

## Penentuan Stok Karbon Organik Sedimen Ekosistem Mangrove di Taman Wisata Alam Angke Kapuk, Jakarta Utara

Dipa Yudhayana Mangkoewijoto<sup>1\*</sup>, Lilik Maslukah<sup>2</sup>, Alfi Satriad<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia

Email: \*lilikmaslukah@lecturer.undip.ac.id

### Abstrak

Ekosistem mangrove memiliki potensi besar dalam menyimpan karbon, salah satunya melalui akumulasi bahan organik dalam sedimen. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi stok karbon pada sedimen ekosistem mangrove di Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWAAK), Jakarta Utara, dengan mempertimbangkan distribusi vertikal dan pengaruh jenis sedimen. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode purposive sampling pada tiga zona (area dekat perairan laut/depan, area dekat tambak/belakang, dan diantaranya depan-belakang/tengah). Masing-masing area dibagi tiga stasiun dan dua interval kedalaman (0–15 cm dan 15–30 cm). Sampel sedimen diambil menggunakan corer dari pralon berdiameter 7,9 cm dan panjang 1 m. Prosentase karbon dianalisis berdasarkan metode *Loss on Ignition (LOI)*, yang sebelumnya dilakukan pencucian terlebih dahulu dengan 6M HCl. Parameter sedimen yang diukur dalam penelitian ini yaitu *bulk density* dan prosentase ukuran butir sedimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata stok karbon per hektar tertinggi berada di zona belakang (94,79 ton/ha), diikuti zona tengah (78,39 ton/ha) dan zona depan (63,31 ton/ha). Jenis sedimen yang mendominasi stasiun penelitian adalah pasir yang menghasilkan korelasi negatif terhadap karbon organik. Nilai rata-rata karbon organik ditemukan tinggi pada lapisan sedimen bawah, yang mengindikasikan telah terjadi adanya penurunan tutupan mangrove saat ini dibanding masa lampunya. Temuan ini dapat memberikan informasi tentang kemungkinan adanya perubahan ekosistem mangrove pada masa lampu yang perlu diungkap dan menjadi dasar penting dalam pengelolaan dan konservasi berkelanjutan di kawasan TWAAK.

**Kata kunci:** mangrove; sedimen; karbon organik vertikal; konservasi

### Abstract

#### *Determination of Organic Carbon Stock in the Sediment of the Mangrove Ecosystem at Angke Kapuk Nature Reserve, North Jakarta*

Mangrove ecosystems have great potential for carbon storage, one of which is through the accumulation of organic matter in sediments. This study aims to estimate carbon reserves in mangrove ecosystem sediments in Angke Kapuk Nature Park (TWAAK), North Jakarta, by considering vertical distribution and the influence of sediment type. Sampling was conducted using a purposive sampling method in three zones (sea zone/front zone, aquaculture zone/back zone, and transition zone/middle zone). Each zone was divided into three stations and two depth intervals (0–15 cm and 15–30 cm). Sediment was collected using a PVC corer with a diameter of 7.9 cm and a length of 1 m. Carbon was analyzed using the *Loss on Ignition (LOI)* method, preceded by washing with 6M HCl. Other sediment parameters measured included bulk density and particle size. The results showed that the highest average carbon stock was found in the back zone (94.79 tons/ha), followed by the middle zone (78.39 tons/ha) and the foreground zone (63.31 tons/ha). The dominant sediment type at this research station was sand, which showed a negative correlation with organic carbon. The average organic carbon value was found to be high in the lower sediment layer, indicating a decrease in mangrove cover compared to the past. These findings provide information about possible changes in the mangrove ecosystem in the past that need to be revealed and serve as an important basis for sustainable management and conservation in the TWAAK area.

**Keywords:** mangrove; sediment; vertical organic carbon; conservation

## PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove merupakan lingkungan yang sangat produktif dan kaya akan keanekaragaman hayati yang ditemukan di zona pasang surut di wilayah tropis dan subtropis. Hutan mangrove memainkan peran ekologis yang krusial dengan berperan sebagai penghubung alami antara ekosistem laut dan darat, mendukung beragam flora dan fauna, termasuk mikroorganisme yang vital bagi siklus hara (Haseeba *et al.*, 2025). Secara ekologis, mangrove menyediakan beberapa layanan penting sebagai tempat reproduksi, berlindung dan sumber makanan bagi ikan dan invertebrata. Akarnya juga menstabilkan garis pantai dan mengurangi erosi, memberikan perlindungan alami terhadap gelombang badai dan kenaikan muka air laut (Kadaverugu *et al.*, 2022). Kapasitas penyimpanan karbon mangrove dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk keanekaragaman hayati, keanekaragaman fungsi, dan kondisi lingkungan seperti tekanan antropogenik. Penyimpanan karbon terjadi dalam biomassa dan sedimen. Studi telah menunjukkan bahwa mangrove dapat menyerap karbon organik dalam jumlah besar dan penting untuk mitigasi perubahan iklim (Rahman *et al.*, 2021; Hapsari *et al.* 2022).

Taman Wisata Alam Angke Kapuk (TWAAK) merupakan salah satu kawasan konservasi dan ekowisata mangrove yang berada di Jakarta Utara. Jumlah luasan area konservasi mangrove di TWAAK ini mencapai 99,82 hektar. Dengan demikian kawasan tersebut memiliki banyak manfaat secara ekologi, baik sebagai penyimpan karbon, taman suaka dan margasatwa serta sebagai salah satu upaya perlindungan dalam mencegah abrasi. Peran ekosistem mangrove di TWAAK memiliki kontribusi besar dalam siklus karbon global melalui penyerapan dan penyimpanan karbon.

Namun demikian sampai saat ini belum banyak data terkait perhitungan stok karbonnya, terutama dalam sedimen. Karbon dalam sedimen bersumber dari daun, ranting, dan akar yang mati (Donato *et al.*, 2011). Studi sebelumnya yang dilakukan oleh Abdurrahman *et al.* (2024) menunjukkan bahwa estimasi stok karbon yang dilakukan menggunakan drone dan citra satelit untuk seluruh area TWAAK pada tahun 2021 adalah 64,85 ton/ha dan mengalami peningkatan selama rentang waktu 10 tahun. Perhitungan stok karbon ini dilakukan berdasarkan biomassa dari mangrove. Penelitian ini akan melakukan estimasi stok karbon dalam sedimen menggunakan sampel dari sedimen yang dianalisis di laboratorium, dan belum dilakukan sebelumnya di wilayah penelitian.

## MATERI DAN METODE

### Materi Penelitian

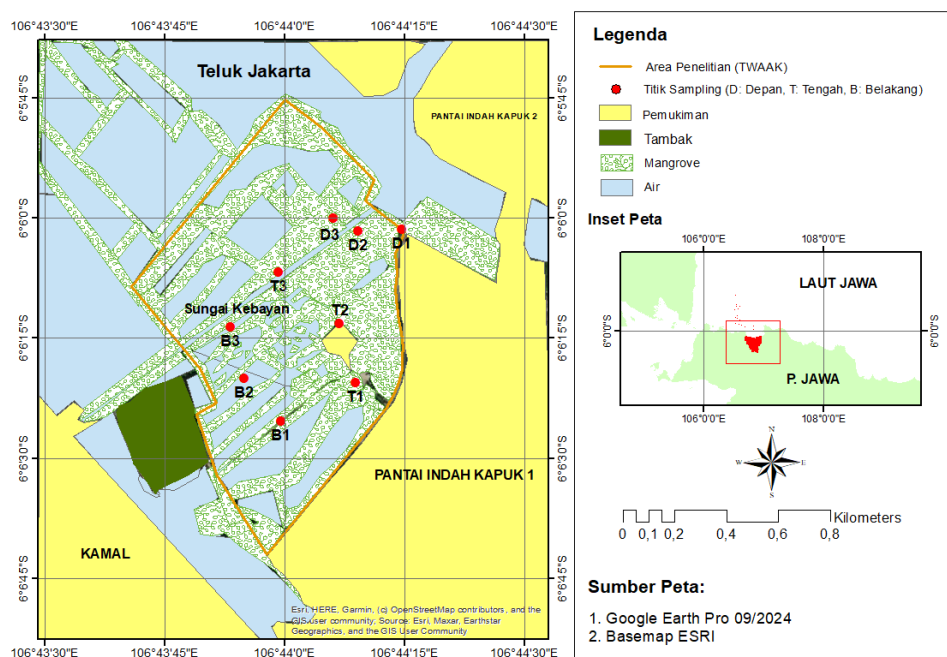
Materi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sedimen dan faktor lingkungan berupa nilai pH sedimen pada ekosistem mangrove yang diambil secara langsung atau in-situ sebagai data primer atau data utama untuk melakukan perhitungan estimasi stok karbon.

### Metode Penentuan Lokasi

Pengambilan sampel sedimen pada penelitian ini dibagi menjadi 3 zona dengan setiap zona terdapat 3 titik stasiun (Gambar 1). Zona D menggambarkan zona yang dapat mewakili ekosistem mangrove yang paling dekat dengan laut dan langsung terpengaruh oleh pasang surut air laut. Zona T adalah zona tengah dimana di zona ini ekosistem mangrove mendapat banyak pengaruh dari aktivitas antropogenik karena zona ini merupakan zona yang sering dilewati para wisatawan dan juga merupakan lokasi resort bagi wisatawan serta Zona B merupakan zona yang mendapat banyak pengaruh antropogenik berupa limbah domestik dan lokasinya yang berbatasan langsung dengan tambak.

### Metode Pengambilan Sampel Sedimen

Mengacu pada penelitian Paputungan *et al.* (2017) pengambilan sampel sedimen dilakukan dengan *sediment corer* yang berbentuk silinder berupa pipa PVC sepanjang 100 cm dengan diameter 7,6 cm yang ditancapkan secara vertikal sambil diputar hingga kedalaman 30 cm. Setelah *corer* masuk sedalam 30 cm, corer kemudian ditarik lalu diukur dan dibagi menjadi 2 interval, yaitu 0-15 cm dan 15-30 cm pada setiap stasiun. Sampel yang diperoleh dimasukkan ke dalam kantong plastik dan diberi label untuk selanjutnya dianalisa di laboratorium.



**Gambar 1.** Peta Lokasi Penelitian Taman Wisata Angke Kapuk, DKI Jakarta

### Metode Penentuan Ukuran Butir Sedimen

Sampel sedimen setiap stasiun yang diambil dilakukan proses *sieving* dan *pipetting*. Proses *sieving* ditunjukkan untuk memisahkan sedimen sesuai dengan ukuran butir (mesh size 2  $\mu\text{m}$ , 0,6  $\mu\text{m}$ , 0,425  $\mu\text{m}$ , 0,25  $\mu\text{m}$  dan 0,15  $\mu\text{m}$ , 0,0625  $\mu\text{m}$ ). Butiran yang lolos ayakan terakhir (0,0625  $\mu\text{m}$ ) dilanjutkan proses *sieving*. Mengacu penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Hermialangga *et al.*, (2020), analisis ukuran butir sedimen dilakukan untuk mengetahui jenis sedimen di ekosistem tersebut. Ukuran butir sedimen ditentukan berdasarkan klasifikasi ukuran butir tanah dan segitiga *Wentworth*.

### Perhitungan *Dry Bulk Density*

Gelas ukur dan sedimen basah ditimbang dimasukkan kedalam wadah alumunium untuk dilakukan pengeringan menggunakan oven. Setelah kering dimasukkan dalam desikator hingga mencapai suhu ruangan, keluarkan sedimen lalu ditimbang bersama dengan gelas ukur untuk mendapatkan berat sedimen kering. Perhitungan *bulk density* mengacu persamaan yang dilakukan oleh Aldiano *et al.*, (2022):

$$BD = \frac{\text{Berat Tanah Kering}}{\text{Volume}} \text{ gr/cm}^3$$

### Perhitungan Simpanan Karbon

Analisis karbon organik dilakukan dengan metode *Loss of Ignition*, melalui pencucian dengan 1 M HCl dan pembilasan menggunakan aquades. Selanjutnya sedimen dikeringkan terlebih dahulu pada suhu 60-80°C dan ditimbang sebagai berat setelah pencucian dengan asam ( $W_{\text{asam}}$ ). Sampel sedimen yang diketahui berat awal ( $W_{\text{awal}}$ ) dibakar dalam *furnace* pada suhu 550 °C selama 6 jam. Penentuan prosentase organic carbon dihitung mengikuti formula yang dilakukan oleh Putri *et al.*, (2024) menggunakan persamaan 1:

$$\%OC = \left( \frac{W_{\text{asam}} - W_{\text{akhir}}}{W_{\text{awal}}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Keterangan: %OC = Persentase bahan organik sedimen yang hilang pada proses *Loss of Ignition*;  $W_{\text{awal}}$  = Berat awal (gr) sedimen sebelum dicuci 1 M HCl;  $W_{\text{asam}}$  = Berat setelah pengasaman (gr);  $W_{\text{akhir}}$  = Berat setelah pembakaran (gr)

Mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Putri *et al.* (2024), nilai estimasi stok karbon pada sedimen dihitung dengan menggunakan persamaan 2:

$$\text{SOC} = \text{BD} \times \text{SDI} \times \frac{\% \text{OC}}{100} \quad (2)$$

Keterangan: SOC= estimasi simpanan karbon ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ); BD = Bulk Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ); SDI = Interval kedalaman sampel; %OC = kandungan karbon organik. Selanjutnya nilai estimasi stok karbon dapat dikonversikan ke (ton/ha) dengan mengkalikan 100.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari analisis karbon organik di setiap titik pengambilan sampel disajikan pada Tabel 1. Hasil yang diperoleh dari penentuan ukuran butir sedimen memiliki nilai bervariasi di setiap titik dan data secara lengkap disajikan pada Tabel 2. Hasil penamaan menggunakan segitiga shepard, wilayah penelitian didominasi fraksi pasir.

Berdasarkan Tabel 2, jenis sedimen didominasi oleh fraksi pasir. Hal ini tidak seperti kondisi pada umumnya, dimana jenis sedimen pada ekosistem mangrove alami didominasi oleh jenis sedimen halus seperti silt dan clay (Piranto *et al.* 2019). Booth (2023) menjelaskan bahwa ukuran partikel lanau dan pasir dalam ekosistem bervariasi dan tentunya dapat memengaruhi retensi air, ketersediaan nutrisi, dan aktivitas biologis dalam sedimen mangrove yang secara tidak langsung juga akan terkait dengan jumlah karbon organik yang terakumulasi (Selvaraj *et al.*, 2023) dan akan berdampak langsung pada dinamika komunitas mikroba, siklus nutrisi, dan kesehatan ekosistem mangrove secara keseluruhan. Dominasi pasir di ekosistem mangrove ini kemungkinan dipengaruhi oleh masukan tanah uruk dari pembangunan di sekitar TWAAK yang menyebabkan banyak partikel sedimen yang berukuran besar mengendap di permukaan. Adanya kegiatan antropogenik seperti pembangunan jalan di area mangrove dapat berdampak negatif terhadap nilai ekosistem mangrove (Zhang *et al.*, 2024), terutama kemampuannya dalam pengikatan material organik. Tekstur sedimen, yang mencakup rasio pasir, lanau, dan lempung, dapat memengaruhi jenis bahan organik. Lins *et al.* (2014) menjelaskan

**Tabel 1.** Estimasi Simpanan Karbon Organik Total Secara Vertikal

| Stasiun      | Stasiun | Interval | pH Sedimen | DBD  | %OC   | SOC ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) | SOC (ton/ha) |
|--------------|---------|----------|------------|------|-------|--------------------------------|--------------|
| D (DEPAN)    | D1      | 0-15 cm  | 5,1        | 0,60 | 4,42  | 0,40                           | 39,92        |
|              |         | 15-30 cm | 5,9        | 0,63 | 2,92  | 0,28                           | 27,67        |
|              | D2      | 0-15 cm  | 5,9        | 0,47 | 6,43  | 0,46                           | 45,72        |
|              |         | 15-30 cm | 6,3        | 0,55 | 3,04  | 0,25                           | 25,01        |
|              | D3      | 0-15 cm  | 6          | 0,41 | 4,55  | 0,28                           | 27,69        |
|              |         | 15-30 cm | 6,5        | 0,42 | 3,82  | 0,24                           | 23,93        |
| T (TENGAH)   | T1      | 0-15 cm  | 6,8        | 0,85 | 1,47  | 0,19                           | 18,70        |
|              |         | 15-30 cm | 6,7        | 0,97 | 0,89  | 0,13                           | 12,96        |
|              | T2      | 0-15 cm  | 6,5        | 0,40 | 9,72  | 0,58                           | 57,80        |
|              |         | 15-30 cm | 6,2        | 0,55 | 8,84  | 0,73                           | 73,30        |
|              | T3      | 0-15 cm  | 6,7        | 0,49 | 3,95  | 0,29                           | 29,30        |
|              |         | 15-30 cm | 6,6        | 0,58 | 4,98  | 0,43                           | 43,11        |
| B (BELAKANG) | B1      | 0-15 cm  | 6,4        | 0,64 | 3,70  | 0,36                           | 35,71        |
|              |         | 15-30 cm | 6,8        | 0,53 | 3,28  | 0,26                           | 26,25        |
|              | B2      | 0-15 cm  | 6,1        | 0,29 | 11,89 | 0,51                           | 51,21        |
|              |         | 15-30 cm | 6,3        | 0,36 | 6,60  | 0,36                           | 35,96        |
|              | B3      | 0-15 cm  | 6,7        | 0,42 | 8,90  | 0,55                           | 55,50        |
|              |         | 15-30 cm | 6,8        | 0,38 | 14,97 | 0,85                           | 84,69        |

**Tabel 2.** Persentase Fraksi Sedimen

| Stasiun | Interval Kedalaman | % Fraksi Sedimen |       |      | Jenis Sedimen |
|---------|--------------------|------------------|-------|------|---------------|
|         |                    | Sand             | Silt  | Clay |               |
| D1      | 0-15 cm            | 92,67            | 4,99  | 2,34 | Pasir         |
|         | 15-30 cm           | 96,29            | 1,96  | 1,75 | Pasir         |
| D2      | 0-15 cm            | 85,10            | 7,19  | 7,70 | Pasir         |
|         | 15-30 cm           | 87,41            | 7,20  | 5,38 | Pasir         |
| D3      | 0-15 cm            | 85,12            | 9,26  | 5,63 | Pasir         |
|         | 15-30 cm           | 82,15            | 11,40 | 6,45 | Pasir         |
| T1      | 0-15 cm            | 92,05            | 5,68  | 2,26 | Pasir         |
|         | 15-30 cm           | 91,38            | 5,58  | 3,04 | Pasir         |
| T2      | 0-15 cm            | 87,68            | 7,57  | 4,75 | Pasir         |
|         | 15-30 cm           | 91,87            | 4,98  | 3,15 | Pasir         |
| T3      | 0-15 cm            | 85,12            | 9,26  | 5,63 | Pasir         |
|         | 15-30 cm           | 92,04            | 4,39  | 3,57 | Pasir         |
| B1      | 0-15 cm            | 93,79            | 4,06  | 2,15 | Pasir         |
|         | 15-30 cm           | 94,91            | 3,66  | 1,43 | Pasir         |
| B2      | 0-15 cm            | 91,56            | 5,35  | 3,10 | Pasir         |
|         | 15-30 cm           | 91,16            | 6,44  | 2,39 | Pasir         |
| B3      | 0-15 cm            | 91,30            | 6,03  | 2,67 | Pasir         |
|         | 15-30 cm           | 88,92            | 6,09  | 4,99 | Pasir         |

**Tabel 3.** Nilai Korelasi Karbon Organik terhadap Jenis Sedimen

|                | Interval | Pasir | Lanau | Lempung |
|----------------|----------|-------|-------|---------|
| Karbon Organik | 0-15 cm  | -0,79 | -0,03 | 0,07    |
|                | 15-30 cm | -0,05 | 0,04  | 0,31    |

bahwa sedimen dengan kandungan pasir yang tinggi mungkin memiliki sumber karbon organik yang bervariasi, termasuk biomassa yang berasal dari laut dan karbon organik tanah.

Selanjutnya dalam perhitungan simpanan karbon, hal yang perlu dihitung adalah nilai Bulk Density (BD). Dari hasil penentuan nilai *Dry Bulk Density* (DBD) sedimen, secara rerata memiliki nilai sebesar 0,53 g/cm<sup>3</sup>, yang tergolong rendah-sedang dan termasuk dalam tekstur halus dengan porositas tinggi. Kondisi ini mendukung penumpukan bahan organik dalam jangka panjang (Aldiano, 2022). Perhitungan estimasi stok karbon sangat bergantung pada nilai BD dan persentase kandungan karbon organik pada sedimen. Kedua nilai tersebut merupakan variabel terikat dalam melakukan perhitungan estimasi stok karbon pada sedimen di suatu lokasi. Setiap zona mempunyai rata-rata persentase kandungan karbon organik yang beragam. Nilai rata-rata persentase kandungan karbon organik dari zona D, zona T, dan zona B secara berturut-turut adalah 4,19%, 4,97%, dan 8,22%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa zona B mempunyai kandungan karbon organik yang paling banyak diantara zona lainnya. Hasil persentase kandungan karbon organik secara vertikal terbagi dalam 2 interval kedalaman yaitu kedalaman 0-15 cm dan 15-30 cm, rata-rata nilai persentase kandungan karbon organik secara vertikal pada masing-masing interval kedalaman secara berturut-turut adalah 39,2% dan 40,1%. Nilai tersebut menunjukkan persentase karbon organik yang sedikit lebih besar pada interval kedalaman 15-30 cm. Kondisi ini menunjukkan adanya perubahan bahwa pada masa lampau, karbon yang terikat dalam sedimen lebih besar dibanding saat ini yang di duga telah terjadi perubahan biomassa yang berkaitan dengan penurunan tutupan ekosistem mangrove akibat konversi lahan. Berdasarkan perhitungan stok karbon per hektar zona D, zona T, dan zona B secara berturut-turut stok karbonnya adalah 63,31 ton/ha, 78,39 ton/ha, dan 96,44

ton/ha. Nilai tersebut secara linier positif berkaitan dengan prosentase kandungan karbon organik pada setiap zonanya. Besar nya nilai stok karbon organik dan persentase kandungan karbon organik pada zona B dipengaruhi oleh rata-rata nilai BD di zona ini yang lebih rendah dari zona lainnya. Nilai tersebut konsisten dengan penelitian oleh Aldiano (2022) yang menyatakan bahwa nilai BD yang lebih rendah umumnya mengandung bahan organik yang lebih tinggi. Bulk density yang rendah berkaitan dengan keberadaan tekstur sedimen yang lebih kasar, sehingga kekuatan pengikatan organik karbon menjadi berkurang. Bila nilai stok karbon organik pada setiap zona dirata-ratakan nilai akhir yang didapat adalah sebesar 79,38 ton/ha. Nilai ini lebih rendah dari hasil penelitian Hickmah (2021) di Karimunjawa dengan estimasi nilai stok karbon sebesar 124,44 ton/ha dan lebih tinggi dari hasil penelitian Pangestika, (2023) di Kecamatan Ayah, Kabupaten Kebumen dengan nilai 30,43 ton/ha. Rendahnya nilai karbon pada sedimen di lokasi penelitian dipengaruhi oleh fraksi sedimen yang didominasi oleh pasir. Fraksi sedimen dengan ukuran butir lebih halus memiliki kandungan karbon organik lebih banyak dibandingkan dengan sedimen pasir. Berdasarkan korelasi fraksi sedimen dengan kandungan karbon organik menunjukkan bahwa fraksi sedimen pasir memiliki nilai korelasi yang lebih rendah (Tabel 3) daripada fraksi sedimen lanau dan lempung, meskipun dalam penelitian ini korelasi positif kuat tidak ditemukan pada fraksi sedimen halus. Sedimen berpasir memiliki pori-pori yang besar yang umumnya berkaitan dengan kondisi arus yang lebih kuat. Pada kondisi ini bahan organik yang lebih kuat terikat fraksi lebih halus tidak sempat terendapkan atau terakumulasi (Putri . 2024). Nilai stok karbon yang diperoleh pada penelitian ini lebih tinggi dibanding penelitian sebelumnya oleh Abdurrahman (2024) yaitu sebesar 79.38 ton/Ha. Perbedaan nilai ini berkaitan dengan perbedaan stok karbon yang dihitung adalah stok karbon biomassa, sedangkan pada penelitian stok karbon pada sedimen. Berdasarkan perhitungan stok karbon biomassa oleh Abdurrahman . (2024) di Taman Wisata Alam Angke Kapuk, hasil perhitungan konversi didapatkan stok karbon sebesar 64,85 ton/ha. Mudiyarso . (2015) menjelaskan bahwa stok karbon di sedimen ditemukan lebih tinggi dibanding stok karbon biomassa. Hal ini terkait dengan penyerapan karbon sedimen yang lebih stabil dan persisten, berbeda dengan karbon biomassa yang lebih dinamis dan dipengaruhi oleh kondisi ekologi dan lingkungan hutan bakau (Neto, 2023; Chatting *et al.*, 2022).

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di Taman Wisata Alam Angke Kapuk, didapatkan kesimpulan bahwa jenis sedimen pada penelitian ini didominasi oleh pasir. Nilai rata-rata stok karbon di penelitian ini adalah sebesar 79,38 ton/ha dengan nilai stok karbon organik zona D sebagai zona yang dekat laut, zona T sebagai zona transisi, dan zona B sebagai zona dekat tambak secara berturut-turut sebesar 63,31 ton/ha, 78,39 ton/ha, dan 96,44 ton/ha. Aktivitas pertambakan memberikan kontribusi lebih banyak dalam masukan karbon dalam sedimen. Tingginya nilai karbon di lapisan dalam juga memberikan petunjuk adanya perubahan masa lampau dalam penyimpanan karbon, yang dapat diindikasikan telah terjadi perubahan ekosistem di TWAAK. Selain itu, nilai stok karbon pada penelitian ini juga dipengaruhi prosentase fraksi sedimen yang bervariasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, U., Pratyaksa, I. F., Nur, A. A., Jeon, C. K., Radjawane, I. M., & Park, H. S. 2024. Mangrove mapping and carbon stock estimation at Taman Wisata Alam Mangrove, Angke Kapuk, North Jakarta, Indonesia. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1410(1): p.012041.
- Aldiano, R. R., & Wijaya, N. I. 2022. Estimasi Karbon Organik Sedimen di Ekosistem Mangrove Gunung Anyar, Surabaya. *J-Tropimar*, 4(2): 111-123. <https://doi.org/10.30649/jrkt.v4i2.55>
- Alongi, D. M. 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual review of marine science*, 6(1): 195-219.
- Azzahra, P. R., Sumarga, E., & Sholihah, A. 2022. Analisis Kesehatan Mangrove di Taman Wisata Alam Angke Kapuk, Jakarta Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 20(1): 40-51.
- Booth, J. M., Fusi, M., Marasco, R., & Daffonchio, D. 2023. The microbial landscape in bioturbated mangrove sediment: A resource for promoting nature-based solutions for mangroves. *Microbial Biotechnology*, 16(8): 1584–1602. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14273>
- Chatting, M., Levay, L., Walton, M., Skov, M. W., Kennedy, H., Wilson, S., & Al-Maslamani, I. 2020. Mangrove carbon stocks and biomass partitioning in an extreme environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 244: p.106940. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106940>

- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature geoscience*, 4(5): 293-297.
- Hapsari, F. N., Maslukah, L., Dharmawan, I. W. E., & Wulandari, S. Y. 2022. Simpanan Karbon Organik Dalam Sedimen Mangrove Terhadap Pasang Surut Di Pulau Bintan. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(1): 86-98.
- Haseeba, K. P., Aboobacker, V. M., Vethamony, P., & Al-Khayat, J. A. 2025. Significance of *Avicennia Marina* in the Arabian Gulf Environment: A Review. *Wetlands*, 45(1): p16. <https://doi.org/10.1007/s13157-025-01899-8>.
- Hermialingga, S., Suwignyo, R. A., & Ulqodry, T. Z. 2020. Carbon storage estimation in mangrove sediment at Payung Island, South Sumatera. *Sriwijaya Journal of Environment*, 5(3): 178-184.
- Hickmah, N., Wulandari, S. Y., Sugianto, D. N., Wirasatriya, A., & Maslukah, L. 2021. Kajian Stok Karbon Organik dalam Sedimen di Area Vegetasi Mangrove Karimunjawa. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(4): 419–426. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i4.12494>
- Kadaverugu, R., Dasgupta, R., Hashimoto, S., Kumar, P., Pujari, P., Biniwale, R., Dhyani, S., & Purohit, V. 2022. Scenario-based quantification of land-use changes and its impacts on ecosystem services: A case of Bhitarkanika mangrove area, Odisha, India. *Journal of Coastal Conservation*, 26(4): p.30. <https://doi.org/10.1007/s11852-022-00877-0>
- Lin, B., Haghipour, N., Eglinton, T. I., Wiesner, M. G., Blattmann, T. M., & Liu, Z. 2024. Organic Carbon Sources in Surface Sediments on the Northern South China Sea. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 129(4): p.e2023JG007909. <https://doi.org/10.1029/2023jg007909>
- Neto, M., Da Silva, J. B., & De Brito, H. C. 2023. Carbon stock estimation in a Brazilian mangrove using optical satellite data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(1): p9. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12151-3>
- Palit, K., Das, S., Rath, S., & Chatterjee, S. 2022. Microbial diversity and ecological interactions of microorganisms in the mangrove ecosystem: Threats, vulnerability, and adaptations. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(22): 32467–32512. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19048-7>
- Pangestika, M. A., Soenardjo, N., & Pramesti, R. 2023. Estimasi Simpanan Karbon Sedimen Mangrove di Hutan Mangrove Kecamatan Ayah, Kabupaten Kebumen. *Journal of Marine Research*, 12(1): 89-94.
- Paputungan, M. S., Koropitan, A. F., Prartono, T., & Lubis, A. A. 2017. Sediment accumulation profile in mangrove restoration area of Lembar Bay-Lombok Island. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1): 301-313.
- Putri, K. A., Ulumuddin, Y. I., Maslukah, L., & Wulandari, S. Y. 2024. Stok Karbon Organik Sedimen Mangrove di Laguna Segara Anakan. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(2): 279-290.
- Rahman, M. M., Zimmer, M., Ahmed, I., Donato, D., Kanzaki, M., & Xu, M. 2021. Co-benefits of protecting mangroves for biodiversity conservation and carbon storage. *Nature Communications*, 12(1): p.3875. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24207-4>
- Selvaraj, V., Saradhambal, S. R., Sankarappan, R., Pandu, P., & Anandarao, R. 2023. An appraisal of trace element concentration and environmental risk of sediments: a baseline study of sediments from Arasalar River Estuary, Tamil Nadu, India. *Environmental Science and Pollution Research International*, 31(29): 41446–41461. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28552-3>
- Zhang, W., Bockelmann, F.D., Kasten, S., Spiegel, T., Yilmaz, R., Ho-Hagemann, H. T. M., Wallmann, K., Schrum, C., Taylor, B., Bernhardt, L., Neumann, A., Ziebarth, N., Holtappels, M., Kuhlmann, J., Daewel, U., & Porz, L. 2024. Long-term carbon storage in shelf sea sediments reduced by intensive bottom trawling. *Nature Geoscience*, 17(12): 1268–1276