



Keanekaragaman Jenis Vegetasi Pohon, Estimasi Biomassa dan Serapan Karbon Hutan Lahan Kering di Kampung Selil Distrik Ulilin Kabupaten Merauke Provinsi Papua Selatan

**Musa B. Hutapea^{1*}, Johnson Siallagan², Basa T. Rumahorbo³,
Janviter Manalu⁴, Frans A. Asmuruf⁵**

Balai Pemantapan Kawasan Hutan Wilayah X Jayapura, Indonesia¹

Universitas Cenderawasih, Jayapura, Indonesia^{2,3,4,5}

Email: musabhutapea05@gmail.com^{1*}, siallagan1968@gmail.com²,
basarumahorbo3454@gmail.com³, janvitermanalu98@gmail.com⁴, fasmuruf@gmail.com⁵

Abstract

*This study aims to analyze the species diversity of tree vegetation and to estimate aboveground tree biomass, calculate carbon stock and carbon sequestration, and assess the contribution of tree diameter classes within a cluster plot in the dryland forest of Selil Village, Ulilin District, Merauke Regency, South Papua Province. This study employed a quantitative-descriptive approach based on a field survey using the National Forest Inventory (Inventarisasi Hutan Nasional/IHN) 2.0 method. Species diversity was analyzed using the Shannon–Wiener index, biomass was estimated using the Chave allometric equation, while carbon stock and carbon sequestration were calculated based on the IPCC conversion factor. The results showed that 64 individual trees representing 7 species were recorded within the cluster plot, namely kelat (*Eugenia densiflora*), jale (*Casuarina papuana*), resak (*Vatica papuana*), kapur (*Dryobalanops aromatica*), bintangur (*Calophyllum papuanum*), wild nutmeg (*Myristica* sp.), and merawan (*Hopea papuana*). Species diversity was classified as moderate ($1 < 1.477 < 3$). The most dominant species was kelat (*Eugenia densiflora*) with an Important Value Index (IVI) of 100.304, followed by resak (*Vatica papuana*) with 68.522 and jale (*Casuarina papuana*) with 49.023. The total above ground tree biomass was 141.228 tons/ha, with the largest contribution coming from kelat (*Eugenia densiflora*), jale (*Casuarina papuana*), and resak (*Vatica papuana*). This biomass produced a carbon stock of 66.377 tons C/ha and carbon sequestration of 243.383 tons CO₂/ha. The diameter class of 40 cm up contributed the greatest share to biomass and carbon, accounting for 70.71% of the total biomass. This indicates that large diameter trees play a major role in climate mitigation, are important as natural carbon sinks, and provide baseline data that can be used to support sustainable forest management and climate change mitigation policies in South Papua.*

Keywords: *Tree species diversity, biomass estimation, carbon sequestration, dryland forest, Kampung Selil*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis keanekaragaman jenis vegetasi pohon, mengestimasi biomassa pohon di atas permukaan tanah, menghitung stok karbon dan serapan karbon, serta menilai kontribusi kelompok diameter pohon di lokasi klaster pada hutan lahan kering Kampung Selil, Distrik Ulilin, Kabupaten Merauke, Provinsi Papua Selatan. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif berbasis survei lapangan dengan metode Inventarisasi Hutan Nasional (IHN) 2.0. Analisis keanekaragaman menggunakan indeks Shannon-Wiener, estimasi biomassa menggunakan persamaan alometrik Chave, sedangkan stok karbon dan serapan karbon dihitung berdasarkan faktor konversi IPCC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada lokasi klaster ditemukan 64 individu pohon yang mewakili 7 jenis yaitu pohon kelat (*Eugenia densiflora*), pohon jale (*Casuarina papuana*), pohon resak (*Vatica papuana*), pohon kapur (*Dryobalanops aromatica*), pohon bintangur (*Calophyllum papuanum*), pohon pala hutan (*Myristica* sp.), dan Merawan (*Hopea papuana*). Tingkat keanekaragamannya tergolong sedang ($1 < 1,477 < 3$). Jenis yang paling dominan adalah pohon kelat (*Eugenia densiflora*) dengan nilai INP 100,304, diikuti pohon resak (*Vatica papuana*) 68,522 dan pohon jale (*Casuarina papuana*) 49,023. Total biomassa pohon di atas permukaan tanah tercatat sebesar 141,228 ton/ha, dengan kontribusi terbesar berasal dari

pohon kelat (*Eugenia densiflora*), pohon jale (*Casuarina papuana*) dan pohon resak (*Vatica papuana*). Biomassa tersebut menghasilkan stok karbon sebesar 66,377ton C/ha dan serapan karbon sebesar 243,383ton CO₂/ha. Kelompok diameter 40 cm *up* memberikan kontribusi paling besar terhadap biomassa dan karbon, yakni 70,71% dari total biomassa, sehingga menunjukkan bahwa pohon-pohon berdiameter besar memegang peran utama dalam fungsi mitigasi iklim, memiliki arti penting sebagai penyerap karbon alami, menyediakan data dasar yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung pengelolaan hutan berkelanjutan dan kebijakan mitigasi perubahan iklim di Papua Selatan.

Kata-kata kunci: Keanekaragaman jenis vegetasi pohon, estimasi biomassa, serapan karbon, hutan lahan kering, kampung selil

PENDAHULUAN

Keanekaragaman jenis vegetasi merupakan indikator penting dalam menilai kondisi ekologis hutan karena mencerminkan komposisi jenis, struktur tegakan, pola regenerasi, dan dinamika komunitas tumbuhan. Di Papua Selatan, kebutuhan terhadap data keanekaragaman vegetasi masih tinggi, terutama pada kawasan hutan yang mengalami tekanan pemanfaatan. Aktivitas *logging* telah memengaruhi pola asosiasi antarjenis, distribusi ukuran pohon, dan struktur tegakan. Hal ini menunjukkan bahwa kajian keanekaragaman jenis vegetasi masih sangat diperlukan untuk memahami kondisi hutan secara lebih komprehensif (Murdjoko et al., 2016).

Pada tingkat ekologi, keanekaragaman jenis vegetasi pohon penting untuk dikaji bersama dengan stok karbon karena hubungan keduanya di hutan tropis tidak selalu konsisten pada semua skala. Sullivan et al. (2017) menunjukkan bahwa pada skala yang lebih kecil hubungan tersebut cenderung lemah tetapi positif. Stok karbon berkaitan dengan atribut struktural dan sifat fungsional tertentu, seperti basal area, kerapatan kayu, dan ukuran maksimum pohon. Oleh karena itu, kawasan dengan keanekaragaman pohon tinggi tidak selalu bertepatan dengan kawasan dengan simpanan karbon tinggi, sehingga data biodiversitas dan karbon perlu dipertimbangkan secara eksplisit dan diinventarisasi secara terpadu (Chave et al., 2014).

Selain keanekaragaman jenis vegetasi, biomassa merupakan komponen utama dalam analisis ekologi hutan karena biomassa di atas permukaan tanah merepresentasikan akumulasi materi organik hasil pertumbuhan pohon. Estimasi biomassa penting dilakukan karena menjadi dasar untuk menghitung cadangan karbon hutan. Secara umum, pendugaan biomassa hutan tropis dilakukan secara nondestruktif menggunakan model alometrik yang memanfaatkan diameter pohon, tinggi pohon, dan berat jenis kayu. Model alometrik pantropis yang dikembangkan Chave menjadi salah satu rujukan utama dalam estimasi biomassa pohon tropis, sementara IPCC menempatkan biomassa hutan sebagai komponen penting dalam inventarisasi gas rumah kaca sektor kehutanan (Chave et al., 2005 dan Chave et al., 2014).

Serapan karbon merupakan salah satu fungsi ekologis terpenting hutan dalam mitigasi perubahan iklim karena ekosistem hutan mampu menyerap karbon dari atmosfer dan menyimpannya dalam biomassa. Hal ini terlihat jelas pada hutan tropis utuh, yang menurut Hubau et al. (2020) menyerap sekitar setengah dari penyerapan karbon terestrial global, sehingga menunjukkan bahwa hutan tropis masih menjadi penyangga penting dalam menahan akumulasi karbon di atmosfer. Pada saat yang sama, hutan sekunder juga memiliki kontribusi besar, karena Heinrich et al. (2021) menyatakan bahwa Hutan sekunder tropis menyerap karbon hingga 20 kali lebih cepat daripada hutan primer. Bahkan pada lanskap bekas

perladangan berpindah, Mukul et al. (2016) menegaskan bahwa hutan sekunder setelah pertanian berpindah merupakan penyerap karbon yang substansial.

Inventarisasi hutan menjadi instrumen kunci inventarisasi jenis vegetasi pohon dalam mendukung pengelolaan hutan dan kebijakan iklim. Indonesia telah melaksanakan Inventarisasi Hutan Nasional (IHN) sejak akhir 1980-an, yang awalnya difokuskan pada pendugaan potensi kayu. Seiring meningkatnya kebutuhan pelaporan emisi dan stok karbon, cakupan IHN diperluas untuk mencakup biomassa dan cadangan karbon pada berbagai tipe penutupan lahan, termasuk hutan negara, hutan adat, dan hutan milik. Pengembangan sistem IHN baru yang direncanakan mulai diterapkan pada tahun 2025 (Dirjen Planologi Kehutanan, 2025).

Dampak buruk perubahan iklim berarti perubahan pada lingkungan fisik atau biota yang diakibatkan oleh perubahan iklim yang memiliki dampak buruk yang signifikan terhadap komposisi, ketahanan, atau produktivitas ekosistem alami dan yang dikelola, atau terhadap pengoperasian sistem sosial ekonomi, atau terhadap kesehatan dan kesejahteraan manusia. Perubahan iklim berarti perubahan iklim yang secara langsung atau tidak langsung disebabkan oleh aktivitas manusia yang mengubah komposisi atmosfer global dan yang merupakan tambahan dari variabilitas iklim alami yang diamati selama periode waktu yang sebanding (UNFCCC, 1992).

Aktivitas manusia, terutama melalui emisi gas rumah kaca, secara tegas telah menyebabkan pemanasan global, dengan suhu permukaan global mencapai 1,1°C di atas tahun 1850-1900 pada tahun 2011-2020. Emisi gas rumah kaca global terus meningkat, dengan kontribusi yang tidak merata. Perubahan yang meluas dan cepat di atmosfer, lautan, kriosfer, dan biosfer telah terjadi. Perubahan iklim yang disebabkan oleh manusia telah memengaruhi banyak cuaca dan iklim ekstrem di setiap wilayah di seluruh dunia (IPCC, 2023).

Indonesia memiliki posisi strategis karena kekayaan hutan tropisnya menjadikan sektor kehutanan sangat penting bagi penurunan emisi nasional. Karena itu, kebijakan karbon di Indonesia tidak cukup dipahami hanya sebagai isu pasar karbon, tetapi harus ditempatkan dalam konteks pengelolaan sumber daya hutan, pengendalian emisi, dan pemenuhan target kontribusi nasional. Secara historis, kerangka ini ditegaskan melalui Peraturan Presiden Nomor 110 Tahun 2025 yang menjadi rujukan untuk penyelenggaraan instrumen nilai ekonomi karbon dan pengendalian emisi gas rumah kaca nasional.

Hutan tropis memiliki kontribusi yang sangat signifikan dalam siklus serapan karbon global, namun juga mengalami laju deforestasi yang tinggi. Hutan juga sebagai penyerap karbon sekaligus sumber emisi apabila terjadi degradasi atau konversi lahan. Berbagai mekanisme mitigasi global, termasuk REDD+, sangat bergantung pada tersedianya estimasi biomassa dan stok karbon yang akurat berbasis data lokal. Namun demikian, banyak negara masih mengandalkan nilai baku global IPCC ini dikarenakan sangat esensial dan objektif dalam memberikan data dan informasi berbasis sains yang berkaitan dengan perubahan iklim (Anitha et al., 2015).

Isu kesetaraan geografis telah menjadi salah satu perhatian terbesar sepanjang sejarah Mekanisme Pembangunan Bersih (CDM). Untuk mendorong implementasi CDM yang lebih luas atau CDM yang direformasi dan mekanisme berbasis pasar baru di masa depan. (Ichihara dan Uchida, 2014). Tujuan dari mekanisme pembangunan bersih adalah untuk membantu para pihak yang tidak termasuk dalam Lampiran I dalam mencapai pembangunan berkelanjutan dan

berkontribusi pada tujuan utama Konvensi, dan untuk membantu para pihak yang termasuk dalam annex I dalam mencapai kepatuhan terhadap komitmen pembatasan dan pengurangan emisi yang terukur, serta akan memperoleh manfaat dari kegiatan proyek yang menghasilkan pengurangan emisi bersertifikat (United Nation, 1998).

Indonesia telah mengubah perannya sebagai pemimpin global dalam emisi karbon berbasis lahan menjadi peran sebagai pelopor global yang mengeksplorasi modalitas untuk Mengurangi Emisi dari Deforestasi dan Degradasi Hutan (REDD+). Kesiapan REDD+ sebagian besar berkaitan dengan peningkatan tata kelola hutan, tetapi ini sendiri merupakan konsep berlapis (Agung et al., 2014).

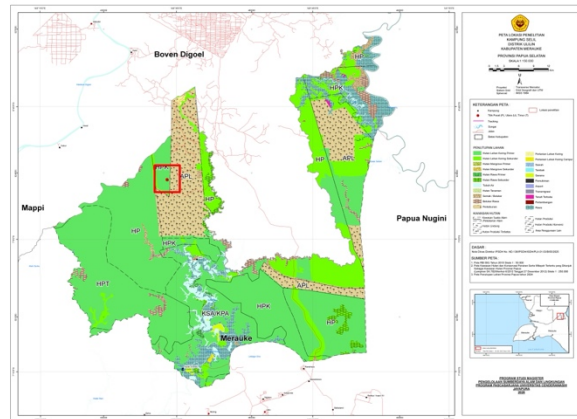
Papua Selatan memiliki potensi sumber daya hutan yang besar, termasuk hutan lahan kering, namun masih relatif minim kajian ilmiah. Di Kabupaten Merauke konversi hutan lahan kering menjadi lahan pertanian atau perkebunan telah dikaitkan dengan peningkatan emisi karbon dan penurunan fungsi hutan sebagai penyerap karbon. Studi perubahan tutupan lahan menunjukkan adanya peningkatan emisi karbon per satuan luas dalam beberapa dekade terakhir, seiring dengan meningkatnya tekanan pembangunan di wilayah tersebut (Untari dkk., 2018). Kondisi Kabupaten Merauke semakin strategis karena pemerintah menempatkannya sebagai agenda Proyek Strategis Nasional (PSN), sedang berada di bawah tekanan transformasi kebijakan dan investasi berskala sangat besar (Indonesia, 2024). Kondisi ini tentunya menyebabkan semakin berkurangnya vegetasi, biomassa dan karbon pada wilayah tersebut

Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya penelitian berbasis lapangan yang mengkaji keanekaragaman jenis vegetasi pohon, estimasi biomassa, dan serapan karbon pada skala lokal. Di Kampung Selil, Distrik Ulilin, Kabupaten Merauke, Provinsi Papua Selatan, ketersediaan data dasar mengenai karakteristik hutan lahan kering masih sangat terbatas. Informasi tersebut dibutuhkan sebagai dasar pengelolaan hutan berkelanjutan, pemantauan karbon serta integrasi dengan mekanisme mitigasi seperti REDD+ dan pasar karbon. sekaligus memberikan kontribusi ilmiah dan praktis bagi pengelolaan hutan lahan kering di Papua Selatan.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ditentukan dengan *Stratified Systematic Sampling* (*Sampling Sistematis Berstrata*) terletak di Kampung Selil Distrik Ulilin Kabupaten Merauke Provinsi Papua Selatan. Lokasi penelitian ini terletak pada Kawasan Hutan Produksi yang dapat diKonversi (HPK) dan berdasarkan tutupan lahan adalah Hutan Lahan Kering Primer (HLKP). Lokasi penelitian terletak pada wilayah kerja Dinas Lingkungan Hidup, Kehutanan dan Pertanahan Provinsi Papua Selatan (Gambar 1). Penelitian ini dilaksanakan selama 5 (lima) bulan mulai bulan desember tahun 2025 sampai April 2026.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Keanekaragaman Jenis Vegetasi, Estimasi Biomassa dan serapan Karbon Hutan Lahan Kering di Kampung Selil Distrik Ulilin Kabupaten Merauke Provinsi Papua Selatan

Pendekatan dan Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan Metode inventarisasi hutan berbasis survei lapangan (*field based forest inventory*) dengan pendekatan kuantitatif–deskriptif, menggunakan desain Inventarisasi Hutan Nasional (IHN) 2.0, analisis keanekaragaman jenis vegetasi pohon menggunakan indeks Shannon-Wiener, estimasi biomassa menggunakan model alometrik Chave, stok karbon dan serapan karbon menggunakan konversi IPCC.

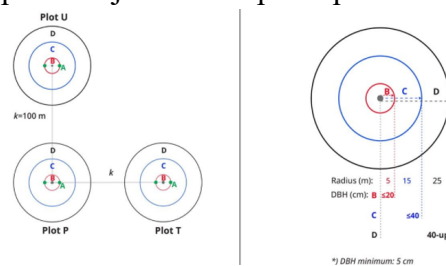
Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data Primer adalah data yang diperoleh dari pengukuran vegetasi (Jenis, Diameter, Tinggi dan Dokumentasi Lapangan) yang bersumber dari pengukuran di lapangan. Data Sekunder adalah data yang diperoleh dari berbagai literatur (Jurnal, buku dan tesis), Data kerapatan kayu, Data Kawasan Hutan, Data Penutupan Lahan, Data Sebaran Klaster yang bersumber dari data dan informasi dari instansi terkait dalam hal ini adalah Direktorat IPSDH selaku walidata.

Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, data yang dikumpulkan meliputi data primer dan data sekunder. teknik pengumpulan data-data yang dimaksud adalah observasi menggunakan metode IHN 2.0 dan studi literatur atau dokumen.

Jumlah plot sampel adalah 3 Plot (Plot Utara, Plot Pusat dan Plot Timur) dengan radius plot 25 meter dari titik pusat plot dan jarak antar pusat plot 100 meter (Gambar 2.).



Gambar 2. Plot Sampel

Analisis Data

Indeks Nilai Penting (INP) Jenis Vegetasi Pohon

Analisis data diawali dengan mengumpulkan data hasil dari observasi jenis, diameter dan tinggi pohon dari Lokasi penelitian, kemudian dilanjutkan dengan menghitung Indeks Nilai

Penting (INP) jenis vegetasi pohon, Analisis Indeks Nilai Penting jenis vegetasi pohon mencakup perhitungan kerapatan, kerapatan relatif, frekuensi, frekuensi relatif, dominansi dan dominansi relatif, yang kemudian dirumuskan dalam bentuk Indeks Nilai Penting (INP) untuk menggambarkan dominansi jenis serta struktur komunitas, bersamaan dengan pengelompokan individu pohon berdasarkan kelas diameter.

$$K = \frac{\text{Jumlah individu suatu jenis}}{\text{Luas seluruh plot}}$$

$$KR = \frac{\text{Kerapatan suatu jenis}}{\text{Kerapatan seluruh jenis}} \times 100\%$$

$$F = \frac{\text{Jumlah plot ditemukan suatu jenis}}{\text{jumlah seluruh plot}}$$

$$FR = \frac{\text{Frekuensi suatu jenis}}{\text{Frekuensi seluruh jenis}} \times 100\%$$

$$D = \frac{\text{Jumlah LBDS suatu jenis}}{\text{Luas seluruh plot}}$$

$$DR = \frac{\text{Dominansi suatu jenis}}{\text{Dominansi seluruh jenis}} \times 100\%$$

$$INP = KR + FR + DR$$

Keterangan :

K = Kerapatan

KR = Kerapatan Relatif

F = Frekuensi

FR = Frekuensi Relatif

D = Dominansi

DR = Dominansi Relatif

Soerianegara dan Indrawan (2002) dan Kusmana et al., (2022)

Keanekaragaman Jenis Vegetasi Pohon

Keanekaragaman jenis vegetasi pohon dihitung dan dianalisis menggunakan indeks Shannon-Wiener

Rumus yang digunakan adalah:

$$H' = - \sum (p_i \ln p_i)$$

$$p_i = n_i/N$$

Keterangan :

H' : Indeks Shannon-Wiener

Pi : proporsi kelimpahan jenis ke-I (ni/N)

ni : Jumlah individu untuk spesies yang diamati

N : Jumlah total individu

Kriteria Keanekaragaman Shanon-Wiener dibagi menjadi 3 yaitu :

1. $H' < 1$ = Keanekaragaman rendah
2. $1 < H' < 3$ = Keanekaragaman sedang
3. $H' > 3$ = Keanekaragaman tinggi (Krebs, 1989).

Biomassa Permukaan Tanah (Above Ground Biomass) Pohon

Pengolahan Data Biomassa di Atas Permukaan (*Above Ground Biomass*). Melakukan konversi ke ton/Ha. Estimasi biomassa menggunakan persamaan alometrik Chave et al. (2005), dengan memasukkan nilai diameter dan kerapatan kayu tiap spesies. Biomassa dihitung pada tingkat individu, lalu dikonversi menjadi nilai per hektar dan dikelompokkan berdasarkan jenis, plot, serta kelas diameter.

$$AGB = \rho \times \exp(-1,499 + 2,148\ln(D) + 0,207(\ln(D))^2 - 0,0281(\ln(D))^3)$$

Keterangan :

AGB = Biomassa atas permukaan (kg/pohon)

ρ (rho) = Kerapatan kayu (*wood density*) dalam g/cm³ (Zanne et al., 2009)

D = Diameter setinggi dada (DBH) dalam cm

Exp = Fungsi eksponensial (anti-log natural)

Ln = Logaritma natural (basis e)

Stok Karbon dan Serapan Karbon

Pendugaan Stok Karbon dari *Above Ground Biomass* berdasarkan IPCC (2006) dengan rumus sebagai berikut :

$$C=0.47 \times AGB$$

Pendugaan serapan karbon (CO₂) berdasarkan IPCC (2006) dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Serapan CO}_2 = \text{stok karbon} \times 3.67$$

Dimana :

C = Stok Karbon

AGB = *Above Ground Biomass*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Indeks Nilai Penting (INP) Jenis Vegetasi Pohon

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegakan pohon di Kampung Selil, Distrik

Tabel 1. Hasil Analisis Indeks Nilai Penting (INP) Jenis Vegetasi Pohon

No	Nama Jenis	Jumlah Batang	Sd	LBDS (m ²)	Volume (m ³)	K	F	D	KR (%)	FR (%)	DR (%)	INP
1	Kelat	25	3	2,586	42,565	42,423	1,000	4,388	39,063	17,647	43,594	100,304
2	Resak	19	3	1,257	20,821	32,242	1,000	2,133	29,688	17,647	21,187	68,522
3	Jale	4	3	1,490	31,442	6,788	1,000	2,529	6,250	17,647	25,126	49,023
4	Kapur	11	3	0,374	5,760	18,666	1,000	0,634	17,188	17,647	6,302	41,136
5	Bintangur	3	3	0,169	2,749	5,091	1,000	0,287	4,688	17,647	2,848	25,183
6	Pala Hutan	1	1	0,033	0,425	1,697	0,333	0,056	1,563	5,882	0,556	8,001
7	Merawan	1	1	0,023	0,309	1,697	0,333	0,039	1,563	5,882	0,387	7,832
Total		64		5,932	104,069	108,603	5,667	10,066	100	100	100	300

Sumber : Hasil Olahan Peneliti (2026)

Keterangan :

K : Kerapatan

KR : Kerapatan Relatif

D : Dominansi

DR : Dominansi Relatif

F : Frekuensi

FR : Frekuensi Relatif

LBDS : Luas Bidang Dasar

INP : Indeks Nilai Penting

Sd : Subplot ditemukan

Tabel 2. Nama Perdagangan dan Nama Ilmiah Pohon

No	Nama Perdagangan	Nama Ilmiah
1	Kelat	<i>Eugenia densiflora</i>
2	Resak	<i>Vatica papuana</i>
3	Jale	<i>Casuarina papuana</i>
4	Kapur	<i>Dryobalanops aromatica</i>
5	Bintangur	<i>Calophyllum papuanum</i>
6	Pala Hutan	<i>Myristica</i> sp.
7	Merawan	<i>Hopea papuana</i>

Sumber : Zanne et al., 2009 dan Keputusan Menteri Kehutanan, 2003

Ulilin, Kabupaten Merauke, Provinsi Papua Selatan Pada satu klaster Inventarisasi Hutan Nasional (IHN) 2.0, ditemukan 64 individu pohon dari 7 jenis yaitu pohon kelat (*Eugenia densiflora*), pohon resak (*Vatica papuana*), pohon jale (*Casuarina papuana*), pohon kapur (*Dryobalanops aromatica*), pohon bintangur (*Calophyllum papuanum*), pohon pala hutan (*Myristica* sp.), dan pohon merawan (*Hopea papuana*).

Indeks Nilai Penting jenis vegetasi pohon pada penelitian ini tidak hanya ditentukan oleh jumlah jenis, tetapi juga oleh kelimpahan relatif dan struktur komunitas. Sejalan dengan itu, keanekaragaman spesies mencakup kekayaan jenis dan kelimpahan relatif, sedangkan struktur vegetasi menggambarkan susunan individu di dalam ruang tegakan (Behera et al., 2023; Mueller-Dombois dan Ellenberg, 1974).

Oleh karena itu, dominasi jenis vegetasi pohon dianalisis menggunakan Indeks Nilai Penting (INP), yaitu gabungan kerapatan relatif, frekuensi relatif, dan dominansi relatif, sehingga posisi ekologis setiap jenis dapat dijelaskan secara lebih utuh (Soerianegara dan Indrawan, 2002; Kusmana et al., 2022).

Hasil analisis menunjukkan bahwa kelat (*Eugenia densiflora*) merupakan jenis paling dominan dengan nilai INP 100,304, diikuti resak (*Vatica papuana*) 68,522 dan jale (*Casuarina papuana*) 49,023. Dominasi kelat (*Eugenia densiflora*) menunjukkan jumlah individu yang tinggi sekaligus penguasaan bidang dasar yang besar, sehingga jenis ini menjadi penyusun utama tegakan. Resak (*Vatica papuana*) juga menunjukkan penyebaran yang baik pada subplot penelitian. Sementara itu, meskipun jumlah individu jale (*Casuarina papuana*) relatif sedikit, nilai dominansinya tetap tinggi, yang mengindikasikan ukuran diameter batang yang besar. Temuan ini menegaskan bahwa peran ekologis suatu jenis tidak hanya ditentukan oleh banyaknya individu, tetapi juga oleh ukuran pohon dan ruang tumbuh yang dikuasainya.

Secara umum, pola tersebut sejalan dengan karakter hutan tropis, yaitu beberapa jenis berperan sebagai pengendali struktur komunitas, sedangkan jenis lain menjadi unsur pelengkap. Dengan demikian, Indeks Nilai Penting jenis vegetasi pohon di Kampung Selil lebih tepat dipahami melalui pola dominasi dalam tegakan daripada sekadar jumlah jenis yang ditemukan. Hasil ini penting sebagai data dasar bagi pengelolaan hutan, pemantauan perubahan ekosistem, dan penentuan prioritas konservasi di hutan lahan kering Kampung Selil.

Keanekaragaman Jenis Vegetasi Pohon

Hasil keanekaragaman jenis vegetasi pohon pada areal klaster hutan lahan kering di Kampung Selil dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 3. Keanekaragaman Jenis Vegetasi Pohon

No	Nama Jenis	Jumlah Batang	pi	$\ln pi$	H'
1	Kelat	25	0,391	-0,940	-0,367
2	Resak	19	0,297	-1,214	-0,361
3	Jale	4	0,063	-2,773	-0,173
4	Kapur	11	0,172	-1,761	-0,303
5	Bintangur	3	0,047	-3,060	-0,143
6	Pala Hutan	1	0,016	-4,159	-0,065
7	Merawan	1	0,016	-4,159	-0,065
Total		64			1,477

Sumber : Hasil Olahan Peneliti (2026)

Dari tabel 2 diatas dapat dikatakan bahwa tingkat keanekaragaman vegetasi pohon pada areal klaster hutan lahan kering di Kampung Selil memiliki tingkat keanekaragaman sedang. Hal ini dikarenakan bahwa indeks Shannon-Wiener (H') pada penelitian ini adalah 1,477, hasil ini menunjukkan bahwa 1,477 lebih besar dari 1 dan lebih kecil dari 3 sehingga masuk pada kriteria sedang. Hal ini sesuai dengan pernyataan Maman et al (2024) yang menyatakan bahwa Keanekaragaman dikatakan tinggi apabila jumlah individu masing-masing spesies yang

ditemukan tidak terjadi ketimpangan pada salah satu spesies. Sebaliknya, apabila tersusun hanya dari satu spesies atau hanya beberapa spesies maka keanekaragamannya rendah.

Biomassa Permukaan Tanah (*Above Ground Biomass*) Pohon

Tabel 4. Kontribusi kelas diameter terhadap *Above Ground Biomass* (AGB)

No	Nama Jenis	Kelas diameter (cm)			AGB (Ton/Ha)
		5-20	21-40	40 up	
1	Kelat	0,913	15,268	40,962	57,143
2	Jale	-	-	55,148	55,148
3	Resak	1,457	14,678	3,757	19,892
4	Kapur	0,755	5,518	-	6,273
5	Bintangur	0,202	1,670	-	1,872
6	Pala Hutan	-	0,584	-	0,584
7	Merawan	0,315	-	-	0,315
Total		3,642	37,718	99,868	141,228

Sumber : Hasil Olahan Peneliti (2026)

Keterangan :

AGB : *Above Ground Biomass*

Nilai *Above Ground Biomass* (AGB) sebesar 141,228 ton/ha, stok karbon 66,377 ton C/ha, dan serapan karbon 243,383 ton CO₂/ha menunjukkan bahwa hutan lahan kering di Kampung Selil masih berfungsi penting sebagai penyerap dan penyimpan karbon. Temuan ini menegaskan bahwa biomassa tegakan tidak hanya merepresentasikan massa vegetasi hidup di atas permukaan tanah, tetapi juga menjadi indikator empiris fungsi mitigasi perubahan iklim pada tingkat tapak. Semakin besar biomassa tegakan, semakin besar pula kapasitas penyimpanan karbon dan serapan CO₂ yang dimiliki kawasan hutan. (United Nations Statistics Division, 2016; Brown, 1997; Hairiah & Rahayu, 2007).

Dalam konteks fungsi kawasan hutan, hasil tersebut memperlihatkan bahwa hutan lahan kering Kampung Selil masih menjalankan fungsi ekologis sebagai penyangga iklim, pelindung tata air, dan penyedia jasa lingkungan. Biomassa yang tersimpan pada batang, cabang, dan tajuk pohon mencerminkan kualitas fungsi lindung hutan, terutama dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan menekan akumulasi karbon di atmosfer. Dengan demikian, besarnya AGB di lokasi penelitian tidak hanya penting secara kuantitatif, tetapi juga relevan secara ekologis dalam kerangka pengelolaan hutan berkelanjutan. (Republik Indonesia, 1999; FAO, 1997; Forbes & Broadhead, 2013 dalam Gunawan et al., 2024; Dewi dan Wijayanti, 2023 dalam Gunawan et al., 2024).

Komposisi biomassa di Kampung Selil menunjukkan bahwa lebih dari 93% total biomassa tegakan berasal dari tiga jenis utama, yaitu kelat (*Eugenia densiflora*), jale (*Casuarina papuana*), dan resak (*Vatica papuana*). Hal ini menunjukkan bahwa distribusi biomassa lebih ditentukan oleh dominasi jenis, ukuran batang, dan kerapatan kayu dibandingkan oleh jumlah jenis semata. Dengan kata lain, meskipun suatu tegakan bersifat heterogen, akumulasi biomassa dapat tetap terkonsentrasi pada sedikit jenis yang dominan secara struktural. Temuan ini sejalan dengan teori vegetasi yang menempatkan struktur komunitas, dominansi, dan susunan jenis sebagai faktor utama pembentuk karakter ekosistem hutan. (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974; Yogaswara, 2022; Behera et al., 2023).

Hasil penelitian juga menegaskan pentingnya pohon berdiameter besar dalam pembentukan biomassa tegakan. Satu pohon jale (*Casuarina papuana*) berdiameter 86 cm dan satu pohon kelat (*Eugenia densiflora*) berdiameter 80,1 cm memberikan kontribusi biomassa yang sangat besar dibandingkan pohon-pohon berukuran kecil. Kondisi ini menunjukkan bahwa sedikit individu besar dapat menentukan proporsi utama AGB, sehingga perlindungan terhadap pohon-pohon besar menjadi sangat penting dalam menjaga stok biomassa dan karbon. Temuan tersebut mendukung pandangan bahwa variasi biomassa hutan tropis banyak dijelaskan oleh keberadaan pohon besar dalam struktur tegakan. (Slik et al., 2013).

Dari sisi metodologi, hasil AGB Kampung Selil memperlihatkan relevansi pendekatan Inventarisasi Hutan Nasional (IHN) 2.0 yang menekankan pengukuran berdasarkan kelas diameter dan desain klaster. Pendekatan ini terbukti penting karena perbedaan ukuran pohon sangat memengaruhi besarnya biomassa yang dihasilkan. Selain itu, penggunaan model alometrik umum tropis masih cukup memadai untuk menduga biomassa ketika model lokal belum tersedia. Namun demikian, mengingat karakteristik vegetasi dan ekosistem Papua Selatan berbeda dengan banyak wilayah lain di Indonesia, pengembangan model alometrik yang lebih spesifik lokasi tetap diperlukan untuk meningkatkan akurasi estimasi biomassa dan karbon. (Direktorat IPSDH, 2011; Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan, 2025; Sutaryo, 2009; Chave et al., 2005; Anitha et al., 2015; Stas et al., 2017).

Secara keseluruhan, hasil AGB Kampung Selil menunjukkan bahwa hutan lahan kering di lokasi penelitian masih memiliki fungsi ekologis yang baik sebagai penyimpan biomassa dan karbon, meskipun nilainya tergolong sedang bila dibandingkan dengan beberapa tegakan yang lebih tua atau lebih rapat. Temuan ini memperkuat keterkaitan antara teori perubahan iklim, fungsi kawasan hutan, struktur vegetasi, inventarisasi hutan, biomassa-karbon, dan model alometrik. Implikasi utamanya adalah perlunya mempertahankan jenis-jenis dominan, melindungi pohon berdiameter besar, dan memperkuat basis data biomassa lokal sebagai landasan pengelolaan hutan berkelanjutan di Papua Selatan. (Brown, 1997; Behera et al., 2023; Slik et al., 2013; Anitha et al., 2015; Stas et al., 2017).

Stok Karbon dan Serapan Karbon

Tabel 5. Kontribusi kelas diameter terhadap stok karbon

No	Nama Jenis	Kelas diameter (cm)			Stok karbon (C) (Ton C/Ha)
		5-20	21-40	40 up	
1	Kelat	0,429	7,176	19,252	26,857
2	Jale	-	-	25,920	25,920
3	Resak	0,685	6,899	1,766	9,349
4	Kapur	0,355	2,594	-	2,949
5	Bintangur	0,095	0,785	-	0,880
6	Pala Hutan	-	0,275	-	0,275
7	Merawan	0,148	-	-	0,148
Total		1,712	17,728	46,938	66,377

Sumber : Hasil Olahan Peneliti (2026)

Tabel 6. Kontribusi kelas diameter terhadap serapan karbon

No	Nama Jenis	Kelas diameter (cm)			Serapan karbon (CO ₂) (Ton CO ₂ /Ha)
		5-20	21-40	40 up	
1	Kelat	1,574	26,311	70,592	98,477
2	Jale	-	-	95,038	95,038
3	Resak	2,511	25,295	6,475	34,281
4	Kapur	1,301	9,510	-	10,811
5	Bintangur	0,348	2,879	-	3,226
6	Pala Hutan	-	1,007	-	1,007
7	Merawan	0,543	-	-	0,543
Total		6,277	65,001	172,105	243,383

Sumber : Hasil Olahan Peneliti (2026)

Nilai stok karbon sebesar 66,377 ton C/ha dan serapan karbon sebesar 243,383 ton CO₂/ha menunjukkan bahwa hutan lahan kering Kampung Selil masih memiliki fungsi ekologis yang penting sebagai penyimpan karbon dan penyerap karbon dioksida dari atmosfer. Nilai tersebut berkaitan langsung dengan biomassa atas permukaan tanah sebesar 141,228 ton/ha, sehingga menegaskan bahwa semakin besar biomassa tegakan, semakin besar pula cadangan karbon dan kapasitas serapan CO₂ yang dimiliki. Temuan ini sejalan dengan konsep bahwa biomassa merupakan total bahan organik hidup pada vegetasi yang menjadi dasar pembentukan cadangan karbon dalam ekosistem hutan. (Brown, 1997; Hairiah dan Rahayu, 2007; IPCC, 2006; Waring and Running, 1998).

Dalam perspektif mitigasi perubahan iklim, hasil tersebut menegaskan bahwa kawasan penelitian berperan sebagai carbon sink pada tingkat tapak. Hutan sebagai penyerap karbon alami memiliki posisi strategis dalam menekan akumulasi gas rumah kaca di atmosfer, sehingga keberadaan stok karbon dan kemampuan serapan CO₂ di Kampung Selil menunjukkan pentingnya hutan lahan kering dalam mendukung agenda mitigasi perubahan iklim, baik pada skala lokal maupun nasional. Dengan demikian, nilai stok dan serapan karbon yang diperoleh tidak hanya memiliki arti ekologis, tetapi juga relevan bagi sistem pelaporan emisi, REDD+, dan penguatan kebijakan kehutanan berkelanjutan. (Grubb et al., 2022; United Nations Statistics Division, 2016).

Hasil penelitian ini juga memperkuat teori mengenai fungsi kawasan hutan sebagai penyangga keseimbangan lingkungan, pengatur tata air, pelindung keanekaragaman hayati, dan penyerap karbon. Dalam konteks hutan lahan kering, fungsi tersebut tetap berlangsung meskipun ekosistem ini umumnya memiliki karakter tegakan yang berbeda dibandingkan hutan primer yang lebih rapat. Oleh karena itu, nilai stok karbon dan serapan karbon di Kampung Selil membuktikan bahwa hutan lahan kering di Papua Selatan tetap memiliki kontribusi nyata terhadap stabilisasi iklim dan keberlanjutan fungsi ekologis kawasan. (Republik Indonesia, 1999; FAO, 1997; Rochmayanto et al., 2020; Forbes & Broadhead, 2013).

Jika dibandingkan dengan acuan cadangan karbon regional Papua, nilai stok karbon Kampung Selil tergolong sedang karena masih berada di bawah nilai acuan hutan lahan kering primer Papua sebesar 119,83 ton C/ha dan hutan lahan kering sekunder sebesar 90,22 ton C/ha. Perbedaan ini menunjukkan bahwa struktur tegakan di lokasi penelitian belum sepadat atau setua tegakan acuan regional, namun masih memiliki kapasitas simpanan karbon yang berarti. Dengan demikian, kondisi tegakan di Kampung Selil dapat dipandang sebagai hutan yang tetap berfungsi baik dalam penyimpanan karbon, meskipun masih berpotensi ditingkatkan melalui

perlindungan tutupan lahan, pemeliharaan pohon besar, dan pengelolaan tegakan yang berkelanjutan.

(Tosiani, 2015).

Perlu dicatat bahwa perhitungan dalam penelitian ini hanya mencakup karbon pada pohon hidup di atas permukaan tanah, sehingga nilai yang diperoleh merepresentasikan cadangan karbon minimum. Secara teoritis, total cadangan karbon ekosistem hutan juga mencakup biomassa akar, nekromassa, serasah, tumbuhan bawah, dan bahan organik tanah. Keterbatasan ini menunjukkan pentingnya pengembangan inventarisasi karbon yang lebih komprehensif agar estimasi stok karbon menjadi lebih akurat dan dapat dimanfaatkan secara lebih luas dalam sistem measurement, reporting, and verification (MRV) maupun kebijakan mitigasi perubahan iklim berbasis data lapangan. (Hairiah et al., 2011; Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan, 2025; Brown, 1997).

Secara keseluruhan, pembahasan stok karbon dan serapan karbon di Kampung Selil memiliki keterkaitan yang kuat dengan tinjauan pustaka pada aspek biomassa-karbon, fungsi ekologis hutan, karakter hutan lahan kering, dan mitigasi perubahan iklim. Temuan ini menegaskan bahwa hutan lahan kering di Papua Selatan masih berperan sebagai penyimpan karbon dan penyerap CO₂ yang penting, serta layak dijadikan data dasar bagi pemantauan karbon, pengelolaan hutan berkelanjutan, dan perumusan kebijakan mitigasi perubahan iklim yang lebih spesifik lokasi. (Lal, 2004; Anitha et al., 2015; Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan, 2025).

Kontribusi Kelompok Diameter

Analisis kontribusi kelompok diameter menunjukkan bahwa biomassa dan karbon di hutan lahan kering Kampung Selil terutama ditentukan oleh pohon berdiameter besar. Kelas diameter 40 *up* cm menyumbang 99,868 ton/ha atau 70,71% dari total *Above Ground Biomass* (AGB) sebesar 141,228 ton/ha, jauh lebih besar dibandingkan kelas diameter 21–40 cm sebesar 37,718 ton/ha (26,71%) dan kelas 5–20 cm sebesar 3,642 ton/ha (2,58%). Pola ini menegaskan bahwa struktur tegakan tidak hanya ditentukan oleh jumlah individu, tetapi terutama oleh distribusi ukuran pohon. Secara alometrik, peningkatan diameter batang berpengaruh langsung terhadap peningkatan biomassa, sehingga sebagian besar cadangan karbon tersimpan pada pohon-pohon besar. Temuan ini sejalan dengan konsep biomassa, karbon di atas permukaan tanah, dan model alometrik yang menempatkan diameter batang sebagai variabel utama dalam pendugaan biomassa hutan (Brown, 1997; Hairiah dkk., 2011; Chave et al., 2005).

Dalam perspektif perubahan iklim, dominasi kelompok diameter besar menunjukkan bahwa pohon-pohon besar memiliki peran strategis sebagai carbon sink alami. Kontribusi kelas diameter 40 cm *up* terhadap stok karbon mencapai 46,938 ton C/ha dan serapan karbon 172,105 ton CO₂/ha, sehingga keberadaan pohon besar menjadi elemen penting dalam fungsi mitigasi perubahan iklim pada tingkat tapak. Hal ini memperkuat pandangan bahwa perlindungan terhadap pohon besar merupakan bagian penting dari upaya pengurangan akumulasi gas rumah kaca di atmosfer, karena hilangnya sejumlah kecil individu besar dapat menurunkan cadangan karbon secara signifikan (Grubb et al., 2022; United Nations Statistics Division, 2016).

Hasil penelitian ini juga relevan dengan teori tentang fungsi kawasan hutan sebagai penyangga iklim, penjaga keseimbangan ekosistem, dan penyedia jasa lingkungan. Dominasi biomassa pada kelas diameter besar menunjukkan bahwa fungsi ekologis hutan lahan kering tidak cukup dipahami hanya dari keberadaan tutupan pohon, tetapi juga dari kualitas struktur

tegakan, khususnya keberadaan individu-individu besar yang menopang biomassa dan karbon. Dengan demikian, struktur diameter yang lengkap, terutama keberadaan pohon besar, merupakan komponen penting dalam mempertahankan fungsi hutan sebagai sistem penyangga kehidupan dan stabilitas iklim (Republik Indonesia, 1999; FAO, 1997; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Forbes & Broadhead, 2013).

Sementara itu, kelas diameter 21–40 cm dan 5–20 cm tetap memiliki arti penting bagi keberlanjutan tegakan. Kelas 21–40 cm dapat dipandang sebagai cadangan struktural yang berpotensi menjadi penopang biomassa masa depan ketika tumbuh ke kelas diameter yang lebih besar, sedangkan kelas 5–20 cm merepresentasikan lapisan regenerasi yang penting bagi kesinambungan komunitas tumbuhan. Oleh karena itu, meskipun kontribusi biomassa dan karbonnya lebih rendah, kedua kelas ini tetap harus dipertahankan untuk menjamin kesinambungan struktur tegakan dan kapasitas penyimpanan karbon jangka panjang (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974; Marsono, 1977; Behera et al., 2023).

Temuan ini sekaligus memperlihatkan kesesuaian hasil penelitian dengan kerangka Inventarisasi Hutan Nasional (IHN) 2.0 yang membedakan pengukuran pohon berdasarkan kelas diameter. Pembagian kelas diameter dalam desain inventarisasi tersebut terbukti relevan untuk menangkap variasi struktur tegakan, biomassa, dan karbon secara lebih representatif. Secara keseluruhan, kontribusi kelompok diameter di Kampung Selil menegaskan bahwa pohon berdiameter besar merupakan penjelas utama variasi biomassa dan karbon, sedangkan kelas diameter sedang dan kecil berperan menjaga kesinambungan tegakan. Implikasi pengelolaannya adalah perlunya perlindungan terhadap pohon besar serta pemeliharaan regenerasi agar transisi antarkelas diameter tetap berlangsung dan fungsi ekologis hutan tetap terjaga secara berkelanjutan (Direktorat IPSDH, 2011; Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan, 2025; Anitha et al., 2015; Stas et al., 2017).

KESIMPULAN

Keanekaragaman jenis vegetasi pohon pada lokasi klaster hutan lahan kering di Kampung Selil tergolong sedang $1 < 1,477 < 3$, dengan jumlah 64 individu yang terdiri atas 7 jenis yaitu pohon kelat (*Eugenia densiflora*), pohon jale (*Casuarina papuana*), pohon resak (*Vatica papuana*), pohon kapur (*Dryobalanops aromatica*), pohon bintangur (*Calophyllum papuanum*), pohon pala hutan (*Myristica* sp.), dan Merawan (*Hopea papuana*). Jenis yang paling dominan adalah pohon kelat (*Eugenia densiflora*) (INP 100,304), diikuti pohon resak (*Vatica papuana*) dengan INP 68,522, dan pohon jale (*Casuarina papuana*) dengan INP 49,023. Estimasi biomassa pohon di atas permukaan tanah (*Above Ground Biomass/AGB*) pada lokasi klaster hutan lahan kering di Kampung Selil sebesar 141,228 ton/ha. AGB terbesar adalah pohon kelat (*Eugenia densiflora*) sebesar 57,143 ton/ha, pohon jale (*Casuarina papuana*) 55,148 ton/ha, dan pohon resak (*Vatica papuana*) 19,892 ton/ha. Potensi Stok karbon pada lokasi klaster hutan lahan kering di Kampung Selil sebesar 66,377 ton C/ha, sedangkan potensi serapan karbon sebesar 243,383 ton CO₂/ha. Kontribusi biomassa, stok karbon, dan serapan karbon didominasi oleh pohon berdiameter besar (40 cm *up*), masing-masing sebesar 99,868 ton/ha, 46,938 ton C/ha, dan 172,105 ton CO₂/ha atau 70,71% dari total AGB. Sementara itu, kelas diameter 21–40 cm menyumbang 26,71% dan kelas diameter 5–20 cm hanya 2,58%, sehingga menunjukkan bahwa peranan pohon berdiameter besar sangat menentukan cadangan biomassa dan karbon pada lokasi penelitian.

REFERENSI

- Agung, P., Galudra, G., Van Noordwijk, M., & Maryani, R. (2014). Reform or reversal: the impact of REDD+ readiness on forest governance in Indonesia. *Climate Policy*, 14(6), 748–768.
- Anitha, K., Verchot, L. V., Joseph, S., Herold, M., Manuri, S., and Avitabile, V. (2015). A review of forest and tree plantation biomass equations in Indonesia. *Carbon Management*, 6(5–6), 233–244.
- Behera, M. C., Sahoo, U. K., Mohanty, T. L., Prus, P., Smuleac, L., and Pascalau, R. (2023). Species composition and diversity of plants along human-induced disturbances in tropical moist sal forests of Eastern Ghats, India. *Forests*, 14(10), 1931. <https://doi.org/10.3390/f14101931>.
- Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass change of tropical forests (FAO Forestry Paper No. 134). FAO.
- 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*,
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B. C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., Goodman, R. C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W. A., Muller-Landau, H. C., Mencuccini, M., Nelson, B. W., Ngomanda, A., Nogueira, E. M., Ortiz-Malavassi, E., Péliissier, R., Ploton, P., Ryan, C. M., Saldarriaga, J. G., & Vieilledent, G. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global Change Biology*, 20, 3177–3190.
- Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan. (2011). Petunjuk teknis enumerasi Temporary Sample Plot/Permanent Sample Plot (TSP/PSP). Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan, Kementerian Kehutanan.
- Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan. (2020). Petunjuk teknis penafsiran citra satelit resolusi sedang untuk update data penutupan lahan nasional. Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan, KLHK.
- Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan. (2025). Keputusan Direktur Jenderal Planologi Kehutanan Nomor 3 Tahun 2025 tentang petunjuk teknis inventarisasi tegakan hutan dan tumbuhan non-kayu. KLHK.
- Edmonds, J., Yu, S., McJeon, H., Forrister, D., Aldy, J., Hultman, N., Cui, R., Waldhoff, S., Clarke, L., De Clara, S., & Munnings, C. (2021). How much could Article 6 enhance nationally determined contribution ambition toward Paris Agreement goals through economic efficiency? *Climate Change Economics*, 12(2), Article 2150007. <https://doi.org/10.1142/S201000782150007X>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1997). State of tropical forest management: Management for sustainable wood production. FAO. <https://www.fao.org/>.
- Grubb, M., & Okereke, C., Arima, J., Bosetti, V., Chen, Y., Edmonds, J., Gupta, S., Köberle, A., Kverndokk, S., Malik, A., & Sulistiawati, L. Y. (2022). Introduction and framing. In IPCC, *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (P. R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, & J. Malley, Eds.). Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/chapter/chapter-1/>.
- Gunawan, H., Setyawati, T., Atmoko, T., Subarudi, Kwatrina R. T., Yeny I., Yuwati, T. W., Effendy R., Abdullah L., Mukhlisi, Lastini T., Arini, D. I. D., Sari U. K., Sitepu B. S., Pattiselanno F., dan Kuswanda W. (2024). *A review of forest fragmentation in Indonesia under the DPSIR framework for biodiversity conservation strategies. Global Ecology and Conservation*, 51, e02918. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e02918>

- Hairiah, K., dan Rahayu, S. (2007). Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. ICRAF.
- Hairiah, K., Ekadinata, A., Sari, R. R., dan Rahayu, S. (2011). Pengukuran cadangan karbon: Dari tingkat lahan ke bentang lahan (Edisi ke-2). ICRAF dan Universitas Brawijaya.
- Heinrich, V. H. A., Dalagnol, R., Cassol, H. L. G., Rosan, T. M., de Almeida, C. T., Silva Junior, C. H. L., Campanharo, W. A., House, J. I., Sitch, S., Hales, T. C., Adami, M., Anderson, L. O., & Aragão, L. E. O. C. (2021). Large carbon sink potential of secondary forests in the Brazilian Amazon to mitigate climate change. *Nature Communications*, 12, 1785. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22050-1>
- Hubau, W., Lewis, S. L., Phillips, O. L., Affum-Baffoe, K., Beeckman, H., Cuní-Sanchez, A., Daniels, A. K., Ewango, C. E. N., Fauset, S., Mukinzi, J. M., Sheil, D., Sonké, B., Sullivan, M. J. P., Sunderland, T. C. H., Taedoumg, H., Thomas, S. C., White, L. J. T., Abernethy, K. A., Adu-Bredu, S., ... Zemagho, L. (2020). Asynchronous carbon sink saturation in African and Amazonian tropical forests. *Nature*, 579(7797), 80–87. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2035-0>
- Ichihara, J., & Uchida, T. (2014). Prioritizing barriers to implementing more CDM projects in Indonesia: An application of AHP. *Asian Social Science*, 10(18), 191–201. <https://doi.org/10.5539/ass.v10n18p191>.
- Indonesia (2025). Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 110 Tahun 2025 tentang Penyelenggaraan Instrumen Nilai Ekonomi Karbon Dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Nasional.
- Indonesia. (2021). Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional.
- Indonesia. (2024). Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2024 tentang Satuan Tugas Percepatan Swasembada Gula dan Bioetanol di Kabupaten Merauke, Provinsi Papua Selatan.
- IPCC. (1990). First Assessment Report (FAR). Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry, and Other Land Use.
- IPCC. (2023). Summary for Policymakers. In H. Lee & J. Romero (Eds.), *Climate change 2023: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1–34). IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- Krebs, C. J. (1989). *Ecological methodology*. Harper & Row.
- Kusmana, C., Istomo, Winata, B., dan Hilwan, I. (2022). *Ekologi hutan Indonesia*. IPB Press.
- Lal, R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, 304(5677).
- Maman, Y., Rifanjani, S., & Darwati, H. (2024). Keanekaragaman jenis semut (Formicidae) di RTH Joging Track Universitas Tanjungpura Kota Pontianak. *Jurnal Lingkungan Hutan Tropis*, 3(2), 213–224.
- Marsono, D. (1977). Deskripsi vegetasi dan tipe-tipe vegetasi tropika. Yayasan Pembina Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada.
- Menteri Kehutanan Republik Indonesia. (2003, 26 Mei). Keputusan Menteri Kehutanan Nomor 163/Kpts-II/2003 tentang pengelompokan jenis kayu sebagai dasar pengenaan iuran kehutanan.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press.
- Mueller-Dombois, D., & Ellenberg, H. (1974). *Aims and methods of vegetation ecology*. Wiley.
- Mukul, S. A., Herbohn, J., & Firn, J. (2016). Tropical secondary forests regenerating after shifting cultivation in the Philippines uplands are important carbon sinks. *Scientific Reports*, 6, 22483.

- <https://doi.org/10.1038/srep22483> Murdjoko, A., Marsono, D., Sadono, R., & Hadisusanto, S. (2016). *Tree association with *Pometia* and its structure in logging concession of South Papua forest*. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 22(3), 180–191. <https://doi.org/10.7226/jtfm.22.3.180>
- Rahayu, S., and Pambudi, S. (2017). Tree diversity and carbon stock in Papua. ICRAF.
- Republik Indonesia. (1999). Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan.
- Rochmayanto, Y., Priatna, D., Wibowo, A., Salminah, M., Salaka, F. J., Lestari, N. S., Muttaqin, M. Z., Samsuudin, I., Wiharjo, U., & Supriatno. (2020). Strategi dan teknik restorasi ekosistem hutan dataran rendah lahan kering. IPB Press.
- Slik, J. W. F., Paoli, G., McGuire, K., Amaral, I., Barroso, J., Bastian, M., Blanc, L., Bongers, F., Boundja, P., Clark, C., Collins, M., Dauby, G., Ding, Y., Doucet, J.-L., Eler, E., Ferreira, L., Forshed, O., Fredriksson, G., Gillet, J.-F., ... Zweifel, N. (2013). Large trees drive forest aboveground biomass variation in moist lowland forests across the tropics. *Global Ecology and Biogeography*, 22(12), 1261–1271.
- Soerianegara, I., & Indrawan, A. (2002). Ekologi hutan Indonesia. Laboratorium Ekologi Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Stas, S. M., Tetuko, S., dan Muchtar, E. (2017). Pengembangan model alometrik biomassa pohon di hutan karst sekunder Pulau Seram. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 6(2), 109–121.
- Sullivan, M. J. P., Talbot, J., Lewis, S. L., Phillips, O. L., Qie, L., Begne, S. K., Chave, J., Cuni-Sanchez, A., Hubau, W., Lopez-Gonzalez, G., Miles, L., Monteagudo-Mendoza, A., Sonké, B., Sunderland, T., ter Steege, H., White, L. J. T., Affum-Baffoe, K., Aiba, S.-i., de Almeida, E. C., ... Zemagho, L. (2017). Diversity and carbon storage across the tropical forest biome. *Scientific Reports*, 7, Article 39102. <https://doi.org/10.1038/srep39102>
- Sutaryo, D. (2009). Penghitungan biomassa: Pengantar studi karbon dan perdagangan karbon. Wetlands International Indonesia Programme.
- Syachrir, M. (2017). Indeks nilai penting dan pendugaan karbon tersimpan pada hutan primer karst di Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung (Study kasus pada Resort Tondong Tallasa Seksi Pengelolaan Taman Nasional Wilayah I Balocci Kabupaten Pangkep) [Tesis magister, Universitas Muslim Indonesia].
- Tosiani, A. (2015). Buku kegiatan serapan dan emisi karbon. Direktorat Inventarisasi dan Pemantauan Sumber Daya Hutan, Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- United Nations Statistics Division. (2016). Section 5.3: Climate change. In *Framework for the Development of Environment Statistics (FDES 2013): Chapter 5, applications of the FDES to cross-cutting environmental issues*. United Nations.
- United Nations. (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. United Nations.
- United Nations. (1998). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. United Nations.
- Untari, Y., Witdarko, Y., dan Sembiring, J. (2018). Analysis of carbon emission level on Merauke Regency land cover. *E3S Web of Conferences*, 73, 01015. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187301015>
- Waring, R. H., and Running, S. W. (1998). *Forest Ecosystems: Analysis at Multiple Scales*. Academic Press.
- Yogaswara, S. (2022). Kajian vegetasi jalur pemanjatan di Tebing Parang Tower II Purwakarta – Jawa Barat. *MAHACITA: Jurnal Pencinta Alam dan Lingkungan*, 1(2), 27–30.
- Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., Miller, R. B., Swenson, N. G., Wiemann, M. C., & Chave, J. (2009). Global wood density database. *Dryad*. <https://doi.org/10.5061/dryad.234>