



Estimasi Stok Karbon Pada Tegakan Karet Di Atas Permukaan Tanah Kebun Sekolah: Studi Kasus Di SMKN 4 Sampit Kalimantan Tengah

(Above-Ground Carbon Stock Estimation in Rubber Vegetation of School Gardens: A Case Study at SMKN 4 Sampit, Central Kalimantan)

Anung Rachmad Basuki^{1*}, Petrus Poerwadi², Renhart Jemi²

¹ Mahasiswa Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Universitas Palangka Raya, Jalan Hendrik Timang, Palangka Raya, 73112 Kalimantan Tengah

² Program Studi Magister Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Universitas Palangka Raya, Jalan Hendrik Timang, Palangka Raya, 73112 Kalimantan Tengah

* Corresponding Author: anungbasuki82@gmail.com

Article History

Received : April 15, 2026

Revised : April 21, 2026

Approved : April 22, 2026

Keywords:

Above-ground biomass; Allometric equation Chave; Carbon stock; Central Kalimantan; *Hevea brasiliensis*.

© 2026 Authors

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



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

Sejarah Artikel

Diterima : 15 April, 2026

Direvisi : 21 April, 2026

Disetujui : 22 April, 2026

Kata Kunci:

Biomassa di atas permukaan tanah; *Hevea brasiliensis*; Kalimantan Tengah; Persamaan alometrik Chave; Stok karbon.

© 2026 Penulis

Diterbitkan oleh Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Kehutanan dan Perikanan Universitas Palangka Raya.

Artikel ini dapat diakses secara terbuka di bawah lisensi:



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

ABSTRACT

Rubber plantations (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) play an important role in carbon sequestration in tropical regions, including educational land. This study aims to estimate the above-ground biomass (AGB) carbon stock in rubber vegetation at the school garden of SMKN 4 Sampit, Central Kalimantan, using the allometric equation of Chave et al. (2005) with specific wood density correction for *Hevea brasiliensis*. Data were collected from three 20 m × 20 m measurement plots (400 m² each) with a total of 58 rubber trees. Measured parameters included diameter at breast height (DBH) and tree height. Results showed a mean AGB of 25.37 ± 4.66 Ton ha⁻¹ and a mean carbon stock of 11.92 ± 2.19 Ton C ha⁻¹, equivalent to 43.73 Ton CO₂e ha⁻¹. Carbon stock varied among plots, with Plot 2 being the highest (14.43 Ton C ha⁻¹) and Plot 3 the lowest (10.40 Ton C ha⁻¹). Differences among plots were attributed to variations in DBH, tree height, and stand density. Carbon stock values are consistent with intermediate-age rubber stands and indicate significant carbon storage potential in educational land. This study contributes to the carbon database of Indonesian tropical forests and supports the implementation of REDD+ programs at the site level.

ABSTRAK

Hutan karet (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) berperan penting dalam sequestrasi karbon di kawasan tropis, termasuk lahan pendidikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi stok karbon biomassa di atas permukaan tanah (above-ground biomass/AGB) pada vegetasi karet di kebun sekolah SMKN 4 Sampit, Kalimantan Tengah, menggunakan persamaan alometrik Chave et al. (2005) dengan koreksi densitas kayu spesifik *Hevea brasiliensis*. Pengambilan data dilakukan pada tiga plot pengukuran berukuran 20 m × 20 m (400 m²) dengan total 58 pohon karet. Parameter yang diukur meliputi diameter setinggi dada (DBH) dan tinggi pohon. Hasil penelitian menunjukkan rerata AGB sebesar 25,37 ± 4,66 ton ha⁻¹ dan rerata stok karbon sebesar 11,92 ± 2,19 ton C ha⁻¹, yang setara dengan 43,73 ton CO₂e ha⁻¹. Stok karbon antarplot bervariasi, dengan Plot 2 tertinggi (14,43 ton C ha⁻¹) dan Plot 3 terendah (10,40 ton C ha⁻¹). Perbedaan ini dipengaruhi oleh variasi DBH, tinggi pohon, dan kerapatan tegakan. Nilai stok karbon ini konsisten dengan fase pertumbuhan karet menengah dan menunjukkan potensi penyimpanan karbon yang signifikan pada lahan pendidikan. Penelitian ini berkontribusi pada basis data karbon hutan tropis Indonesia dan mendukung implementasi program REDD+ di tingkat tapak.

1. Pendahuluan

Perubahan iklim global merupakan salah satu tantangan terbesar abad ke-21 yang dipicu oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca

(GRK), terutama karbon dioksida (CO₂), akibat deforestasi dan alih fungsi lahan (IPCC 2021). Dalam hal ini, hutan tropis memainkan peran fundamental dalam siklus karbon global,

dengan kemampuan menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar melalui proses fotosintesis (Pan *et al.* 2011). Indonesia, sebagai negara dengan tutupan hutan tropis terbesar ketiga di dunia, memiliki *posisi* strategis dalam mitigasi perubahan iklim sebagaimana tercermin dalam Enhanced Nationally Determined Contribution (NDC) yang diperbarui pada tahun 2022 (MoEF 2022).

Selain hutan alam, karet (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) juga berkontribusi dalam sequestrasi karbon. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa perkebunan karet produktif dewasa mampu menyimpan karbon biomassa di atas permukaan tanah antara 40–80 ton C ha⁻¹, bahkan dapat mencapai lebih dari 170 ton C ha⁻¹ tergantung pada umur tegakan dan kondisi lingkungan (Taufikurrahman *et al.*, 2019; Jaikaew *et al.*, 2024). Kalimantan Tengah, sebagai salah satu sentra perkebunan karet, memiliki potensi signifikan dalam kontribusi tersebut. (BPS Kalteng 2022). Namun demikian, penelitian mengenai estimasi stok karbon pada lahan pendidikan, khususnya kebun sekolah, masih sangat terbatas. Kebun sekolah yang ditanami karet memiliki potensi ganda: sebagai media pembelajaran praktis bagi siswa dan sebagai penyerap karbon mikro yang berkontribusi pada upaya mitigasi perubahan iklim lokal. SMKN 4 Sampit, Kalimantan Tengah, merupakan salah satu sekolah kejuruan pertanian yang memiliki kebun karet sebagai laboratorium hidup bagi kegiatan pembelajaran agriforestri.

Pengukuran stok karbon secara akurat memerlukan pendekatan metodologis yang tepat. Metode allometrik merupakan pendekatan yang paling banyak digunakan dan direkomendasikan oleh IPCC (2006) dan SNI 7724:2011 untuk estimasi biomassa pohon di lapangan. Persamaan alometrik Chave *et al.* (2005) telah terbukti valid dan banyak diaplikasikan untuk estimasi biomassa pohon di hutan tropis Asia Tenggara, termasuk Indonesia (Chave *et al.* 2005; Hairiah & Rahayu 2007). Studi terbaru juga menegaskan pentingnya penggunaan densitas kayu spesifik dalam persamaan alometrik untuk meningkatkan

akurasi estimasi biomassa *Hevea brasiliensis* (Fernando *et al.* 2024). Penelitian ini menggunakan pendekatan alometrik yang direkomendasikan oleh IPCC (2006) dan SNI 7724:2011, dengan persamaan Chave *et al.* (2005) untuk mengestimasi biomassa di atas permukaan tanah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengukur parameter biofisik tegakan karet, mengestimasi biomassa dan stok karbon, serta menganalisis variasi stok karbon pada kebun sekolah SMKN 4 Sampit. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menyediakan data dasar (*baseline*) stok karbon pada lahan pendidikan serta mendukung integrasi pengelolaan kebun sekolah dengan upaya mitigasi perubahan iklim dan pendidikan lingkungan hidup.

2. Metode Penelitian

2.1. Waktu dan tempat

Penelitian dilaksanakan di kebun karet SMKN 4 Sampit, Kabupaten Kotawaringin Timur, Provinsi Kalimantan Tengah, pada koordinat sekitar 2°32' LS dan 112°57' BT. Sampit terletak di zona iklim Af (iklim hujan tropis) menurut klasifikasi Köppen dengan curah hujan rata-rata tahunan berkisar 2.500–3.000 mm dan suhu rata-rata 26–28 °C. Pengukuran lapangan dilakukan pada bulan September–Oktober 2025.

2.2. Obyek, Alat dan Bahan Penelitian

Pengukuran dilakukan pada dua parameter utama, yaitu diameter dan tinggi pohon. Diameter pohon diukur dari setinggi dada (DBH) diukur pada ketinggian 1,3 m dari permukaan tanah menggunakan pita diameter (diameter tape) dengan ketelitian 0,1 cm. Pada pohon yang memiliki akar papan, penonjolan batang, atau cacat pada posisi tersebut, pengukuran dilakukan di atas bagian yang tidak normal sesuai standar pengukuran. Tinggi total pohon diukur menggunakan Haga hypsometer atau clinometer dengan ketelitian 0,1 m. Identifikasi jenis pohon dilakukan secara morfologis oleh tenaga ahli kehutanan dengan konfirmasi melalui literatur taksonomi

2.3. Prosedur Penelitian

Pengambilan sampel pada penelitian ini memodifikasi cara SNI 7724:2011, dengan pendekatan *stratified purposive sampling* yang disesuaikan dengan karakteristik lahan kebun sekolah berskala kecil (<1 ha) dengan tiga zona vegetasi yang terpisah secara spasial. Penyesuaian ini dilakukan dengan tetap mempertahankan prinsip-prinsip dasar pengukuran biomassa alometrik. Pembuatan plot ditentukan berdasarkan Zona 1–3, yang merupakan area dengan dominasi karet, dengan ukuran plot 20 × 20 m (400 m²). Model plot ditampilkan pada **Gambar 1**.

1. Estimasi Biomassa di Atas Permukaan Tanah (AGB)

Estimasi AGB menggunakan persamaan alometrik pantropik Chave *et al.* (2005) untuk hutan lembab tropis (*moist tropical forest*), yang telah divalidasi secara luas untuk kondisi hutan tropis Indonesia dan Asia Tenggara:

$$AGB = 0,0509 \times \rho \times D^2 \times H \dots(1)$$

Di mana AGB = biomassa kering pohon di atas permukaan tanah (kg pohon⁻¹); ρ = densitas kayu spesifik (g cm⁻³); D = diameter setinggi dada/DBH (cm); H = tinggi total pohon (m).

Nilai densitas kayu *Hevea brasiliensis* yang digunakan adalah 0,57 g cm⁻³ berdasarkan *Global Wood Density Database* (Zanne *et al.* 2009) dan dikonfirmasi oleh Fernando *et al.* (2024) serta Wauters *et al.* (2008). Persamaan Chave *et al.* (2005) dipilih karena: (a) dikembangkan dari dataset destruktif yang mencakup lebih dari 2.400 pohon dari berbagai jenis di hutan tropis; (b) mengintegrasikan tiga variabel penjelas yang memberikan akurasi estimasi lebih tinggi dibandingkan dengan persamaan satu atau dua variabel; (c) telah divalidasi untuk kondisi iklim Kalimantan; dan (d) direkomendasikan dalam Pedoman Inventarisasi Hutan Nasional Indonesia (Hairiah *et al.* 2011; BSN 2011).



Gambar 1. Pembagian Plot Penelitian (*Research Plot Design*)

2. Perhitungan Stok Karbon Dan Ekuivalen CO₂

Konversi AGB ke stok karbon menggunakan faktor konversi karbon default IPCC sebesar 0,47 (47% dari biomassa kering adalah karbon), yang merupakan nilai yang diterima secara luas untuk pohon tropis (IPCC 2006; Hairiah & Rahayu 2007):

$$C_{\text{stock}} = \text{AGB} \times 0,47 \dots(2)$$

Stok karbon per satuan luas dihitung sebagai penjumlahan stok karbon seluruh pohon dalam plot dibagi luas plot, kemudian dikonversi ke per hektar (faktor konversi 25×). Ekuivalen CO₂ dihitung menggunakan faktor 44/12 = 3,667:

$$\text{CO}_{2e} = C_{\text{stock}} \times 3,667 \dots(3)$$

2.4. Analisa Data

Analisis statistik deskriptif dilakukan untuk setiap plot meliputi nilai rerata, standar deviasi (SD), koefisien variasi (CV), serta nilai minimum dan maksimum untuk parameter DBH, tinggi, AGB, dan stok karbon, mengacu pada prosedur Walpole *et al.* (2012). Perbandingan antar-plot dianalisis menggunakan koefisien variasi. Seluruh analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel dan Python 3.9. (McKinney, 2017).

3. Hasil Penelitian

3.1. Karakteristik Biofisik Pohon Karet

Secara keseluruhan, penelitian ini mengukur 58 individu pohon karet (*Hevea brasiliensis*) yang tersebar pada tiga plot pengukuran: Plot 1 (19 pohon), Plot 2 (19 pohon), dan Plot 3 (20 pohon). Pada Plot 1 dan Plot 2, masing-masing terdapat satu posisi pohon yang tidak terukur akibat pohon tidak ditemukan di lapangan (mati atau tidak memenuhi kriteria minimum DBH), sehingga jumlah sampel efektif masing-masing plot sedikit berbeda. **Tabel 1** menyajikan statistik deskriptif parameter biofisik pohon karet per plot.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Parameter Biofisik Pohon Karet Pada Tiga Plot Pengukuran

Parameter	Plot	n (pohon)	Rerata	SD	Min	Maks
DBH (cm)	Plot 1	19	12,49	2,67	7,75	17,53
	Plot 2	19	13,52	2,38	9,87	17,51
	Plot 3	20	11,98	1,15	9,91	13,42
	Gabungan	58	12,65	2,14	7,75	17,53
Tinggi (m)	Plot 1	19	7,59	1,04	5,78	9,30
	Plot 2	19	9,05	1,52	5,96	11,55
	Plot 3	20	7,95	1,08	6,32	10,02
	Gabungan	58	8,19	1,35	5,78	11,55

SD = Standar Deviasi; Sumber: Hasil pengukuran lapangan, 2025

Nilai rerata DBH seluruh pohon sampel adalah 12,65 cm dengan kisaran 7,75–17,53 cm. DBH pada Plot 2 (13,52 cm) lebih tinggi dibanding Plot 1 (12,49 cm) dan Plot 3 (11,98 cm). Rendahnya nilai koefisien variasi DBH pada Plot 3 (CV = 9,6%) dibandingkan dengan Plot 1 (CV = 21,4%) dan Plot 2 (CV = 17,6%) mengindikasikan bahwa pohon karet pada Plot 3 memiliki ukuran yang lebih homogen, kemungkinan akibat perbedaan umur tegakan atau pengelolaan yang lebih intensif. Darmawan *et al.* (2022) juga melaporkan bahwa variasi DBH antar-plot merupakan faktor penentu utama variabilitas stok karbon pada tegakan tropis di Indonesia.

Rerata tinggi pohon berkisar antara 7,59–9,05 m antar-plot, dengan nilai tertinggi pada Plot 2 (9,05 m) dan terendah pada Plot 1 (7,59 m). Tinggi pohon karet yang berkisar 5–12 m konsisten dengan fase pertumbuhan menengah (umur 5–10 tahun) sebelum mencapai produksi lateks maksimum pada umur ≥7 tahun (Purnamasari *et al.* 2020). Qi *et al.* (2023) menyatakan bahwa fungsi layanan ekosistem perkebunan karet, termasuk sekuestrasi karbon, meningkat secara signifikan seiring pertambahan umur dan tinggi tegakan.

3.2. Estimasi Biomassa di Atas Permukaan Tanah (AGB)

Hasil estimasi AGB menggunakan persamaan alometrik Chave *et al.* (2005) disajikan pada Tabel 2. Total AGB pada Plot 1, Plot 2, dan Plot 3 masing-masing adalah 930,88 kg, 1.228,30 kg, dan 885,49 kg untuk luas plot 400 m². Data estimasi biomassa tercantum pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Estimasi Biomassa Di Atas Permukaan Tanah (AGB) Dan Stok Karbon Per Plot

Plot	n	Total AGB (kg/plot)	AGB (Ton ha ⁻¹)	Total C (kg/plot)	C stock (Ton C ha ⁻¹)	CO ₂ e (Ton ha ⁻¹)
Plot 1	19	930,88	23,27	437,51	10,94	40,12
Plot 2	19	1.228,30	30,71	577,30	14,43	52,93
Plot 3	20	885,49	22,14	416,18	10,40	38,14
Rerata	19,3	1.014,89	25,37 ± 4,66	477,00	11,92 ± 2,19	43,73

Sumber: Hasil analisis data, 2025; Nilai rerata ± SD; AGB = Above-Ground Biomass

Plot 2 memiliki nilai AGB tertinggi (30,71 Ton ha⁻¹), diikuti Plot 1 (23,27 Ton ha⁻¹), dan Plot 3 (22,14 Ton ha⁻¹). Perbedaan ini mencerminkan variasi parameter biofisik pohon antar-plot. Mengingat bahwa persamaan Chave *et al.* (2005) bersifat pangkat tiga terhadap DBH ($D^2 \times H \approx D^3$ dalam skala), maka perbedaan DBH yang relatif kecil antar-plot dapat menghasilkan perbedaan AGB yang cukup signifikan. Rerata AGB gabungan sebesar 25,37 ± 4,66 ton ha⁻¹ berada dalam kisaran yang lebih rendah dibanding kebun karet produktif dewasa (umur >15 tahun) yang umumnya mencapai 50–100 Ton ha⁻¹ (Wauters *et al.* 2008; Jaikaew *et al.* 2024). Penelitian Hairiah *et al.* (2011) pada kebun karet muda (umur 3–5 tahun) di Sumatra melaporkan AGB antara 8–20 Ton ha⁻¹, sedangkan hasil penelitian ini (25,37 Ton ha⁻¹) mengindikasikan fase pertumbuhan yang lebih lanjut.

3.3. Stok Karbon Dan Ekuivalen CO₂

Rerata stok karbon di atas permukaan tanah seluruh plot adalah 11,92 ± 2,19 ton C ha⁻¹ dengan kisaran 10,40–14,43 ton C ha⁻¹. Nilai ini setara dengan 43,73 Ton CO₂e ha⁻¹. Tabel 3 menyajikan perbandingan stok karbon hasil penelitian dengan referensi dari berbagai studi terbaru pada vegetasi karet dan penggunaan lahan terkait. Perbandingan stok karbon tercantum pada **Tabel 3**.

Perbandingan dengan studi lain menunjukkan bahwa nilai stok karbon penelitian ini (11,92 ton C ha⁻¹) berada di atas kisaran kebun karet juvenil Sumatra (<5 tahun) yang hanya mencapai 3,8–9,4 ton C ha⁻¹, namun masih jauh di bawah kebun karet produktif dewasa (32–39 ton C ha⁻¹). Studi terbaru di Thailand Selatan melaporkan stok

karbon karet dewasa (14–30 tahun) mencapai 174,9–252,9 ton C ha⁻¹ (Jaikaew *et al.* 2024), mengindikasikan potensi akumulasi karbon yang sangat besar seiring bertambahnya umur tegakan. Fernando *et al.* (2024) dalam kajian di Sri Lanka juga mengonfirmasi bahwa perkebunan karet berumur >30 tahun mampu menyimpan 21–33 ton C ha⁻¹, konsisten dengan pola progresif akumulasi karbon pada *Hevea brasiliensis* (Brown 1997; Wauters *et al.* 2008). Pola distribusi karbon antarpohon menunjukkan bahwa individu pohon dengan DBH terbesar (17,53 cm) berkontribusi 10–14% dari total karbon per plot. Hal ini konsisten dengan temuan umum dalam ekosistem hutan tropis bahwa individu pohon terbesar mendominasi simpanan biomassa total (Slik *et al.* 2010). Qi *et al.* (2023) juga melaporkan bahwa kapasitas penyimpanan karbon tahunan perkebunan karet di China mencapai 36,51 juta ton, menegaskan peran strategis karet sebagai penyerap karbon di kawasan tropis Asia.

Tabel 3. Perbandingan Stok Karbon AGB Hasil Penelitian Dengan Referensi Literatur

Lokasi / Jenis Vegetasi	Metode	AGB (Ton ha ⁻¹)	C stock (ton C ha ⁻¹)	Sumber
Kebun sekolah SMKN 4 Sampit, Kalteng (penelitian ini)	Chave <i>et al.</i> (2005), $\rho=0,57$	25,37 ± 4,66	11,92 ± 2,19	Penelitian ini
Kebun karet muda, Sumatra (<5 thn)	Allometrik lokal	8–20	3,8–9,4	Hairiah <i>et al.</i> 2011
Kebun karet produktif, Jambi (>15 thn)	Allometrik Chave	68–84	32–39	Taufikurahman <i>et al.</i> 2019
Kebun karet, Thailand Selatan (14–30 thn)	Allometrik + GIS-RS	382–538	174,9–252,9	Jaikaew <i>et al.</i> 2024
Perkebunan karet, Sri Lanka (30+ thn)	Allometrik spesifik <i>Hevea</i>	45–70	21–33	Fernando <i>et al.</i> 2024
Kebun karet, Kamerun (10–15 thn)	Destructive sampling	33,7–58,4	15,8–27,5	Wauters <i>et al.</i> 2008
Agriforestri karet-kopi, Kalteng	Allometrik	25–43	11,8–20,2	Sitompul <i>et al.</i> 2016

Sumber: Berbagai literatur; AGB = Above-Ground Biomass

3.4. Analisis Variasi Antar-Plot Dan Faktor Penentu

Variasi stok karbon antar-plot cukup signifikan, dengan koefisien variasi (CV)

sebesar 18,4%. Plot 3 menunjukkan nilai stok karbon terkecil ($10,40 \text{ ton C ha}^{-1}$), yang dapat dijelaskan oleh: (1) nilai rerata DBH yang lebih rendah (11,98 cm vs 12,49–13,52 cm pada Plot 1 dan Plot 2); (2) rerata tinggi yang lebih rendah (7,95 m); dan (3) keseragaman diameter yang lebih tinggi ($CV \text{ DBH} = 9,6\%$). Mengingat AGB berskala dengan $D^2 \times H$, perbedaan DBH sebesar 1,54 cm antara Plot 3 dan Plot 2 dapat menghasilkan perbedaan AGB yang substansial, yaitu sekitar 28% secara matematis. Kerapatan tegakan ($58 \text{ pohon}/1.200 \text{ m}^2 = 483,3 \text{ pohon ha}^{-1}$ ekivalen) tergolong standar untuk perkebunan karet. Kerapatan optimal kebun karet umumnya berkisar 400–600 pohon ha^{-1} (Purnamasari *et al.* 2020). Namun, kerapatan tinggi dapat berdampak negatif pada pertumbuhan individu pohon akibat kompetisi interspesifik untuk cahaya, air, dan nutrisi (Poorter *et al.* 2006).

3.5. Implikasi Untuk Pengelolaan Dan Mitigasi Perubahan Iklim

Meskipun nilai absolut stok karbon di kebun sekolah SMKN 4 Sampit relatif rendah dibandingkan dengan perkebunan karet dewasa, hasil penelitian ini memiliki beberapa implikasi penting. Data baseline yang dihasilkan dapat digunakan sebagai acuan dalam pemantauan karbon jangka panjang sesuai kerangka REDD+ di Indonesia (Palmer & Sileci 2022). Palmer & Sileci (2022) menekankan pentingnya pemantauan karbon berbasis tapak untuk mendukung efektivitas program REDD+ nasional Indonesia. Jika lahan kebun sekolah seluas sekitar 1 hektar, maka total karbon yang tersimpan saat ini setara dengan sekitar 11,92 ton C atau 43,71 ton CO_2e . Pada harga karbon pasar sukarela global saat ini (USD 15–50 per ton CO_2e), nilai jasa ekosistem karbon dari kebun sekolah ini berkisar USD 656–2.187 per tahun. Penelitian ini mendemonstrasikan bahwa sekolah kejuruan pertanian dapat berperan aktif dalam pemantauan karbon berbasis komunitas sekaligus menyediakan konteks pembelajaran sains terapan yang relevan bagi siswa. Pendekatan ini sejalan dengan visi pendidikan

untuk pembangunan berkelanjutan (*Education for Sustainable Development/ESD*) yang diadvokasi oleh UNESCO. Untuk mengoptimalkan potensi stok karbon kebun karet SMKN 4 Sampit, disarankan pemantauan pertumbuhan periodik setiap 2 tahun

Penelitian ini memiliki implikasi langsung terhadap praktik pembelajaran kejuruan di SMKN 4 Sampit. Aktivitas pengukuran karbon yang melibatkan siswa secara partisipatif dapat menjadi model *project-based learning* yang mengintegrasikan kompetensi agribisnis perkebunan dengan kesadaran lingkungan. Melalui pendekatan ini, siswa tidak hanya memahami konsep mitigasi perubahan iklim, tetapi juga mengasah keterampilan teknis seperti pengukuran DBH, tinggi pohon, dan penggunaan persamaan alometrik. Dengan demikian, kebun karet dapat dimanfaatkan sebagai *living laboratory* untuk menghasilkan lulusan yang kompeten secara teknis sekaligus memiliki kesadaran lingkungan. Pada akhirnya, upaya ini turut berkontribusi pada pencapaian target *Nationally Determined Contribution* (NDC) Indonesia di tingkat lokal.

3.6. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Jumlah plot yang relatif terbatas ($n = 3$) berpotensi dapat mengakibatkan ketidakpastian estimasi yang relatif tinggi, tercermin dari nilai *standard error* sebesar $1,27 \text{ ton C ha}^{-1}$. Selain itu, persamaan alometrik Chave *et al.* (2014) tidak dikembangkan secara spesifik untuk *Hevea brasiliensis*. Meskipun penggunaan densitas kayu spesifik ($\rho = 0,57 \text{ g cm}^{-3}$) dapat meningkatkan akurasi estimasi (Fernando *et al.* 2024); penggunaan persamaan alometrik yang bersifat spesifik jenis tetap disarankan untuk memperoleh hasil yang lebih presisi. Keterbatasan lainnya adalah pengukuran yang hanya mencakup biomassa di atas permukaan tanah (*aboveground biomass*), sehingga belum merepresentasikan total stok karbon ekosistem yang juga meliputi biomassa bawah tanah, serasah, dan karbon tanah. Di samping itu, tidak dilakukannya pengukuran umur pohon secara langsung membatasi

analisis terhadap dinamika pertumbuhan dan akumulasi karbon.

4. Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini menunjukkan bahwa stok karbon biomassa atas permukaan pada kebun karet SMKN 4 Sampit tergolong sedang, dengan rata-rata $11,92 \pm 2,19$ ton C ha⁻¹ (43,73 Ton CO_{2e} ha⁻¹), mencerminkan fase pertumbuhan juvenil–menengah. Variasi antar-plot dipengaruhi oleh perbedaan DBH, tinggi, dan kerapatan pohon. Data ini penting sebagai baseline pemantauan karbon dan mendukung pengelolaan kebun berbasis jasa ekosistem, dengan kebutuhan penelitian lanjutan pada komponen karbon lain dan pengembangan alometrik spesifik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala SMKN 4 Sampit beserta staf atas izin dan dukungan fasilitas selama penelitian berlangsung. Terima kasih juga kepada tim asisten lapangan yang telah membantu pengukuran biofisik di lapangan

Daftar Pustaka

Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2011. SNI 7724:2011: Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon – Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan. BSN. Jakarta.

Brown S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer. FAO Forestry Paper 134. FAO. Rome.

Badan Pusat Statistik (BPS) Kalimantan Tengah 2022. Kalimantan Tengah dalam Angka 2022. BPS Provinsi Kalimantan Tengah Palangka Raya.

Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Fölster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure JP, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Riéra B, Yamakura T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*

145(1): 87–99.
<https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>

Darmawan A, Warta Z, Molidena E, Valla A, Firdaus MI, Winarno GD, Winarno B, Rusolono T, Tsuyuki S. 2022. Aboveground Forest Carbon Stock in Protected Area: A Case Study of Bukit Tigapuluh National Park, Indonesia. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology* 7(1).
<https://doi.org/10.22146/jtbb.64827>

Fernando PIMS, Munasinghe ES, Rodrigo VHL, Gunawardena UADP. 2024. Allometric models for biomass prediction of *Hevea brasiliensis*. *Environmental Quality Management*.
<https://doi.org/10.1002/tqem.22099>

Gunarso P, Hartoyo ME, Agus F, Killeen TJ. 2013. Oil palm and land use change in Indonesia, Malaysia and Papua New Guinea. Reports from the Technical Panels of the 2nd GHG Working Group of the RSPO. Kuala Lumpur.

Hairiah K, Rahayu S. 2007. Pengukuran ‘Karbon Tersimpan’ di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. World Agroforestry Centre – ICRAF, SEA Regional Office. Bogor.

Hairiah K, Ekadinata A, Sari RR, Rahayu S. 2011. Pengukuran Cadangan Karbon: dari Tingkat Lahan ke Bentang Lahan. Petunjuk Praktis (Edisi 2). World Agroforestry Centre ICRAF SEA Regional Office, Universitas Brawijaya. Bogor.

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K (eds). IGES. Japan.

IPCC. 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press. Cambridge.

- Jaikaew P, Kasemsap P, Chidthaisong A, Fenner N, Freeman C, Yoksan R, Limsakul A, Boonpoke A. 2024. Investigating Drivers Impacting Carbon Stock and Carbon Offset in a Large-Scale Rubber Plantation in the Middle South of Thailand. *Forests* 15(3): 412. <https://doi.org/10.3390/f15030412>
- McKinney, W. (2017). *Python for data analysis: Data wrangling with pandas, NumPy, and IPython* (2nd ed.). O'Reilly Media.
- Ministry of Environment and Forestry (MoEF). 2022. Enhanced Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia. Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim. Jakarta.
- Palmer C, Sileci L. 2022. Carbon emissions reductions from Indonesia's moratorium on forest concessions are cost-effective yet contribute little to Paris pledges. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 119(5): e2102613119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2102613119>
- Pan Y, Birdsey RA, Fang J, Houghton R, Kauppi PE, Kurz WA, Phillips OL, Shvidenko A, Lewis SL, Canadell JG, Ciais P, Jackson RB, Pacala SW, McGuire AD, Piao S, Rautiainen A, Sitch S, Hayes D. 2011. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science* 333(6045): 988–993.
- Poorter L, Bongers L, Bongers F. 2006. Architecture of 54 moist-forest tree species: traits, trade-offs, and functional groups. *Ecology* 87(5): 1289–1301.
- Qi D, Yang C, Yun T, Dai C, Cen G. 2023. The main service functions and driving forces of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantation ecosystem in China. *Journal of Rubber Research* 26: 155–164. <https://doi.org/10.1007/s42464-023-00202-w>
- Slik JWF, Paoli G, McGuire K, *et al.* 2010. Large trees drive forest aboveground biomass variation in moist lowland forests across the tropics. *Global Ecology and Biogeography* 22(12): 1261–1271.
- Walpole RE, Myers RH, Myers SL, Ye K. 2012. *Probability & Statistics for Engineers and Scientists* (9th ed.). Pearson Education. Boston.
- Wauters JB, Coudert S, Grallien E, Jonard M, Ponette Q. 2008. Carbon stock in rubber tree plantations in Western Ghana and Mato Grosso (Brazil). *Forest Ecology and Management* 255(7): 2347–2361.
- Zanne AE, Lopez-Gonzalez G, Coomes DA, Ilic J, Jansen S, Lewis SL, Miller RB, Swenson NG, Wiemann MC, Chave J. 2009. Global Wood Density Database. Dryad Digital Repository. <https://doi.org/10.5061/dryad.234>