Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2265-2279
Email: biocasterjournal@gmail.com

UJI KEMAMPUAN SEKUESTRASI KARBON VEGETASI TARGET PEMULIHAN PADA CAGAR ALAM GOA NGLIRIP KABUPATEN TUBAN

Oktavianus Cahya Anggara[1]*, Laily Agustina Rahmawati[2], & Albet Haikal Fiqri[3]
[1,2,&3]Program Studi Ilmu Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro, Jalan Lettu Suyitno Nomor 2, Bojonegoro, Jawa Timur 62119, Indonesia
*Email: oktavianuscahya@gmail.com
Submit: 02-09-2026; Accepted: 12-09-2026; Published: 30-10-2026

ABSTRAK: Cagar Alam Goa Nglirip (GNNR) di Desa Guwoterus, Kabupaten Tuban mengalami degradasi ekosistem akibat aktivitas penambangan fosfat yang menyebabkan hilangnya atau menurunnya vegetasi yang sebelumnya tercatat di kawasan. Upaya pemulihan telah dilakukan, tetapi dokumen pemulihan yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penanaman kembali belum mencakup seluruh jenis vegetasi target. Penelitian ini bertujuan mengestimasi biomassa atas permukaan, simpanan karbon, dan ekuivalen CO_2 pada individu dari jenis vegetasi target yang secara historis tercatat dalam dokumen kawasan, serta mengidentifikasi jenis yang menunjukkan nilai simpanan karbon tinggi sebagai salah satu dasar pertimbangan pemilihan jenis restorasi. Data primer berupa diameter batang setinggi dada (DBH), umur, dan berat jenis kayu dari 13 pohon pada 4 jenis, terdiri atas *preh* (1 pohon), asam jawa (5 pohon), *jamblang/duwet* (4 pohon), dan nangka (3 pohon). Setiap pohon diambil satu sampel ranting untuk pengukuran berat jenis kayu. Biomassa diestimasi secara nondestruktif menggunakan persamaan alometrik Ketterings *et al.* (2001), sedangkan simpanan karbon dihitung menggunakan fraksi karbon sekitar 46% yang mengacu pada Hairiah & Rahayu (2007), kemudian dikonversi menjadi ekuivalen CO_2. Individu asam jawa (c) memiliki estimasi biomassa tertinggi sebesar 1.499,31 kg, simpanan karbon 689,68 kg C, dan ekuivalen CO_2 2.528,84 kg CO_2e. Karena ukuran sampel kecil dan tidak seimbang serta individu berasal dari luar kawasan, hasil ini diperlakukan sebagai estimasi deskriptif pada individu yang diamati, bukan sebagai laju sekuestrasi tahunan atau perbandingan statistik tingkat jenis. Dari perspektif indikator penyimpanan karbon, asam jawa dan nangka dapat dipertimbangkan sebagai kandidat untuk evaluasi restorasi lebih lanjut, bersama kriteria kesesuaian ekologis dan tujuan konservasi.

Kata Kunci: Biomassa, Emisi Karbon, Restorasi Ekosistem, Serapan CO_2, Vegetasi Target Pemulihan.

ABSTRACT: *Goa Nglirip Nature Reserve (GNNR) in Guwoterus Village, Tuban Regency, has experienced ecosystem degradation associated with phosphate mining, with documented loss or reduction of vegetation previously recorded in the area. Restoration activities have been initiated, but the recovery documents used in this study indicate that replanting has not covered all target vegetation types. This study estimated aboveground biomass, carbon stock, and CO_2 equivalent stored in individuals belonging to target vegetation types historically recorded in the reserve documents and identified types showing relatively high carbon-stock values as one consideration for restoration species selection. Primary data comprised diameter at breast height (DBH), age, and wood density from 13 trees representing four species: preh (1 tree), tamarind (5 trees), jamblang/duwet (4 trees), and jackfruit (3 trees). One branch sample was collected from each tree to determine wood density. Aboveground biomass was estimated nondestructively using the allometric equation of Ketterings et al. (2001). Carbon stock was calculated using an approximately 46% carbon fraction following Hairiah and Rahayu (2007) and converted to CO_2 equivalent. The asam jawa individual (c) showed the highest estimated biomass at 1,499.31 kg, corresponding to 689.68 kg C and 2,528.84 kg CO_2e. Because the sample size was small and*

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2265-2279
Email: biocasterjournal@gmail.com

unbalanced and the individuals were sourced outside the reserve, the results are treated as descriptive estimates for the observed individuals rather than annual sequestration rates or statistical species-level comparisons. From a carbon-storage indicator perspective, tamarind and jackfruit may be considered candidates for further restoration assessment alongside ecological suitability and conservation objectives.

Keywords: *Biomass, Carbon Emissions, Ecosystem Restoration, CO_2 Absorption, Target Vegetation for Restoration.*

How to Cite: Anggara, O. C., Rahmawati, L. A., & Fiqri, A. H. (2026). Uji Kemampuan Sekuestrasi Karbon Vegetasi Target Pemulihan pada Cagar Alam Goa Nglirip Kabupaten Tuban. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi, 6*(4), 2265-2279. https://doi.org/10.36312/biocaster.v6i4.1967

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi *is Licensed Under a CC BY-SA Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.*

PENDAHULUAN

Cagar Alam Goa Nglirip merupakan kawasan konservasi seluas 20.504,568 m² yang terletak di Desa Guwoterus, Kecamatan Montong, Kabupaten Tuban. Kawasan ini memiliki ekosistem goa batu kapur dan dalam dokumen pemulihan BBKSDA Jawa Timur dicatat mengalami tekanan ekologis akibat aktivitas penambangan batuan fosfat. Laporan tersebut menyatakan bahwa vegetasi *Ficus* sp. tidak lagi ditemukan dan kondisi vegetasi tersisa didominasi rerumputan. Pada 2018, kawasan ditetapkan sebagai blok rehabilitasi dan selanjutnya dilakukan penyuluhan kepada desa penyangga. Dokumen Rencana Kerja Tahunan (RKT) Pemulihan Ekosistem Cagar Alam Goa Nglirip tahun 2019 juga mencatat dan menetapkan *Tamarindus indica* dan *Artocarpus heterophyllus* sebagai vegetasi target pemulihan, sementara dokumen pelaksanaan pemulihan mencatat bahwa penanaman kembali baru mencakup beringin (*Ficus benjamina*), sedangkan *preh* (*Ficus ribes*), asam jawa (*Tamarindus indica*), *jamblang/duwet* (*Syzygium cumini*), dan nangka (*Artocarpus heterophyllus*) belum seluruhnya menjadi bagian dari penanaman kembali (Balai Besar Konservasi Sumber Daya Alam Jawa Timur, 2019a; 2019b). Dalam naskah ini, istilah vegetasi target pemulihan untuk *Tamarindus indica* dan *Artocarpus heterophyllus* digunakan sesuai penetapan dalam RKT Pemulihan Ekosistem Cagar Alam Goa Nglirip tahun 2019.

Degradasi vegetasi pada kawasan konservasi tidak hanya berkaitan dengan hilangnya struktur habitat, tetapi juga berpotensi mengurangi biomassa hidup dan simpanan karbon yang dibangun oleh vegetasi. Biomassa atas permukaan merupakan komponen yang lazim digunakan untuk menduga cadangan karbon, sehingga pengukuran biomassa dapat memberi informasi kuantitatif yang relevan bagi pemantauan pemulihan. Penelitian di Indonesia menunjukkan bahwa vegetasi pada lahan revegetasi pascatambang dapat memiliki simpanan karbon yang berbeda menurut umur dan kondisi tegakan, sedangkan studi inventarisasi lain menggunakan biomassa pohon untuk membangun *baseline* stok karbon (Banuwa *et al.*, 2019; Heriyanto & Samsoedin, 2019; Rizki *et al.*, 2016; Rusdiana & Fahmi,

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2265-2279
Email: biocasterjournal@gmail.com

2020). Dengan demikian, pada konteks Goa Nglirip, informasi biomassa dan simpanan karbon dapat digunakan sebagai indikator tambahan untuk mendukung pemilihan jenis restorasi, tanpa menggantikan kriteria kesesuaian habitat dan tujuan konservasi (Chazdon *et al.*, 2025; da Rosa & Marques, 2022). Pemantauan perubahan biomassa dan cadangan karbon secara berkala juga penting untuk mengevaluasi efektivitas restorasi vegetasi dalam mendukung pemulihan fungsi ekologis kawasan konservasi.

Estimasi biomassa pohon secara nondestruktif umumnya memanfaatkan peubah (variabel) yang dapat diukur di lapangan, terutama DBH, serta dapat memasukkan berat jenis kayu. Persamaan alometrik perlu dipilih dan digunakan secara hati-hati, karena kinerja model dapat berbeda menurut jenis, ukuran pohon, dan lokasi; validasi model menjadi penting sebelum hasil diekstrapolasikan ke populasi yang lebih luas (Aabeyir *et al.*, 2020; Manuri *et al.*, 2016). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa pilihan persamaan spesifik jenis *versus* persamaan generik dapat memengaruhi estimasi biomassa pada tingkat pohon maupun komunitas (Martínez-Sánchez *et al.*, 2020), sedangkan penelitian pada pohon berdiameter kecil memperlihatkan pentingnya representasi ukuran pohon yang tepat dalam estimasi biomassa (Puc-Kauil *et al.*, 2020). Setelah biomassa diperoleh, simpanan karbon dapat dihitung melalui fraksi karbon. Namun, fraksi karbon kayu bervariasi antarjenis, sehingga penggunaan nilai baku merupakan pendekatan, bukan ukuran fisiologis langsung setiap individu (Doraisami *et al.*, 2024; Liu *et al.*, 2023; Paroshy *et al.*, 2021).

Kesenjangan penelitian pada Goa Nglirip bukan terletak pada ketiadaan informasi pemulihan, karena dokumen BBKSDA telah mendeskripsikan status blok rehabilitasi, kegiatan penyuluhan, dan jenis yang telah/belum ditanam. Keterbatasan yang diidentifikasi dalam bahan tersebut adalah belum tersedianya pengukuran kuantitatif biomassa dan simpanan karbon untuk individu jenis vegetasi target yang dapat digunakan sebagai informasi tambahan dalam evaluasi calon jenis restorasi (Balai Besar Konservasi Sumber Daya Alam Jawa Timur, 2019a; 2019b). Kebaruan penelitian ini, karena itu bersifat kontekstual dan integratif, yaitu menerapkan estimasi biomassa–karbon pada jenis vegetasi target dalam konteks pemulihan Goa Nglirip, bukan menawarkan metode alometrik baru. Pendekatan ini juga mempertahankan batas interpretasi pada individu yang diamati, karena jumlah sampel kecil, tidak seimbang, dan berasal dari luar kawasan.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan mengestimasi biomassa atas permukaan, simpanan karbon, dan ekuivalen CO_2 pada jenis vegetasi target yang secara historis tercatat dalam dokumen pemulihan Cagar Alam Goa Nglirip serta mengidentifikasi jenis yang menunjukkan nilai simpanan karbon relatif tinggi sebagai salah satu dasar pertimbangan pemilihan jenis restorasi. Pertanyaan penelitian adalah, berapa estimasi biomassa atas permukaan dan simpanan karbon pada individu jenis vegetasi target yang diamati, dan individu atau jenis target mana yang menunjukkan estimasi simpanan karbon dan ekuivalen CO_2 relatif tinggi, sehingga layak dipertimbangkan untuk evaluasi restorasi lebih lanjut bersama kriteria ekologis?

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2265-2279
Email: biocasterjournal@gmail.com

METODE

Penelitian ini merupakan studi kuantitatif deskriptif dengan unit analisis berupa individu pohon. Pengumpulan data lapangan dilakukan pada 2024, sedangkan pengolahan dan analisis data dilakukan pada 2025. Lokasi utama penelitian adalah Cagar Alam Goa Nglirip, Desa Guwoterus, Kecamatan Montong, Kabupaten Tuban, serta Kantor Seksi Konservasi Wilayah II Bojonegoro sebagai sumber informasi dan lokasi sebagian bahan pembanding.



Gambar 1. Keberadaan Pohon *Preh* (*Ficus ribes* Reinw.) (Kiri) dan Asam Jawa (*Tamarindus indica*) (Kanan) sebagai Vegetasi Target Pemulihan Cagar Alam Goa Nglirip.



Gambar 2. Keberadaan Pohon *Jamblang/Duwet* (*Syzygium cumini*) sebagai Vegetasi Target Pemulihan Cagar Alam Goa Nglirip.

Populasi target pada penelitian ini adalah jenis vegetasi Cagar Alam Goa Nglirip yang tercatat dalam dokumen pemulihan sebagai jenis yang sebelumnya ada atau menjadi target pemulihan, tetapi belum seluruhnya ditanam kembali,

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2265-2279
Email: biocasterjournal@gmail.com

yaitu *preh* (*Ficus ribes*), asam jawa (*Tamarindus indica*), *jamblang/duwet* (*Syzygium cumini*), dan nangka (*Artocarpus heterophyllus*). Berdasarkan Rencana Kerja Tahunan (RKT) Pemulihan Ekosistem Cagar Alam Goa Nglirip tahun 2019, *Tamarindus indica* dan *Artocarpus heterophyllus* ditetapkan sebagai vegetasi target pemulihan. Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *purposive sampling*, bukan *purposive random sampling*. Kriteria inklusi adalah individu hidup dengan identitas jenis yang dapat ditentukan, diameter batang yang dapat diukur, dan tersedia dalam sumber tanaman di wilayah sekitar Kabupaten Bojonegoro dan Kabupaten Tuban. Individu diperoleh dari sumber yang tersedia, meliputi balai pembibitan Kantor Seksi Konservasi Wilayah II Bojonegoro, Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Bojonegoro, pedagang tanaman, pasar bunga, dan permukiman. Sebanyak 13 pohon dianalisis, terdiri atas 1 pohon *preh*, 5 pohon asam jawa, 4 pohon *jamblang/duwet*, dan 3 pohon nangka. Setiap pohon digunakan untuk mengambil satu sampel ranting sebagai bahan pengukuran berat jenis kayu. Karena individu tidak berasal dari populasi hidup di dalam cagar alam dan *provenance* tiap individu tidak terdokumentasi secara satu-per-satu pada data yang tersedia, hasil tidak diekstrapolasikan sebagai kondisi seluruh populasi historis kawasan.

Data dikumpulkan melalui survei dan pengukuran nondestruktif. Parameter utama yang diukur adalah DBH dan berat jenis kayu, dengan satu sampel ranting diambil dari setiap pohon. Pendekatan nondestruktif dipilih agar estimasi biomassa dapat dilakukan tanpa menebang individu pohon. Karena *dataset* lapangan yang tersedia tidak mencatat pengulangan pengukuran dan model/ketelitian alat secara rinci, hasil pengukuran diperlakukan sebagai data observasi satu kali dan tidak digunakan untuk menghitung ketidakpastian pengukuran secara statistik: 1) nama lokal, nama ilmiah, umur, dan DBH dicatat untuk setiap individu. DBH diukur pada posisi 1,3 m dari permukaan tanah menggunakan pita ukur diameter/pita keliling yang tersedia di lapangan. Pada pohon yang miring, pengukuran DBH mengikuti sudut kemiringan batang. Pada pohon berbanir, pengukuran DBH dilakukan pada posisi 1,3 m di atas banir. Pada pohon yang berbatang majemuk, pengukuran DBH dilakukan pada seluruh cabang yang memenuhi kriteria pengukuran. Individu dengan DBH ≤5 cm tidak dimasukkan sesuai batas pengukuran pada *dataset* awal. Umur dicatat sebagai informasi pendukung dan tidak digunakan dalam persamaan biomassa, dan tidak dilakukan verifikasi umur dengan analisis lingkar tahun. Hasil penelitian dibatasi pada individu sebagaimana telah dihitung dalam *dataset* asli. Identitas nama ilmiah diverifikasi dengan mencocokkan nomenklatur spesies pada *Plants of the World Online*; 2) untuk pengukuran berat jenis kayu, dari setiap pohon diambil satu sampel ranting sebagai contoh. Panjang dan diameter contoh diukur, kemudian contoh dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 48 jam dan ditimbang untuk memperoleh berat kering.

Prosedur pengeringan 100°C selama 48 jam mengacu pada Petunjuk Praktis Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan oleh Hairiah & Rahayu (2007). Pemeriksaan berulang hingga mencapai berat konstan tidak terdokumentasi dalam data lapangan; karena itu, berat kering

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2265-2279
Email: biocasterjournal@gmail.com

ditetapkan berdasarkan prosedur pengeringan 100°C selama 48 jam; dan 3) Berat Jenis (BJ) kayu digunakan sebagai parameter alometrik. Satu sampel ranting dari setiap pohon diukur panjang dan diameternya, kemudian dikeringkan pada 100°C selama 48 jam dan ditimbang. Volume dan BJ dihitung dengan rumus berikut:

$$\textbf{BD}\ (\mathbf{g\ cm^{-3}}) = \frac{\textbf{Berat Kering}\ (\mathbf{g})}{\textbf{Volume}\ (\mathbf{cm^3})}$$

Keterangan:
Volume = $\pi\ r^2\ t$ (cm^3);
r = Jari-jari potongan kayu = ½ x diameter (cm); dan
t = Panjang kayu (cm).

Berat jenis kayu dimasukkan karena nilai densitas kayu merupakan salah satu peubah yang digunakan dalam persamaan alometrik yang diterapkan. Studi metodologis menunjukkan bahwa penggunaan DBH dan berat jenis dapat meningkatkan informasi untuk estimasi biomassa, tetapi model alometrik perlu dipilih dan divalidasi terhadap konteks data sebelum digunakan untuk ekstrapolasi (Aabeyir *et al.*, 2020; Ketterings *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2023; Manuri *et al.*, 2016). Analisis dilakukan secara deskriptif pada tingkat individu. Biomassa atas permukaan dihitung menggunakan persamaan alometrik Ketterings *et al.* (2001) yang memasukkan DBH dan berat jenis. Persamaan tersebut digunakan untuk menghasilkan estimasi biomassa individu (kg). Tidak dilakukan pembagian biomassa dengan umur, karena pengukuran satu waktu menghasilkan stok biomassa, bukan laju pertambahan biomassa per tahun.

$$\boldsymbol{Y = 0,11\rho d^{2,62}}$$

Keterangan:
Y = Biomassa vegetasi (kg);
d = Diameter batang setinggi dada/DBH (cm); dan
p = BJ kayu (g/cm^3).

Penggunaan persamaan alometrik dalam estimasi biomassa didasarkan pada hubungan antara karakteristik ukuran pohon dan biomassa yang telah banyak digunakan dalam penghitungan biomassa pohon (Jenkins *et al.*, 2003; Sutaryo, 2009). Pendekatan yang mengaitkan umur dengan biomassa dan stok karbon juga telah diterapkan pada penelitian vegetasi pohon (Nuranisa *et al.*, 2020; Raslina *et al.*, 2016). Simpanan karbon dihitung menggunakan fraksi karbon sekitar 46% dari biomassa dengan mengacu pada Hairiah & Rahayu (2007). Dengan demikian, C_stock = Biomassa × 0,46. Nilai sekitar 46% digunakan sebagai fraksi karbon berbasis acuan; SNI 7724:2019 tetap dipertahankan sebagai rujukan umum pengukuran karbon dan bukan hasil pengukuran konsentrasi karbon laboratorium pada setiap jenis. Literatur terbaru menunjukkan bahwa fraksi karbon kayu dapat bervariasi antarjenis, sehingga penggunaan satu nilai baku harus dipahami sebagai pendekatan (Doraisami *et al.*, 2024; Paroshy *et al.*, 2021). Ekuivalen CO_2 kemudian dihitung dari simpanan karbon, bukan sebagai laju penyerapan fisiologis tahunan.

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2265-2279
Email: biocasterjournal@gmail.com

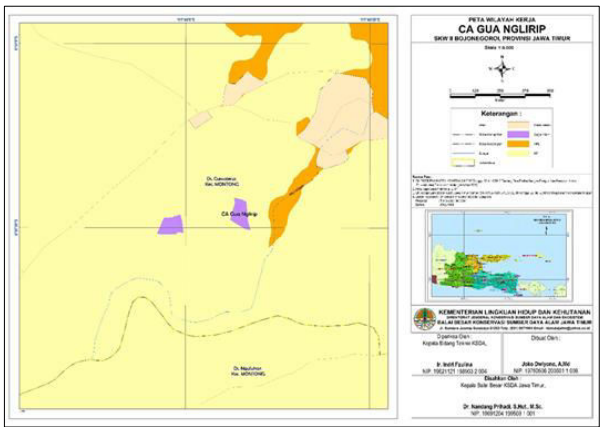
$$CO^2e = C_s tock \times 44/12 \approx C_s tock \times 3,67$$

Keterangan:

C_CO₂e = Massa ekuivalen CO_2 (kg CO_2e);
C_stock = Massa karbon tersimpan (kg C); dan
3,67 = Merupakan faktor konversi massa C ke CO_2, dimana nilai ini merepresentasikan ekuivalen CO_2 dari stok karbon pada saat pengukuran, dan bukan kg CO_2/tahun.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berfokus pada estimasi biomassa atas permukaan, simpanan karbon, dan ekuivalen CO_2 pada 13 pohon dari empat jenis vegetasi target yang dicatat dalam dokumen pemulihan. Individu sampel berasal dari sumber di sekitar Kabupaten Bojonegoro dan Kabupaten Tuban, bukan dari populasi hidup di dalam Cagar Alam Goa Nglirip. Untuk berat jenis, satu sampel ranting diambil dari masing-masing pohon yang sama dengan individu yang dianalisis. Karena *provenance* individual tidak dicatat satu-per-satu, hasil tidak ditafsirkan sebagai estimasi populasi kawasan.



Gambar 3. Peta Wilayah Kerja Cagar Alam Goa Nglirip.

Berat Jenis Kayu Vegetasi Target Pemulihan

Tabel 1. Berat Jenis Kayu (ρ) Vegetasi Target Pemulihan Cagar Alam Goa Nglirip.

No.	Nama Vegetasi		Sampel Kayu			Berat Jenis Kayu/ ρ (g/cm^3)
	Nama Lokal	Nama Botanis	Diameter (cm)	Panjang (cm)	Berat Kering (g)	
1	Preh	*Ficus ribes* Reinw	1,21	9,76	5,02	0,45
2	Asam Jawa (a)	*Tamarindus indica*	1,16	9,73	5,35	0,52
	Asam Jawa (b)	*Tamarindus indica*	0,58	10,09	1,65	0,62
	Asam Jawa (c)	*Tamarindus indica*	0,76	10,15	3,20	0,70
	Asam jawa (d)	*Tamarindus indica*	0,73	9,88	2,30	0,56
	Asam Jawa (e)	*Tamarindus indica*	0,74	9,89	2,31	0,54
3	Jamblang/ Duwet (a)	*Syzygium cumini*	1,07	8,88	3,81	0,48
	Jamblang/ duwet (b)	*Syzygium cumini*	0,65	9,96	1,98	0,60
	Jamblang/ duwet (c)	*Syzygium cumini*	0,61	9,97	1,66	0,57

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2265-2279
Email: biocasterjournal@gmail.com

No.	Nama Vegetasi		Sampel Kayu			Berat Jenis Kayu/ ρ (g/cm^3)
	Nama Lokal	Nama Botanis	Diameter (cm)	Panjang (cm)	Berat Kering (g)	
	Jamblang/ duwet (d)	*Syzygium cumini*	0,59	9,78	1,55	0,58
4	Nangka (a)	*Artocarpus heterophyllus*	1,47	20	21,03	0,62
	Nangka (b)	*Artocarpus heterophyllus*	1,04	9,44	4,35	0,54
	Nangka (c)	*Artocarpus heterophyllus*	0,85	9,85	3,55	0,64

Berdasarkan Tabel 1, berat jenis kayu bervariasi pada individu yang diamati, dari 0,45 g/cm³ pada individu *preh* sampai 0,70 g/cm³ pada individu asam jawa (c). Nilai tersebut digunakan sebagai input dalam persamaan alometrik yang diterapkan, dan menunjukkan bahwa parameter densitas tidak sama antarindividu dalam *dataset*. Karena jumlah individu tidak seimbang, variasi ini digunakan sebagai informasi deskriptif dan tidak dipakai untuk menyimpulkan perbedaan rata-rata tingkat jenis. Perbedaan berat jenis dapat memengaruhi hasil estimasi biomassa, karena parameter tersebut masuk secara langsung ke persamaan alometrik. Temuan metodologis di Indonesia menekankan bahwa pemilihan dan validasi persamaan alometrik penting untuk mengurangi bias ketika model diterapkan pada kondisi yang berbeda dari lokasi pengembangannya (Aabeyir *et al.*, 2020; Manuri *et al.*, 2016).

Dalam penelitian ini, pengaruh berat jenis tidak diuji sebagai hubungan kausal yang berdiri sendiri. Nilainya merupakan bagian dari perhitungan alometrik, sehingga perbedaan estimasi biomassa sebagian merupakan konsekuensi langsung dari *input model*. Hal ini sejalan dengan literatur yang menunjukkan bahwa variasi struktur pohon, DBH, dan karakteristik kayu perlu diperhitungkan ketika menaksir biomassa dan karbon (Aabeyir *et al.*, 2020; Paroshy *et al.*, 2021).

Biomassa Vegetasi Target

Biomassa vegetasi dihitung menggunakan persamaan alometrik dengan mempertimbangkan diameter batang dan berat jenis kayu. Nilai biomassa yang diperoleh merupakan stok biomassa pada saat pengukuran dan tidak dibagi dengan umur untuk menghasilkan nilai tahunan. Hasil penghitungan biomassa disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Biomassa Vegetasi Target Pemulihan Cagar Alam Goa Nglirip.

No.	Nama Vegetasi		Biomassa Vegetasi (kg)	Usia Vegetasi (Tahun)	Keterangan
	Nama Lokal	Nama Botanis			
1	*Preh*	*Ficus ribes* Reinw	1.163,76	60	1 individu
2	Asam jawa (a)	*Tamarindus indica*	217,08	20	5 individu
	Asam jawa (b)	*Tamarindus indica*	679,11	35	
	Asam jawa (c)	*Tamarindus indica*	1.499,31	45	

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2265-2279
Email: biocasterjournal@gmail.com

No.	Nama Vegetasi		Biomassa Vegetasi (kg)	Usia Vegetasi (Tahun)	Keterangan
	Nama Lokal	Nama Botanis			
	Asam jawa (d)	*Tamarindus indica*	393,23	30	
	Asam jawa (e)	*Tamarindus indica*	787,86	30	
3	*Jamblang/ duwet* (a)	*Syzygium cumini*	81,19	10	4 individu
	Jamblang/ duwet (b)	*Syzygium cumini*	125,83	14	
	Jamblang/ duwet (c)	*Syzygium cumini*	18,93	10	
	Jamblang/ duwet (d)	*Syzygium cumini*	20,98	10	
4	Nangka (a)	*Artocarpus heterophyllus*	293,34	30	3 individu
	Nangka (b)	*Artocarpus heterophyllus*	613,92	28	
	Nangka (c)	*Artocarpus heterophyllus*	441,45	35	

Berdasarkan Tabel 2, estimasi biomassa atas permukaan menunjukkan rentang yang lebar antarindividu. Nilai terendah ditemukan pada *jamblang/duwet* (c), sebesar 18,93 kg, sedangkan nilai tertinggi ditemukan pada asam jawa (c) sebesar 1.499,31 kg. Perbedaan tersebut merupakan hasil perhitungan dari DBH dan berat jenis pada persamaan yang digunakan. Karena umur tidak menjadi peubah dalam persamaan biomassa, umur tidak ditafsirkan sebagai penyebab langsung perbedaan nilai pada penelitian ini.

Individu asam jawa (c) memiliki biomassa 1.499,31 kg dan umur tercatat 45 tahun, sedangkan *jamblang/duwet* (c) memiliki biomassa 18,93 kg dan umur tercatat 10 tahun. Data umur hanya digunakan sebagai informasi deskriptif. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa umur dapat berkaitan dengan biomassa pada tingkat pohon, tetapi hubungan tersebut tidak diuji secara statistik dalam penelitian ini, dan tidak dapat dipisahkan dari pengaruh DBH serta berat jenis (Nuranisa *et al.*, 2020). Perbedaan biomassa tersebut menunjukkan adanya variasi ukuran dan karakteristik pertumbuhan antarindividu pohon pada lokasi penelitian.

Perbedaan biomassa antarindividu juga dilaporkan pada berbagai penelitian inventarisasi, tetapi hasil penelitian terdahulu tidak dapat digunakan untuk membuktikan hubungan kausal pada empat jenis di Goa Nglirip. Karena nilai biomassa pada penelitian ini dihitung secara deterministik dari variabel *input*, pembahasan difokuskan pada besaran hasil estimasi dan keterbatasan penggunaannya untuk ekstrapolasi (Martínez-Sánchez *et al.*, 2020; Puc-Kauil *et al.*, 2020). Pada kelompok asam jawa, estimasi biomassa individu berkisar 217,08–1.499,31 kg. Kisaran ini menunjukkan bahwa satu jenis dapat memiliki nilai estimasi yang berbeda antarindividu, terutama karena perbedaan DBH dan berat jenis sebagai *input model*. Oleh karena itu, penelitian ini tidak menyajikan rerata atau perbandingan statistik antarjenis.

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2265-2279
Email: biocasterjournal@gmail.com

Estimasi Simpanan Karbon

Simpanan karbon dihitung dari estimasi biomassa dengan fraksi sekitar 46% dengan mengacu pada Hairiah dan Rahayu. Hasil tidak dibagi berdasarkan umur, sehingga satuannya adalah kg C pada saat pengukuran. Perbedaan antarindividu pada Tabel 3 mengikuti perbedaan biomassa yang telah dihitung sebelumnya. Variasi fraksi karbon antarpohon dan antarjenis dilaporkan dalam literatur, sehingga angka sekitar 46% harus dipandang sebagai fraksi baku untuk akuntansi karbon; SNI 7724:2019 tetap dicantumkan sebagai rujukan umum pengukuran karbon, bukan pengukuran kandungan karbon spesifik masing-masing individu (Doraisami *et al.*, 2024; Paroshy *et al.*, 2021). Pada individu yang diamati, simpanan karbon tertinggi adalah 689,68 kg C pada asam jawa (c), sedangkan terendah 8,71 kg C pada *jamblang/duwet* (c). Pola tersebut mengikuti biomassa, karena simpanan karbon dihitung sebagai sekitar 46% dari biomassa. Dengan demikian, hubungan yang terlihat di sini merupakan konsekuensi perhitungan, bukan bukti eksperimen mengenai laju fisiologis akumulasi karbon.

Secara akuntansi karbon, biomassa merupakan dasar perhitungan simpanan karbon pada pendekatan fraksi karbon. Namun, penggunaan satu fraksi tetap membatasi kemampuan penelitian ini untuk menangkap variasi kimia kayu antarjenis. Karena itu, hasil lebih tepat diposisikan sebagai estimasi stok karbon berbasis biomassa dan fraksi standar daripada pengukuran kandungan karbon aktual tiap jenis.

Ekuivalen CO_2 dari Simpanan Karbon

Ekuivalen CO_2 dihitung dari simpanan karbon dengan faktor massa 44/12 (≈3,67). Nilai pada Tabel 3 menyatakan massa ekuivalen CO_2 yang sesuai dengan karbon yang tersimpan pada biomassa saat pengukuran, bukan jumlah CO_2 yang diserap per tahun. Pembeda ini penting, karena laju sekuestrasi membutuhkan pengukuran berulang atau data pertumbuhan sepanjang waktu.

Tabel 3. Estimasi Simpanan Karbon dan Ekuivalen CO_2 pada Vegetasi Target Pemulihan.

No.	Nama Vegetasi		Simpanan Karbon (kg C)	Ekuivalen CO_2 (kg CO_2e)
	Nama Lokal	Nama Botanis		
1	*Preh*	*Ficus ribes* Reinw	535,33	1.962,88
2	Asam Jawa (a)	*Tamarindus indica*	99,86	366,14
	Asam Jawa (b)	*Tamarindus indica*	312,39	1.145,43
	Asam Jawa (c)	*Tamarindus indica*	689,68	2.528,84
	Asam Jawa (d)	*Tamarindus indica*	180,89	663,25
	Asam Jawa (e)	*Tamarindus indica*	362,42	1.328,86
3	*Jamblang/ duwet* (a)	*Syzygium cumini*	37,35	136,94
	Jamblang/ duwet (b)	*Syzygium cumini*	57,88	212,23
	Jamblang/ duwet (c)	*Syzygium cumini*	8,71	31,93
	Jamblang/ duwet (d)	*Syzygium cumini*	9,65	35,39
4	Nangka (a)	*Artocarpus heterophyllus*	134,94	494,77
	Nangka (b)	*Artocarpus heterophyllus*	282,40	1.035,48
	Nangka (c)	*Artocarpus heterophyllus*	203,07	744,58

Berdasarkan Tabel 3, ekuivalen CO_2 tertinggi pada individu yang diamati terdapat pada asam jawa (c) sebesar 2.528,84 kg CO_2e, diikuti *preh* 1.962,88 kg

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2265-2279
Email: biocasterjournal@gmail.com

CO_2e, asam jawa (e) 1.328,86 kg CO_2e, dan nangka (b) 1.035,48 kg CO_2e. Nilai terendah terdapat pada *jamblang/duwet* (c), sebesar 31,93 kg CO_2e. Angka-angka ini merupakan konversi dari simpanan karbon dan tidak boleh dibaca sebagai laju tahunan. Besarnya ekuivalen CO_2 pada asam jawa (c) mengikuti besarnya biomassa dan simpanan karbon pada individu tersebut. Karena CO_2e dihitung dari stok karbon dengan faktor konversi tetap, nilai yang lebih tinggi tidak menunjukkan bahwa individu tersebut memiliki laju fisiologis penyerapan CO_2 yang lebih tinggi. Interpretasi yang dapat dipertahankan adalah bahwa biomassa yang lebih besar menghasilkan stok karbon yang lebih besar dan, secara matematis, ekuivalen CO_2 yang lebih besar. Dimana, C_CO_2e adalah massa ekuivalen CO_2 (kg CO_2e), C_stock adalah massa karbon tersimpan (kg C), dan 3,67 merupakan faktor konversi massa C ke CO_2. Nilai ini merepresentasikan ekuivalen CO_2 dari stok karbon pada saat pengukuran dan bukan kg CO_2/tahun.

Pada skala ekosistem, penelitian mengenai restorasi menunjukkan bahwa pemulihan vegetasi dapat berkaitan dengan perubahan struktur komunitas dan stok karbon. Dangwal *et al.* (2022) misalnya, melaporkan peningkatan stok karbon dan keragaman pada lokasi restorasi dibandingkan pembandingnya, sedangkan Withaningsih *et al.* (2024) memodelkan dinamika penyimpanan karbon di Indonesia. Temuan tersebut mendukung penggunaan indikator karbon dalam perencanaan, tetapi tidak menghilangkan kebutuhan untuk menilai kesesuaian ekologis dan tujuan konservasi di tingkat tapak.

Perbandingan Antarjenis Vegetasi

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3, perbandingan sebaiknya dilakukan pada tingkat individu karena jumlah sampel tidak seimbang. Individu asam jawa (c) memiliki estimasi biomassa 1.499,31 kg, simpanan karbon 689,68 kg C, dan ekuivalen CO_2 2.528,84 kg CO_2e. Individu nangka (b) memiliki 613,92 kg biomassa, 282,40 kg C, dan 1.035,48 kg CO_2e, sedangkan satu-satunya individu *preh* memiliki 1.163,76 kg biomassa, 535,33 kg C, dan 1.962,88 kg CO_2e. Kisaran pada *jamblang/duwet* lebih rendah dalam *dataset* ini, tetapi jumlah individu dan asal sampel tidak memungkinkan penarikan simpulan tingkat jenis. Pola nilai pada individu yang diamati menunjukkan bahwa asam jawa (c) dan nangka (b) termasuk individu dengan simpanan karbon yang relatif tinggi, tetapi hal tersebut tidak membuktikan bahwa kedua jenis mempunyai kapasitas penyimpanan karbon yang secara statistik lebih tinggi daripada jenis lain. Jumlah sampel yang tidak seimbang dan ketiadaan uji inferensial membatasi interpretasi. Hasil tersebut tidak digunakan untuk menyingkirkan jenis lain dari program restorasi. Restorasi ekosistem kawasan konservasi perlu mempertimbangkan kesesuaian habitat, jenis asli, kemampuan bertahan, interaksi ekologis, dan tujuan konservasi. Karena itu, simpanan karbon dan CO_2e ditempatkan sebagai salah satu indikator tambahan, bukan sebagai satu-satunya dasar pemilihan.

Implikasi terhadap Prioritas Restorasi

Berdasarkan estimasi pada individu yang diamati, asam jawa (c) mempunyai nilai simpanan karbon dan ekuivalen CO_2 tertinggi dalam *dataset*, sedangkan nangka (b) juga menunjukkan nilai yang relatif tinggi. Temuan tersebut dapat menjadi alasan untuk memasukkan kedua jenis sebagai kandidat dalam

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2265-2279
Email: biocasterjournal@gmail.com

evaluasi restorasi lanjutan dari perspektif indikator penyimpanan karbon, tetapi bukan sebagai keputusan prioritas ekologis yang berdiri sendiri, dimana C_CO_2e adalah massa ekuivalen CO_2 (kg CO_2e), C_*stock* adalah massa karbon tersimpan (kg C), dan 3,67 merupakan faktor konversi massa C ke CO_2. Nilai ini merepresentasikan ekuivalen CO_2 dari stok karbon pada saat pengukuran dan bukan kg CO_2/tahun. Hasil ini menjadi dasar awal pemilihan jenis pohon dalam restorasi berbasis karbon.

Secara keseluruhan, penelitian menunjukkan variasi estimasi biomassa, simpanan karbon, dan ekuivalen CO_2 antarindividu. Variasi tersebut terutama merefleksikan perbedaan DBH dan berat jenis sebagai *input model*. Nilai yang relatif tinggi pada asam jawa (c) dan nangka (b) menunjukkan potensi sebagai kandidat untuk evaluasi restorasi berbasis indikator karbon, sedangkan ukuran sampel dan *provenance* individu membatasi penyimpulan tingkat jenis maupun ekstrapolasi ke populasi Cagar Alam Goa Nglirip.

SIMPULAN

Penelitian ini mengestimasi biomassa atas permukaan, simpanan karbon, dan ekuivalen CO_2 pada 13 individu dari empat jenis vegetasi target yang tercatat dalam dokumen pemulihan Cagar Alam Goa Nglirip. Nilai tertinggi pada tingkat individu ditemukan pada asam jawa (c) dengan biomassa 1.499,31 kg, simpanan karbon 689,68 kg C, dan ekuivalen CO_2 2.528,84 kg CO_2e. Nilai terendah ditemukan pada *jamblang/duwet* (c) dengan biomassa 18,93 kg, simpanan karbon 8,71 kg C, dan ekuivalen CO_2 31,93 kg CO_2e. Nilai tersebut merupakan estimasi stok pada saat pengukuran dan bukan laju sekuestrasi tahunan. Dari perspektif indikator penyimpanan karbon, asam jawa dan nangka dapat dipertimbangkan sebagai kandidat untuk evaluasi restorasi lebih lanjut. Namun, penelitian ini tidak menetapkan prioritas restorasi ekologis secara tunggal, karena sampel kecil, tidak seimbang, dan berasal dari luar kawasan. Pemilihan jenis tetap perlu menggabungkan hasil karbon dengan kesesuaian habitat, status jenis asli, kemampuan adaptasi, regenerasi, dan tujuan konservasi.

SARAN

Penelitian selanjutnya perlu memperluas jumlah individu dan menggunakan kerangka *sampling* yang mewakili populasi atau sumber plasma nutfah yang relevan dengan Cagar Alam Goa Nglirip. Pengukuran DBH dan pertumbuhan sebaiknya dilakukan secara berkala untuk membedakan stok karbon dari laju sekuestrasi tahunan. Verifikasi persamaan alometrik lokal, pengukuran fraksi karbon spesifik jenis, pencatatan *provenance* dan koordinat individu, serta dokumentasi alat dan pengulangan pengukuran juga diperlukan. Selain indikator karbon, evaluasi restorasi perlu memasukkan kesesuaian habitat, jenis asli, regenerasi, kemampuan adaptasi, dan tujuan konservasi kawasan agar keputusan pemilihan jenis mencerminkan pemulihan fungsi ekosistem secara menyeluruh. Dalam *dataset* saat ini, keterbatasan utama adalah sampel yang kecil dan tidak seimbang, asal individu di luar kawasan, serta tidak tersedianya dokumentasi *provenance* individual dan pengukuran berulang.

Biocaster : Jurnal Kajian Biologi
E-ISSN 2808-277X; P-ISSN 2808-3598
Volume 6, Issue 4, October 2026; Page, 2265-2279
Email: biocasterjournal@gmail.com

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Balai Besar Konservasi Sumber Daya Alam (BBKSDA) Jawa Timur, khususnya Seksi Konservasi Wilayah II Bojonegoro, atas dukungan informasi terkait Cagar Alam Goa Nglirip. Terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang membantu survei, pengukuran vegetasi, pengambilan contoh kayu, dan pengolahan data. Penulis menggunakan alat AI generatif hanya untuk membantu penyuntingan bahasa, konsistensi istilah, dan pemeriksaan format selama proses revisi. Seluruh pengambilan keputusan metodologis, pengolahan data, interpretasi hasil, dan tanggung jawab ilmiah atas isi artikel tetap berada pada penulis.

DAFTAR RUJUKAN

Aabeyir, R., Adu-Bredu, S., Agyare, W. A., & Weir, M. J. C. (2020). Allometric Models for Estimating Aboveground Biomass in the Tropical Woodlands of Ghana, West Africa. *Forest Ecosystems, 7*(3), 41-52. https://doi.org/10.1186/s40663-020-00250-3

Balai Besar Konservasi Sumber Daya Alam Jawa Timur. (2019a). *Laporan Pelaksanaan Kegiatan Penanaman dalam Rangka Pemulihan Ekosistem Cagar Alam Goa Nglirip*. Tuban: BBKSDA Jawa Timur.

Balai Besar Konservasi Sumber Daya Alam Jawa Timur. (2019b). *Rencana Kerja Tahunan (RKT) Pemulihan Ekosistem Cagar Alam Goa Nglirip*. Tuban: BBKSDA Jawa Timur.

Banuwa, I. S., Afriliyanti, R., Utomo, M., Yusnaini, S., Riniarti, M., Sanjaya, P., Suroso, E., & Hidayat, W. (2019). Short Communication: Estimation of the Above- and Below-Ground Carbon Stocks in University of Lampung, Indonesia. *Biodiversitas, 20*(3), 676–681. https://doi.org/10.13057/biodiv/d200309

Chazdon, R. L., Blüthgen, N., Brancalion, P. H. S., Heinrich, V., & Bongers, F. (2025). Drivers and Benefits of Natural Regeneration in Tropical Forests. *Nature Reviews Biodiversity, 1*(5), 298–314. https://doi.org/10.1038/s44358-025-00043-y

da Rosa, C. M., & Marques, M. C. M. (2022). How are Biodiversity and Carbon Stock Recovered During Tropical Forest Restoration? Supporting the Ecological Paradigms and Political Context Involved. *Journal for Nature Conservation, 65*(1), 1-20. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2021.126115

Dangwal, B., Rana, S. K., Negi, V. S., & Bhatt, I. D. (2022). Forest Restoration Enhances Plant Diversity and Carbon Stock in the Sub-Tropical Forests of Western Himalaya. Trees, Forests and People, 7(1), 1-20. https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100201

Doraisami, M., Domke, G. M., & Martin, A. R. (2024). Improving Wood Carbon Fractions for Multiscale Forest Carbon Estimation. *Carbon Balance and Management, 19*(1), 1-20. https://doi.org/10.1186/s13021-024-00272-2

Hairiah, K., & Rahayu, S. (2007). *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. Nairobi: World Agroforestry Centre.

Heriyanto, N. M., & Samsoedin, I. (2019). Struktur Tegakan dan Stok Karbon di

Ruang Terbuka Hijau PT Toyota Motor Manufacturing di Sunter dan Karawang. *Buletin Kebun Raya, 22*(2), 59–66.

Jenkins, J. C., Chojnacky, D. C., Heath, L. S., & Birdsey, R. A. (2003). National-Scale Biomass Estimators for United States Tree Species. *Forest Science, 49*(1), 12–35. https://doi.org/10.1093/forestscience/49.1.12

Ketterings, Q. M., Coe, R., van Noordwijk, M., Ambagau', Y., & Palm, C. A. (2001). Reducing Uncertainty in the Use of Allometric Biomass Equations for Predicting Above-Ground Tree Biomass in Mixed Secondary Forests. *Forest Ecology and Management, 146*(1), 199–209. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00460-6

Liu, B., Bu, W., & Zang, R. (2023). Improved Allometric Models to Estimate the Aboveground Biomass of Younger Secondary Tropical Forests. *Global Ecology and Conservation, 41*(1), 1-11. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02359

Manuri, S., Brack, C., Noor'an, F., Rusolono, T., Anggraini, S. M., Dotzauer, H., & Kumara, I. (2016). Improved Allometric Equations for Tree Aboveground Biomass Estimation in Tropical Dipterocarp Forests of Kalimantan, Indonesia. *Forest Ecosystems, 3*(1), 28-36. https://doi.org/10.1186/s40663-016-0087-2

Martínez-Sánchez, J. L., Martínez-Garza, C., Cámara, L., & Castillo, O. (2020). Species-Specific or Generic Allometric Equations: Which Option is Better when Estimating the Biomass of Mexican Tropical Humid Forests? *Carbon Management, 11*(3), 241–249. https://doi.org/10.1080/17583004.2020.1738823

Nuranisa, S., Sudiana, E., & Yani, E. (2020). Hubungan Umur dengan Biomassa, Stok Karbon Dioksida, Tegakan Pohon Duku (*Lansium parasiticum*) di Desa Kalikajar Kecamatan Kaligondang Kabupaten Purbalingga. *BioEksakta : Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed, 2*(1), 146-151. https://doi.org/10.20884/1.bioe.2020.2.1.1866

Paroshy, N. J., Doraisami, M., Kish, R., & Martin, A. R. (2021). Carbon Concentration in the World's Trees Across Climatic Gradients. *New Phytologist, 232*(1), 123–133. https://doi.org/10.1111/nph.17587

Puc-Kauil, R., Ángeles-Pérez, G., Valdéz-Lazalde, J. R., Reyes-Hernández, V. J., Dupuy-Rada, J. M., Schneider, L., Pérez-Rodríguez, P., & García-Cuevas, X. (2020). Allometric Equations to Estimate Above-Ground Biomass of Small-Diameter Mixed Tree Species in Secondary Tropical Forests. *IForest - Biogeosciences and Forestry, 13*(3), 165–174. https://doi.org/10.3832/ifor3167-013

Raslina, H., Dharmawibawa, I. D., & Safnowandi, S. (2016). Diversity of Medicinal Plants in National Park of Rinjani Mountain in Order to Arrange Practical Handout of Phanerogamae Systematics. *Bioscientist : Jurnal Ilmiah Biologi, 4*(1), 1-6. https://doi.org/10.33394/bioscientist.v4i1.210

Rizki, G. M., Bintoro, A., & Hilmanto, R. (2016). Perbandingan Emisi Karbon dengan Karbon Tersimpan di Hutan Rakyat Desa Buana Sakti Kecamatan

Batanghari Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari, 4*(1), 89–96. https://doi.org/10.23960/jsl1489-96

Rusdiana, O., & Fahmi, S. (2020). Potensi Simpanan Karbon pada Tegakan Revegetasi Lahan Pasca Tambang PT Holcim Indonesia Tbk. *Jurnal Silvikultur Tropika, 11*(2), 89–95. https://doi.org/10.29244/j-siltrop.11.2.89-95

Sutaryo, D. (2009). *Penghitungan Biomassa : Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Bogor: Wetlands International Indonesia Programme.

Withaningsih, S., Malik, A. D., & Parikesit, P. (2024). Aboveground Spatiotemporal Carbon Storage Model in the Changing Landscape of Jatigede, West Java, Indonesia. *Forests, 15*(5), 1-19. https://doi.org/10.3390/f15050874