

Estimasi stok karbon tanah pada ekosistem mangrove di Muara Badak Ulu dan Salo Palai Kalimantan Timur

Tiara Dwici Puspo Ningrum¹, Rita Diana^{1*}, Rustam¹

¹Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman

*E-mail: ritadiana@fahutan.unmul.ac.id

Artikel diterima : Revisi diterima :

ABSTRACT

Mangrove ecosystems are forest ecosystems that can grow and develop in tidal areas and rivers with muddy soil conditions. The existence of this ecosystem has an important role in storing large amounts of carbon to control global warming. Global warming occurs due to rising earth surface temperatures due to anthropogenic activities that will increase the concentration of greenhouse gases (GHG). One of the GHGs that has a high contribution to global warming is carbon dioxide (CO₂). In the mangrove ecosystem, carbon storage can occur four times higher than in terrestrial forests, especially in the subsurface of mangroves. Carbon sequestration in mangrove soils is estimated to have great potential. The purpose of the research was to find out how much soil carbon was stored in mangrove ecosystems in the villages of Muara Badak Ulu and Salo Palai in Kutai Kartanegara, East Kalimantan. Soil bulk density and organic carbon content are the main parameters used to determine the value of soil carbon stocks. In the results of this study, it was found that soil carbon stock values that are in the 50–100 cm depth interval have high soil carbon stocks. The soil carbon stock in the mangrove ecosystem of Muara Badak Village is low, with a total range of soil carbon stocks of 246.39 tons/ha in Muara Badak Ulu and 267.94 tons/ha in Salo Palai.

Keyword: Mangrove ecosystem, mitigation, bulk density, global warming, soil carbon stock.

ABSTRAK

Ekosistem mangrove merupakan ekosistem hutan yang memiliki kemampuan tumbuh dan berkembang di daerah pasang-surut pantai serta sungai dengan kondisi tanah yang berlumpur. Keberadaan ekosistem ini memiliki peranan penting dalam penyimpanan karbon dengan jumlah besar untuk pengendalian pemanasan global. Pemanasan global terjadi akibat naiknya suhu permukaan bumi oleh adanya aktivitas antropogenik yang akan meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca (GRK). Salah satu GRK yang memiliki kontribusi tinggi dalam pemanasan global adalah karbon dioksida (CO₂). Pada ekosistem mangrove penyimpanan karbon dapat terjadi 4 kali lebih tinggi dibandingkan dengan hutan terestrial, terutama pada bagian bawah permukaan mangrove. Penyerapan karbon pada tanah mangrove diperkirakan dapat berpotensi besar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah stok karbon tanah pada ekosistem mangrove di desa Muara Badak Ulu dan Salo Palai Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. Kerapatan lindak (soil bulk density) dan kandungan karbon organik menjadi parameter utama untuk mengetahui nilai stok karbon tanah. Dari hasil penelitian ini didapatkan nilai stok karbon tanah yang berada di interval kedalaman 50-100 cm memiliki stok karbon tanah yang tinggi. Stok karbon tanah pada ekosistem mangrove Kelurahan Muara Badak adalah rendah dengan total kisaran masing-masing stok karbon tanah sebesar 246,39 ton/ha di Muara Badak Ulu dan 267,94 ton/ha di Salo Palai.

Kata kunci: Ekosistem mangrove, mitigasi kerapatan lindak, pemanasan global, stok karbon tanah.

PENDAHULUAN

Melalui Pemetaan Mangrove Nasional (PMN) 2023, luasan mangrove eksisting yang berada di Indonesia memiliki kisaran ± 3.442.614 ha dengan potensi habitat mangrove seluas ± 777.636 ha. Dari total luas mangrove tersebut, sebaran mangrove eksisting yang berada di Kalimantan Timur di dalam maupun di luar kawasan hutan memiliki total luasan ± 240.005 ha dengan potensi habitat mangrove seluas ± 112.972 ha.

Pada dasarnya vegetasi mangrove memiliki kesamaan dengan hutan terestrial dalam proses penyimpanan cadangan karbon sebagai bentuk

mitigasi perubahan iklim (Diana dkk., 2021; Ola dkk., 2023). Namun, keberadaan ekosistem mangrove memiliki potensi tinggi dalam menyimpan karbon dengan perolehan hasil 4 kali lebih tinggi dari hutan terestrial pada bagian tanah mangrove (Donato dkk., 2012). Simpanan karbon tanah pada mangrove memiliki kandungan C sedang hingga tinggi, sehingga ketika ekosistem mangrove mengalami perubahan pemanfaatan lahan akan mempengaruhi respon mangrove (Donato dkk., 2012). Perlunya dilakukan konservasi mangrove pada lahan yang telah terdegradasi akan menjadikan strategi mitigasi perubahan iklim, dikarenakan stok karbon yang berada pada

ekosistem ini memiliki nilai simpanan karbon yang besar (Arifanti dkk., 2019; Diana dkk., 2023). Berdasarkan penyerapan karbon yang terjadi pada ekosistem mangrove terutama pada bagian tanah, maka penulis melakukan penelitian untuk mengetahui berapa besar stok karbon yang telah disimpan pada bagian tanah mangrove dan memberikan informasi tentang upaya dalam mitigasi pemanasan global. Penelitian ini akan dilaksanakan di kawasan hutan mangrove cakupan wilayah KPHP Delta Mahakam, Desa Muara Badak Ulu dan Salo Palai, Kelurahan Muara Badak, Kutai Kartanegara.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di cakupan kawasan hutan mangrove KPHP Delta Mahakam, desa Muara Badak Ulu dan Salo Palai. Desa Muara Badak Ulu dan Salo Palai secara administratif pemerintahan berada di Kecamatan Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Penelitian ini dilaksanakan kurang lebih 6 bulan efektif, yakni dimulai dari bulan Oktober 2022 hingga Maret 2023. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada (Gambar 1).



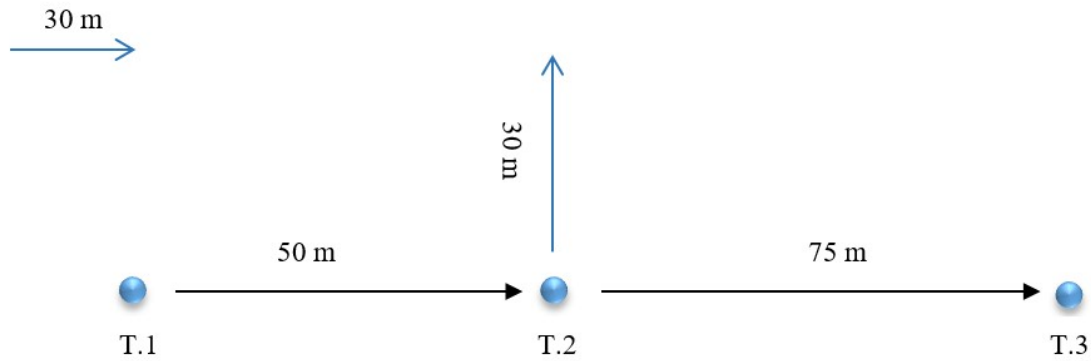
Gambar 1. Lokasi Penelitian di desa Muara Badak Ulu dan Salo Palai, Kecamatan Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bor gambut, *Ring Soil Sampler*, Cutter, meteran, timbangan analitik, GPS (*Global Positioning System*) atau Avenza Map, kompas, Roll meter, Aluminium foil, ajir/patok, parang, pH meter, *Tally sheet*, komputer, kamera, *plastic* dan label.

Prosedur Penelitian

Dalam menentukan titik pengambilan sampel tanah, sebelumnya dibuat plot menggunakan bentuk

plot contoh lingkaran yang terintegrasi oleh penelitian vegetasi dengan ukuran transek 125 m dengan jarak 25 m dari setiap plot yang didirikan secara tegak lurus sebanyak 6 plot contoh lingkaran. Kemudian, untuk mendapatkan sampel tanah dengan kedalaman, kepadatan massal dan konsentrasi karbon akan ditentukan secara komposit di setiap titik pengambilan sampel tanah. Titik pengambilan sampel ini berada pada transek di setiap sub-plot dengan menyesuaikan kondisi lapangan.



Gambar 2. Teknik dan metode pengambilan sampel tanah di lapangan

akan dianalisis di laboratorium, untuk mendapatkan perhitungan kandungan karbon.

Keterangan:

- : Titik pengambilan sampel tanah
- : Batas awal serta batas kanan-kiri dari tiap plot

Pengambilan sampel tanah mengacu pada rujukan tentang profil tanah mangrove Indo-Pasifik yaitu pada interval kedalaman tanah 0-15, 15-30, 30-50, 50-100 cm. Berikut prosedur pengambilan sampel tanah mangrove yang dilakukan dalam pengukuran kandungan karbon tanah mangrove:

1. Ambil sampel tanah menggunakan bor gambut dengan interval kedalaman tanah 0-15, 15-30, 30-50, 50-100 cm pada titik tengah plot. Pengambilan sampel akan bergantung pada variasi tingkat kedalaman genangan air pada hutan mangrove.
2. Setelah itu, sampel tanah yang berada pada bor gambut akan diukur menggunakan meteran untuk menentukan sub sampel dan dipotong sekitar 5 cm dari setiap interval kedalaman tanah (pengambilan sub sampel tanah akan dilakukan secara komposit). Sebagai contoh, sampel 0-15 cm idealnya akan diambil pada kedalaman 5-10 cm.
3. Sampel tanah yang telah dipotong, akan diletakkan pada *ring soil sampler* kemudian akan ditutup dengan *aluminium foil* untuk menjaga kelembaban tanah yang berada di *ring soil sampler*. Setelah itu, akan ditulis setiap interval kedalamannya pada tutup *ring soil sampler*.
4. Kemudian, *ring soil sampler* akan ditimbang menggunakan timbangan analitik untuk mengetahui berat basah di lapangan.
5. Sampel tanah yang berada pada *ring soil sampler* akan dimasukkan ke dalam plastik dan

Analisis Data

Analisis Kerapatan Lindak Tanah/*Bulk Density* (BD)

Pada sampel utuh tanah yang telah diambil pada *ring soil sampler* yang kemudian telah ditimbang dan dicatat hasil pengukurannya, maka volume tanah akan dihitung menggunakan rumus:

$$BD = \frac{\text{Berat tanah kering oven (gr)}}{\text{Volume tanah (cm}^3\text{)}} \text{ (gram/cm}^3\text{)}$$

Perhitungan Kandungan Karbon Tanah

Setelah mengetahui kerapatan lindak/*bulk density* pada tanah mangrove maka dapat dilakukan perhitungan kandungan karbon tanah yang tersimpan pada tanah mangrove. Untuk mengetahui kandungan karbon pada tanah mangrove maka akan dilakukan perhitungan menggunakan persamaan berikut (SNI7724, 2011):

$$C_t = K_d \times \rho \times \%C \text{ organik (gram/cm}^2\text{)}$$

Keterangan:

- C_t : Kandungan karbon tanah (g/cm²)
- K_d : Kedalaman contoh tanah (cm)
- ρ : Kerapatan lindak (*bulk density*) (g/cm³)
- % C organik : Nilai persentase kandungan karbon, menggunakan nilai persentase karbon yang

diperoleh dari hasil analisis di laboratorium.

Hitungan Kandungan Karbon Tanah Per-Hektar

$$C_{\text{tanah}} = C_t \times 100 \text{ (ton/ha)}$$

Keterangan:

- C_{tanah} : Kandungan organik tanah per hektar, dinyatakan dalam ton per hektar (ton/ha)
 C_t : Kandungan karbon tanah (g/cm²)
 100 : Faktor konversi dari g/cm² – ton/ha
 (1 g = 0,001 kg = 0,000001 ton)
 (1 cm² = 0,0001 m² = 0,00000001 ha)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di dua lokasi berbeda yaitu desa Muara Badak Ulu dan Salo Palai. Kedua desa ini secara administratif berada pada Kecamatan Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur.

Kecamatan Muara Badak berada pada cakupan wilayah dari KPHP Delta Mahakam yang merupakan kawasan dengan ekosistem pesisir terbesar di Kalimantan Timur seluas 1.500 km². Berdasarkan Peta Tutupan Lahan Provinsi Kalimantan Timur, tutupan lahan pada wilayah KPHP Delta Mahakam yaitu tambak seluas ± 60.000 ha dan disusul oleh hutan mangrove sekunder dengan luas ± 25.000 ha. Keberadaan ekosistem mangrove di MBU merupakan ekosistem alami, sedangkan ekosistem mangrove di Salo Palai merupakan lahan bekas tambak yang telah ditinggalkan dalam kurun waktu 8,5 tahun kemudian mendapatkan program rehabilitasi.

Kerapatan Lindak Tanah/Bulk Density (BD)

Kerapatan lindak / Bulk density (BD) merupakan berat volume atau berat isi tanah dengan variabilitas spasial (ruang) dan temporal (waktu) yang disebabkan oleh variasi kandungan bahan organik, tekstur tanah, struktur tanah, jenis fauna dan kedalaman tanah (Ayu dkk., 2021). Hasil analisis bulk density pada empat interval kedalaman yang berbeda di dua lokasi ekosistem mangrove Kelurahan Muara Badak tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Bulk Density Pada Kedua Lokasi (Bulk Density at Both Locations)

Lokasi	Kode	Kedalaman Tanah (cm)				Total (g/cm ³)
		0-15	15-30	30-50	50-100	
MBU	RB.L1.P1	0,49	0,54	0,55	0,51	15,96
	RB.L1.P3	0,62	0,85	0,78	0,74	
	RB.L1.P6	0,60	0,66	0,68	0,89	
	SP.L2.P1	0,57	0,66	0,58	0,60	
	SP.L2.P3	0,62	0,53	0,67	0,78	
	SP.L2.P6	0,63	0,66	0,63	1,12	
Salo Palai	PH.L4.P1	0,94	1,15	0,99	0,95	21,55
	PH.L4.P3	1,07	1,03	1,00	0,96	
	PH.L4.P6	0,99	1,10	1,22	1,09	
	BB.L5.P1	0,74	0,72	0,65	0,77	
	BB.L5.P3	0,90	0,83	0,67	0,74	
	BB.L5.P6	0,82	0,79	0,62	0,81	

Berdasarkan Tabel 1 nilai bulk density pada lokasi MBU dan Salo Palai didapatkan nilai yang berbeda pada setiap interval kedalaman, di mana nilai bulk density pada lokasi MBU memiliki nilai yang rendah pada interval kedalaman 0-50 cm sedangkan jika dibandingkan dengan nilai bulk density pada lokasi Salo Palai didapatkan nilai yang

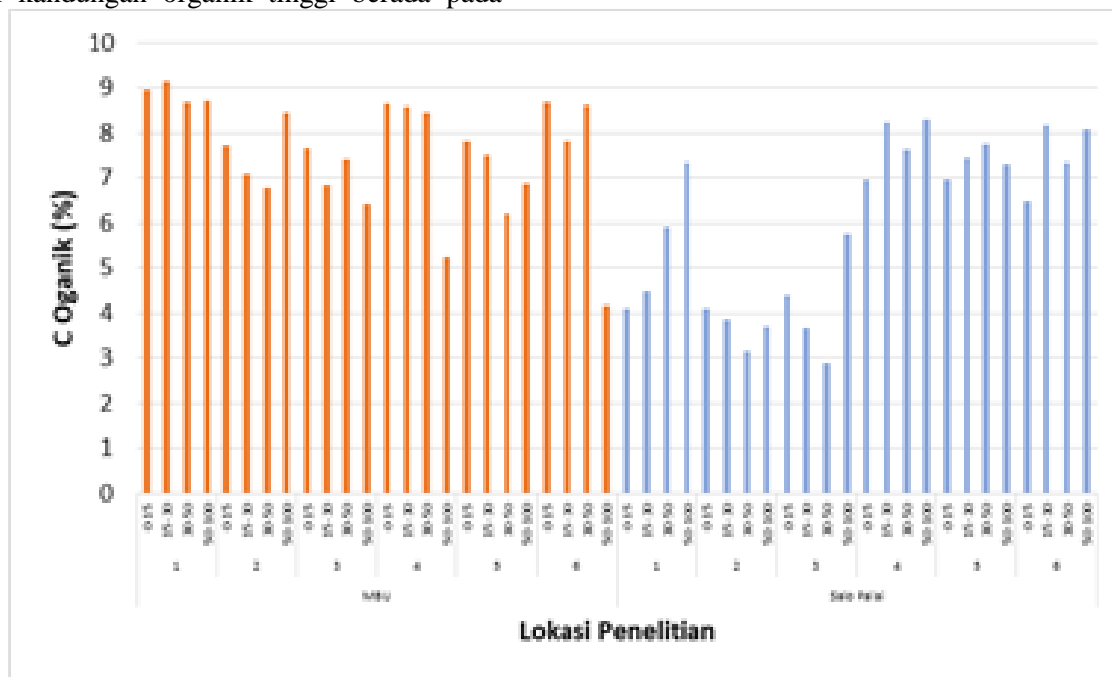
tinggi pada interval 0-50 cm. Terlihat bahwa kisaran nilai bulk density tertinggi di lokasi Salo Palai pada interval kedalaman 0-15 cm pada titik 1 dan titik 5, dengan masing-masing nilai sebesar 1,15 g/cm³ dan 0,83 g/cm³. Sedangkan, jika dibandingkan dengan nilai kisaran bulk density di lokasi MBU pada interval kedalaman 0-15 cm pada titik 3 dan titik 6

didapatkan nilai masing-masing 0,60 g/cm³ dan 0,63 g/cm³. Data ini sejalan dengan pernyataan Arifanti dkk., (2019) yang melakukan penelitian di Delta Mahakam bahwa bulk density secara signifikan pada lahan bekas tambak memiliki nilai yang tinggi pada kedalaman 0-15 cm dan 30-50 cm. Ekosistem mangrove yang berada di Salo Palai merupakan lahan bekas tambak yang telah ditinggalkan dalam kurun waktu cukup lama dan mendapatkan program rehabilitasi. Sedangkan Donato dkk., (2012) menyatakan bahwa tanah yang memiliki kandungan organik tinggi berada pada

interval kedalaman antara 0,5 m hingga lebih dari 3 m, yang mana hal ini akan mempengaruhi simpanan karbon yang ada.

Kandungan Karbon Organik Tanah

Kandungan karbon yang tersimpan pada tanah akan mempresentasikan keberadaan kandungan bahan organik yang ada, sehingga karbon organik memiliki peranan dalam peningkatan kualitas tanah dan sebagai penyimpan karbon (Marbun dkk., 2020).



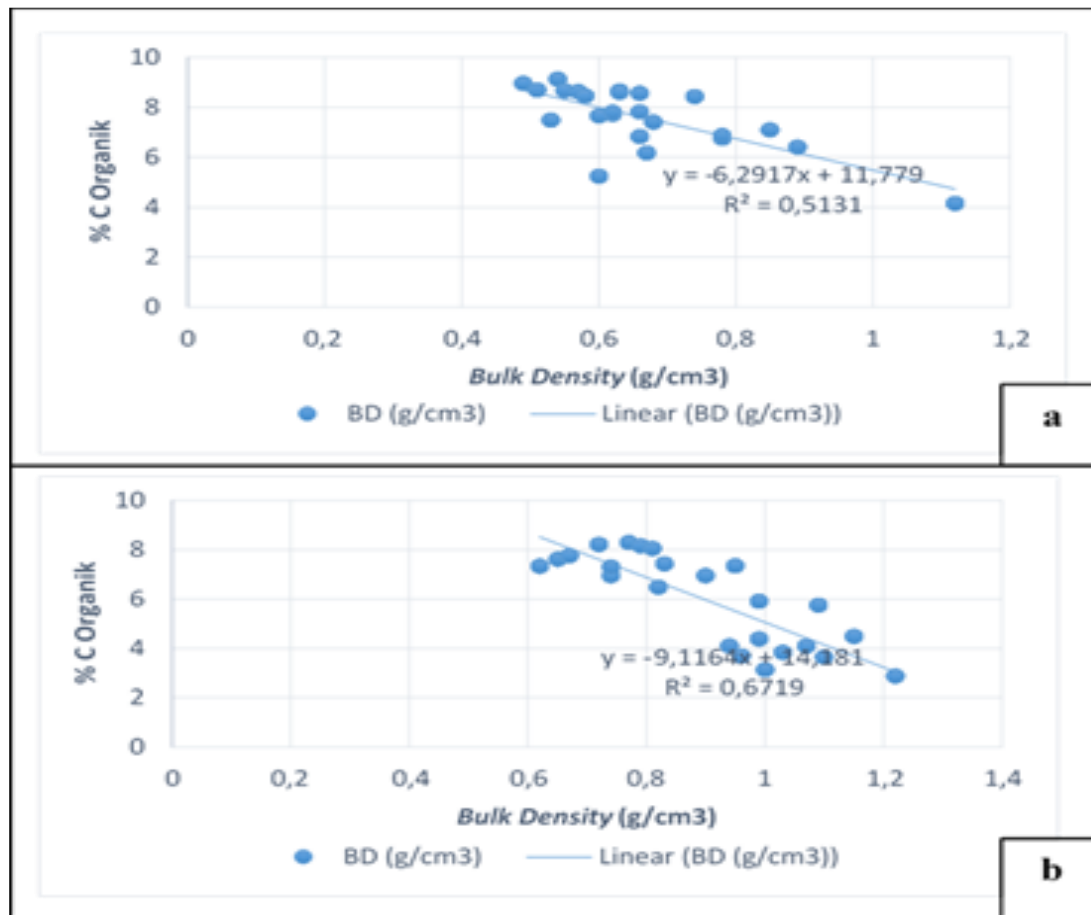
Gambar 3. Grafik perbandingan kandungan karbon organik tanah pada kedua lokasi

Kisaran nilai persentase karbon organik tanah rata-rata pada lokasi MBU secara umum menunjukkan nilai persentase yang tinggi pada interval kedalaman 0-50 cm dan terendah pada interval kedalaman 50-100 cm. Pada titik 6 interval 0-15 cm didapatkan karbon organik 8,66%, sedangkan pada interval 50-100 cm memiliki karbon organik 4,15%. Hal tersebut dapat terjadi karena proses dekomposisi yang baik pada bahan organik terutama pada jatuhnya serasah terjadi pada lapisan atas tanah. Karbon organik pada tanah didapatkan dari akumulasi jatuhnya serasah pada bagian atas tanah (Sari & Rafdinal, 2017). Namun, pada lokasi Salo Palai didapatkan kisaran nilai

persentase pada interval 50-100 cm adalah tinggi. Dapat dilihat dari Gambar 3 pada titik 6 interval 50-100 cm didapatkan nilai persentase karbon organik sebesar 8,06%. Hal ini disebabkan oleh jumlah jatuhnya serasah yang berada pada lapisan atas permukaan tanah mangrove tidak terdekomposisi dengan baik.

Hubungan Bulk Density dengan Kandungan Karbon Organik Tanah

Kandungan karbon organik pada tanah juga memiliki hubungan negatif dengan nilai bulk density, dimana jika didapatkan nilai kandungan karbon organik tanah lebih tinggi maka nilai bulk density yang dimilliki akan rendah.



Gambar 4. Hubungan Negatif Karbon Organik Tanah Dengan Bulk Density (a) Muara Badak Ulu; (b) Salo Palai

Pada Gambar 4 (a) menunjukkan grafik hubungan antara nilai bulk density dengan kandungan karbon organik tanah di lokasi MBU dan persamaan linier, yaitu $Y = -6,2917x + 11,779$ serta nilai R square (R^2) 0,5131, bahwa terdapat hubungan yang cukup lemah. Penyebab terjadinya hal tersebut adalah jumlah karbon organik tanah pada suatu areal akan selalu berubah akibat dekomposisi yang terjadi (Sari & Rafdinal, 2017). Dari hasil analisis laboratorium, pada lokasi MBU nilai bulk density yang dimiliki rendah dengan kandungan karbon organik tinggi sehingga diasumsikan bahwa, tanah pada bagian permukaan memiliki kerapatan pori yang rendah dan mengakibatkan mudahnya bahan organik yang telah terdekomposisi masuk ke bagian tanah. Asupan bahan organik yang besar akan memberikan nilai yang besar pada karbon organik tanah.

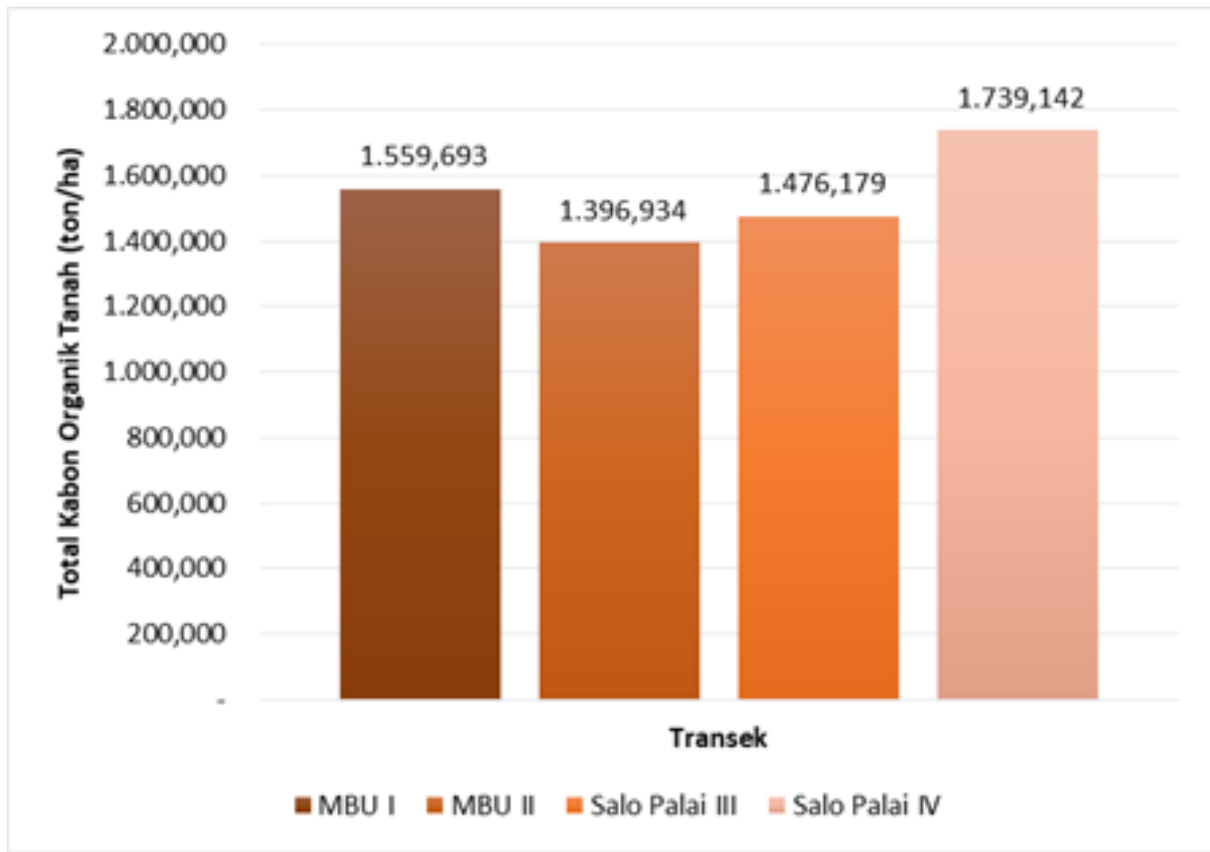
Gambar 4 (b) juga menunjukkan terjadinya hubungan cukup lemah antara bulk density dengan karbon organik pada lokasi Salo Palai. Persamaan linier yang dimiliki pada lokasi ini, yaitu $Y = -9,1164x + 14,181$ dengan nilai R square (R^2) 0,6719. Koefisien korelasi yang mendekati +1 atau -1 akan memiliki hubungan yang kuat, sedangkan koefisien korelasi mendekati angka 0 memiliki

hubungan lemah. Hasil analisis laboratorium pada lokasi Salo Palai mendapatkan nilai bulk density yang tinggi dengan kandungan karbon organik rendah sehingga, dapat diasumsikan bahwa keberadaan kerapatan pori kecil pada bagian permukaan substrat. Jika kerapatan pada tanah semakin tinggi maka akan menyebabkan ruang pori pada tanah mengecil, sehingga kandungan karbon organik yang didapatkan menjadi rendah (Sari & Rafdinal, 2017). Menurut Krull dkk., (2001) menyatakan bahwa karbon organik tanah berada pada pori-pori antara partikel tanah, sehingga apabila ruang pori tanah mengecil maka kandungan karbon organik tanah juga akan sedikit.

Stok Karbon Tanah

Pada lokasi Salo Palai didapatkan nilai simpanan karbon tanah yang tinggi karena dipengaruhi oleh vegetasi mangrove yang memiliki kerapatan tinggi. Keberadaan vegetasi mangrove yang rapat sangat dipengaruhi oleh besarnya biomassa yang dimiliki, sehingga akan menghasilkan nilai stok karbon yang besar pada suatu areal. Jika keberadaan biomassa pada vegetasi mangrove tinggi, besar kemungkinan jatuhnya serasah yang gugur kepermukaan sedimen

akan tinggi dan mengakibatkan tingginya asupan bahan organik.



Gambar 5. Grafik perbandingan total stok karbon tanah (ton/ha) pada setiap transek

Dilihat pada gambar diatas bahwa perbedaan nyata pada stok karbon di lokasi Salo Palai dengan MBU sangatlah jauh, total stok karbon pada Salo Palai berkisar 1559,6925 ton/ha dan 1396,934 ton/ha sedangkan pada lokasi MBU berkisar 1476,179 ton/ha dan 1739,142 ton/ha. Dalam vegetasi mangrove lebih banyak didistribusikan ke bagian bawah permukaan sebagai penyumbang serapan karbon sebanyak 14% dari habitat pesisir (Sulistiyorini dkk., 2020). Jenis mangrove yang dominan pada kedua lokasi yaitu *Rhizophora*, yang mana dijelaskan bahwa jenis ini merupakan penghasil serasah daun yang lebih banyak sehingga karbon yang dimiliki tinggi walaupun tingkat kerapatan vegetasinya rendah.

Jumlah stok karbon tanah pada ekosistem mangrove Muara Badak relatif rendah dengan rata-rata stok karbon total sebesar 246,39 ton/ha dan 267,94 ton/ha. Hal ini dapat terjadi akibat alih fungsi lahan yang dilakukan oleh aktivitas manusia. Dalam penelitian Arifanti dkk., (2019) menyebutkan karbon stok yang berada pada Delta Mahakam memiliki mean 879 ± 83 Mg C ha⁻¹. Kemampuan simpanan karbon pada tanah yang dimiliki ekosistem mangrove Muara Badak, telah memberikan peran yang cukup dalam penyerapan

CO₂ untuk meminimalisir terjadinya pemanasan global pada daerah ekosistem perairan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini bagian dari kegiatan *Matching Fund* Kedaireka UNMUL-BRGM Tahun 2022. Penghargaan dan terimakasih disampaikan kepada ketua Tim atas fasilitas yang diberikan selama penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifanti, V. B., Kauffman, J. B., Hadriyanto, D., Murdiyarso, D., & Diana, R. 2019. 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.
- Diana R., Matius P, Syahrudin, Karyati1, Hendra M & Melsitiara R. 2021. Species diversity and estimation of carbon stock in abandoned shrimp pond of mangrove ecosystem in East Kalimantan. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 800 012042. DOI s10.1088/1755-1315/800/1/012042

- Diana R., Kiswanto K, Hardi EH, Palupi NP, SusmiyatiRH, Jaslin J, Matius P, Syahrudin S, Karyati K. 2023. Soil carbon stock in different of mangrove ecosystem in Mahakam Delta, East Kalimantan, Indonesia. E3S Web of Conf. 373. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20233730200>
- Donato, D., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. 2012. Mangrove adalah salah satu hutan terkaya karbon di kawasan tropis. Center for International Forestry Research (CIFOR).
- Marbun, A., Rumengan, A. P., Schaduw, J. N. W., Paruntu, C. P., Angmalisang, P. A., & Manopo, V. E. 2020. Analisis Stok Karbon Pada Sedimen Mangrove Di Desa Baturapa Kecamatan Lolak Kabupaten Bolaang Mongondow. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 8(1), 20.
- Ola, R.P., Kiswanto, Diana, R., Marjenah & Matius, P. 2023. Simpanan karbon tegakan mangrove di Desa Tengin Baru Ibu Kota Nusantara. *Ulin: Jurnal Hutan Tropis*, 7(2), 246-254.
- Sari, T., & Rafdinal, R. L. 2017. Hubungan Kerapatan Tanah, Karbon Organik Tanah dan Cadangan Karbon Organik Tanah Di Kawasan Agroforestri Tembawang Nanga Pemubuh Sekadau Hulu Kalimantan Barat. *Jurnal Protobiont*, 6(3).
- Sulistyorini, I. S., Edwin, M., & Imanuddin, I. 2020. Estimasi Stok Karbon Tanah Organik pada Mangrove di Teluk Kaba dan Muara Teluk Pandan Taman Nasional Kutai. *Agrifor: Jurnal Ilmu Pertanian dan Kehutanan*, 19(2), 293-302.