

Studi Pendahuluan: Pengukuran Stok Karbon Mangrove Pada Tiga Kondisi Mangrove
Yang Berbeda di Mangrove Center Balikpapan
Mohammad Sumiran Paputungan, Irwan Ramadhan Ritonga, Irma Suryana, dkk

STUDI PENDAHULUAN: PENGUKURAN STOK KARBON MANGROVE PADA TIGA KONDISI MANGROVE YANG BERBEDA DI MANGROVE CENTER BALIKPAPAN

(CARBON STOCK MEASUREMENT FROM THREE DIFFERENT MANGROVE CONDITIONS IN MANGROVE CENTER BALIKPAPAN: A PRELIMINARY STUDY)

Mohammad Sumiran Paputungan*, Irwan Ramadhan Ritonga**, Irma Suryana**,
Naomi Loto'***, I Wayan Eka Dharmawan****, Zhikry Fitriani*****

*Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Mulawarman
Jl. Gunung Tabur Kampus Gunung Kelua, Samarinda, Kalimantan Timur
Email: sumiranpaputungan@fpik.unmul.ac.id

** Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Mulawarman
Jl. Gunung Tabur Kampus Gunung Kelua, Samarinda, Kalimantan Timur

*** Mahasiswa Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Mulawarman
Jl. Gunung Tabur Kampus Gunung Kelua, Samarinda, Kalimantan Timur

****Pusat Riset Oseanografi Badan Riset dan Inovasi Nasional
Jalan Pasir Putih 1, Ancol Timur, Jakarta Utara, D.K.I. Jakarta

*****Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Provinsi Kalimantan Timur
Jl. MT. Haryono No. 126 Samarinda, Kalimantan Timur

Diterima: 29/10/2022; Direvisi: 17/11/2022; Disetujui: 09/12/2022

ABSTRAK

Data stok karbon dan serapan karbon pada ekosistem *blue carbon* dibutuhkan dalam perhitungan skenario mitigasi perubahan iklim pada sektor pesisir dan laut. Ketersediaan data stok karbon di ekosistem mangrove pada level provinsi di Kalimantan Timur masih terbatas, salah satunya di area mangrove di Mangrove Center Balikpapan. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung stok karbon pada tiga kondisi mangrove yang berbeda di Mangrove Center Balikpapan. Studi pendahuluan ini melakukan pengambilan data di tiga kelas mangrove yaitu rusak, sedang, dan bagus sekali. Data struktur komunitas mangrove diambil menggunakan aplikasi MonMang 2. Stok karbon di biomassa mangrove diestimasi menggunakan persamaan allometrik biomassa mangrove berdasarkan genus. Pipa PVC berdiameter 7,6 cm dan panjang 130 cm digunakan untuk mengambil sampel tanah hingga kedalaman 1 m dan dipotong dengan interval kedalaman sampel 10 cm. Konsentrasi karbon organik di tanah diukur menggunakan metode *loss of ignition*. Data struktur komunitas menunjukkan bahwa pohon mangrove di lokasi penelitian banyak didominasi oleh pohon berdiameter 10-20 cm (42%). Persentasi kehadiran pohon berdiameter kecil <5 cm banyak ditemukan di area yang rusak dengan stok karbon yang rendah pada biomassa mangrove (16,33 ton-C/ha). Namun, stok karbon tertinggi di tanah ditemukan di area mangrove yang rusak (694,52 ton-C/ha), sedangkan yang terendah didapatkan di kondisi mangrove yang bagus sekali (530,43 ton-C/ha). Hasil penelitian mengindikasikan bahwa stok karbon yang tersimpan di tanah mangrove tidak dipengaruhi oleh kondisi kesehatan mangrove saat ini.

Kata kunci: Stok karbon; Indeks kesehatan mangrove; Mangrove Center Balikpapan.

ABSTRACT

Data on carbon stock and carbon sequestration of blue carbon ecosystems are needed for estimating their capability in climate change mitigation scenarios from marine and coastal sectors. The availability of carbon stock data in the mangrove ecosystem at a provincial level in East Kalimantan is limited, particularly in the mangrove area at the Mangrove Center Balikpapan (MCB). The goal of this research was to calculate the mangrove carbon stock in the MCB, based on the mangrove health index. Biomass and soil samples were obtained from three sites: mangrove poor, mangrove moderate, and mangrove excellent locations. MonMang 2 was used for monitoring data of mangrove community structure during field activities. Mangrove biomass carbon stocks were estimated using a specific mangrove genus allometric equation. Soil samples were collected by using 7.6 cm diameter of PVC pipes 130 cm in length and were sectioned with 10 cm depth intervals. Organic carbon concentrations in the soil were measured by using loss of ignition method. The results observed that the mangrove trees in the study area were dominated by trees with a diameter of 10-20 cm (42%). Trees with small diameters (<5 cm) were dominantly found in the mangrove poor area and had low carbon stocks in mangrove biomass (16,33 t-C/ha). However, the highest carbon stock in sediments was found in the mangrove poor area (694.52 t-C/ha) and the lowest was found in the mangrove excellent area (530.43 t-C/ha). The study results indicated that the carbon stock stored in mangrove sediments is not affected by the current mangrove health condition.

Keywords: Carbon stock; Mangrove health index; Mangrove Center Balikpapan.

PENDAHULUAN

Mangrove merupakan salah satu ekosistem *blue carbon* yang memiliki kemampuan dalam menyerap CO₂ melalui proses fotosintesis dan menyimpan karbon dalam bentuk biomassa dan di dalam tanah (Howard et al., 2014). Tidak seperti hutan daratan, ekosistem blue carbon menyimpan karbon dalam jumlah besar per ha dan dalam waktu yang lama di bagian tanah (McLeod et al., 2011). Penyimpanan karbon dalam tanah bahkan mencapai kedalaman lebih dari 1 meter (Murdiyarso et al., 2015).

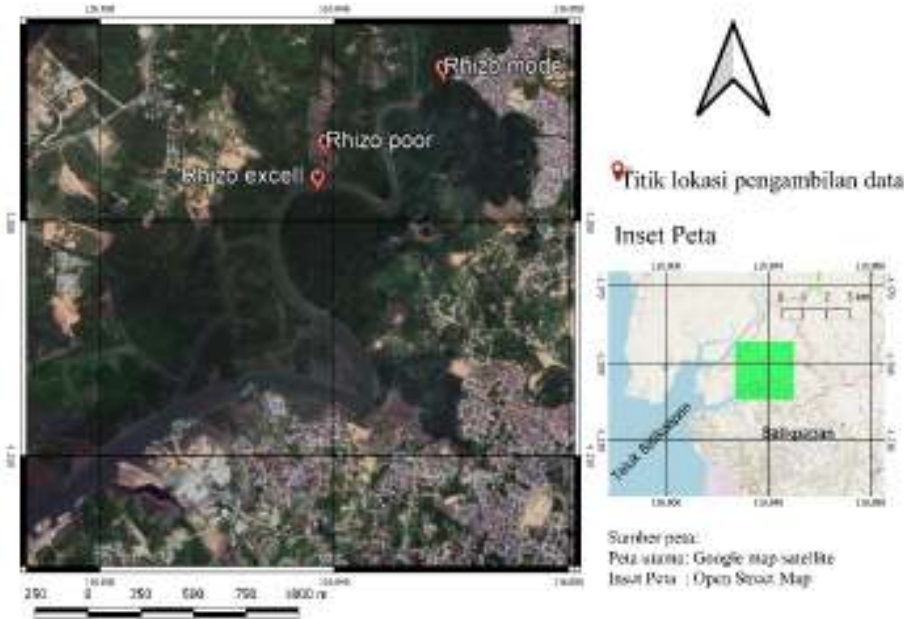
Hasil kompilasi data stok karbon terkini di ekosistem mangrove Indonesia oleh LIPI dan KKP menunjukkan karbon yang tersimpan di mangrove diestimasi mencapai 891,70 Ton C/ha (Wahyudi et al., 2018). Apabila tidak dikelola dengan baik, mangrove dapat menghasilkan emisi karbon hingga 0,03 Gt CO₂-eq, yang utamanya disebabkan oleh konversi mangrove menjadi tambak (Adi et al., 2020). Pemerintah Indonesia telah memasukkan sektor pesisir dan laut, termasuk peran penting ekosistem *blue carbon*, ke dalam sektor prioritas pembangunan rendah karbon upaya mitigasi perubahan iklim (Adi et al., 2020; National Development Planning Agency (Bappenas), 2020).

Ketersediaan data stok karbon ekosistem mangrove sangat penting sebagai data baseline dalam inventarisasi data gas rumah kaca dari ekosistem *blue carbon* (Adi et al., 2020; Howard et al., 2017). Saat ini perhitungan emisi baseline dan proyeksi emisi karbon dari ekosistem mangrove pada level provinsi di Kalimantan Timur belum tersedia. Inventarisasi data stok karbon di ekosistem mangrove Kalimantan Timur telah dilakukan di Delta Berau (Kusumaningtyas et al., 2019) dan Delta Mahakam (Arifanti et al., 2018), sedangkan ketersediaan data stok karbon ekosistem mangrove di Mangrove Center Balikpapan masih terbatas. Mangrove Center Balikpapan merupakan area restorasi mangrove yang diinisiasi sejak tahun 2001 (Tim Peneliti Badan Penelitian & dan Pengembangan Daerah Provinsi Kalimantan Timur, 2021). Studi awal ini bertujuan untuk menghitung stok karbon pada tiga kondisi mangrove yang berbeda di Mangrove Center Balikpapan.

METODE

Pengambilan data di area Mangrove Center Balikpapan yang terletak di Kelurahan Graha Indah Kota Balikpapan (Gambar 1) dilakukan pada bulan Juli 2022. Titik pengambilan data

ditentukan berdasarkan analisis awal kondisi kesehatan mangrove dari Citra Satelit Sentinel-2A di area sekitar Mangrove Center Balikpapan hingga perairan Sungai Sumber, menuju ke perairan Teluk Balikpapan. Data citra bebas awan yang diambil berasal dari agregasi koleksi data citra tahun 2020-2021 di lokasi penelitian yang telah direduksi menggunakan nilai median piksel setiap *band* dan kemudian dilakukan klasifikasi area mangrove menggunakan metode *Random Forest Classification* (Ghorbanian et al. (2021); Sugiana et al. (2022)). Selanjutnya dilakukan perhitungan sebaran indeks kesehatan mangrove menggunakan persamaan yang telah dikembangkan oleh Dharmawan (2021). Seluruh proses tersebut dilakukan pada program *google earth engine*.



Gambar 1. Titik stasiun pengambilan data lapangan di area Mangrove Center Balikpapan. Rhizo mode merupakan St 1 yang berada dekat dengan lokasi kantor mangrove center dan merupakan area restorasi. Rhizo poor merupakan St 2 yang berada di lokasi bekas tambak dan dalam proses tahap restorasi, sedangkan Rhizo excell merupakan St 3 yang berlokasi di area mangrove alami.

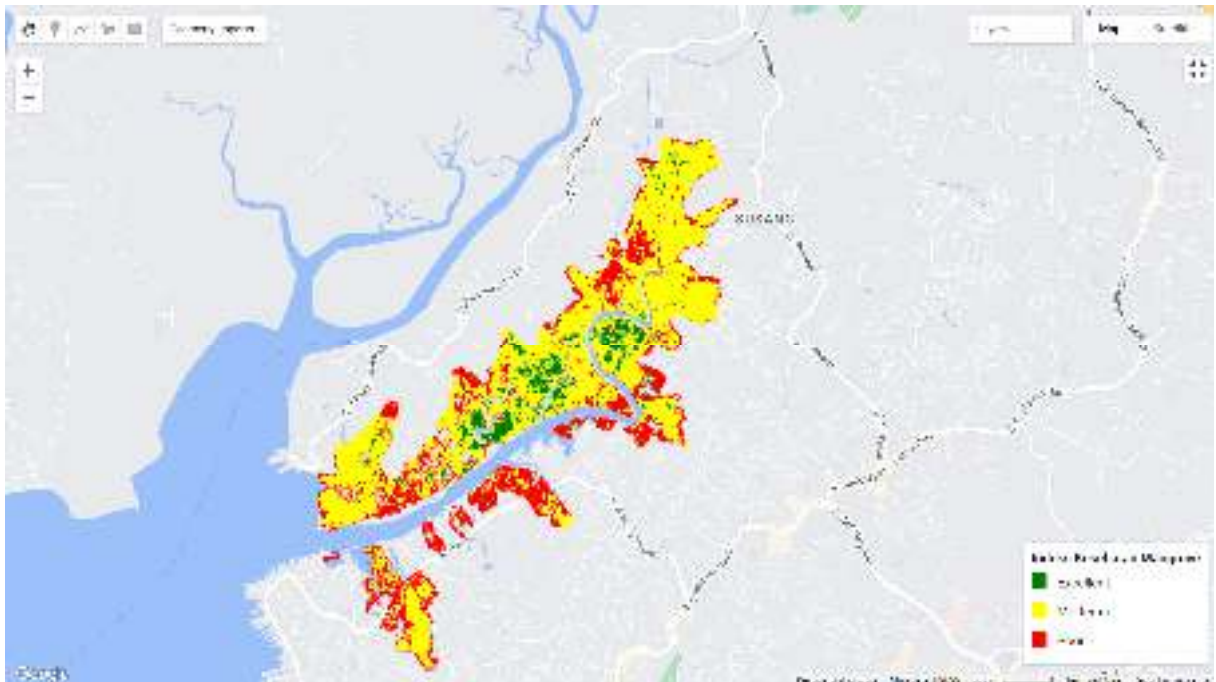
Stasiun 1 berada pada koordinat $1^{\circ}11'39.50''$ LS dan $116^{\circ}50'40.80''$ BT, Stasiun 2 berada pada koordinat $1^{\circ}11'50.90''$ LS dan $116^{\circ}50'22.60''$ BT, dan Stasiun 3 berada pada koordinat $1^{\circ}11'56.30''$ LS dan $116^{\circ}50'21.50''$ BT. Data lapangan yang diambil meliputi data diameter batang pohon/diameter at breast heigh (DBH) pada ketinggian 130 cm pada setiap pohon yang memiliki tinggi lebih dari 130 cm (Kauffman et al., 2011) yang berada di dalam transek 100 m². Data DBH diukur dan direkam pada aplikasi MonMang2. Selain itu, dilakukan pengambilan sampel tanah secara vertikal hingga kedalaman 1 m dengan menggunakan pipa PVC berdiameter 7,5 cm yang selanjutnya dipotong dengan interval kedalaman sampel tanah 10 cm. Metode pengambilan data DBH dan sampel tanah tersebut mengikuti panduan yang dijelaskan oleh (Howard et al., 2014).

Perhitungan stok karbon biomassa mangrove yaitu biomassa atas dan biomassa bawah dihitung menggunakan persamaan alometrik biomassa genus (Kauffman et al., 2011) dan persamaan umum alometrik biomassa (Komiyama et al., 2008) yang kemudian dikonversi ke dalam karbon menggunakan faktor konversi biomassa-karbon yaitu 46,4% (Kauffman et al., 2011). Stok karbon di tanah dihitung berdasarkan nilai *bulk density* dan konsentrasi karbon organik tiap interval sampel tanah. Konsentrasi karbon organik dihitung menggunakan metode *loss of ignition* untuk menghitung kadar bahan organik dan dilanjutkan menggunakan

persamaan Ouyang & Lee (2020) untuk menghitung konsentrasi karbon organiknya. Total stok karbon mangrove (ton-C/ha) dihitung dari penjumlahan stok karbon pada biomassa dan stok karbon pada tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis sebaran indeks kesehatan mangrove di area mangrove sekitar Mangrove Center Balikpapan hingga perairan Sungai Somber yang mengarah ke Teluk Balikpapan, menunjukkan bahwa kondisi mangrove berada dalam tingkat sangat baik (*excellent*), cukup baik/sedang (*moderate*) dan buruk (*poor*). Berdasarkan luas tutupan mangrove yaitu 442,93 ha diindikasikan bahwa 27,95% berada dalam kondisi buruk, 64,30% berada dalam kondisi cukup baik, dan 7,76% berada dalam kondisi sangat baik. Kondisi mangrove di area tersebut dominan berada dalam kondisi cukup baik (Gambar 2). Penelitian sebelumnya oleh Pratama (2018) tentang kondisi mangrove di Teluk Balikpapan menggunakan nilai NDVI juga mendapatkan kondisi mangrove kategori sedang di sekitar lokasi penelitian ini. Validasi data lapangan masih perlu dilakukan untuk meningkatkan akurasi analisis sebaran indeks kesehatan mangrove di Mangrove Center Balikpapan, terutama pada skala komunitas.



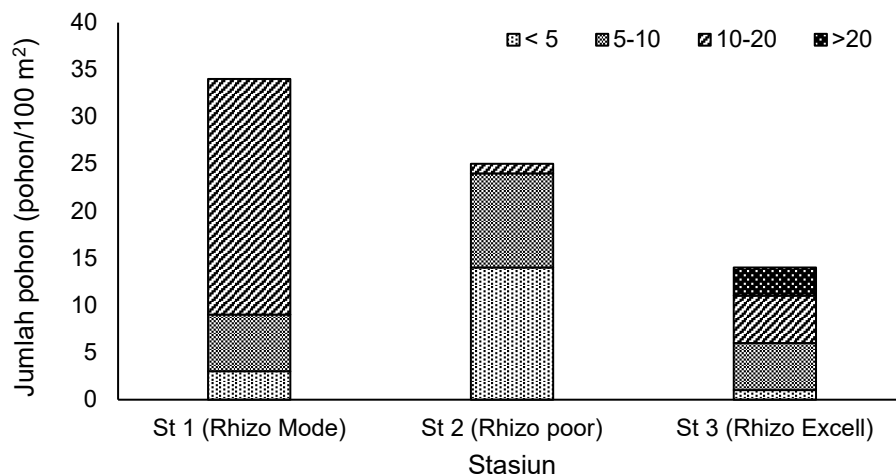
Gambar 2. Distribusi indeks kesehatan mangrove di area mangrove sekitar Mangrove Center Balikpapan dan perairan Sungai Somber. Warna merah merupakan zona mangrove rusak, warna kuning merupakan zona mangrove cukup baik dan warna hijau merupakan zona mangrove sangat baik. Kotak hitam merupakan lokasi penelitian di sekitar area Mangrove Center Balikpapan

Mangrove di lokasi pengambilan data didominasi oleh genus *Rhizophora*. Sebaran pohon mangrove pada setiap stasiun pengambilan data berdasarkan kondisi indeks kesehatan mangrove terlihat berbeda (Gambar 3). St 1 merupakan lokasi mangrove *Rhizophora* yang berada di area mangrove *moderate*, St 2 merupakan lokasi mangrove *Rhizophora* yang berada di area mangrove *poor* dan St 3 merupakan lokasi mangrove *Rhizophora* yang berada di area mangrove *excellent*.

Lokasi mangrove *poor* didominasi oleh pohon-pohon kecil/pancang (DBH < 5 cm), sedangkan lokasi mangrove *moderate* dan *excellent* lebih didominasi oleh kerapatan pohon

besar (DBH > 5 cm). Lokasi mangrove *excellent* memiliki pohon-pohon yang berdiameter besar (DBH > 20 cm) dibandingkan lokasi mangrove *poor* dan *moderate*. Penelitian lanjutan perlu dilakukan terhadap kondisi struktur komunitas mangrove secara keseluruhan menggunakan aplikasi MonMang yang bertujuan untuk memvalidasi hasil penafsiran awal indeks kesehatan mangrove menggunakan data citra satelit. Hal ini disebabkan tutupan kanopi, DBH, dan densitas pohon (termasuk kehadiran semai) berpengaruh terhadap nilai indeks kesehatan mangrove (Dharmawan, 2021; Sugiana et al., 2022). Hasil pengamatan visual di lapangan mengindikasikan bahwa mangrove zona *poor* pada Gambar 2 dicirikan dengan kondisi mangrove yang tidak memiliki kanopi (*dieback*) dan tegakan pohon yang jarang atau didominasi oleh substrat kosong.

Densitas pohon (DBH > 5cm) tertinggi terdapat pada area mangrove *moderate* dengan jumlah pohon 31 pohon/100 m² (Gambar 3). Area mangrove *moderate* yang menjadi tempat pengambilan data berada dekat dengan kantor pengelola Mangrove Center Balikpapan dan merupakan wilayah restorasi lama. Menurut Tim Peneliti Badan Penelitian & Pengembangan Daerah Provinsi Kalimantan Timur (2021) kegiatan restorasi di area Mangrove Center Balikpapan telah dimulai sejak tahun 2001. Diduga aktivitas penanaman mangrove yang dulu dilakukan oleh manusia di area tersebut berpengaruh terhadap komposisi jumlah pohon yang ada saat ini di area mangrove *moderate* tersebut. Berdasarkan informasi yang didapatkan dari pengelola Mangrove Center Balikpapan, aktivitas penanaman tidak dilakukan di lokasi mangrove *excellent* yang menjadi tempat lokasi pengambilan data.



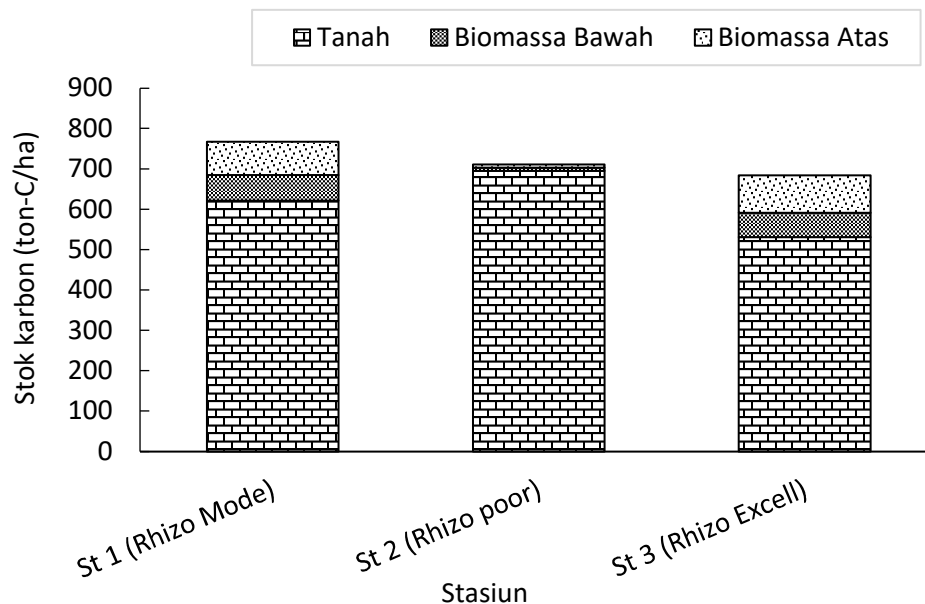
Gambar 3. Sebaran DBH pohon di tiap lokasi pengambilan data. Rhizo mode adalah area mangrove cukup baik, Rhizo *poor* adalah area mangrove rusak dan Rhizo *excell* adalah area mangrove sangat baik

Stok karbon pada biomassa di lokasi penelitian berkisar antara 16,33-153,59 Ton C/ha dengan rata-rata 105,19 ±44,45 ton-C/ha (Gambar 4). Stok karbon biomassa terendah ditemukan di St 2 yaitu zona mangrove *poor* pada area penelitian, sedangkan stok karbon biomassa tertinggi terdapat di St 3 yaitu zona mangrove *excellent*. Hal ini dipengaruhi oleh jumlah pohon yang berdiameter besar yang banyak ditemukan di St 3 mangrove *excellent* (Gambar 3) yang menyebabkan tingginya biomassa di area tersebut. Menurut Kauffman et al. (2011) dan Camacho et al. (2011) bahwa zona mangrove yang didominasi oleh pohon yang besar memiliki biomassa yang tinggi. Hal yang sama juga ditemukan oleh Andiani et al. (2021) di mangrove Teluk Benoa yang memiliki stok karbon tertinggi di zona pohon mangrove berdiameter besar.

Stok karbon pada bagian tanah mangrove berkisar antara 530,43-694,52 ton-C/ha dengan rata-rata 615,42 ±58,13 ton-C/ha (Gambar 4). Hasil tersebut berkebalikan dengan stok karbon

di biomassa, yang mana stok karbon tanah tertinggi terdapat di St 2 yang berlokasi di mangrove *poor* dan stok karbon tanah terendah terdapat di St 3 yang berlokasi di mangrove *excellent*. Cameron et al. (2019) dalam penelitiannya di area mangrove Tiwoho Sulawesi Utara juga menemukan stok karbon di tanah mangrove yang tinggi yang berada di area yang tidak bervegetasi. Hal yang sama juga ditemukan oleh Perdomo-Trujillo et al. (2021) yang mana terdapat simpanan karbon yang tinggi ditemukan pada tanah dengan struktur komunitas mangrove yang rendah. Hasil ini mengindikasikan bahwa jumlah karbon yang tersimpan di bagian tanah mangrove tidak dipengaruhi oleh kondisi kesehatan ekosistem mangrove terkini.

Hasil penelitian ini juga memberikan gambaran bahwa area mangrove yang rusak diduga masih menyimpan karbon dalam jumlah yang tinggi, sehingga dapat diusulkan sebagai lokasi prioritas untuk direhabilitasi. Berdasarkan data stok karbon pada Gambar 4, maka perlu dilakukan upaya penanaman mangrove pada lokasi St 2 yang berada di area mangrove *poor*, agar dapat mengembalikan kondisi vegetasi yang rusak menjadi baik kembali, sehingga dapat menjaga keberlanjutan penyimpanan karbon di bagian tanah pada area mangrove tersebut. Kondisi ekosistem yang baik akan terus mengakumulasi karbon di bagian tanah (Howard et al., 2017).



Gambar 4 Hasil perhitungan stok karbon di area Mangrove Center Balikpapan pada tiga kondisi mangrove berbeda. Rhizo mode adalah area mangrove cukup baik, Rhizo poor adalah area mangrove rusak dan Rhizo excell adalah area mangrove sangat baik

Total stok karbon di lokasi penelitian berkisar antara 683,89-766,69 Ton C/ha dengan rata-rata $720,48 \pm 24,38$ ton-C/ha (Gambar 4). Lokasi mangrove *excellent* memiliki simpanan karbon terendah dan lokasi mangrove *moderate* menyimpan karbon yang banyak. Simpanan karbon yang tinggi tersebut dipengaruhi oleh stok karbon yang tinggi di bagian tanah. Berdasarkan total stok karbon di area penelitian, bahwa 85,43% karbon tersimpan di bagian tanah. Hal yang sama juga ditemukan oleh penelitian-penelitian sebelumnya yang membuktikan bahwa tanah mangrove mampu menyimpan jumlah karbon yang banyak (Cameron et al., 2019; Murdiyarso et al., 2015; Dung et al., 2016; Siteo et al. 2014; Kusumaningtyas et al., 2019; Arifanti et al., 2018).

Rata-rata stok karbon biomassa mangrove di Mangrove Center Balikpapan tidak berbeda jauh dibandingkan stok karbon biomassa di Delta Mahakam yaitu 118 ± 8 ton-C/ha (Arifanti et

al., 2018), namun terlihat lebih rendah dibandingkan dengan stok karbon mangrove di Tanjung Batu Berau yaitu $130,1 \pm 32,1$ ton-C/ha (Kusumaningtyas et al., 2019). Hal tersebut disebabkan oleh komposisi pohon mangrove yang memiliki diameter hingga 50,2 cm yang lebih banyak ditemukan di Tanjung Batu Berau (Kusumaningtyas et al., 2019). Namun, rata-rata stok karbon di tanah (hingga kedalaman 1 m) di lokasi penelitian lebih tinggi dibandingkan dengan di area mangrove Delta Mahakam yang dihitung oleh Arifanti et al., (2018) yaitu 317 ± 26 ton-C/ha dan di area mangrove Tanjung Batu Berau yaitu 486 ± 197 ton-C/ha (Kusumaningtyas et al., 2019).

Stok karbon yang tinggi di ekosistem mangrove di area Mangrove Center Balikpapan, terutama di bagian tanah, memberikan informasi penting terkait layanan ekosistem mangrove di area tersebut dalam mitigasi perubahan iklim yang mana perlu dijaga keberlanjutannya. Data stok karbon tersebut memberikan gambaran awal jumlah karbon yang dapat hilang/menjadi emisi CO₂ apabila area mangrove terdegradasi (Kusumaningtyas et al., 2019). Namun, perlu dilakukan perhitungan laju akumulasi karbon untuk mendapatkan gambaran saat ini mengenai jumlah laju karbon yang diserap dan disimpan oleh ekosistem mangrove di area Mangrove Center Balikpapan.

KESIMPULAN

Area Mangrove Center Balikpapan diestimasi menyimpan karbon sebanyak $720,48 \pm 24,38$ ton-C/ha. Studi pendahuluan ini menduga kondisi keheatan mangrove terkini di Mangrove Center Balikpapan tidak berpengaruh terhadap jumlah simpanan karbon di tanah.

REKOMENDASI

Restorasi dan konservasi sangat penting dilakukan di area Mangrove Center Balikpapan secara berkelanjutan untuk mendukung penyimpanan dan penyerapan karbon oleh ekosistem mangrove dalam waktu yang lama. Selanjutnya, emisi baseline dan proyeksi emisi karbon dari ekosistem mangrove di Kalimantan Timur perlu segera dihitung untuk mendukung upaya mitigasi perubahan iklim dari sektor pesisir dan laut di level Provinsi Kalimantan Timur.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh dana PNPB Universitas Mulawarman Tahun Anggaran 2022. Ucapan terima kasih untuk Bapak Agus Bei selaku pengelola Mangrove Center Balikpapan, yang telah mendukung pelaksanaan kegiatan pengambilan data di lapangan. Kegiatan pengambilan data dibantu oleh Firman (tenaga kependidikan di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Mulawarman) dan Herianto (Mahasiswa Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Mulawarman). Kegiatan pengolahan sampel didukung oleh Laboratorium Kualitas Air dan Laboratorium dan Laboratorium Biodiversitas Akuatik Universitas Mulawarman.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, S. N., Papatungan, M. S., Rustam, A., Harjuno Condro Haditomo, A., & Medrilzam. (2020). Estimating carbon emission and baseline for blue carbon ecosystems in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 530(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/530/1/012030>
- Andiani, A. A. E., Karang, I. W. G. A., Putra, I. N. G. P., & Dharmawan, I. W. E. (2021). *HUBUNGAN ANTAR PARAMETER STRUKTUR TEGAKAN MANGROVE DALAM ESTIMASI SIMPANAN KARBON ABOVEGROUND PADA SKALA KOMUNITAS*. 13(December), 483–496.
- Arifanti, V. B., Kauffman, J. B., Hadriyanto, D., Murdiyarso, D., & Diana, R. (2018). Carbon dynamics and land use carbon footprints in mangrove-converted aquaculture: the case of

the Mahakam Delta, Indonesia. *Forest Ecology and Management*, 432, 17–29.

- Camacho, L. D., Gevaña, D. T., Carandang, A. P., Camacho, S. C., Combalicer, E. A., Rebugio, L. L., & Youn, Y. C. (2011). Tree biomass and carbon stock of a community-managed mangrove forest in Bohol, Philippines. *Forest Science and Technology*, 7(4), 161–167. <https://doi.org/10.1080/21580103.2011.621377>
- Cameron, C., Hutley, L. B., Friess, D. A., & Brown, B. (2019). Community structure dynamics and carbon stock change of rehabilitated mangrove forests in Sulawesi, Indonesia. *Ecological Applications*, 29(1). <https://doi.org/10.1002/eap.1810>
- Dharmawan, I. W. E. (2021). Mangrove health index distribution on the restored post-tsunami mangrove area in Biak Island, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 860(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/860/1/012007>
- Dung, L. V., Tue, N. T., Nhuan, M. T., & Omori, K. (2016). Carbon storage in a restored mangrove forest in Can Gio Mangrove Forest Park, Mekong Delta, Vietnam. *Forest Ecology and Management*, 380, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.08.032>
- Ghorbanian, A., Zaghian, S., Asiyabi, R. M., Amani, M., Mohammadzadeh, A., & Jamali, S. (2021). Mangrove ecosystem mapping using sentinel-1 and sentinel-2 satellite images and random forest algorithm in google earth engine. *Remote Sensing*, 13(13), 1–18. <https://doi.org/10.3390/rs13132565>
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., Pidgeon, E., & (eds.). (2014). *Coastal blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/ioc-oceans/sections-and-programmes/ocean-sciences/ocean-carbon/coastal-blue-carbon/>
- Howard, J., Sutton-Grier, A., Herr, D., Kleypas, J., Landis, E., Mcleod, E., Pidgeon, E., & Simpson, S. (2017). Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(1), 42–50. <https://doi.org/10.1002/fee.1451>
- Kauffman, J. B., Heider, C., Cole, T. G., Dwire, K. A., & Donato, D. C. (2011). Ecosystem carbon stocks of micronesia mangrove forests. *Wetlands*, 31(2), 343–352. <https://doi.org/10.1007/s13157-011-0148-9>
- Komiyama, A., Ong, J. E., & Pongpam, S. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 128–137. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.006>
- Kusumaningtyas, M. A., Hutahaean, A. A., Fischer, H. W., Pérez-Mayo, M., Ransby, D., & Jennerjahn, T. C. (2019). Variability in the organic carbon stocks, sources, and accumulation rates of Indonesian mangrove ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 218(May 2018), 310–323. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.12.007>
- McLeod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Lovelock, C. E., Schlesinger, W. H., & Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552–560. <https://doi.org/10.1890/110004>

- Murdiyarto, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., Donato, D. C., Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S., & Kurnianto, S. (2015). The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 5(12), 1089–1092. <https://doi.org/10.1038/nclimate2734>
- National Development Planning Agency (Bappenas). (2020). Rpjmn 2020-2024. *National Mid-Term Development Plan 2020-2024*, 313. <https://www.bappenas.go.id/id/data-dan...dan.../rpjmn-2015-2019/>
- Ouyang, X., & Lee, S. Y. (2020). Improved estimates on global carbon stock and carbon pools in tidal wetlands. *Nature Communications*, 11(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-14120-2>
- Perdomo-Trujillo, L. V., Mancera-Pineda, J. E., Medina-Calderón, J. H., Sánchez-Núñez, D. A., & Schnetter, M. L. (2021). Effect of restoration actions on organic carbon pools in the lagoon—delta ciénaga grande de santa marta, colombian caribbean. *Water (Switzerland)*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/w13091297>
- Pratama, M. R. (2018). Analisis Sebaran dan Kerapatan Mangrove di Teluk Balikpapan Kecamatan Balikpapan Barat. *The Indonesian Green Technology Journal*, 7(2), 40–46. <https://doi.org/10.21776/ub.igtj.2018.007.02.02>
- Sitoe, A. A., Mandlate, L. J. C., & Guedes, B. S. (2014). Biomass and carbon stocks of Sofala Bay mangrove forests. *Forests*, 5(8), 1967–1981. <https://doi.org/10.3390/f5081967>
- Sugiana, I. P., Andiani, A. A. E., Pradnyandari Dewi, I. G. A. I., Astawa Karang, I. W. G., As-Syakur, A. R., & Dharmawan, I. W. E. (2022). Spatial distribution of mangrove health index on three genera dominated zones in Benoa Bay, Bali, Indonesia. *Biodiversitas*, 23(7), 3407–3418. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230713>
- Tim Peneliti Badan Penelitian, & dan Pengembangan Daerah Provinsi Kalimantan Timur. (2021). KAJIAN EKSISTENSI DAN KEMANFAATAN KAWASAN HUTAN MANGROVE CENTER KARIANGAU (TINJAUAN STRATEGIS SEBAGAI SALAH SATU KAWASAN KONSERVASI HUTAN MANGROVE YANG HARUS DILESTARIKAN). In *BIDANG INOVASI DAN TEKNOLOGI BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN DAERAH PROVINSI KALIMANTAN TIMUR*.
- Wahyudi, A. J., Afdal, Adi, N. S., Rustam, A., Hadiyanto, Rahmawati, S., Irawan, A., Dharmawan, I Wayan Eka, Prayudha, Bayu Hafizt Hanif, M., Prayitno, H. B., Rahayu, Yusmiana P Solihudin, T., Ati, R. N. A., Kepel, T. L., Astrid, M. K., Daulat, A., Salim, H. L., Sudirman, N., Suryono, D. D., Kiswara, W., & Supriyadi, I. H. (2018). *POTENSI CADANGAN DAN SERAPAN KARBON EKOSISTEMMANGROVE DAN PADANG LAMUN INDONESIA*. www.grida.no