



Perbandingan Simpanan Karbon, Serapan Karbon Dioksida dan Produksi Oksigen pada Hutan Konservasi dan Hutan Produksi di Kota Palangka Raya

(Comparison of Carbon Stock, Carbon Dioxide Sequestration, and Oxygen Production in Conservation Forests and Production Forests in Palangka Raya City)

Ajun Junaedi^{1*}, Raden Mas Sukarna¹, Penyang¹, Nuwa¹, Moh Rizal¹ & Hari Paskah Saputra²

¹ Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Kehutanan dan Perikanan Universitas Palangka Raya, Jalan Yos Sudarso Kampus UPR, Palangka Raya, 73111 Provinsi Kalimantan Tengah

² Alumni Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Kehutanan dan Perikanan Universitas Palangka Raya, Jalan Yos Sudarso Kampus UPR, Palangka Raya, 73111 Provinsi Kalimantan Tengah

* Corresponding Author: ajunjunaedi@for.upr.ac.id

Article History

Received : April 27, 2026

Revised : April 30, 2026

Approved : May 7, 2026

Keywords:

Forest vegetation structure; vegetation carbon stock; carbon dioxide sequestration; vegetation oxygen production; climate change mitigation

© 2026 Authors

Published by the Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Forestry, and Fisheries, Palangka Raya University. This article is openly accessible under the license:



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Sejarah Artikel

Diterima : 27 April 2026

Direvisi : 30 April 2026

Disetujui : 7 Mei 2026

Kata Kunci:

struktur vegetasi hutan; simpanan karbon vegetasi; serapan karbon dioksida; produksi oksigen vegetasi; mitigasi perubahan iklim

© 2026 Penulis

Diterbitkan oleh Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Kehutanan dan Perikanan Universitas Palangka Raya. Artikel ini dapat diakses secara terbuka di bawah lisensi:



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

ABSTRACT

This study compares species composition, stand density, Shannon–Wiener diversity index, and the estimated biomass, carbon stock, CO₂ sequestration, and O₂ production in conservation and production forests in Palangka Raya City. Results show that species richness is higher in dense vegetation than in sparse vegetation, with diversity indices ranging from low to moderate. Stand density is dominated by the sapling stage, indicating normal regeneration patterns. Biomass and carbon stocks are higher in conservation forests (538.321 tons/ha and 253.011 tons C/ha) than in production forests (427.786 tons/ha and 201.059 tons C/ha). Similarly, CO₂ sequestration is greater in conservation forests (928.551 tons CO₂/ha) compared to production forests (737.888 tons CO₂/ha). Oxygen production follows the same trend, with higher values in conservation forests (675.539 tons O₂/ha) than in production forests (536.828 tons O₂/ha). Dense vegetation and tree-level growth contribute the most to all parameters. These findings indicate that vegetation structure and stand density play a crucial role in enhancing forest ecosystem functions, particularly in supporting climate change mitigation.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan komposisi jenis, kerapatan tegakan, indeks keanekaragaman jenis Shannon-Wiener, estimasi simpanan biomasa, simpanan karbon, serapan CO₂ dan produksi O₂ vegetasi pada hutan konservasi dan hutan produksi di Kota Palangka Raya. Analisis meliputi komposisi jenis, kerapatan tegakan, indeks keanekaragaman Shannon-Wiener, serta estimasi simpanan biomasa, simpanan karbon, serapan CO₂ dan produksi oksigen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah jenis vegetasi yang ditemukan lebih tinggi pada tutupan vegetasi rapat dibandingkan vegetasi jarang, dengan indeks keanekaragaman termasuk kategori rendah hingga sedang. Kerapatan tegakan didominasi oleh tingkat pancang yang menunjukkan pola regenerasi normal. Potensi simpanan biomasa dan karbon vegetasi di hutan konservasi lebih tinggi (538,321 ton/ha dan 253,011 tonC/ha) dibandingkan hutan produksi (427,786 ton/ha dan 201,059 tonC/ha). Serapan CO₂ juga lebih besar pada hutan konservasi (928,551 tonCO₂/ha) dibandingkan hutan produksi (737,888 tonCO₂/ha). Produksi O₂ menunjukkan pola serupa, dengan nilai lebih tinggi pada hutan konservasi (675,539 tonO₂/ha) dibandingkan hutan produksi (536,828 tonO₂/ha). Vegetasi rapat dan tingkat pohon memberikan kontribusi terbesar terhadap seluruh parameter. Hasil ini menegaskan bahwa struktur vegetasi dan kerapatan tegakan sangat berpengaruh terhadap fungsi ekosistem hutan dalam mitigasi perubahan iklim.

1. Pendahuluan

Berdasarkan fungsi pokoknya hutan terbagi menjadi 3, yaitu: hutan konservasi,

hutan lindung dan hutan produksi (UU RI No 41 Tahun 1999). Hutan konservasi adalah kawasan hutan dengan ciri khas tertentu, yang

mempunyai fungsi pokok pengawetan keanekaragaman tumbuhan dan satwa serta ekosistemnya. Hutan lindung adalah kawasan hutan yang mempunyai fungsi pokok sebagai perlindungan sistem penyangga kehidupan untuk mengatur tata air, mencegah banjir, mengendalikan erosi, mencegah intrusi air laut, dan memelihara kesuburan tanah. Sedangkan hutan produksi adalah kawasan hutan yang mempunyai fungsi pokok memproduksi hasil hutan.

Perubahan iklim global yang ditandai oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca, khususnya karbon dioksida (CO₂), telah menjadi isu lingkungan yang mendesak dan membutuhkan penanganan berbasis ilmu pengetahuan. Sektor kehutanan memiliki peran strategis dalam mitigasi perubahan iklim karena kemampuannya dalam menyerap CO₂ melalui proses fotosintesis dan menyimpannya dalam bentuk biomasa serta karbon dalam jangka panjang. Intergovernmental on Panel Climate Change (IPCC) menegaskan bahwa ekosistem hutan berfungsi sebagai carbon sink yang efektif dalam menurunkan konsentrasi CO₂ di atmosfer, serta berkontribusi dalam menjaga keseimbangan siklus karbon global (IPCC, 2006; IPCC, 2019). Selain itu, vegetasi hutan juga berperan dalam menghasilkan oksigen sebagai produk samping fotosintesis, yang menjadi indikator penting dari produktivitas primer ekosistem (Larcher, 2003; Taiz et al. 2015).

Hutan rawa gambut tropis merupakan salah satu ekosistem dengan kapasitas penyimpanan karbon yang sangat tinggi, baik pada biomasa vegetasi maupun pada lapisan tanah gambut. Ekosistem ini memiliki peran penting dalam mitigasi perubahan iklim global, namun juga sangat rentan terhadap degradasi akibat aktivitas manusia seperti penebangan, alih fungsi lahan, kebakaran, serta konflik tenurial. Degradasi tersebut menyebabkan penurunan kapasitas hutan dalam menyimpan karbon dan meningkatkan emisi CO₂ ke atmosfer, sehingga mempercepat laju perubahan iklim (IPCC, 2019). Oleh karena itu, pengelolaan hutan rawa gambut secara

berkelanjutan menjadi sangat penting untuk mempertahankan fungsi ekologisnya.

Kota Palangka Raya merupakan ibukota Provinsi Kalimantan Tengah memiliki kawasan hutan rawa gambut yang mencakup hutan konservasi dan hutan produksi. Kedua tipe kawasan ini memiliki karakteristik pengelolaan dan tingkat gangguan yang berbeda. Hutan konservasi umumnya dikelola dengan tujuan perlindungan ekosistem, sehingga diharapkan memiliki struktur vegetasi yang lebih alami dan stabil. Sebaliknya, hutan produksi lebih berorientasi pada pemanfaatan sumber daya, sehingga berpotensi mengalami tekanan yang lebih besar terhadap struktur dan komposisi vegetasi. Perbedaan ini diduga berimplikasi terhadap variasi dalam simpanan karbon, serapan CO₂, dan produksi oksigen.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini menjadi penting untuk dilakukan guna menganalisis perbandingan simpanan karbon, serapan CO₂, dan produksi oksigen (O₂) pada hutan konservasi dan hutan produksi di Kota Palangka Raya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah yang komprehensif mengenai peran vegetasi dalam mendukung mitigasi perubahan iklim, serta menjadi dasar dalam pengelolaan hutan yang berkelanjutan dan berbasis pada fungsi ekosistem.

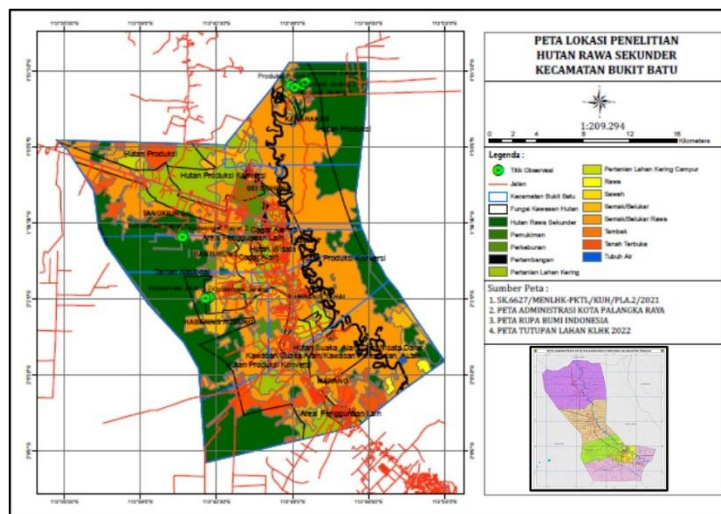
Penelitian ini bertujuan untuk menghitung komposisi jenis, kerapatan tegakan, indeks keanekaragaman jenis *Shannon-Wiener*, potensi simpanan biomasa vegetasi, karbon vegetasi, serapan CO₂ dan produksi O₂ pada hutan konservasi dan hutan produksi di Kota Palangka Raya.

2. Bahan dan Metode

2.1. Waktu dan Tempat

Waktu penelitian selama ± 3 bulan, yaitu: mulai bulan Mei-Juli 2023. Lokasi penelitian di tipe hutan rawa gambut sekunder di kawasan hutan konservasi dan hutan produksi yang secara administrasi pemerintahan termasuk dalam wilayah Kecamatan Bukit Batu Kota Palangka Raya Kalimantan Tengah dengan koordinat geografis terletak 113°30`-133°50`

Bujur Timur dan 1°35' - 1°40' Lintang Selatan. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2.2. Obyek, Alat dan Bahan Penelitian

Objek dari penelitian ini adalah vegetasi tingkat pohon (diameter ≥ 20 cm), tiang (diameter: $10 < 20$ cm) dan pancang (diameter < 10 cm dan tinggi $\geq 1,5$ m) yang tumbuh di hutan konservasi dan hutan produksi. Alat yang digunakan terdiri dari: GPS, phiband, hagameter, tali tambang, parang, kamera dan tally sheet. Sedangkan bahan yang digunakan: peta fungsi kawasan hutan tahun 2021 (file SHP), peta Rupa Bumi Indonesia Kota Palangka Raya (file SHP), peta Batas Administrasi Kota Palangka Raya (file SHP) dan peta tutupan lahan Kalimantan Tengah tahun 2021 (file SHP).

2.3. Prosedur Penelitian

2.3.1 Klasifikasi Tutupan Vegetasi

Penentuan klasifikasi tutupan kerapatan vegetasi menggunakan metode NDVI (*Normalized Difference Vegetation Indeks*) untuk mengetahui sebaran dan kepadatan

vegetasi. NDVI dapat menunjukkan parameter yang berhubungan dengan parameter vegetasi, antara lain: biomassa dedaunan hijau, daerah dedaunan hijau yang merupakan nilai yang dapat diperkirakan untuk pembagian vegetasi (Bashit, 2019). Rumus NDVI sebagai berikut :

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Keterangan:

NDVI = Normalized Difference Vegetation Index

NIR = Nilai spektral saluran near infrared

RED = Nilai spektral saluran RE

Nilai NDVI mempunyai rentang antara -1 (minus) hingga 1 (positif). Nilai representatif vegetasi berkisar antara 0,1 hingga 0,7, jika nilai NDVI lebih besar dari nilai tersebut menunjukkan tingkat kesehatan vegetasi yang lebih baik. Rentang nilai kisaran NDVI dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Klasifikasi nilai NDVI

Kelas	Nilai NDVI	Tingkat Kehijauan
1	-1 – 0,22	Tidak Ada Vegetasi
2	0,22 – 0,37	Vegetasi Jarang
3	0,37 – 1	Vegetasi Rapat

Sumber: Awaliyan & Sulistyoadi, (2018)

2.3.2 Analisis Vegetasi

Analisis vegetasi menggunakan metode garis berpetak dengan cara melompati satu

petak dengan jarak 50 m dalam jalur pengamatan sepanjang 300 m. Pada setiap jalur pengamatan dibuat petak ukur dengan ukuran 20 m × 20 m (tingkat pohon), 10 m × 10 m (tingkat tiang) dan 5 m × 5 m (tingkat pancang). Jalur pengamatan dibuat pada setiap kawasan hutan dan tutupan kerapatan vegetasi masing-masing 2 jalur. Analisis vegetasi digunakan untuk mengetahui komposisi jenis, kerapatan vegetasi, Indeks Nilai Penting (INP) dan indeks keanekaragaman jenis *Shannon-Wiener*.

2.3.3 Simpanan Biomasa dan Karbon

Data hasil analisis vegetasi kemudian dihitung simpanan biomasa vegetasi di atas permukaan tanah dengan rumus alometrik Dharmawan et al. (2013):

$$B_{ap} = 0,040 (D \times \rho \times T)^{1,524}$$

Keterangan :

B_{ap} = Biomassa (kg)

D = Diameter (cm)

T = Tinggi Total (m)

ρ = Berat Jenis Kayu (g/cm^3)

1,524 = Konstanta

Berat jenis kayu mengacu pada berbagai sumber diantaranya buku Atlas Kayu Indonesia dan website ICRAF: (<http://db.worldagroforestry.org/>).

Dari perhitungan bioamasa kemudian dihitung simpanan karbon vegetasi di atas permukaan tanah menggunakan rumus Badan Standardisasi Nasional 7724 (2019):

$$C_{ap} = B_{ap} \times \% C_{organik}$$

Keterangan :

C_{ap} = Simpanan karbon vegetasi di atas permukaan tanah (kg/pohon)

B_{ap} = Total Biomassa di Atas Permukaan Tanah (kg)

Tabel 2. Jumlah jenis vegetasi yang ditemukan berdasarkan tingkat pertumbuhan dan tutupan kerapatan vegetasi di hutan konservasi dan hutan produksi

Kawasan hutan	Tutupan kerapatan vegetasi	Jumlah jenis vegetasi pada tingkat pertumbuhan-		
		Pancang	Tiang	Pohon
Konservasi	Jarang	6	9	3
	Rapat	24	28	30
Produksi	Jarang	27	29	27
	Rapat	35	30	37

Tabel 2 menunjukkan jumlah jenis vegetasi yang paling banyak ditemukan berada

$C_{organik}$ = Nilai Persentase Kandungan Karbon (sebesar 0,47)

2.3.4 Serapan karbon dioksida dan Produksi Oksigen

Perhitungan serapan CO_2 vegetasi menggunakan rumus IPCC (2006):

$$CO_2 = C_{ap} \times 3,67$$

Keterangan:

CO_2 = Serapan CO_2 vegetasi (kg/pohon)

C_{ap} = Karbon vegetasi (kg/pohon)

3,67 = Angka ekivalen atau konversi unsur C ke CO_2 (massa atom C=12 dan O=16, $CO_2 (1 \times 12) + (2 \times 16) = 44$; konversinya $(44:12) = 3,67$)

Oksigen yang diproduksi vegetasi dihitung menggunakan rumus Nowak et. al. (2007):

$$O_2 = C_{ap} \times 2,67$$

Keterangan :

O_2 = Oksigen yang diproduksi (kg/pohon)

C_{ap} = Simpanan karbon vegetasi di atas permukaan tanah (kg/pohon)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Komposisi Jenis Vegetasi

Parameter komposisi jenis vegetasi yang dianalisis meliputi: jumlah jenis, kerapatan vegetasi, Indeks Nilai Penting (INP) dan indeks Keanekaragaman Jenis *Shannon-Wiener* (H'). Kawasan hutan konservasi dan hutan produksi yang merupakan obyek dari penelitian ini termasuk dalam tipe hutan sekunder rawa gambut yang berada di Kecamatan Bukit Batu Kota Palangka Raya berdasarkan klasifikasi tutupan kerapatan dan tingkat pertumbuhan vegetasi (tingkat pancang, tiang, pohon) dapat dilihat pada **Tabel 2**.

pada tutupan kerapatan vegetasi rapat, baik pada hutan konservasi maupun hutan produksi.

Jumlah jenis vegetasi yang ditemukan pada hutan konservasi vegetasi rapat tidak jauh berbeda (24-30 jenis) dibandingkan pada hutan produksi vegetasi rapat (30-37 jenis). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi kedua kawasan tersebut memiliki tingkat keanekaragaman ekologi yang relatif serupa. Namun perbedaan yang cukup mencolok terlihat pada hutan konservasi jarang yang hanya ditemukan 3-9 jenis vegetasi dan hutan produksi vegetasi jarang (27-29 jenis). Perbedaan tersebut diduga akibat konflik tenurial yang terjadi pada hutan konservasi. Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan (2015), konflik tenurial hutan adalah berbagai bentuk perselisihan atau pertentangan klaim penguasaan, pengelolaan, pemanfaatan, dan penggunaan kawasan hutan. Lebih lanjut, Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan (2018), laju penurunan luas tutupan vegetasi diiringi dengan peningkatan

aktivitas manusia dalam kawasan hutan. Sedangkan di hutan produksi vegetasi rapat jumlah vegetasi yang ditemukan berkisar 30-37 jenis, lebih banyak dibandingkan di hutan produksi jarang (27-29 jenis). Hasil penelitian ini menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan hasil penelitian Kalima & Denny (2019) yang menemukan 99 jenis vegetasi di hutan rawa gambut Taman Nasional Sebangau, Kalimantan Tengah.

Salah satu indikator untuk mengetahui proses regenerasi dan pertumbuhan vegetasi dalam ekosistem hutan dapat dilihat berdasarkan kondisi kerapatan tegakannya. Data kerapatan tegakan pada hutan konservasi dan hutan produksi pada tutupan kerapatan vegetasi serta tingkat pertumbuhan dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Kerapatan tegakan berdasarkan tingkat pertumbuhan dan tutupan kerapatan vegetasi di hutan konservasi dan hutan produksi

Kawasan hutan	Tutupan kerapatan vegetasi	Kerapatan tegakan (ind/ha) pada tingkat pertumbuhan			Total (Ind/ha)
		Pancang	Tiang	Pohon	
Koservasi	Jarang	3.280	960	82,50	4.322,50
	Rapat	4.880	1.330	335	6.545,00
Total		8.160	2.290	417,50	10.867,50
Produksi	Jarang	3.600	690	142,50	4.432,50
	Rapat	4.880	970	270	6.120,00
Total		8.480	1.660	412,50	10.552,50

Data **Tabel 3** menunjukkan total kerapatan tegakan pada hutan konservasi cenderung lebih tinggi (10.867,50 ind/ha) dibandingkan di hutan produksi (10.552,50 Ind/ha). Gambaran **Tabel 3** juga memperlihatkan bahwa kerapatan tegakan di semua lokasi penelitian sebagian besar didominasi oleh vegetasi yang memiliki diameter kecil (tingkat pancang), sedangkan pada tingkat tiang dan pohon kerapatan tegakan semakin kecil sehingga membentuk kurva “J” terbalik. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tingkat regenerasi yang didominasi vegetasi yang berdiameter kecil akan menjamin kelangsungan tegakan dimasa datang (Junaedi & Hidayat, 2015). Posa et. al. (2011), regenerasi mekanisme sebuah organisme untuk mempertahankan dan melanjutkan

kehadirannya dalam tegakan hutan yang dapat dilihat pada profil lengkap jumlah kerapatan tegakan vegetasi di setiap kelas diameter dari tingkat semai, pancang, tiang dan pohon. Regenerasi vegetasi dalam hutan tropis merupakan proses yang kompleks karena bergantung kepada banyak faktor termasuk pembentukan rumpang alami (Heriyanto et. al. 2020).

Indikator gambaran mengenai jenis vegetasi yang mendominasi di setiap kawasan hutan dan tutupan kerapatan vegetasi serta tingkatan pertumbuhan dilihat berdasarkan nilai Indeks Nilai penting (INP). INP vegetasi berdasarkan tingkat pertumbuhan dan tutupan kerapatan vegetasi di hutan konservasi dan hutan produksi dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Indeks nilai penting vegetasi dominan berdasarkan tingkat pertumbuhan dan tutupan kerapatan vegetasi di hutan koservasi dan hutan produksi

Kawasan hutan	Tutupan kerapatan vegetasi	Tingkat pertumbuhan	Jenis vegetasi	Nama ilmiah	INP (%)
Konservasi	Jarang	Pancang	Gerunggung	<i>Cratoxylum glaucum</i> Korth.	109,418
		Tiang	Tumih	<i>Combretocarpus rotundus</i> Dans.	136,730
		Pohon	Tumih	<i>Combretocarpus rotundus</i> Dans.	201,871
	Rapat	Pancang	Katepung	<i>Litsea mappaceae</i> Boerl.	109,418
		Tiang	Jambu-Jambu	<i>Eugenia</i> spp	76,014
		Pohon	Tumih	<i>Combretocarpus rotundus</i> Dans.	98,901
Produksi	Jarang	Pancang	Katiau	<i>Palaquium rostratum</i> (Miq.) Burck.	61,230
		Tiang	Tumih	<i>Combretocarpus rotundus</i> Dans.	42,275
		Pohon	Tumih	<i>Combretocarpus rotundus</i> Dans.	33,062
	Rapat	Pancang	Katiau	<i>Palaquium rostratum</i> (Miq.) Burck.	31,012
		Tiang	Tumih	<i>Combretocarpus rotundus</i> Dans.	38,036
		Pohon	Meranti Sarang Punai	<i>Shorea parvifolia</i> Dyer.	30,927

Tabel 4 menunjukkan bahwa jenis vegetasi dominan pada hutan konservasi cukup bervariasi, khususnya pada vegetasi tingkat pancang dan tiang. Namun pada hutan konservasi vegetasi jarang dan vegetasi rapat pada tingkat pohon di dominasi jenis yang sama, yaitu : Tumih (*Combretocarpus rotundus* Dans.). Tumih (*Combretocarpus rotundus* Dans.) merupakan tumbuhan pionir yang tumbuh pada awal proses terbentuknya hutan rawa gambut dan berpotensi sebagai tumbuhan restorasi hutan rawa gambut yang terdegradasi (Irma et al., 2022). Di hutan produksi, baik pada tutupan kerapatan vegetasi jarang dan rapat pada tingkat pancang didominasi jenis yang sama, yaitu: Katiau (*Palaquium rostratum* (Miq.) Burck.) dan Tumih (*Combretocarpus rotundus* Dans.). Sedangkan untuk vegetasi tingkat pohon pada hutan produksi vegetasi jarang dan rapat masing-masing di dominasi Tumih (*Combretocarpus rotundus* Dans.) dan Meranti Sarang Punai (*Shorea parvifolia*

Dyer.). Odum (1993), jenis vegetasi yang mendominasi berarti memiliki kisaran lingkungan yang lebih luas dibandingkan dengan jenis vegetasi yang lainnya, sehingga dengan kisaran toleransi yang luas terhadap faktor lingkungan menyebabkan suatu jenis vegetasi akan memiliki sebaran yang luas.

Untuk mengetahui kestabilan stuktur dan stabilitas komunitas vegetasi di hutan konservasi dan hutan produksi, salah satunya dapat dilihat berdasarkan indikator keanekaragaman jenis. Setiarno et. al. (2023), keanekaragaman jenis merupakan ciri tingkat komunitas berdasarkan organisasinya, yang dapat digunakan untuk melihat struktur dan stabilitas komunitas di alam. Berikut data indeks keanekaragaman jenis *Shannon-Wiener* (H') berdasarkan tingkat pertumbuhan dan tutupan kerapatan vegetasi di hutan konservasi dan hutan produksi dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Indeks keanekaragaman jenis *Shannon-Wiener* (H') berdasarkan tingkat pertumbuhan dan tutupan kerapatan vegetasi di hutan koservasi dan hutan produksi

Kawasan hutan	Tutupan kerapatan vegetasi	Indeks keanekaragaman jenis <i>Shannon Wiener</i> (H') pada tingkat pertumbuhan		
		Pancang	Tiang	Pohon
Koservasi	Jarang	1,468	1,347	0,795
	Rapat	2,573	2,686	2,903
Produksi	Jarang	2,869	2,133	3,141
	Rapat	3,204	3,165	3,307

Tabel 5 menunjukkan bahwa indeks keanekaragaman jenis pada semua tingkatan pertumbuhan vegetasi di hutan konservasi

vegetasi jarang termasuk dalam kategori rendah ($H' < 1,5$), sedangkan pada tutupan kerapatan rapat termasuk dalam kategori sedang ($H': 1,5-$

3,5). Magguran (1988), nilai indeks $H' < 1,5$ termasuk kategori rendah, $H' : 1,5 - 3,5$ termasuk kategori sedang dan $H' > 3,5$ termasuk kategori tinggi. Pada hutan produksi, baik pada tutupan kerapatan vegetasi jarang maupun rapat termasuk dalam kategori sedang. Dengan kata lain bahwa hutan konservasi vegetasi jarang memiliki komunitas dengan kondisi lingkungan yang kurang stabil. Sedangkan di hutan konservasi vegetasi rapat dan hutan produksi vegetasi jarang serta rapat memiliki komunitas dengan kondisi lingkungan yang cukup stabil. Bratawinata (1998), semakin tinggi nilai indeks H' maka stabilitas kondisi lingkungan akan lebih tinggi, namun sebaliknya nilai indeks H' rendah maka stabilitasnya akan rendah. Selain

Tabel 6. Potensi simpanan biomasa vegetasi di atas permukaan tanah berdasarkan tingkat pertumbuhan dan tutupan kerapatan vegetasi di kawasan hutan konservasi dan hutan produksi

Kawasan hutan	Tutupan kerapatan vegetasi	Potensi simpanan biomasa vegetasi (ton/ha) pada tingkat pertumbuhan			Total (ton/ha)
		Pancang	Tiang	Pohon	
Koservasi	Jarang	24,124	76,451	20,485	121,060
	Rapat	39,891	92,466	284,904	417,261
	Total	64,015	168,917	305,389	538,321
Produksi	Jarang	13,463	48,980	79,751	142,195
	Rapat	19,430	65,323	200,839	285,591
	Total	32,893	114,303	280,590	427,786

Tabel 6 menunjukkan potensi simpanan biomasa vegetasi cenderung semakin meningkat seiring dengan perubahan tingkat pertumbuhan vegetasi (tingkat pancang sampai pohon) pada hutan konservasi dan hutan produksi, baik pada tutupan kerapatan vegetasi jarang maupun rapat. Besaran potensi simpanan biomassa vegetasi dipengaruhi oleh umur tegakan, komposisi dan struktur tegakan, iklim, curah hujan, suhu dan dimensi tegakan (ukuran diameter dan tinggi tegakan) (Kusmana et. al., 1993; Qirom et. al., 2019). Berdasarkan tutupan kerapatan vegetasi menunjukkan hutan konservasi vegetasi jarang memiliki potensi simpanan biomasa vegetasi paling rendah (121,060 ton/ha) dibandingkan tutupan kerapatan vegetasi lainnya. Kondisi tersebut salah satunya dipengaruhi jumlah kerapatan tegakan di hutan konservasi vegetasi jarang lebih rendah (4.322,50 ind/ha) dibandingkan tutupan kerapatan vegetasi di hutan lainnya. Rotinsulu et al., (2021), salah satu faktor yang mempengaruhi besaran biomassa vegetasi

itu, variasi indeks keanekaragaman pada berbagai tingkatan pertumbuhan vegetasi berhubungan dengan karakteristik tempat tumbuh dan aktivitas yang terjadi di dalam komunitas hutan tersebut (Oktaviani et al. (2107).

3.2. Simpanan Biomasa, Karbon, Serapan CO_2 dan Potensi Produksi O_2

Potensi simpanan biomasa vegetasi dalam penelitian ini merupakan biomasa vegetasi di atas permukaan tanah. Berikut rincian potensi simpanan biomasa vegetasi di atas permukaan tanah berdasarkan tingkatan pertumbuhan dan tutupan kerapatan vegetasi disajikan pada **Tabel 6**.

adalah kerapatan tegakan, dimana variasi biomassa vegetasi sangat tergantung atas jarak antar individu atau kerapatan tegakan. Selain itu kondisi vegetasi di hutan konservasi vegetasi jarang telah mengalami degradasi akibat konflik tenurial berupa tumpang tindih dengan area transmigrasi masyarakat yang berada di Taman Nasional Sebangau SPTN wilayah I Palangka Raya Resort Habaring Huring Kecamatan Bukit Batu (USAID, 2023). Total secara keseluruhan potensi simpanan biomasa vegetasi di atas permukaan tanah di hutan konservasi jauh lebih besar (538,321 ton/ha) dibandingkan di hutan produksi (427,786 ton/ha). Potensi simpanan biomasa vegetasi hasil penelitian ini cenderung lebih rendah dibandingkan hasil penelitian Jaya et. al (2007) di hutan rawa gambut sebesar 583 ton/ha, namun jauh lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian Daud et. al (2015), sebesar 334,34 ton/ha dan Heriyanto et. al (2019), sebesar 181,61 ton/ha.

Besaran potensi simpanan biomasa vegetasi berkorelasi positif dengan nilai potensi simpanan karbon vegetasi, artinya peningkatan atau penurunan potensi biomasa vegetasi menyebabkan peningkatan atau penurunan simpanan karbon vegetasi (Istomo & Farida, 2017). Fenomena tersebut juga terjadi pada hasil penelitian ini, dimana potensi simpanan biomasa vegetasi di hutan konservasi

lebih tinggi dibandingkan di hutan produksi (**Tabel 6**) yang berimplikasi terhadap jumlah simpanan karbon vegetasi dengan pola kecenderungan yang sama. Potensi simpanan karbon vegetasi berdasarkan tingkat pertumbuhan dan tutupan kerapatan vegetasi di hutan konservasi dan hutan produksi dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Potensi simpanan karbon vegetasi berdasarkan tingkat pertumbuhan tutupan dan tutupan kerapatan vegetasi di hutan konservasi dan hutan produksi

Kawasan hutan	Tutupan kerapatan vegetasi	Potensi simpanan karbon vegetasi (ton/ha) pada tingkat pertumbuhan			Total (ton/ha)
		Pancang	Tiang	Pohon	
Konservasi	Jarang	11,338	35,932	9,628	56,898
	Rapat	18,749	43,459	133,905	196,133
Total		30,087	79,391	143,533	253,011
Produksi	Jarang	6,328	23,021	37,483	66,832
	Rapat	9,132	30,702	94,394	134,228
Total		15,460	53,722	131,877	201,059

Tabel 7 menunjukkan hutan konservasi mampu menyimpan karbon vegetasi sebesar 253,011 tonC/ha, sedangkan hutan produksi 201,059 tonC/ha. Artinya, simpanan karbon vegetasi pada hutan konservasi sekitar 25,8% lebih tinggi daripada hutan produksi. Jika dilihat berdasarkan tutupan kerapatan vegetasi, hutan konservasi vegetasi rapat menyimpan karbon vegetasi sebesar 196,133 tonC/ha, jauh lebih tinggi dibandingkan hutan konservasi vegetasi jarang (56,898 tonC/ha). Selisih tersebut menunjukkan peningkatan simpanan karbon vegetasi sebesar sekitar 244,7%. Pola yang sama juga terjadi pada hutan produksi, dimana simpanan karbon vegetasi di hutan produksi vegetasi rapat sekitar 100,80% jauh lebih besar (134,228 tonC/ha) dibandingkan di

hutan produksi vegetasi jarang (66,832 tonC/ha).

Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Baul et al. (2021), simpanan karbon vegetasi meningkat seiring meningkatnya kerapatan kanopi dan struktur tegakan. Lebih lanjut menurut Solomon et al. (2024), tingkat kerapatan kanopi secara signifikan mempengaruhi jumlah simpanan karbon vegetasi di ekosistem hutan, sehingga struktur vegetasi merupakan variabel penting dalam penilaian jasa ekosistem.

Data potensi serapan karbon dioksida (CO₂) berdasarkan tingkat pertumbuhan dan tutupan kerapatan vegetasi di hutan konservasi dan hutan produksi dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Potensi serapan karbon dioksida berdasarkan tingkat pertumbuhan dan tutupan kerapatan vegetasi di kawasan hutan konservasi dan hutan produksi

Kawasan hutan	Tutupan kerapatan vegetasi	Potensi serapan karbon dioksida (ton/ha) pada tingkat pertumbuhan			Total (ton/ha)
		Pancang	Tiang	Pohon	
Konservasi	Jarang	41,612	131,871	35,335	208,818
	Rapat	68,808	159,495	491,431	719,733
Total		110,420	291,366	526,766	928,551
Produksi	Jarang	23,222	84,486	137,563	245,272
	Rapat	33,514	112,675	346,427	492,616
Total		56,736	197,161	483,990	737,888

Tabel 8 menunjukkan hutan konservasi memiliki potensi serapan CO₂ lebih tinggi (928,551 tonCO₂/ha) dibandingkan di hutan produksi (737,888 tonCO₂/ha). Nilai serapan

CO₂ yang lebih tinggi pada hutan konservasi tersebut menunjukkan bahwa kawasan ini memiliki kapasitas mitigasi perubahan iklim yang lebih besar dibandingkan hutan produksi.

Perbedaan tersebut menunjukkan kemampuan hutan konservasi dalam menyerap CO₂ sekitar 25,8% lebih tinggi daripada hutan produksi. Secara metodologis, angka serapan CO₂ sejalan dengan konversi karbon ke CO₂, karena 1 ton karbon setara dengan 3,67 ton CO₂ (IPCC, 2019). Dengan demikian, ketika stok karbon meningkat, nilai serapan CO₂ yang dihitung juga ikut meningkat secara proporsional. Berdasarkan kerangka mitigasi perubahan iklim, hutan alami atau konservasi berfungsi sebagai *carbon sink* jangka panjang, karena mampu menyerap dan menyimpan karbon dalam periode waktu yang panjang (IPCC, 2019).

Tutupan kerapatan vegetasi merupakan faktor dominan dalam menentukan besarnya serapan CO₂. Pada hutan konservasi vegetasi rapat memiliki potensi serapan sebesar 719,733 tonCO₂/ha, sedangkan vegetasi jarang hanya 208,818 tonCO₂/ha. Hal ini menunjukkan vegetasi rapat memiliki kapasitas serapan sekitar 3,4 kali lebih tinggi. Fenomena tersebut dapat dijelaskan melalui konsep *Leaf Area Index* (LAI) dan struktur kanopi. Vegetasi dengan kerapatan tinggi memiliki luas daun yang lebih besar, sehingga meningkatkan kemampuan fotosintesis dan penyerapan CO₂ secara keseluruhan. Xu et al. (2018), kerapatan kanopi berkontribusi signifikan terhadap variasi simpanan karbon vegetasi. Lebih lanjut Baul et al. (2021), hutan dengan kanopi tertutup memiliki simpanan karbon lebih tinggi dibandingkan hutan dengan kanopi terbuka. Pola yang sama juga terjadi pada hutan produksi, di mana vegetasi rapat memiliki serapan CO₂ lebih tinggi (492,616 tonCO₂/ha)

dibanding vegetasi jarang (245,272 tonCO₂/ha). Hal tersebut menegaskan bahwa peningkatan tutupan kerapatan vegetasi merupakan strategi penting dalam meningkatkan kapasitas penyerapan karbon.

Hasil analisis berdasarkan tingkat pertumbuhan vegetasi menunjukkan bahwa kontribusi terbesar terhadap serapan CO₂ berasal dari tingkat pohon. Pada hutan konservasi vegetasi rapat, serapan CO₂ tingkat pohon mencapai 491,431 tonCO₂/ha, jauh lebih tinggi dibandingkan tingkat tiang (159,495 tonCO₂/ha) dan pancang (68,808 tonCO₂/ha). Fenomena tersebut menunjukkan bahwa pohon dewasa memiliki peran dominan sebagai penyerap karbon, karena memiliki biomassa yang besar. IPCC (2006), biomassa di atas permukaan tanah (*aboveground biomass*) merupakan komponen utama dalam penyimpanan karbon hutan. Lebih lanjut, Solomon et al. (2024) menegaskan bahwa struktur tegakan, khususnya keberadaan pohon besar, sangat menentukan kapasitas simpanan karbon suatu ekosistem hutan. Walaupun kontribusi vegetasi muda relatif lebih kecil, namun keberadaannya tetap penting sebagai bagian dari regenerasi hutan yang menjamin keberlanjutan fungsi penyerapan karbon dalam jangka panjang.

Potensi produksi O₂ dalam penelitian ini menunjukkan pola sama dengan potensi simpanan biomasa, karbon dan serapan CO₂ di atas. Berikut data potensi produksi O₂ berdasarkan tingkat pertumbuhan dan tutupan kerapatan vegetasi di hutan konservasi dan hutan produksi dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Potensi produksi oksigen berdasarkan tingkat pertumbuhan dan tutupan kerapatan vegetasi di hutan konservasi dan hutan produksi

Kawasan hutan	Tutupan kerapatan vegetasi	Potensi produksi oksigen (ton/ha) pada tingkat pertumbuhan			Total (ton/ha)
		Pancang	Tiang	Pohon	
Koservasi	Jarang	30,273	95,939	25,707	151,919
	Rapat	50,059	116,036	357,526	523,620
	Total	80,332	211,974	383,233	675,539
Produksi	Jarang	16,895	61,465	100,080	178,440
	Rapat	24,382	81,973	252,032	358,388
	Total	41,277	143,438	352,112	536,828

Tabel 9 menunjukkan potensi produksi O₂ vegetasi menunjukkan variasi yang

signifikan antara hutan konservasi dan hutan produksi pada tutupan kerapatan vegetasi serta

tingkat pertumbuhan vegetasi. Total produksi O₂ pada hutan konservasi menunjukkan kapasitas produksi oksigen yang lebih tinggi (675,539 ton O₂/ha) dibandingkan hutan produksi (536,828 tonO₂/ha). Hal ini di duga terkait dengan kondisi ekosistem yang lebih stabil, minim gangguan, dan memiliki kerapatan tegakan yang lebih tinggi serta kompleks. Dalam perspektif ekofisiologi, tegakan yang matang memiliki *Leaf Area Index* (LAI) yang tinggi, yang berkontribusi pada peningkatan *Gross Primary Productivity* (GPP). Produksi O₂ berbanding lurus dengan laju fotosintesis bruto, sehingga ekosistem dengan produktivitas primer tinggi akan menghasilkan O₂ dalam jumlah lebih besar (Larcher, 2003). IPCC (2019) menegaskan bahwa hutan alami memiliki fungsi ekosistem yang lebih optimal dalam siklus karbon dan energi dibandingkan hutan yang dikelola secara intensif.

Tutupan kerapatan vegetasi juga berpengaruh terhadap produksi O₂ vegetasi, dimana vegetasi rapat menghasilkan O₂ jauh lebih tinggi dibandingkan vegetasi jarang (**Tabel 9**). Hal tersebut di duga oleh meningkatnya jumlah daun aktif dan luas permukaan fotosintesis. Dalam ilmu fisiologi tumbuhan, peningkatan LAI secara langsung meningkatkan penyerapan cahaya dan kapasitas asimilasi karbon (Taiz et al., 2015).

Berdasarkan tingkatan pertumbuhan menunjukkan vegetasi tingkat pohon memiliki kontribusi terbesar dalam memproduksi O₂ (**Tabel 9**). Dominasi tingkat pohon menunjukkan bahwa pohon dewasa merupakan komponen utama dalam produksi O₂. Secara fisiologis, pohon dewasa memiliki luas daun total yang lebih besar dan sistem fotosintetis yang lebih berkembang. Selain itu, pohon besar memiliki kapasitas penangkapan cahaya yang lebih stabil dan efisien dibandingkan vegetasi muda. Larcher (2003), kapasitas fotosintesis tumbuhan meningkat seiring dengan perkembangan struktur morfologi dan fisiologinya, termasuk peningkatan luas daun dan efisiensi penggunaan cahaya. Hal tersebut juga didukung Solomon et al. (2024), yang

menyatakan bahwa struktur tegakan dan keberadaan pohon besar sangat memengaruhi fungsi ekosistem dalam siklus karbon.

4. Kesimpulan

Komposisi jenis, kerapatan tegakan, serta indeks keanekaragaman jenis Shannon-Wiener di hutan konservasi dan hutan produksi tersebut bervariasi, yang mencerminkan kondisi lingkungan dan tingkat stabilitas ekosistem yang berbeda. Jenis vegetasi yang ditemukan pada tutupan kerapatan vegetasi rapat lebih tinggi dibandingkan tutupan kerapatan vegetasi jarang, dengan indeks keanekaragaman jenis Shannon-Wiener termasuk dalam kategori rendah hingga sedang. Kerapatan vegetasi didominasi oleh tingkat pancang yang menunjukkan pola regenerasi normal. Potensi simpanan biomasa dan karbon vegetasi di atas permukaan tanah di hutan konservasi lebih tinggi (538,321 ton/ha dan 253,011 tonC/ha) dibandingkan hutan produksi (427,786 ton/ha dan 201,059 tonC/ha). Serapan CO₂ juga lebih besar pada hutan konservasi (928,551 tonCO₂/ha) dibandingkan hutan produksi (737,888 tonCO₂/ha). Produksi O₂ menunjukkan pola serupa, dengan nilai lebih tinggi pada hutan konservasi (675,539 tonO₂/ha) dibandingkan hutan produksi (536,828 tonO₂/ha).

Daftar Pustaka

- Awaliyan, M. R., & Sulistyoadi, Y. B. 2018. Klasifikasi Penutupan Lahan Pada Citra Satelit Sentinel-2a Dengan Metode Tree Algorithm. *ULIN: Jurnal Hutan Tropis*, **2**(2), 98–104.
- Badan Standardisasi Nasional 7724. 2019. Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon – Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Berbasis Lahan (*land base carbon accounting*). Jakarta.
- Bashit, N. 2019. Analisis Lahan Kritis Berdasarkan Kerapatan Tajuk Pohon Menggunakan Citra Sentinel 2. *Elipsoida : Jurnal Geodesi dan Geomatika*, **2**(1), 71–79.

- <https://doi.org/10.14710/elipsoida.2019.5019>.
- Baul, T. K., Ullah, K. M. A., Tiwari, K. R., & McDonald, M. A. 2021. *Aboveground carbon stock assessment in tropical forests: The role of canopy density and forest structure*. *Forest Ecology and Management*, 482, 118857. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118857>.
- Bratawinata, A A. 1998. *Ekologi Hutan Hujan Tropis dan Metode Analisis Hutan*. Laboratorium Ekologi Hutan dan Dendrologi, Fahutan UNMUL, Samarinda.
- Daud, M., Husnah. L., Hikmah & Jufri. 2015. *Potensi Cadangan Dan Serapan Karbon Dioksida Di Hutan Pendidikan Universitas Muhammadiyah Makassar Desa Bissolord Kabupaten Gawo*.
- Dharmawan, I. W. S., Saharjo, B. H., Supriyanto, S., & Arifin, H. S. 2013. *Persamaan Alometrik dan Cadangan Karbon Vegetasi Pada Hutan Gambut Primer dan Bekas Terbakar*. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 10(2), 175–191. <https://doi.org/10.20886/jphka.2013.10.2.175-191>.
- Heriyanto, N. M., Dolly, P. & Ismayadi, S. 2019. *Struktur Tegakan dan Serapan Karbon Pada Hutan Sekunder Kelompok Hutan Muara Merang, Sumatera Selatan*.
- Heriyanto, M. N., Priatna, D. & Samsudin, I. 2020. *Struktur Tegakan dan Serapan Karbon pada Hutan Sekunder Kelompok Hutan Muara Merang, Sumatera Selatan*. *Jurnal Sylva Lestari* 8(2): 230-240.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2019). *Climate Change and Land: An IPCC Special Report*. IPCC.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC.
- Oktavinani ST, Laila H, dan Zaidan PN., 2017. *Analisis Vegetasi di Kawasan Terbuka Hijau Industri Gasing*. *Jurnal Penelitian Sains*, 19(3), 124 – 131.
- Istomo, & Farida, N. E. 2017. *Potensi Simpanan Karbon di Atas Permukaan Tanah Tegakan Acacia nilotica L (Willd) ex. Del. di Taman Nasional Baluran, Jawa Timur*. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 7(2), 155–162.
- Jaya, A., Siregar, U. J., Daryono, H. dan Suhartana, S. 2007. *Biomassa Hutan Rawa Gambut Tropika Pada Berbagai Kondisi Penutupan Lahan*. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 4 (4) : 341-352.
- Junaedi, A., & Hidayat, N. 2015. *Struktur dan Komposisi Vegetasi di Areal Bekas Tebangan Berdasarkan Zone Kelerengan*. *Jurnal Hutan Tropis*, 3(1), 91–98.
- Kalima, T., & Denny. 2019. *Komposisi Jenis dan Struktur Hutan Rawa Gambut Taman Nasional Sebangau, Kalimantan Tengah (Species Composition and Peat Swamp Forest Structure in Sebangau National Park, Central Kalimantan)*. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 16(1), 51–72.
- Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan. 2015. *Nomor : P.84/Menlhk-Setjen/2015 Tentang Penanganan Konflik Tenurial Kawasan Hutan*.
- Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan. 2018. *Menyelamatkan Jawa Melalui Tutupan Vegetasi* (pp. 1–4).
- Kusmana C. 1993. *A Study On Mangrove Forest Management Base on Ecological Data in East Sumatera, Indonesia [dissertation]*. Japan: Kyoto University, Faculty of Agricultural.
- Larcher, W. 2003. *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups* (4th ed.). Springer.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. USA: Princeton University Press.
- Nowak, D.J., R. Hoehn & D.E. Crane, 2007. *Oxygen production by urban trees in the United States*. *Arboricultur & Urban Forestry*, 33(3): 220-226
- Odum, E., P. 1993. *Dasar-Dasar Ekologi (Penerjemah Tjahyono Samingan dari*

- Buku *Fundamentals of Ecology*): Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Oktaviani, S. I., Hanum, L., & Negara, P. Z. 2017. Analisis Vegetasi di Kawasan Terbuka Hijau Industri Gasing. *Jurnal Penelitian Sains*, **19**(3), 124–131. <http://ejurnal.mipa.unsri.ac.id/index.php/jps/article/view/500>.
- Posa, M. R. C., Wijedasa, L. S., & Corlett, R. T. 2011. Biodiversity and Conservation of Tropical Peat Swamp Forests. *BioScience*.
- Qirom, A. M., Halwany, W., Rahmanadi, D. & Tambupolon, P. A. 2019. Studi Biofisik pada Lanskap Hutan Rawa Gambut di Taman Nasional Sebangau: Kasus di Resort Mangkok. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* **24**(3): 188-200.
- Rotinsulu, J. M., Junaedi, A., Yanarita, Nuwa, & Octavianus, R. 2021. Potensi Biomassa Dan Karbon Vegetasi Hutan Rawa Gambut Di Petak Ukur Permanen Hutan Pendidikan Hampangen Universitas Palangka Raya Kalimantan Tengah. *Jurnal Hutan Tropika*, **16**(2), 205–214.
- Setiarno, Sari, N., Sosilawaty, Hidayat, N. & Junaedi, A. 2023. Keanekaragaman Jenis Tumbuhan dan Status Konservasi Tumbuhan di Kebun Raya Katingan. *Jurnal Hutan Tropika* **18**(2): 349-359.
- Solomon, N., Hishe, H., Annang, T. Y., & Asante, I. K. 2024. Forest canopy structure and its influence on carbon stock: Implications for climate change mitigation. *Carbon Balance and Management*, **19**(30): 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13021-024-00277-x>.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sinauer Associates.
- Undang-Undang Republik Indonesia No 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan.
- USAID. 2023. Hasil Asesmen Konflik Tenurial di Taman Nasional Sebangai, 1–46.
- The Center for International Forestry Research (CIFOR) and World Agroforestry (ICRAF). 2019. Wood density Data Base. <http://db.worldagroforestry.org/>.