sebelum terjadinya gangguan. Hasil analisis PCA menunjukkan hubungan positif antara kelembaban tanah dengan volume pohon, serta pH tanah dan intensitas cahaya dengan cadangan karbon. Sementara suhu udara menunjukkan hubungan negatif dengan volume pohon dan cadangan karbon. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor abiotik berperan penting dalam mendukung proses pemulihan ekosistem di kawasan Blok Jati Lodadi. Penelitian ini telah memberikan gambaran sejauh mana pemulihan yang telah terjadi di kawasan Blok Jati Lodadi, sekaligus menegaskan bahwa pemulihan ekosistem berlangsung secara bertahap. Nilai ekologi vegetasi pohon yang terbentuk saat ini juga merefleksikan fase transisi menuju ekosistem yang lebih stabil.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, diperlukan upaya pengelolaan berkelanjutan di kawasan Blok Jati Lodadi agar nilai ekosistem yang hilang bisa dipulihkan lebih optimal. Selain itu, pemerintah dan otoritas terkait perlu menyusun dan mengimplementasikan kebijakan yang mendukung pelestarian komposisi spesies di kawasan ini agar struktur dan fungsi ekosistem dapat berkembang menuju kondisi yang lebih stabil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini, diantaranya PT Tempurejo Universal Life Tobacco yang telah memberikan pendanaan penelitian ini. Balai Taman Nasional Meru Betiri atas dukungan pendampingan lapangan dan memfasilitasi kegiatan penelitian di kawasan Taman Nasional Meru Betiri, serta Sentra *Natural Resources Conservation*-UPA CDAST, Universitas Jember yang telah memfasilitasi untuk analisis data dan penulisan naskah.

DAFTAR PUSTAKA

Aziz, S., Akhtar, S., & Amin, R. (2024). Illegal Logging and Its Impact on Forest Ecosystems in Southeast Asia. *Journal of Selvicoltura Asean*, 1(4): 177–186.

Billa, A. M. S., Zukhoiri, S. F., Saufatikha, N. S., Augi, J., Akbar, B. F., & Irsadi, A. (2024). Life Science Analisis Kecepatan Pertumbuhan Pohon Potensial untuk Restorasi Lahan Kritis Gunung Ungaran kualitas dan kuantitas sumber mata air tersebut semakin berkurang diakibatkan oleh penurunan area perkebunan kopi dan perumahan penduduk yang tidak ter. *Life Science*, 13(1): 86–97.

Budiarta, I. W. (2016). Penegakan Hukum Pelaku Tindak Pidana Kehutanan oleh Penyidik Pegawai Negeri Sipil Kehutanan di Balai Taman Nasional Meru Betiri. *Jurnal Rechtsens*, 5(1): 15–28.
<http://ejurnal.uj.ac.id/index.php/REC/article/view/122%0Ahttp://ejurnal.uj.ac.id>

/index.php/REC/article/download/122/118

Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J. P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1): 87–99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>

Chen, C., Wen, Y., He, B., Yang, Y., Han, X., Sun, T., & Lu, X. (2023). Environmental factors driving the succession and differentiation of ecological strategy spectrum in tropical lowland rain forest. *Ecological Indicators*, 147: 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110002>

Cui, Y., Wang, X., Zhang, X., Ju, W., Duan, C., Guo, X., Wang, Y., & Fang, L. (2020). Soil moisture mediates microbial carbon and phosphorus metabolism during vegetation succession in a semiarid region. *Soil Biology and Biochemistry*, 147: 107814. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107814>

Darmawan, A. A., Ariyanto, D. P., Basuki, T. M., Syamsiyah, J., & Dewi, W. S. (2022). Biomass accumulation and carbon sequestration potential in varying tree species, ages and densities in Gunung Bromo Education Forest, Central Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(10): 5093–5100. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231016>

Dey, T., Ahmed, S., & Islam, A. (2021). Relationships of tree height-diameter at breast height (DBH) and crown diameter-DBH of *Acacia auriculiformis* plantation. *Asian Journal of Forestry*, 5(2): 71–75. <https://doi.org/10.13057/asianjfor/r050203>

Duarte, E., Higuchi, P., Silva, A. C. da, Sobra, M. E. G., Bortoluzzi, R. L. da C., Almeida, J. A. de, Larsen, J. G., Dallabrida, J. P., Muzeka, L. M., Aguiar, J. T. de, & Cuchi, T. (2021). Key factors affecting succession in upper montane forest areas of “ Planalto Sul Catarinense ” Region , Brazil. *Bosque*, 42(3): 353–364. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002021000300353>

Gentili, R., Ambrosini, R., Montagnani, C.,

- Caronni, S., & Citterio, S. (2018). Effect of Soil pH on the Growth , Reproductive Investment and Pollen Allergenicity of Ambrosia. *Frontiers in Plant Science*, 9: 1–12.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01335>
- Hao, Y., Mao, J., Bachmann, C. M., Hoffman, F. M., Koren, G., Chen, H., Tian, H., Liu, J., Tao, J., Tang, J., Li, L., Liu, L., Apple, M., Shi, M., Jin, M., Zhu, Q., Kannenberg, S., Shi, X., Zhang, X., ... Dai, Y. (2025). Soil moisture controls over carbon sequestration and greenhouse gas emissions : a review. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 8(1): 1–14.
<https://doi.org/10.1038/s41612-024-00888-8>
- Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes : Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10: 4–10.
<https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>
- Heriyanto, N. M., & Mukhtar, A. S. (2011). Gangguan Satwaliar Di Lahan Pertanian Sekitar Taman Nasional Meru Betiri, Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 8(1): 55–63.
- Martono, D. S., Rahayu, S., & Wijayanti, E. (2019). Vegetation analysis of highland tropical rainforest in the conservation area. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 347(1): 1–8.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/347/1/012005>
- Mojumder, A., Hossain, S., & Volk, T. A. (2023). Estimation Of Change In Aboveground Biomass In Four National Forests In Bangladesh. *Biotropia*, 30(3): 263–281.
<https://doi.org/10.11598/btb.2023.30.3.1858>
- Mukti, M. W., & Ihsannudin. (2024). Pendapatan Rumah Tangga Mantan Pelaku Illegal Logging. *Bina Ekonomi*, 28(1): 47–58.
- Mulyadi, B. P., Sulistiyowati, H., & Wimbaningrum, R. (2025). Degraded Forest Evaluation Using Vegetation Indices at Bandalit Resort, Meru Betiri National Park. *Jurnal ILMU DASAR*, 26(1): 44–54.
<https://doi.org/10.19184/jid.v26i1.4617>
- Nedhisa, P. I., & Tjahjaningrum, I. T. (2019). Estimasi Biomassa, Stok Karbon dan Sekuestrasi Karbon Mangrove pada Rhizophora mucronata di Wonorejo Surabaya dengan Persamaan Allometrik. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 8(2): 61–65.
- Octarina, N. A., Andrian, R., & Safe, R. (2023). Classification of crown density and foliage transparency scale for broadleaf tree using VGG-16. *Journal of Soft Computing Exploration*, 4(4): 222–232.
- Padang, A. S., Wiryono, & Deselina. (2023). Pendugaan Cadangan Karbon di Atas Permukaan Tanah di Kawasan Hutan Dengan Tujuan Khusus (KHDTK) Universitas Bengkulu. *Journal of Global Forest and Environmental Science*, 3(1): 41–47.
- Piabuo, S. M., Minang, P. A., Tieguhong, C. J., Foundjem-Tita, D., & Nghobuoche, F. (2021). Illegal logging, governance effectiveness and carbon dioxide emission in the timber-producing countries of Congo Basin and Asia. *Environment, Development and Sustainability*, 23(10): 14176–14196.
<https://doi.org/10.1007/s10668-021-01257-8>
- Ponce-Hernandez, R. (2004). Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes. In *Food and Agriculture Organization* (Vol. 1). http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=c5gS5HfBZQ4C&oi=fnd&pg=PA1&dq=Assessing+carbon+stocks+and+modelling+win-win+scenarios+of+carbon+sequestration+through+land-use+changes&ots=iX4h8Lr_yE&sig=akQE607KUcweRZ-EObxgyoKCSAQ
- Prabhudev, S., Ravindra, K., Supreetha, B., Nithyanandha, K., Nutan, S., Deepdarshan, U., Dharmappa, K., & Giresha, A. (2023). Effect of soil pH on plants growth , phytochemical contents and their antioxidant activity. *Journal of Advanced Applied Scientific Research*, 5(5): 15–39.
- Puna, S. H., Marwan, M., Lestariningsih, W. A., & Ibadur, R. (2023). Analisis Kerapatan dan Tutupan Kanopi Mangrove di Gili Petagan, Lombok Timur. *Journal of Marine Research*,

12(4): 682–691.

- Putra, S. N., Sukorini, H., & Septia, D. (2023). Climate Characterization of Strawberry (*Fragaria* sp.) Growth in the Greenhouse. *Journal Tropical Crop Science and Technology*, 5(2): 162–169.
- Rajpar, M. N. (2018). *Tropical Forests Are An Ideal Habitat for Wide Array of Wildlife Species* (pp. 37–65). IntechOpen.
- Ramadhanti, A., Astiani, D., & Widhanarto, G. O. (2022). Addina Ramadhanti, Dwi Astiani, Ganjar Oki Widhanarto. *Jurnal Hutan Lestari*, 10(2): 361–369.
- Sari, D. P., Syaputra, M., & Webliana, K. (2022). Biomassa dan Serapan Karbon Hutan Mangrove Tanjung Batu, Desa Sekotong Tengah, Kabupaten Lombok Barat. *Journal of Forest Science Avicennia*, 05(02): 95–103. <https://doi.org/10.22219/avicennia.v5i2.20569>
- Sulistiyowati, H., & Buot, I. E. (2016). Ecological Valuation Tools To Appraise Biomass, Necromass and Soil Organic Matter in a Natural Forest Ecosystem. *J. Wetlands Biodiversity*, 6: 97–108. <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/75016>
- Sulistiyowati, H., & Buot, I. E. (2020). *Chapter 8: Ecological Valuation of the Structure and Dynamics of the Forest Biomass at the Tropical Evergreen Aglaia Streblus Forest of Meru Betiri National Park, Indonesia* (pp. 125–150). SEARCA and UPLB.
- Sulistiyowati, H., Hasanah, E. A., Siddiq, A. M., Ratnasari, T., Dewi, N., & Kurnianto, A. S. (2024). Biodiversity value of tree vegetation in Rainbow Forest Biosite, Ijen Geopark, East Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 25(6): 2670–2678. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250637>
- Sulistiyowati, H., Setiawan, R., Siddiq, A. M., Wimbaningrum, R., Afriyanto, M., Hasanah, E. A., Mulyadi, B. P., & Baraas, A. (2025). Ecological insights post-restoration from two decades of mangrove forest succession in Pangpang Bay, East Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 26(5): 2299–2308. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d260527>
- Sulistiyowati, H., Siddiq, A. M., & Surahman, M. (2023). *Liaforestry-Sustainable Forest Management Model Using Multi-purpose Tree Species for Reforestation and Climate Change Mitigation, Lesson Learned from Meru Betiri National Park*. Springer Nature Singapore.
- Sutaryo, D. (2009). *PENGHITUNGAN BIOMASSA Sebuah pengantar untuk studi karbon dan perdagangan karbon*. Wetlands International Indonesia Programme.
- Velastegui-montoya, A., Montalván-burbano, N., Peña-villacreses, G., Lima, A. De, & Herrera-Franco, G. (2022). Land Use and Land Cover in Tropical Forest: Global Research. *Forest*, 13(10): 1–34.