

Estimasi Kandungan Karbon Pada Sedimen di Hutan Mangrove Karangsewu, Bali

Dzaki Adilla Razaan¹, Gede Surya Indrawan², I Dewa Nyoman Nurweda Putra³
Universitas Udayana

E-mail: djakiadilla@gmail.com¹, suryaindrawan@unud.ac.id²

Article History:

Received: 21 Maret 2024

Revised: 28 Maret 2024

Accepted: 03 April 2024

Keywords: karangsewu, estimasi simpanan karbon, sedimen mangrove

Abstract: Ekosistem mangrove mampu mereduksi CO₂ melalui mekanisme sekuestrasi, sehingga berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim yang disebabkan oleh pemanasan global. Hutan mangrove di Karangsewu adalah bagian dari Taman Nasional Bali Barat (TNBB) yang merupakan kawasan pelestarian alam yang mempunyai fungsi sebagai habitat flora dan fauna, perlindungan bencana tsunami, serta tempat serapan karbon dalam mencegah pemanasan global. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengestimasi nilai kandungan karbon pada sedimen serta menganalisis variasi secara vertikal persentase karbon organik yang tersimpan dalam sedimen di hutan mangrove Karangsewu, Bali. Kandungan karbon dari sedimen hingga kedalaman 1 m dianalisis dengan metode LOI (loss on ignition). Estimasi nilai simpanan karbon sedimen mangrove di Karangsewu, Taman Nasional Bali Barat adalah sebesar 900,48 ton/ha. Nilai kandungan karbon organik terendah berada di zona paling depan pada kedalaman 0-25 cm yaitu bernilai 4,6%. Sedangkan, nilai tertinggi berada di zona paling belakang di kedalaman 75-100 cm dengan nilai 6,1%. Dari hasil yang diperoleh konsentrasi karbon organik akan semakin meningkat seiring bertambahnya kedalaman.

PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove berperan penting dalam memitigasi perubahan iklim yang disebabkan oleh pemanasan global karena mampu mereduksi CO₂ melalui mekanisme sekuestrasi, yaitu penyerapan karbon dari atmosfer dan penyimpanannya yang terbagi dari beberapa kompartemen seperti, serasah, tumbuhan, dan materi organik tanah (Hairiah *et al.*, 2007). Nutrien yang diambil dari tanah bersama-sama dengan karbon yang diserap tumbuhan selama fotosintesis berlangsung akan menghasilkan bahan baku untuk pertumbuhan (Setyawan *et al.*, 2002).

Ekosistem mangrove simpanan karbon tertinggi terdapat pada bagian sedimen (Murdiyarto *et al.*, 2015). Kemampuan penyimpanan tersebut, lebih optimal dibandingkan dengan penyimpanan karbon dalam tanah pada hutan terestrial. Berdasarkan penelitian yang dilakukan

oleh Shofiyati *et al.*, (2010) disebutkan bahwa, wilayah lahan basah Indonesia terutama ekosistem mangrove memiliki potensi besar untuk penyimpanan karbon organik tanah. Selain itu, peningkatan kemampuan serapan karbon yang disimpan dalam tanah juga dipengaruhi oleh komposisi vegetasi yang beragam.

Mangrove menyimpan karbon lebih dari hampir semua hutan lainnya di muka bumi, sebuah penelitian yang dilakukan tim peneliti dari US Forest Service Pasifik Barat Daya dan stasiun penelitian Utara, Universitas Helsinki dan Pusat Penelitian Kehutanan internasional meneliti kandungan karbon dari 25 hutan mangrove di wilayah indo-pasifik dan menemukan bahwa hutan mangrove per hektar dapat menyimpan sampai empat kali lebih banyak karbon daripada kebanyakan hutan tropis lainnya di seluruh dunia (Daniel *et al.*, 2011).

Penelitian lain yang dilakukan oleh ilmuwan Gail Chmura ahli pembersih karbon dari universitas McGill menyatakan bahwa hutan mangrove memiliki tingkat penyerapan lima kali lebih cepat terhadap unsur karbo di udara jika dibandingkan dengan hutan di daratan. Tiap tahun hutan mangrove dapat menyerap 42 juta ton karbon di udara atau setara dengan emisi gas karbon dari 25 juta mobil (Ardianto, 2011).

Hutan mangrove di Karangsewu adalah bagian dari Taman Nasional Bali Barat (TNBB) yang merupakan kawasan pelestarian alam yang mempunyai fungsi sebagai habitat flora dan fauna, perlindungan bencana tsunami serta tempat serapan karbon dalam mencegah pemanasan global (Rani *et al.*, 2019). Berdasarkan fungsi dari Kawasan mangrove tersebut, perhitungan mengenai informasi karbon menjadi hal yang perlu dilakukan.

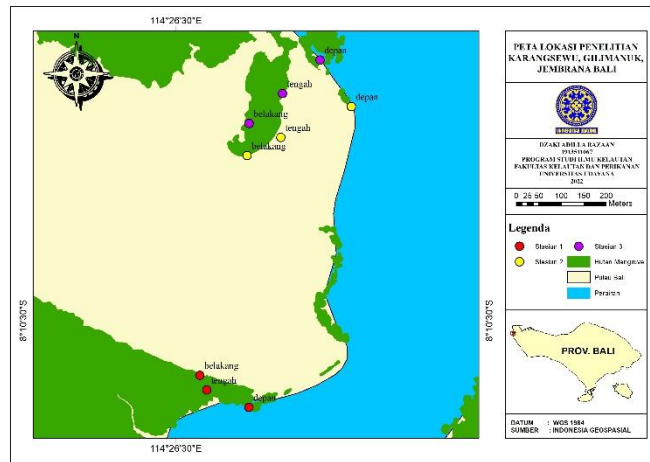
Penelitian terkait fungsi ekosistem biru di Karangsewu telah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain pada ekosistem mangrove oleh Prihandanaa (2021) sementara pada ekosistem Lamun telah dilakukan oleh Lestari *et al* (2020) pada ekosistem mangrove telah menghitung stok karbon pada biomassa Nurainia *et al.*, (2022) menggunakan metode penginderaan jarak jauh. Penelitian terkait stok karbon dalam sedimen belum banyak dilakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi kandungan karbon pada sedimen di hutan mangrove Karangsewu, sehingga penelitian ini dapat dijadikan acuan bagi penelitian lebih lanjut mengenai kapasitas hutan mangrove di Karangsewu, sebagai penyerap karbon alami untuk memitigasi dampak perubahan iklim, dan secara konsekuen dapat dijadikan acuan bagi pengelolaan hutan mangrove dan pembuatan kebijakan di masa depan. Selain itu juga, penelitian ini dapat membantu mengidentifikasi area hutan yang memiliki potensi tinggi dalam menyimpan karbon. Informasi ini berfungsi untuk menentukan area prioritas untuk perlindungan atau restorasi hutan, dikarenakan hutan yang memiliki stok karbon tinggi cenderung memiliki keanekaragaman hayati yang kaya dan memberikan manfaat ekologi yang signifikan (Venter *et al.*, 2018).

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Tempat dan waktu penelitian dilakukan dalam dua tahapan. Pertama, proses pengambilan sampel sedimen dilakukan pada bulan 25-26 April 2023 di hutan mangrove Karangsewu Jembrana Bali (Gambar 2). Kedua, analisis sampel sedimen dilakukan pada bulan Mei – Juni 2023 di Laboratorium Pertanian, Universitas Udayana. Denpasar, Bali.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Metode Penelitian

Pengambilan data lapangan menggunakan metode purposive sampling. Purposive sampling ditentukan berdasarkan aksesibilitas di lokasi dan keberadaan vegetasi mangrove di Pantai Karangsewu. Stasiun 1 ($8^{\circ}10'34.96''S$ dan $114^{\circ}26'32.20''E$) berada pada Kawasan mangrove Pantai Karangsewu di sisi barat daya Teluk Gilimanuk dan terletak lebih jauh dari bibir teluk, sedangkan Stasiun 2 ($8^{\circ}10'14.04''S$ dan $114^{\circ}26'36.34''E$) dan Stasiun 3 ($8^{\circ}10'14.04''S$ dan $114^{\circ}26'36.34''E$) berada pada kawasan mangrove Pantai Karangsewu di sisi barat Teluk Gilimanuk dan terletak lebih dekat dengan bibir teluk (Prihandanaa *et al.*, 2021). Penentuan titik lokasi juga didasarkan oleh penelitian yang sudah dilakukan oleh Prihandana *et al* pada tahun 2021, tentang karakteristik substrat pada vegetasi mangrove.

A. Penanganan Sampel Sedimen

Sampel sedimen diambil menggunakan open-faced soil auger sediment corer yang ditancapkan kedalam sedimen, sampel tersebut kemudian dibelah (secara horizontal) (Prasetyo, 2021). Dalam satu stasiun sampel akan diambil sebanyak 3 kali, sesuai zona yang sudah ditentukan, yaitu zona depan, tengah, dan belakang. pembagian zona tersebut didasarkan oleh karakteristik substrat pada vegetasi mangrove yang penelitiannya telah dilakukan oleh prihandana *et al* pada tahun 2021, untuk dilakukannya perbandingan estimasi karbon dari ketiga zona tersebut.

Setelah sampel sedimen diperoleh, sampel dipartisikan menjadi empat subsampel berdasarkan golongan kedalaman: 0-15 cm, 15-30 cm, 30-50 cm, dan 50-100 cm. Sampel sedimen dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diberi label berdasarkan stasiun pengambilan sampel. Sampel-sampel sedimen disimpan pada coolbox untuk dianalisis di laboratorium (Prasetyo, 2021).

B. Karbon pada Sampel Sedimen

Kandungan karbon organik sampel sedimen dianalisis di laboratorium dengan metode loss on ignition (LOI) dengan tahapan sampel sedimen dipindahkan dari plastik ke cawan aluminum foil, lalu dikeringkan dengan oven pada suhu $60^{\circ}C$ selama 48 jam, kemudian sampel dihaluskan dan diambil sebanyak 5 gram dan ditimbang pada neraca analitik. Setelah itu sampel ditempatkan dalam krusibel untuk dibakar dalam muffle furnace pada suhu $550^{\circ}C$ selama 4 jam, kemudian ditimbang kembali untuk memperoleh massa setelah pembakaran. (Howard *et al.*, 2014).

C. Pengambilan Data Kualitas Perairan

Parameter lingkungan yang diukur dalam penelitian ini adalah pH substrat dan air yang diukur menggunakan pH meter, salinitas yang diukur menggunakan handrefractometer, serta suhu substrat dan air menggunakan termometer. Nilai parameter lingkungan dalam satu stasiun akan didapatkan dengan cara mencari rata-rata dari tiap zona di masing-masing stasiun yang ada (Zakaria., 2019)

Analisis Data

a. Metode LOI

Metode LOI (loss on ignition) merupakan pengukuran massa sampel yang hilang setelah dipanaskan pada suhu yang tinggi. Suhu yang tinggi ini digunakan untuk memastikan hanya karbon organik yang teroksidasi (Heiri *et al.*, 2001). Untuk menentukan persentasi LOI dapat menggunakan persamaan berikut

$$\% LOI = \frac{(m_i - m_t)}{m_i} \times 100$$

Keterangan:

m_i : massa kering sebelum pembakaran

m_t : massa kering setelah pembakaran

dikarenakan metode LOI hanya mewakilkan materi organik secara umum, yang dimana tidak dapat mewakili langsung kehilangan karbon organik, maka perlu dilakukan penghitungan antara % LOI dengan persentasi karbon organik (% Corg). yaitu melalui persamaan korelasi antara % LOI dan % Corg dari penelitian dengan lokasi yang iklimnya paling mirip dengan lokasi penelitian, dan diperoleh dari penelitian Kaufman *et al* (2012) di Palau.

$$\% Corg = 0,415 \times \% LOI + 2,89$$

b. Densitas Sedimen (2)

Bulk density tanah adalah massa partikel per satuan volume sedimen disertai porinya. *Bulk density* (BD) dapat diperoleh melalui persamaan berikut (Howard *et al.*, 2014):

$$BD (g\ cm^{-3}) = \frac{m(g)}{v(cm^3)}$$

Keterangan:

m : massa kering

v : volume sampel

c. Kepadatan Karbon

Dari hasil perhitungan BD, maka dapat diperoleh kepadatan karbon sedimen (C) yang dapat diperoleh dengan persamaan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Elisabeth *et al.*, 2018):

$$\rho C (g\ C\ cm^{-3}) = \% C_{org} \times BD$$

Keterangan :

ρC : kepadatan karbon sedimen (g/cm³)

%Corg : kandungan karbon organik (g/cm³)

BD : Bulk density (g/cm³)

1.1.1 Simpanan Karbon

Hasil simpanan karbon sedimen dapat diperkirakan melalui persamaan yang didasarkan pada penelitian Howard *et al.*, (2014)

$$SC = BD \times SDI \times \% C_{org}$$

Keterangan:

SC : simpanan karbon sedimen (Mg/ha)

BD : *Bulk density* (g/cm^3)

SDI : Interval kedalaman sampel (cm)

$\%C_{org}$: Persentase kandungan karbon

HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1 *Bulk Density*

Dari hasil analisis, diketahui bahwa sedimen di masing-masing kedalaman pada zona dan stasiun yang berbeda memiliki nilai *bulk density* yang bervariasi. Nilai *bulk density* pada setiap zona di masing-masing kedalaman dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai rata-rata *bulk density* pada masing-masing zona di setiap kedalaman

		Kedalaman (g/cm^3)			
		0-25	25-50	50-75	75-100
Zona					
Depan		0,066	0,043	0,055	0,07
Tengah		0,05	0,058	0,07	0,096
Belakang		0,07	0,078	0,07	0,09
Rata-Rata	Per	0,062	0,06	0,065	0,085
Kedalaman					

Dari tabel diatas (tabel 1), dapat terlihat pola umum nilai *bulk density* dari ketiga zona di tiap masing-masing stasiun. Secara keseluruhan nilai BD di mangrove Karangsewu berkisar antara 0,04 – 0,096 g/cm^3 . Nilai *bulk density* tertinggi ditemukan pada zona belakang dengan rentang nilai 0,07 - 0,09 (rerata 0,07), diikuti dengan zona tengah dengan rentang 0,05 - 0,096 (rerata 0,068), dan zona depan menempati posisi terendah dengan rentang 0,066 - 0,07 (rerata 0,05).

Berdasarkan hasil analisis (Tabel 1), secara keseluruhan mangrove Karangsewu memiliki nilai BD berkisar antara 0,04 – 0,096 g/cm^3 . Berdasarkan penggolongan Mukhopadhyay *et al.* (2019), nilai BD di mangrove Karangsewu tergolong kedalam nilai yang baik ($< 1,3 g/cm^3$) dan belum menghalangi pertumbuhan akar. Akan tetapi, rentang nilai *bulk density* pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan penelitian yang berlokasi di mangrove Estuari Perancak oleh Casamira *et al.* (2021) dimana rentang nilai BD disana berkisar dari 0,25 – 0,50 g/cm^3 . Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai *bulk density* juga dipengaruhi oleh lokasi. Selain itu, rendahnya nilai *bulk density* juga dapat disebabkan oleh peningkatan nilai biomassa dan materi organik sedimen yang tidak terdesposisi (Casamira *et al.*, 2021)

1.2 *Kandungan Karbon Organik Sedimen*

Berdasarkan hasil analisis, rentang kandungan karbon organik sedimen di setiap kedalaman pada masing-masing zona berkisar antara 4-6%. Nilai karbon organik sedimen tersebut dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Karbon Organik Sedimen pada masing-masing zona di setiap kedalaman

Zona	Kedalaman (%)			
	0-25	25-50	50-75	75-100
Depan	4,653	5,122	5,284	5,060
Tengah	5,135	5,207	5,365	5,355
Belakang	5,123	5,137	5,666	6,103
Rata-Rata	4,970	5,155	5,438	5,505

Dari tabel diatas (Tabel 2) dapat dilihat bahwa rerata dari tiap kedalaman menunjukkan peningkatan, dimana semakin dalam lapisan sedimen maka semakin tinggi pula nilai kandungan karbon. Zona depan pada kedalaman 0-25 cm memiliki nilai kandungan karbon organik terendah yaitu 4,6%. Sementara, zona belakang di kedalaman 75-100 cm memiliki nilai kandungan tertinggi dengan nilai 6,1%.

Berdasarkan hasil analisis (Tabel 2), kandungan karbon sedimen di hutan mangrove Karangsewu berkisar antara 4-6%. Nilai kandungan karbon sedimen tersebut mengalami peningkatan dari 3,21 - 3,9% berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Prihandana *et al.* (2021) dua tahun yang lalu. Peningkatan nilai kandungan karbon dapat disebabkan oleh peningkatan akumulasi karbon sedimen seiring bertambahnya usia mangrove selama waktu dua tahun (Bai *et al.*, 2020) Pada masing masing zona, dapat terlihat bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan dari tiap kedalaman yaitu hanya 1-2%. Akan tetapi, rerata dari tiap kedalaman menunjukkan peningkatan, dimana semakin dalam lapisan maka semakin tinggi kandungan karbon yang ada. Nilai kandungan karbon organik terendah berada di zona paling depan pada kedalaman 0-25 cm dengan nilai 4,6%. Sedangkan, nilai tertinggi terdapat di zona belakang pada kedalaman 75-100 cm. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Sasmito *et al.* (2020), dimana konsentrasi karbon organik akan semakin meningkat seiring bertambahnya kedalaman. Menurut Aqila *et al.* (2017), hal ini disebabkan oleh adanya akumulasi materi organik, baik berupa biomassa hidup maupun jasad renik yang telah lama tertimbun pada lapisan terdalam dalam jumlah tinggi. Sehingga, semakin dalam dan semakin tinggi tekanan kompaksi akan semakin banyak pula organisme pengurai yang dapat memecahkan karbon organik yang diperlukan.

Hutan mangrove di Karangsewu Bali memiliki nilai kandungan karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan hutan mangrove di Estuari Perancak yang memiliki kisaran nilai 10-15%. Hal ini dapat dikaitkan frekuensi pasang surut air laut, menurut Manuari *et al.* (2011), Hutan Mangrove Karangsewu Bali memiliki frekuensi pasang surut air laut yang lebih tinggi sehingga durasi perendaman mangrove semakin panjang dan membuat kondisi sedimen tersaturasi air, peningkatan frekuensi inundasi pasang surut meningkatkan pH dan menggeser kondisi menjadi lebih basa. Kedua faktor ini dapat menghambat proses humifikasi, yaitu proses formasi humus atau senyawa organik kompleks dari hasil akumulasi senyawa yang diperoleh dari proses penguraian selama bertahun-tahun. Selain itu, menurut Matsui *et al.* (2015), humifikasi juga mengubah senyawa organik alifatik yang lebih rentan terhadap oksidasi dan pelarutan sehingga menyebabkan kehilangan karbon (carbon loss) menjadi senyawa aromatik yang lebih stabil, mendukung dan mempertahankan stabilitas agregasi sedimen. Penghambatan dari proses ini menyebabkan sedimen yang kurang stabil dan memengaruhi karakteristik sedimen menjadi didominasi senyawa yang lebih mudah teroksidasi atau terlepas dari ekosistem mangrove sebagai

emisi atau ekspor.

Rentang kandungan karbon organik sedimen pada penelitian kali ini lebih tinggi dibandingkan pada penelitian yang telah dilakukan dua tahun lalu oleh Prihandana *et al.*, 2021 dimana rentang kandungan karbon organik sedimennya tidak terlalu bervariasi berkisar dari 3,21-3,9 %. Pada penelitian kali ini kandungan karbon sedimennya mengalami peningkatan yaitu berkisar antara 4-6%. Perbedaan nilai ini, diduga disebabkan oleh peningkatan akumulasi karbon sedimen seiring bertambahnya usia mangrove selama pergantian waktu dua tahun (Bai *et al.*, 2020).

Dari Tabel diatas (Tabel 2) bisa dilihat bahwa tidak ada perbedaan yang terlalu signifikan dari tiap kedalaman dan masing-masing zona, hanya 1-2% saja. Tetapi merata dari tiap kedalaman menunjukkan peningkatan, dimana semakin dalam lapisan maka akan semakin tinggi kandungan karbon yang ada. Nilai kandungan karbon organik terendah berada di zona paling depan pada kedalaman 0-25 cm yang bernilai 4,6%. Dan tertinggi ada di zona paling belakang di kedalaman 75-100 cm. hal ini sejalan dengan penelitian penelitian yang telah dilakukan oleh Sasmito *et al.*, (2020). Dimana konsentrasi karbon organik akan semakin meningkat seiring bertambahnya kedalaman. Hal ini disebabkan oleh adanya akumulasi materi organik, baik berupa biomassa hidup maupun jasad renik yang telah lama tertimbun pada lapisan terdalam dalam jumlah tinggi. Semakin dalam, semakin tinggi tekanan kompaksi dan semakin banyak pula organisme pengurai yang dapat memisahkan karbon organik yang diperlukan (Aqila *et al.*, 2017)

Kandungan karbon sedimen di Karangsewu Bali masih kalah dengan kandungan karbon yang berada di hutan mangrove Estuari Perancak yang memiliki kisaran nilai 10-15%. Hal ini dapat dikaitkan dengan tingginya frekuensi pasang surut air laut di Hutan Mangrove Karangsewu Bali. Yang kemudian memperpanjang durasi perendaman mangrove. selain memperpanjang masa perendaman dan membuat kondisi tersaturasi air, peningkatan frekuensi inundasi pasang surut meningkatkan pH dan menggeser kondisi menjadi lebih basa. Kedua faktor ini dapat menghambat proses humifikasi, yaitu proses formasi humus atau senyawa organik kompleks dari hasil akumulasi senyawa yang diperoleh dari proses penguraian selama bertahun-tahun (Manuri *et al.*, 2011)

Humifikasi mengubah senyawa organik alifatik yang lebih rentan terhadap oksidasi dan pelarutan, menyebabkan kehilangan karbon (carbon loss) menjadi senyawa aromatik yang lebih stabil, mendukung dan mempertahankan stabilitas agregasi sedimen. Penghambatan dari proses ini menyebabkan sedimen yang kurang stabil dan memengaruhi karakteristik sedimen menjadi didominasi senyawa yang lebih mudah teroksidasi atau terlepas dari ekosistem mangrove sebagai emisi atau ekspor (Matsui *et al.*, 2015).

1.3 Kepadatan karbon sedimen

Dari hasil analisis, nilai kepadatan karbon di setiap kedalaman pada masing-masing zona berkisar antara 0,22 – 0,54 g/cm³. Nilai kepadatan karbon sedimen tersebut dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Kepadatan karbon sedimen pada masing-masing zona di setiap kedalaman

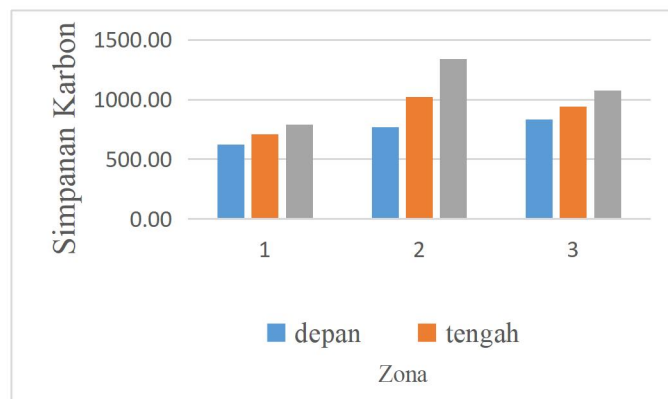
Zona	Kedalaman (g/cm ³)			
	0-25	25-50	50-75	75-100
Depan	0,313	0,221	0,294	0,357
Tengah	0,249	0,295	0,368	0,516
Belakang	0,362	0,413	0,386	0,549
Rata-Rata	0,308	0,310	0,349	0,473

Berdasarkan tabel 3, nilai kepadatan karbon sedimen tertinggi terdapat di zona belakang dengan rentang nilai 0,36-0,54 g/cm³ (rerata 0,42 g/cm³). Di posisi kedua, terdapat zona tengah yang memiliki rentang nilai 0,24-0,52 g/cm³ (rerata 0,35). Sementara, nilai kepadatan karbon terendah terdapat pada zona depan dengan rentang nilai 0,31-0,35 g/cm³ (rerata 0,29).

Berdasarkan hasil analisis (Tabel 3), pola profil vertikal kepadatan karbon sedimen memiliki nilai yang berbeda pada masing-masing zona. Rerata kepadatan karbon sedimen di Mangrove Karangsewu Bali meningkat beriringan dengan semakin dalamnya lapisan sedimen. Lapisan terdalam yaitu 75-100 cm memiliki rata-rata nilai kepadatan karbon yang paling tinggi yaitu 0,47 g/cm³, diikuti oleh kedalaman 50-75 yang memiliki nilai kepadatan karbon sebanyak 0,34 g/cm³, kemudian kedalaman 25-50 memiliki nilai kepadatan karbon sebanyak 0,309 g/cm³, dan nilai kepadatan karbon yang paling rendah berada di lapisan permukaan dengan kedalaman 0-25 cm dengan nilai rata-rata 0,308 g/cm³. Hal tersebut didukung oleh pernyataan Lal (2004), yaitu semakin dalam lapisan tanah, nilai kepadatan karbon akan semakin tinggi. Hal tersebut terjadi karena sisa-sisa organik dari tumbuhan dan makhluk hidup lainnya terperangkap di dalam lapisan tanah yang paling dalam selama proses dekomposisi yang disebut dengan akumulasi karbon organik tanah.

1.4 *Estimasi kandungan karbon organik sedimen*

Berdasarkan hasil analisis, estimasi kandungan karbon sedimen di setiap zona pada masing-masing stasiun berkisar antara 620,98 – 1338,53 ton/ha. Grafik perbandingan simpanan karbon antar zona dapat dilihat pada Gambar 2.



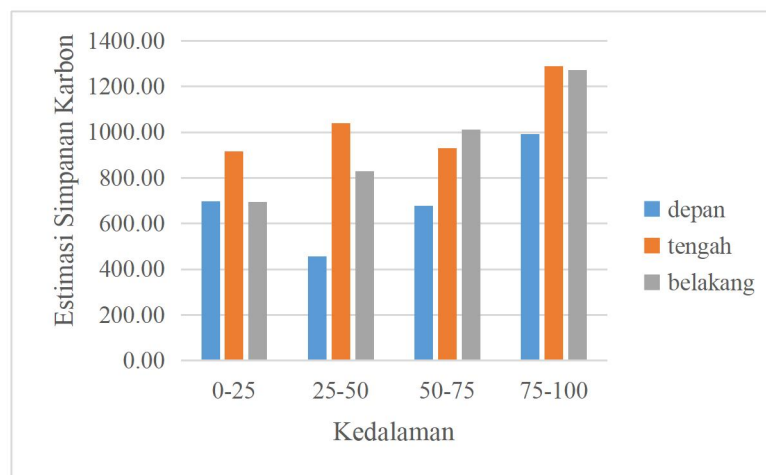
Gambar 2. Estimasi simpanan karbon dari setiap zona

Secara keseluruhan, rata-rata estimasi simpanan karbon sedimen sebanyak 900,48 ton/ha. Nilai simpanan karbon tertinggi terdapat pada zona belakang dengan kisaran nilai 788,79 - 1077,9 ton/ha dengan rerata 1068,41. Kedua tertinggi adalah zona tengah dengan rentang nilai 709,28 - 944,19 ton/ha dengan rerata 892,32 ton/ha. Dan posisi terakhir yang memiliki nilai simpanan karbon paling rendah adalah zona depan dengan rentang nilai 620,98 - 831,38 ton/ha dengan rata-rata 740,71 ton/ha. Nilai estimasi kandungan karbon sedimen dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Simpanan karbon sedimen pada setiap zona di masing-masing stasiun

Zona	Stasiun (Ton/ha)			Rata-Rata Per-Zona (Ton/ha)
	1	2	3	
Depan	620,98	769,77	831,38	740,71
Tengah	709,28	1023,48	944,19	892,32
Belakang	788,79	1338,53	1077,90	1068,41
Rata-rata Keseluruhan				900,48

Pada umumnya semakin dalam lapisan sedimen mangrove, nilai simpanan karbon cenderung akan semakin tinggi. (McKee *et al.*, 2007) Variasi secara vertikal simpanan karbon sedimen dapat dilihat dari gambar 3). Zona belakang memiliki nilai simpanan karbon yang cenderung meningkat sejalan dengan kedalaman sampel, dimana nilai tertinggi berada di kedalaman 75-100 cm sebesar 1010,51 ton/ha. Zona tengah mengalami kenaikan nilai sedimen pada kedalaman 0-50 cm, tetapi menurun pada kedalaman 50-75 cm, dan kembali naik pada kedalaman 75-100 cm dengan nilai sebesar 1289,54 ton/ha. Zona depan pada kedalaman 0-25 cm memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan kedalaman 25-75 cm, tetapi kembali mengalami peningkatan di kedalaman 75-100 cm sebesar 993,24 ton/ha. Hal ini dapat disebabkan karena pasokan air yang fluktuatif, yaitu perubahan tingkat air yang signifikan akibat pasang surut dan kondisi cuaca. sampel diambil pada saat air surut, sehingga menyebabkan tingginya nilai simpanan karbon sedimen di lapisan atas.



Gambar 3. Grafik estimasi simpanan karbon sedimen pada setiap kedalaman di masing-masing zona

Faktor-faktor yang mempengaruhi variasi vertikal simpanan karbon antara lain adalah, laju deposisi sedimen, dimana kedalaman sedimen dapat mempengaruhi laju deposisi material organik dari vegetasi mangrove atau sumber lainnya. Di daerah yang lebih dalam, laju deposisi cenderung lebih rendah, yang dapat mengakibatkan akumulasi karbon organik yang lebih tinggi dalam jangka waktu yang lebih lama (Kukuh, 2022). Selain itu kedalaman sedimen juga berhubungan dengan ketersediaan oksigen terlarut. Sedimen yang lebih dalam mungkin mengalami oksigen terlarut yang lebih rendah atau bahkan menjadi lingkungan anaerobik. Sehingga dapat memperlambat laju dekomposisi bahan organik, yang menyebabkan akumulasi

karbon organik juga semakin tinggi (Meidiana, 2019). Variasi vertikal juga dapat disebabkan oleh pengadukan sedimen, dimana pergerakan air dan gelombang dapat mengaduk sedimen di zona yang lebih dangkal dan membantu mengoksidasi karbon organik. Di kedalaman yang lebih besar, pengadukan mungkin kurang intens, yang dapat menghasilkan kondisi yang mendukung akumulasi karbon organik (Oktaviona, 2017)

KESIMPULAN

1. Estimasi nilai simpanan karbon sedimen mangrove di Karangsewu, Taman Nasional Bali Barat memiliki kandungan sedimen karbon sebesar 900,48 ton/ha. Yang mana nilai simpanan sudah berada di atas rerata simpanan karbon sedimen global yaitu (749 ton/ha).
2. Variasi secara vertikal simpanan karbon sedimen, memiliki nilai yang berbanding lurus dengan nilai simpanan karbon. Sehingga nilai simpanan karbon meningkat seiring bertambahnya kedalaman.

DAFTAR REFERENSI

- Hairiah, K. dan Rahayu, S. 2007. Pengukuran ‘karbon tersimpan’ di berbagai macam penggunaan lahan. World Agroforestry Centre. ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Indonesia
- Setyawan, A. D., Susilowati, and A., Sutarno. 2002. Biodiversitas genetik, spesies dan ekosistem mangrove di Jawa petunjuk praktikum biodiversitas; studi kasus mangrove. Jurusan Biologi FMIPA UNS. Surakarta
- Murdiyarsa, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., Donato, D. and Kurnianto, S. 2015. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature climate change*. 5(12): 1089-1092.
- Shofiyati, R., Las, I., and Agus, F. 2010. Indonesian Soil Database and Predicted Stock of Soil Carbon. Indonesian Soil Research Institute. Bogor
- Daniel C. Donato, J. Boone Kauffman, Daniel Murdiyarsa, Sofyan Kurnianto, Melanie Stidham and Markku Kanninen. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*. DOI: 10.1038
- Ardianto, Taufik. 2011. Mangrove sebagai penangkap karbon, pendingin udara serta penahan tsunami. Diakses dari www.survey-pemetaan.blogspot.com pada tanggal 7 Maret 2012
- Prihandana, P. K. E., Putra, I. D. N. N., dan Indrawana, G. S. 2021. Struktur Vegetasi Mangrove berdasarkan Karakteristik Substrat di Pantai Karangsewu, Gilimanuk Bali. *Journal of Marine Research and Technology*. 4(1): 29-36.
- Nurainia, N. F. Karang, I. W. G. A., dan Putra, I. N. G. 2022. Estimasi Stok Karbon Di Atas Permukaan Menggunakan Citra Sentinel-1A di Hutan Mangrove Karangsewu, Bali. *Journal of Marine Research and Technology*. 5(1): 21-28
- Venter, O., 2018. Carbon storage, emissions, and baseline values: a reply to Gerwing and Figueiredo (2018). *Environmental Research Letters*, 13(11), 118001.
- Prasetyo, C. G. 2021. Pendugaan Simpanan Karbon Hutan Mangrove di Estuari Perancak, Jembrana. [Skripsi]. Program studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana.
- [MNLH] Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2004. Baku Mutu Air Laut. Nomor 51 Tahun 2004. Jakarta
- Zakaria LI. 2019. Kajian Karakteristik Kualitas Perairan dan Sedimen pada Ekosistem Mangrove di Wilayah Reklamasi Pulau Lumpur Sidoarjo [Skripsi]. Surabaya: Program Studi Ilmu

- Kelautan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel. hlm 4
- Martuti NKT. 2013. Keanekaragaman Mangrove di Wilayah Tapak, Tugurejo, Semarang. *Jurnal MIPA*. Vol 36(2): 123-130
- Bai JK, Meng YC, Gou, RK, Lyu JC, Dai Z, Diao XP, Zhang HS, Luo YQ, Zhu XS, Lin GH. 2020, Mangrove diversity enhances plant biomass production and carbon storage in Hainan island, China, *Functional Ecology* 35: 774-786
- Murdiyarto, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., Donato, D. C., and Kurnianto, S. 2015. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature climate change*. 5(12): 1089-1092.
- Matsui N, Meepol W and Chukwamdee J. (2015). Soil Organic Carbon in Mangrove Ecosystems with Different Vegetation and Sedimentological Conditions. *Journal of Marine Science and Engineering* 3: 1404-1424
- Aqila, N., & Haryono, E. (2017). Kuantifikasi Kandungan Karbon pada Hutan Rehabilitasi Mangrove Pasar Banggi, Rembang, Jawa Tengah. *Jurnal Bumi Indonesia*, 1–10.
- Manuri, S., Putra, C. A. S., & Saputra, A. D. (2011). Teknik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan. Palembang: Merang REDD Pilot Project German International Cooperation-GIZ.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627.
- McKee, K. L., Cahoon, D. R., & Feller, I. C. (2007). Caribbean mangroves adjust to rising sea level through biotic controls on change in soil elevation. *Global Ecology and Biogeography*, 16(5), 545-556.
- Kukuh, M. (2022). Analisis Karbon Tanah Pada Ekosistem Mangrove Di Desa Labuhan Bajo Kabupaten Sumbawa (Doctoral dissertation, Universitas Mataram).
- Meidiana, V., & Apriansyah, S. I. (2019). Struktur komunitas dan estimasi karbon sedimen mangrove di Desa Sebusus Kabupaten Sambas Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 2(3), 107-117.
- Oktaviona, S., Amin, B., & Ghalib, M. (2017). Carbon Stock Assesment on Mangrove Forest Ecosystem in Jorong Ujuang Labuang District Agam West Sumatera Province (Doctoral dissertation, Riau University)
- Zakaria LI. 2019. Kajian Karakteristik Kualitas Perairan dan Sedimen pada Ekosistem Mangrove di Wilayah Reklamasi Pulau Lumpur Sidoarjo [Skripsi]. Surabaya: Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel. hlm4