

Estimation of Understory Carbon Stocks in Early Stage Post Mining Revegetation Areas at PT Insani Baraperkasa, East Kalimantan

Kiamah Fathirizki Agsa Kamarati^{1*}, Agus Wiramsya Oscar², Pandhu Rochman Suosa Putra³, Adnan Putra Pratama⁴, Christine Elia Benedicta⁵, Adelia Juli Kardika¹

¹Pengelolaan Hutan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda

² *Health, Safety and Environment Department*, PT Insani Baraperkasa

³Pengelolaan Perkebunan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda

⁴Teknologi Hasil Perkebunan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda

⁵Teknologi Rekayasa Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda

***corresponding email: kiamahkamarati@politanisamarinda.ac.id**

Submitted: 2025-05-22; Accepted: 2025-06-30; Published: 2025-06-30

ABSTRACT

Post-mining land rehabilitation is an important strategy to mitigate climate change and conserve tropical ecosystems. Surface mining activities in East Kalimantan have caused ecological degradation and the release of carbon stored in vegetation. Revegetation has been widely practiced as the main approach to restore ecosystem functions, including the initial accumulation of carbon by understory vegetation. This study aims to estimate the carbon stock of the understory on post-mining land that has undergone revegetation for one year at the PT Insani Baraperkasa site in Loa Janan, East Kalimantan. The method used was destructive sampling of understory biomass from 10 plots measuring 5 m x 5 m, each with subplots measuring 0.5 m x 0.5 m. Biomass samples were dried and converted to carbon. The results showed an average carbon stock of 1.26 tons/ha. These results suggest that understory vegetation plays an important role in early stage carbon recovery on post-mining land. Understory carbon monitoring can be an effective early indicator to measure the success of ecosystem restoration.

Keywords: *revegetation, understory, post-mining, carbon, rehabilitation*

PENDAHULUAN

Pemulihan lahan pasca tambang menjadi isu strategis dalam upaya mitigasi perubahan iklim dan konservasi ekosistem tropis. Kegiatan pertambangan terbuka menyebabkan degradasi ekologis berupa hilangnya tutupan vegetasi, penurunan kesuburan tanah, dan pelepasan karbon yang tersimpan di biomassa maupun tanah ke atmosfer (Boka et al., 2024; Hartati & Sudarmadji, 2022; Yusuf et al., 2023). Sebagai upaya pemulihan ekosistem, kegiatan revegetasi menjadi tahapan penting dalam kegiatan reklamasi pascatambang. PT Insani Baraperkasa (PT IBP) merupakan salah satu perusahaan tambang batubara di Kalimantan Timur yang telah melakukan program revegetasi pada lahan

pascatambang di *site* Loa Janan sebagai bagian dari komitmen pengelolaan lingkungan berkelanjutan (PT Resource Alam Indonesia Tbk, 2024). Oleh karena itu, upaya revegetasi tidak hanya bertujuan mengembalikan struktur vegetasi, tetapi juga menstimulasi akumulasi karbon yang berperan dalam menyeimbangkan siklus karbon global.

Salah satu komponen penting dalam estimasi karbon ekosistem daratan adalah serasah (*litter*) dan tumbuhan bawah (*understory*), karena keduanya memiliki peran ganda sebagai penyimpan karbon dan penyedia bahan organik untuk tanah (Hartati et al., 2021). Studi terbaru menunjukkan bahwa biomassa tumbuhan bawah dapat menyumbang hingga 0,95 Mg C/ha, sementara karbon serasah bisa melebihi nilai dari hutan alami tergantung

pada umur revegetasi dan spesies tanaman yang digunakan (Agus et al., 2016). Oleh karena itu, penelitian terhadap dinamika karbon dalam komponen ini sangat relevan dalam konteks rehabilitasi ekosistem pasca tambang. Lebih lanjut, struktur dan komposisi tumbuhan bawah juga dipengaruhi oleh kondisi tanah, komunitas mikroba, serta umur revegetasi (Santoso et al., 2021; Sudrajat et al., 2019; Ulfah et al., 2020).

Kegiatan revegetasi yang dilakukan perusahaan mencakup penanaman berbagai spesies pionir, termasuk jenis-jenis legum dan tanaman cepat tumbuh untuk mempercepat pemulihan fungsi ekosistem (Nurtjahya, et al., 2020; Setyowati et al., 2018; Wiryono et al., 2017). Beberapa penelitian di Kalimantan Timur yang dilakukan sebelumnya juga menunjukkan keberhasilan rehabilitasi pasca tambang dalam memulihkan stok karbon melalui revegetasi cepat dengan spesies seperti *Acacia mangium* dan *Paraserianthes falcataria* (Hilwan & Nurjannah, 2015).

Namun sebagian besar penelitian masih berfokus pada karbon tegakan/pohon, sementara aspek karbon tumbuhan bawah masih kurang. Tumbuhan bawah lebih responsif terhadap perubahan iklim mikro dan kondisi tanah pada lahan pasca tambang. Efektivitas pemulihan cadangan karbon, khususnya pada fase awal pertumbuhan masih perlu dikaji. Sehingga perlu adanya penelitian tentang estimasi karbon tumbuhan bawah pada fase awal revegetasi di lahan pasca tambang PT IBP site Loa Janan, Kalimantan Timur. Penelitian bertujuan untuk mengetahui jumlah biomassa dan estimasi cadangan karbon dengan harapan dapat memberikan kontribusi pemantauan karbon serta memberikan dasar data bagi kebijakan restorasi ekosistem.

Penelitian serupa di lahan pasca tambang Site Binungan Kabupaten Berau menunjukkan bahwa karbon serasah dan tumbuhan bawah meningkat signifikan dalam 3–9 tahun pasca revegetasi. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua komponen dapat menjadi indikator awal dalam

memantau pemulihan ekosistem (Farosandi et al., 2024).

METODOLOGI

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di wilayah lahan pasca tambang PT IBP site Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Lokasi plot penelitian dipilih secara *purposive* yaitu lahan pascatambang yang dilakukan revegetasi sekitar 1 tahun. Kegiatan dilakukan mulai bulan Mei hingga Juli 2024 (musim kemarau) untuk mengurangi variasi kelembaban yang dapat mempengaruhi biomassa tumbuhan bawah.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ialah timbangan digital untuk mengukur berat kering sampel di lapangan, tali rafia, roll meter, bambu untuk membuat pasak, gunting, plastik sampel, koran/kertas bekas, dan timbangan analitik untuk menghitung berat kering setelah dikeringkan. Bahan yang digunakan ialah sampel berupa tumbuhan bawah yang diambil secara destruktif.

Metode Penelitian

Plot penelitian dibuat dengan ukuran plot berukuran 5 m x 5 m sejumlah 10 plot dengan sub plot masing-masing berukuran 0,5 m x 0,5 m yang ditempatkan secara acak. Kemudian biomassa tumbuhan bawah yang berada dalam sub-plot seperti herba, semak, dan rumput dikumpulkan secara destruktif. Semua vegetasi yang tumbuh di atas permukaan tanah dipotong seperti yang disajikan pada Gambar 1. Lalu sampel ditimbang untuk mengetahui berat basah total tumbuhan bawah pada plot pengukuran. Selanjutnya, sampel dikeringkan sejumlah ± 300 gram dalam oven pada suhu 70°C - 105°C hingga mencapai berat tetap untuk mendapatkan nilai berat kering.



Gambar 1. Pengambilan Sampel Biomassa Tumbuhan Bawah pada Plot Pengukuran

Analisis Data

Perhitungan Biomassa Tumbuhan Bawah

Perhitungan biomassa tumbuhan bawah menggunakan persamaan (SNI 7724, 2019) :

$$Bo = \frac{Bks \times Bbt}{Bbs} \quad (1)$$

Keterangan :

Bo = Berat total biomassa (kg)
Bks = Berat kering sampel (kg)
Bbt = Berat basah total sampel (kg)
Bbs = Berat basah sampel (kg)

Perhitungan Karbon Tumbuhan Bawah

Perhitungan karbon tumbuhan bawah menggunakan persamaan (SNI 7724, 2019) :

$$Ctb = Bo \times \% C \quad (2)$$

Keterangan :

Ctb = Kandungan karbon bahan organik tumbuhan bawah (kg)
Bo = Berat total biomassa (kg)

% C = Nilai persentase kandungan karbon sebesar 0,47 atau hasil karbon analisis di laboratorium

Perhitungan Cadangan Karbon per Hektar

Perhitungan cadangan karbon per hektar menggunakan persamaan (SNI 7724, 2019) :

$$Ct = \frac{Ctb}{1.000} \times \frac{10.000}{l \text{ plot}} \quad (3)$$

Keterangan :

Ct = Kandungan karbon per hektar
Ctb = Kandungan karbon tumbuhan bawah
l plot = luas plot

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pendugaan cadangan karbon pada tumbuhan bawah di plot penelitian disajikan pada tabel 1 berikut :

Tabel 1. Potensi Cadangan Karbon pada Tumbuhan Bawah

Plot	Biomassa (Kg)	Carbon (Kg/Plot)	Carbon (Ton/Ha)
1	0,037	0,018	0,701
2	0,026	0,012	0,482
3	0,050	0,024	0,946
4	0,099	0,047	1,865
5	0,079	0,037	1,492
6	0,040	0,019	0,748
7	0,071	0,033	1,332
8	0,080	0,038	1,508
9	0,047	0,022	0,889
10	0,139	0,065	2,613

Sumber : Data Primer, 2024

Hasil pendugaan karbon pada tumbuhan bawah di lahan revegetasi umur satu tahun di PT IBP menunjukkan rata-rata karbon sebesar 1,26 ton/ha, dengan nilai tertinggi ditemukan di Plot 10 yaitu 2,613 ton/ha dan nilai terendah di Plot 2 sebesar 0,482 ton/ha. Hasil ini menggambarkan peran penting vegetasi bawah sebagai salah satu komponen awal dalam pemulihan fungsi ekologis lahan pasca tambang.

Nilai rata-rata karbon ini berada dalam kisaran yang sebanding dengan hasil penelitian sebelumnya di lahan pasca tambang PT Berau Coal, yang mencatat karbon tumbuhan bawah berkisar antara 0,19 hingga 0,95 ton/ha tergantung pada umur revegetasi dan jenis tanaman yang digunakan (Agus et al., 2016). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun revegetasi di *site* Loa Janan masih pada *fase* awal, potensi akumulasi karbonnya cukup baik, bahkan melebihi rata-rata lokasi lain dengan umur vegetasi serupa.

Variasi nilai antar plot cukup signifikan, dengan selisih lebih dari 2 ton/ha antara nilai terendah dan tertinggi. Perbedaan ini dapat dipengaruhi oleh keberagaman kondisi mikro habitat seperti kelembaban tanah, ketersediaan hara, tekstur tanah, serta variasi kepadatan dan komposisi spesies tumbuhan bawah yang muncul secara alami. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menghubungkan struktur komunitas

tumbuhan bawah dengan kondisi fisika-kimia tanah dan keanekaragaman mikroorganisme (Sudrajat et al., 2019).

Tumbuhan bawah sering dianggap sebagai komponen minor dalam ekosistem hutan, tetapi tumbuhan bawah memiliki peran penting dalam mendukung pembentukan serasah, menjaga kelembaban tanah, dan menyediakan input karbon yang cepat terurai ke dalam tanah. Hal ini didukung oleh penelitian (Prayitno & Saputra, 2024) yang menyatakan bahwa tumbuhan bawah di lahan gambut pasca kebakaran mampu menyimpan karbon hingga 1,95 ton/ha dalam waktu kurang dari satu tahun.

Penelitian ini juga memperkuat pandangan bahwa revegetasi dini memberikan kontribusi nyata terhadap pemulihan cadangan karbon. Dalam konteks restorasi berbasis REDD+ (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation*), data ini penting untuk mendukung pendekatan berbasis bukti bahwa revegetasi termasuk komponen tumbuhan bawah dapat diperhitungkan dalam skema penilaian stok karbon (Patimaleh, 2022).

Kombinasi antara tanaman cepat tumbuh seperti *Senna siamea* dan *Albizia saman* dengan tumbuhan bawah yang padat dan cepat tumbuh, dapat mempercepat pembentukan biomassa dan pencapaian target karbon dalam waktu singkat (Fajariani et al., 2020). Oleh karena itu, pengelolaan vegetasi bawah sebaiknya tidak diabaikan dalam desain revegetasi.

Tingginya nilai karbon di Plot 10 yakni 2,613 ton/ha kemungkinan besar dipengaruhi oleh kepadatan vegetasi, dan ketersediaan cahaya yang tinggi. Hal ini juga didukung hasil studi sebelumnya (Woodbury et al., 2020) yang menunjukkan bahwa dalam tahap awal revegetasi, tumbuhan bawah memanfaatkan celah cahaya untuk tumbuh cepat dan berkontribusi terhadap akumulasi biomassa dan karbon.

Dengan data ini, dapat dikatakan bahwa pemantauan karbon tumbuhan bawah sangat layak dijadikan indikator awal keberhasilan restorasi pasca tambang. Selain itu, pemantauan ini relatif mudah dan murah dilakukan dibandingkan pengukuran karbon biomassa pohon, yang memerlukan pendekatan alometrik dan alat ukur khusus.

Data dalam tabel juga dapat berfungsi sebagai dasar perhitungan atau *baseline* dalam skema offset karbon atau sertifikasi ekosistem. Dengan pendekatan kuantitatif seperti ini, setiap perubahan dalam tutupan vegetasi dapat langsung dikaitkan dengan perubahan kapasitas serapan karbon, memberikan data yang transparan dan terukur untuk evaluasi program reklamasi.

Sebagai langkah lanjut, disarankan agar pemantauan dilakukan secara longitudinal dalam beberapa tahun ke depan untuk melihat pola akumulasi karbon dari tumbuhan bawah seiring dengan perkembangan vegetasi pohon. Penggabungan data dari berbagai strata vegetasi akan memberikan gambaran menyeluruh terhadap kapasitas lahan pasca tambang dalam memulihkan fungsi ekologis dan kontribusinya terhadap mitigasi perubahan iklim.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa tumbuhan bawah pada lahan pasca tambang yang telah direvegetasi di PT IBP *site* Loa Janan, Kalimantan Timur, memiliki potensi signifikan dalam menyimpan karbon. Rata-rata cadangan karbon yang dihasilkan adalah sebesar 1,26 ton/ha, dengan nilai tertinggi mencapai 2,613 ton/ha dan nilai terendah 0,482 ton/ha. Variasi ini mencerminkan perbedaan kondisi mikrohabitat dan dinamika awal vegetasi pasca tambang.

Peran tumbuhan bawah sebagai penyimpan karbon terbukti penting pada fase awal revegetasi, karena memiliki

kontribusi terhadap pembentukan serasah, peningkatan bahan organik tanah, dan pemulihan siklus nutrisi. Hasil ini menunjukkan bahwa potensi karbon yang tersimpan sudah sebanding atau bahkan melampaui beberapa lokasi revegetasi berumur lebih lama. Dengan demikian, pemantauan karbon tumbuhan bawah dapat dijadikan indikator cepat keberhasilan reklamasi, serta menjadi bagian penting dalam strategi mitigasi perubahan iklim dan pelestarian lingkungan di lahan bekas tambang.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, C., Putra, P. B., Faridah, E., Wulandari, D., & Napitupulu, R. R. P. (2016). Organic Carbon Stock and their Dynamics in Rehabilitation Ecosystem Areas of Post Open Coal Mining at Tropical Region. *Procedia Engineering*, 159, 329–337. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.201>
- Boka, R. Y. B., Situmorang, M. T. N., Paharuddin, P., Oka, P. A. K. M., Soeryamassoeka, S. B., Rumawak, S. A., Manaf, M., Wardani, M. C., Dianty, M. A., & Ansar, M. (2024). *Pengantar Teknik Lingkungan*. Cendikia Mulia Mandiri.
- Fajariani, W., Hendra, M., & Susanto, D. (2020). Estimation of Above Ground Carbon Sequestration in Trembesi (*Albizia saman*) and Johar (*Senna siamea*) at PT Multi Harapan Utama, East Kalimantan. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.22146/jtbb.4331>
- Farosandi, N. H., Mansur, I., & Istikorini, Y. (2024). Carbon stock estimation in post-mining reclamation area of open coal mining in PT Berau Coal, Berau, East Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1315(1), 012043.

Kamarati, K.F.A., et al.(2025) "Estimation of Understory Carbon Stocks in Early Stage Post Mining Revegetation Areas at PT Insani Baraperkasa, East Kalimantan", Jurnal Agriment, 10(1).

- <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1315/1/012043>
- Hartati, W., & Sudarmadji, T. (2022). The dynamics of soil carbon in revegetated post-coal mining sites: A case study in Berau, East Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(10). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231004>
- Hartati, W., Suhadiman, A., & Sudarmadji, T. (2021). Estimasi Cadangan Karbon Pada Tumbuhan Bawah Dan Serasah Di Khdtk Hpfu Samarinda. *Ulin - J Hut Trop*, 5 (2), 63–72.
- Hilwan, I., & Nurjannah, A. S. (2015). *Potential Carbon Stock in Revegetation Stand of Post-Mining Land at PT Jorong Barutama Greston, South Kalimantan Potensi Simpanan Karbon Pada Tegakan Revegetasi Lahan Pasca Tambang Di Pt Jorong Barutama Greston, Kalimantan Selatan*. https://www.semanticscholar.org/paper/Potential-Carbon-Stock-in-Revegetation-Stand-of-at-Hilwan-Nurjannah/e9ac26c7f41f84309316b8a9e030ce934778114d?utm_source=consensus
- Nurtjahya, E., Santi, R., & Inonu, I. (2020). *Lahan Bekas Tambang Timah: Dan Pemanfaatannya*. PT Kanisius.
- Patimaleh, I. B. (2022). *Above Ground Carbon Stock across Different Land Use Types in Central Kalimantan Indonesia – First Step Toward Redd Implementation*. <https://consensus.app/papers/above-ground-carbon-stock-across-different-land-use-types-patimaleh/8b5a830ae656549aa1850e5f836698bc/>
- Prayitno, M. B., & Saputra, B. D. (2024). Estimation of carbon sequestration of undergrowth and litter in post-burn and unburned peatland in agrosilvofishery demonstration plots, Sepucuk, Ogan Komering Ilir. *Jurnal Lahan Suboptimal: Journal of Suboptimal Lands*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.36706/jlso.13.1.1024.673>
- PT Resource Alam Indonesia Tbk. (2024). *Keberlanjutan Lingkungan Hidup. PT Resource Alam Indonesia Tbk*. <https://raintbk.com/keberlanjutan/>
- Santoso, Y. B., Soendjoto, M. A., Itta, D., & Wahyudi, F. (2021). Keragaman Spesies Herba dan Kemiripan Komunitas Tumbuhan pada Dua Periode Pemantauan Berurutan di Area Reklamasi PT Adaro Indonesia, Provinsi Kalimantan Selatan, Indonesia. *Jurnal Sylva Scientiae*, 4(2), 365–372.
- Setyowati, R. D. N., Amala, N. A., & Aini, N. N. U. (2018). Studi Pemilihan Tanaman Revegetasi Untuk Keberhasilan Reklamasi Lahan Bekas Tambang. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(1), 14–20. <https://doi.org/10.29080/alard.v3i1.256>
- SNI 7724. (2019). *SNI 7724-Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon – Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon berbasis lahan (land-based carbon accounting)*. Badan Standarisasi Nasional.
- Sudrajat, S., Widhayasa, B., Rusdiansyah, R., & Susanto, D. (2019a). Rhizosphere fungal community, soil physicochemical properties, understory vegetation and their relationship during post-coal mining reclamation in East Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20(7). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200723>
- Sudrajat, S., Widhayasa, B., Rusdiansyah, R., & Susanto, D. (2019b). Rhizosphere fungal community, soil physicochemical properties, understory vegetation and their relationship during post-coal mining reclamation in East Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological*

- Diversity*, 20(7).
<https://doi.org/10.13057/biodiv/d200723>
- Ulfah, A. N., Soendjoto, M. A., Peran, S. B., & Wahyudi, F. (2020). Keragaman Spesies Herba-Liana dan Kemiripan Komunitasnya di Area Reklamasi PT Adaro Indonesia, Provinsi Kalimantan Selatan, Indonesia. *Jurnal Sylva Scienteeae*, 3(3), 432. <https://doi.org/10.20527/jss.v3i3.2176>
- Wiryono, W., Munawar, A., & Suhartoyo, H. (2017). *Restorasi Ekosistem Hutan Pasca Penambangan Batubar*. Pertelon Media.
- Woodbury, D. J., Yassir, I., Arbainsyah, Doroski, D. A., Queenborough, S. A., & Ashton, M. S. (2020). Filling a void: Analysis of early tropical soil and vegetative recovery under leguminous, post-coal mine reforestation plantations in East Kalimantan, Indonesia. *Land Degradation & Development*, 31(4), 473–487. <https://doi.org/10.1002/ldr.3464>
- Yusuf, W. A., Susilawati, H. L., Wihardjaka, A., Harsanti, E. S., Adriany, T. A., Dewi, T., Pramono, A., Kurnia, A., Sukarjo, Y. I. F., Viandari, N. A., Yulianingsih, E., Zulaehah, I., Sarah, Apriyani, S., H, C. O., M, R. F., Hidayah, A., Zu'amah, H., ... Husaini, M. (2023). *Kerusakan dan Pencemaran Lingkungan Pertanian: Karakteristik dan Penanggulangannya*. UGM PRESS.