

ESTIMASI SIMPANAN KARBON TEGAKAN *Rhizophora* SPP., DAN SEDIMEN EKOSISTEM MANGROVE DI KECAMATAN BELOPA, KABUPATEN LUWU

ESTIMATION OF CARBON STORAGE OF *Rhizophora* SPP. STANDS, AND SEDIMENTS OF MANGROVE ECOSYSTEMS IN BELOPA, LUWU REGENCY

Nuril Mutmainna, Muh. Ruslan Umar, Muhtadin Asnady Salim

Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Abstrak

Penelitian Estimasi Simpanan Karbon Tegakan *Rhizophora* spp., dan Sedimen Ekosistem Mangrove di Kecamatan Belopa, Kabupaten Luwu, telah dilakukan pada bulan Januari-Maret 2023, yang bertujuan untuk mengetahui simpanan karbon, korelasi diameter dengan biomassa, simpanan karbon, serapan CO₂ tegakan *Rhizophora* spp., dan sedimen ekosistem mangrove alami dan rehabilitasi di Kecamatan Belopa, Kabupaten Luwu. Penelitian menggunakan metode analisis vegetasi non destruktif-floristika. Data yang dikumpulkan adalah jenis mangrove, jumlah setiap jenis, diameter batang (DBH), habitus tegakan, sedimen, dan parameter lingkungan. Pengambilan data lapangan dilakukan menggunakan transek-plot dengan panjang 100 m, plot berukuran 10 x 10 m, 5 x 5 m. Sampel sedimen diambil dengan *core* sedimen. Analisis data biomassa menggunakan rumus allometrik, dan analisis sedimen mencakup kandungan bahan organik total, karbon organik, tekstur sedimen, dan densitas tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simpanan karbon pada tegakan *Rhizophora* spp., pada stasiun I mangrove alami (15,23 ± 8,17) lebih tinggi daripada di stasiun II mangrove rehabilitasi (3,18 ± 0,48). Korelasi antara diameter tegakan *Rhizophora* spp. dengan biomassa, simpanan karbon, dan serapan CO₂nya berkorelasi kuat. Simpanan karbon pada sedimen di stasiun I lebih tinggi lebih tinggi (39,55 ton/ha) daripada stasiun II (36,36), kedua stasiun penelitian memiliki substrat sedimen berupa lempung berpasir.

Kata kunci : *Rhizophora* spp., tegakan, sedimen, simpanan karbon

Abstract

Research on Estimation and Comparison of Carbon Storage of *Rhizophora* spp. stands, Sediment of Natural and Rehabilitated Mangrove Ecosystems in Belopa, Luwu Regency was conducted in January-March 2023, which aims to determine carbon storage, correlation of diameter with biomass, carbon storage, CO₂ uptake of *Rhizophora* spp. stands, and sediment of natural and rehabilitated mangrove communities in Belopa District, Luwu Regency. The study used non-destructive vegetation analysis method-floristics. Data collected were mangrove species, number of each species, stem diameter (DBH), stand habitus, sediment, and environmental parameters. Field data collection was carried out using transect-plots with a length of 100 m, plots measuring 10 x 10 m, 5 x 5 m.. Sediment samples were taken with sediment cores. Biomass data analysis used the allometric formula, and sediment analysis included total organic matter content, organic carbon, sediment texture, and soil density. The results showed that carbon storage in *Rhizophora* spp. stands, at station I natural mangrove (15.23 ± 8.17) was higher than at station II rehabilitated mangrove (3.18 ± 0.48). The correlation between the diameter of *Rhizophora* spp. stands and their biomass, carbon storage, and CO₂ uptake were strongly correlated. Carbon storage in the sediment at station I was also higher (39.55 ± tons/ha) than station II (36.36 ± tons/ha), both research stations have a sediment substrate of sandy loam.

Key words: *Rhizophora* spp, stand, sediment, carbon storage

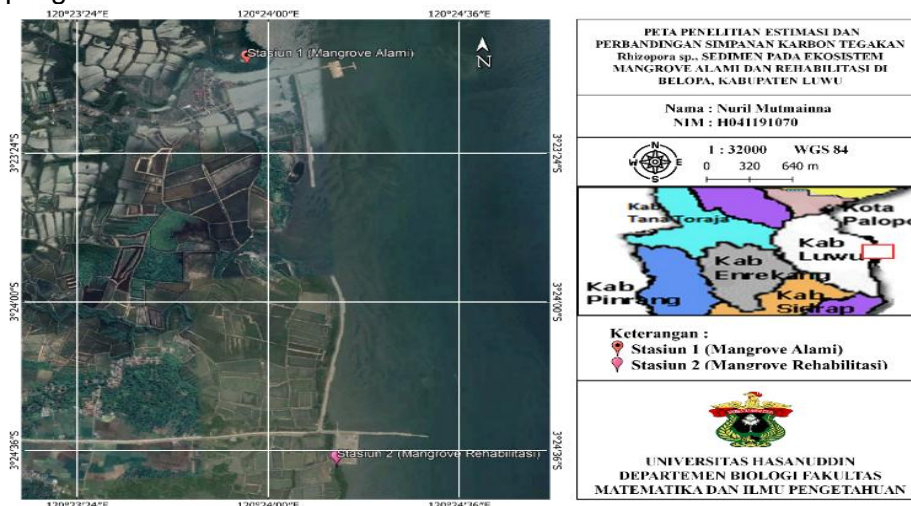
Pendahuluan

Ketidak seimbangan dan atau perubahan iklim di bumi disebabkan karena peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer seperti gas karbon dioksida (CO₂), gas metana (CH₄) dan gas nitrogen oksida (N₂O) yang mengakibatkan terjadinya pemanasan global (Global Warming) yang mengganggu seluruh aktivitas di bumi. Gas CO₂ sudah melebihi dari keadaan normalnya (0,035%) di atmosfer, sehingga menyebabkan terganggunya keseimbangan energi antara bumi dan atmosfer, yang memicu perubahan iklim global. Gas-gas di atmosfer umumnya berasal dari hasil aktivitas antropogenik seperti penggunaan bahan bakar fosil, kebakaran hutan, alat transportasi bermotor, industri, dan areal peternakan. Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk menanggulangi meningkatnya gas-gas penyebab efek rumah kaca di atmosfer adalah merehabilitasi lahan-lahan yang sudah atau kurang bervegetasi. Mangrove dijadikan sebagai salah satu parameter *blue carbon* karena mampu menyerap CO₂ untuk proses fotosintesis dan menyimpannya dalam bentuk biomassa dan di dalam sedimen. Menurut Irsadi dkk. (2017), karbon pada vegetasi mangrove tersimpan sebagai karbon organik (stok karbon) dalam bentuk biomassa. Estimasi stok karbon dalam suatu ekosistem mangrove dapat digunakan untuk mengetahui kemampuan ekosistem mangrove tersebut dalam menyerap gas-gas karbon dari atmosfer. Mengingat pentingnya fungsi ekologis dan ekonomi ekosistem mangrove dalam kehidupan, maka perlu dilakukan penelitian tentang simpanan karbon tegakan dan sedimen mangrove *Rhizophora* di areal mangrove alami dan rehabilitasi, di Kecamatan Belopa.

Metode Penelitian

Tempat dan Waktu Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan dengan melakukan survei lokasi kemudian menentukan titik sampling.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada stasiun I mangrove alami di Desa Belopa, stasiun II rehabilitasi di Desa Senga Selatan, Kecamatan Belopa, Kabupaten Luwu. Pengambilan data tegakan *Rhizophora* spp., dan sedimen dilakukan dari bulan Desember 2022-Januari 2023 di setiap stasiun penelitian. Analisis Karbon sedimen dilakukan di Lab. Oseanografi Fisika dan Geomorfologi Pantai, Fakultas Kelautan dan Ilmu Perikanan. Analisis *bulk density* dan tekstur sedimen dilakukan di Lab. Kimia dan Kesuburan Tanah, Fakultas Pertanian. Analisis dan interpretasi data dilakukan di Lab.

Ilmu Lingkungan dan Kelautan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

Alat dan Bahan

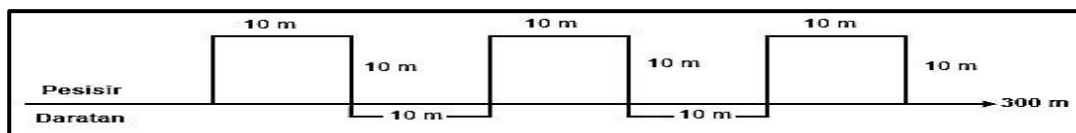
Alat yang digunakan yaitu *roll meter* (100 m), meteran pita, *sediment corer*, *thermohyrometer*, *lux meter*, *soil tester*, tali rafia, *ring sample*, oven, gelas kimia, *mortar* dan *pestle*, *furnace*, timbangan digital, GPS, kamera digital, *booties*, sarung tangan, tabel data dan alat tulis. Bahan yang digunakan adalah plastik sampel, tisu gulung, tegakan *Rhizophora* spp. dan sedimen mangrove.

Metode Pengumpulan Data

Penelitian yang dilakukan bersifat eksploratif-deskriptif, menggunakan metode analisis vegetasi non destruktif-floristika.

a. Pengumpulan Data Jumlah Individu *Rhizophora* spp.

1. Pengambilan data tegakan dilakukan pemasangan transek pada stasiun, penentuan titik awal pemasangan transek secara acak, garis transek ditarik lurus searah mata angin, dan dibuat tiga transek setiap stasiun.
2. Sepanjang transek dibuat 4 plot berukuran 10 m x 10 m persegi untuk tegakan pohon dan 5 m x 5 m persegi untuk pancang yang dibuat di dalam plot 10 m x 10 m dengan jarak antar plot 10 m. Berikut model transek yang digunakan :

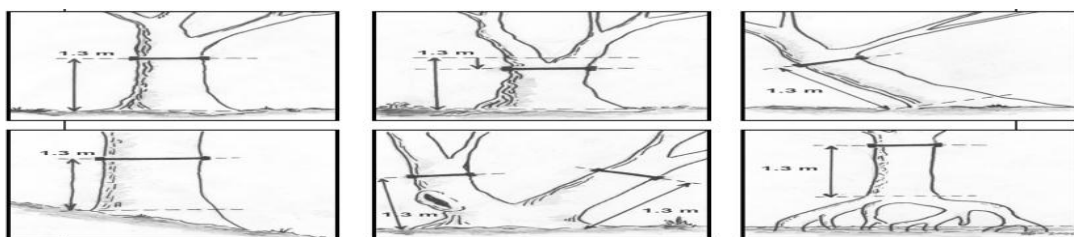


Gambar 2. Transek plot kuadrat 10 m x 10 m dan 5 m x 5 m

3. Setiap plot dihitung jumlah individu jenis, pengukuran diameter tergolong dalam kategori pancang atau pohon pada masing-masing plot.

b. Pengukuran Tinggi dan Diameter Tegakan *Rhizophora* spp.

1. Pengukuran dilakukan pada batas tinggi batang 1,3 meter di atas permukaan tanah, menggunakan kaliper (meteran pita). Beberapa cara pengukuran lingkaran batang. Dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Pengukuran lingkaran batang vegetasi mangrove (Sumber: Pearson et. al. 2005)

2. Data yang telah diambil (hasil perhitungan dan pengukuran) dicatat dalam tabel tally sheet yang telah disediakan sebelumnya, beserta dengan hasil pengukuran faktor-faktor lingkungannya.

c. Sedimen *Rhizophora* spp.

Pengambilan sampel sedimen dilakukan pada stasiun penelitian di setiap plot *sampling* sebanyak 4 kali pada waktu yang berbeda (setiap minggu dalam waktu satu bulan) pada kedalaman 10 cm dari permukaan substrat dengan menggunakan

sediment corer termodifikasi. Dilakukan pengukuran parameter lingkungan pada setiap transek plot yaitu pH tanah, suhu udara, kelembapan, dan intensitas cahaya.

Analisis Data Tegakan Mangrove *Rhizophora* spp.

1. Kerapatan Mangrove *Rhizophora* spp.

Setiap plot sampel dilakukan perhitungan jumlah individu dari jenis *Rhizophora* sp. yang berdiameter >5 cm. Data diolah dengan rumus (dew dan Zar, 1989) :

$$Di = \frac{ni}{A}$$

Keterangan: Di = Kepadatan individu jenis ke-i (individu /m²); ni = Jumlah individu jenis ke-i yang diperoleh; A = Luas total area pengambilan contoh (m²).

Tabel 1. Kriteria Baku Status Kerusakan Mangrove Sumber: (Kepmen LH No.201 Tahun 2004)

Kriteria Status	Tingkat Kerapatan	Jumlah individu / ha)
Baik	Sangat Padat	≥ 1500
Sedang	Sedang	≥ 1000 - < 1500
Rusak	Jarang	< 1000

2. Biomassa Tegakan *Rhizophora* spp.

Untuk

estimasi biomassa tegakan digunakan rumus sebagai berikut.

Tabel 2. Rumus allometrik estimasi biomassa tegakan mangrove untuk marga *Rhizophora* spp.

Jenis Spesies	Model Allometrik	Sumber
<i>R. mucronata</i>	Wr = 0,1466*DBH ^{2,3136}	(Dharmawan & Siregar, 2008)
<i>R. apiculata</i>	Wr = 0,235*DBH ^{2,42}	(Komiyama et al., 2008)
<i>R. stylosa</i>	Wr = 0.9789*DBH ^{2.6848}	(Mayuftia et al., 2013)

Keterangan: Wr= Biomassa Pohon Mangrove; DBH = Diameter Batang Pohon

3. Simpanan Karbon Tegakan *Rhizophora* spp.

Menurut Rahmattin dan Hidayah (2020), bahwa 50% dari biomassa merupakan karbon. Simpanan karbon dapat dengan rumus (Mansur dkk., 2011).

$$C = 0,5 \times B$$

Keterangan: C = Kandungan karbon (Kg/m²); B = Biomassa (Kg)

4. Simpanan Total Karbon Tegakan per Hektar

Stok

karbon dikonversi ke dalam satuan ton sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) (2011), perhitungan stok karbon satuan ton per-hektar untuk biomassa tumbuhan sebagai berikut:

$$Cn = \frac{Cx}{1000} \times \frac{10.000}{L_{plot}}$$

Keterangan: Cn= Simpanan karbon per hektar masing-masing *carbon pool* tiap plot (Ton/ha); Cx= Kandungan karbon pada masing-masing *carbon pool* pada tiap plot (Kg); L plot = Luas plot pada masing-masing *pool* (m²)

3. Serapan Karbondioksida

Rumus yang digunakan sebagai berikut (Dhamawan dan Siregar, 2008) :

$$CO_2 = \frac{Bm \times CO_2}{Ba \times C}$$

Keterangan: CO₂ = Serapan karbon dioksida (ton/ha); Bm.CO₂ = Berat molekul relatif senyawa CO₂ (44) ; Ba. C = Berat relatif atom C (12); C = Kandungan karbon (ton/ha).

6. Hubungan Diameter dengan Biomassa, Simpanan Karbon dan Serapan Karbon dioksida (CO₂)

Analisis hubungan diameter dengan biomassa, simpanan karbon, dan serapan CO₂ tegakan *Rhizophora*, diuji menggunakan uji regresi linear sederhana. Rumus regresi linear sederhana sebagai berikut (Sutaryo, 2009).

$$Y = a \pm bX$$

Analisis Data Sedimen Mangrove

1. Analisis Karbon Organik Total Sedimen

Karbon organik total sedimen diperoleh melalui metode pengabuan menggunakan *furnace* dengan rumus sebagai berikut (Agus et al. 2010):

$$\text{Kadar Bahan Organik} = \text{Kadar Bahan Kering (\%)} - \text{Kadar Abu (\%)}.$$

Selanjutnya penentuan persentase C organik dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut (Agus et al., 2010):

$$\text{Karbon Organik (\%)} = \text{Bahan Organik (\%)} \times 0,58$$

2. Analisis Densitas Tanah (*Bulk Density*)

Perhitungan densitas atau berat jenis tanah (*bulk density*) dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut (SNI, 2011) :

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

3. Analisis Simpanan Karbon Total Sedimen

a. Penentuan simpanan karbon sedimen mangrove, yang dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Ariani, dkk., 2016) :

$$\text{Simpanan Karbon (g/cm}^2\text{)} = Kd \times p \times \% C\text{- Organik}$$

Keterangan: Kd = Kedalaman (cm); p = berat jenis tanah (g/cm³).

b. Konversi simpanan karbon ke dalam ton per hektar berdasarkan berdasarkan SNI 7724: 2011, dapat dihitung rumus sebagai berikut.

$$\text{Karbon (ton/ha)} = \text{Karbon (g/cm}^2\text{)} \times 100$$

c. Konversi simpanan karbon menjadi total serapan CO₂ yang terakumulasi pada sedimen, dihitung sebagai berikut (Kauffman dan Donato, 2012) :

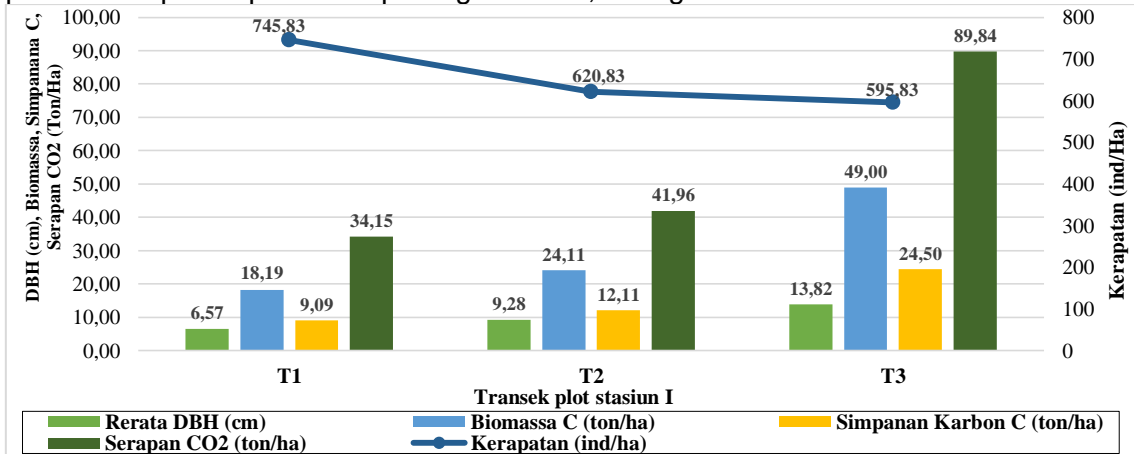
$$WCO_2 = \text{Simpanan Karbon} \times 3,67$$

Keterangan: W = Serapan Karbon dioksida; 3,67 = Angka ekuivalen atau konversi unsur C ke CO₂.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Analisis Diameter, Biomassa, Simpanan Karbon, dan Serapan CO₂ Tegakan *Rhizophora* spp. di Belopa

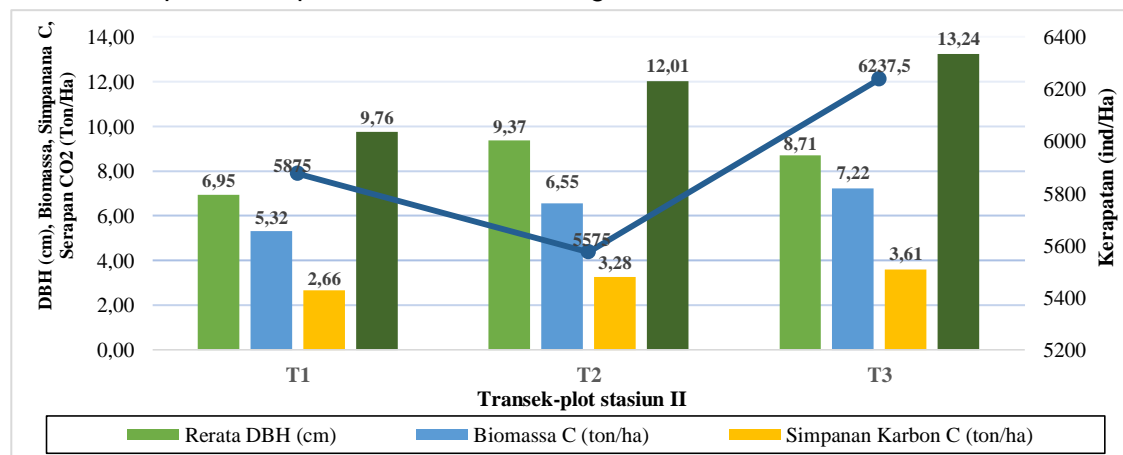
Data rata-rata diameter, biomassa, simpanan karbon, dan serapan CO₂ pada stasiun I per transek plot dapat dilihat pada gambar 4., sebagai berikut.



Gambar 4. Grafik rata-rata diameter tegakan, biomassa, simpanan karbon dan serapan CO₂ pada stasiun I (area alami) di Desa Belopa.

Gambar 4. Menunjukkan bahwa baik diameter tegakan, biomassa, simpanan karbon maupun serapan CO₂ tertinggi yaitu pada transek-plot 3, walaupun rata-rata kerapatan tegakan mangrove *Rhizophora* lebih rendah dari pada transek-plot 1 dan 2. Sedangkan pada transek-plot 1 rata-rata kerapatan mangrove *Rhizophora* tinggi, tetapi rata-rata diameter tegakan, biomassa, simpanan karbon dan serapan CO₂ yang rendah. Hal ini karena perbedaan jumlah tegakan, besar-kecilnya diameter tegakan, dan jenis mangrove pada transek-plot, yang berdampak pada hasil rata-rata diameter tegakan, biomassa, simpanan karbon dan serapan CO₂. Menurut Azzahra, et. al. (2020) pada suatu areal banyak tumbuhan berhabitus pohon dengan tingkat kerapatan tinggi maka biomasnya akan banyak, sehingga simpanan karbon yang lebih besar pula.

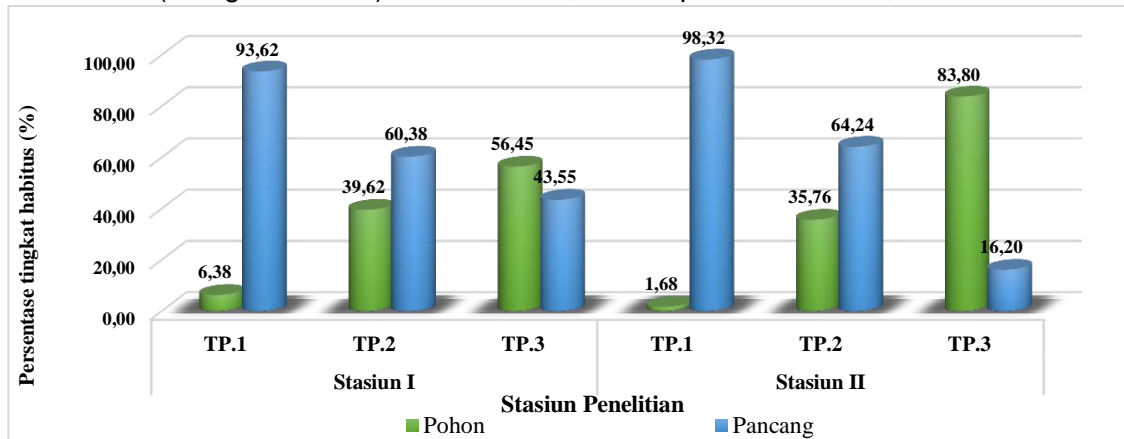
Hasil rata-rata diameter, biomassa, simpanan karbon, dan serapan CO₂ pada stasiun 2 dapat dilihat pada Gambar 5., sebagai berikut.



Gambar 5. Grafik rata-rata diameter tegakan, biomassa, simpanan karbon dan serapan CO₂ di stasiun II (mangrove rehabilitasi) di Desa Senga Selatan.

Gambar 5. menunjukkan pada transek-plot 2 rata-rata diameter tegakan 9,37 cm, lebih besar dibandingkan dengan transek-plot 3 dan 1 (terendah 6,95 cm). Namun justru pada transek plot 3 yang biomassa (7,22 ton/ha) dan serapan CO₂ (3,61 ton/ha) tertinggi, sedangkan biomassa (5,32 ton/ha) dan serapan CO₂ (2,66 ton/ha) terendah pada transek plot 1. Pada transek-plot 2, walaupun jumlah individu / tingkat kerapatan tegakannya rendah namun karena memiliki rata-rata diameter lebih besar, maka berdampak pada nilai biomasanya. Menurut Lumbu, dkk., (2022), perbedaan nilai biomassa pohon ditentukan oleh jenis, habitus, dan berat jenis kayu, sehingga dalam perhitungan biomassa dengan rumus allometrik setiap jenis relatif berbeda.

Persentase komunitas mangrove *Rhizophora* spp., berdasarkan tingkat habitus di stasiun I (mangrove alami) dan stasiun II, terlihat pada Gambar 6, berikut.



Gambar 6. Persentase tegakan mangrove *Rhizophora* spp., berdasarkan tingkat habitus pada stasiun I dan stasiun II di kecamatan Belopa.

Komposisi *Rhizophora* spp. berdasarkan rata-rata persentase tingkat habitus pada stasiun I didominasi habitus pancang antara 43,55% - 93,62% (rata-rata 65,85%), sedangkan habitus pohon antara 6,36% - 56,45% (rata-rata 34,15%). Rata-rata persentase habitus pada stasiun II, habitus pancang antara 16,20% - 98,32% (rata-rata 59,58%), dan habitus pohon antara 1,63% - 83,80% (rata-rata 40,42%). Persentase habitus pancang lebih tinggi di stasiun I (mangrove alami), tetapi untuk kategori pohon lebih tinggi pada stasiun II (mangrove rehabilitasi). Tetapi rata-rata diameter tegakan *Rhizophora* spp., pada stasiun I lebih tinggi dari pada stasiun II,

Tingkat habitus pancang memiliki diameter tegakan lebih kecil (<20cm - > 2cm) dari pada habitus tingkat pohon (> 20 cm), sehingga berpengaruh pada besar-kecilnya biomassa dan simpanan karbon. Menurut Nedhisa, dkk., (2019), peningkatan biomassa diikuti peningkatan kandungan karbon dan sequestrasi karbon, sebagai hasil dari penyerapan CO₂ dari atmosfer melalui proses fotosintesis, yang dialokasikan ke daun, ranting, akar, bunga, buah dan batang sehingga diameternya meningkat.

Berikut disajikan perbandingan rata-rata diameter, biomassa, simpanan karbon, dan serapan CO₂ tegakan *Rhizophora* spp., pada lokasi penelitian.

Tabel 3. Perbandingan rata-rata diameter, biomassa, simpanan karbon, dan serapan CO₂ tegakan *Rhizophora* spp. pada lokasi penelitian di Kecamatan Belopa, Kabupaten Luwu.

Stasiun	Rerata DBH (cm)	Biomassa C (ton/ha)	Simpanan Karbon (ton/ha)	Serapan CO ₂ (ton/ha)
Stasiun I	9,89 ± 3,66	30,43 ± 16,35	15,23 ± 8,17	55,32 ± 30,15
Stasiun II	8,34 ± 1,25	6,37 ± 0,96	3,18 ± 0,48	11,67 ± 1,77

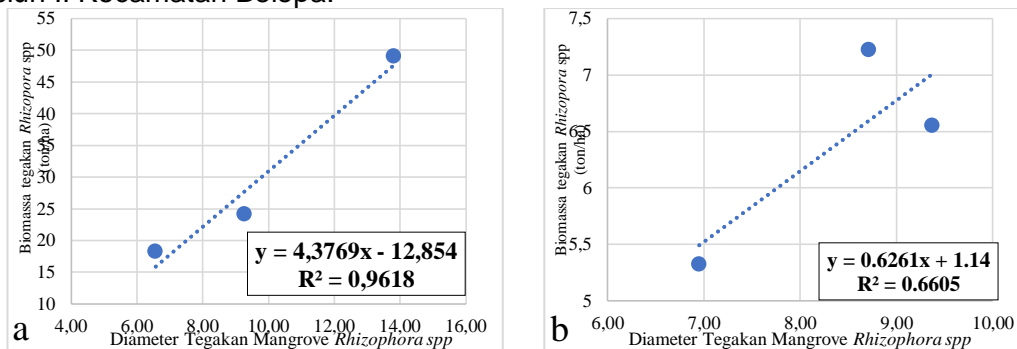
Terlihat pada stasiun I (area alami) rata-rata diameter tegakan, biomassa, simpanan karbon dan serapan CO₂ lebih tinggi dibandingkan pada stasiun II. Hal ini disebabkan pada stasiun I (mangrove alami), rata-rata diameter dan tingkat kerapatan tegakan *Rhizophora* yang lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun II (mangrove rehabilitasi tahun 2006 yang berumur relatif muda). Menurut Lumbu, dkk., (2022), biomassa akan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya usia tumbuhan, hal ini disebabkan diameter pohon mengalami peningkatan, karena adanya pembelahan sel kambium yang berlangsung secara terus menerus, namun akan melambat pada umur tertentu. Lebih lanjut menurut Rahmat, dkk., (2022), besarnya potensi biomassa tegakan dipengaruhi oleh umur pohon, karena semakin berumur pohon, maka diameter pohon juga mengalami peningkatan ukuran.

Pada stasiun I di lokasi penelitian ditumbuhi beberapa jenis mangrove, namun yang dominan adalah jenis *Rhizophora apiculata*, juga terdapat dari jenis *Rhizophora mucronata* dan *Rhizophora stylosa*. Sedangkan pada stasiun II hanya dijumpai jenis mangrove *Rhizophora mucronata* saja, karena areal ini adalah areal rehabilitasi yang ditanam hanya satu jenis. Setiap jenis mangrove sangat menentukan biomasanya, yang dengan demikian akan memengaruhi simpanan karbonnya. Menurut Rahmat, dkk., (2022), faktor yang juga memengaruhi besar kecilnya simpanan karbon pada tegakan adalah spesies mangrove. Setiap spesies mangrove memiliki nilai berat jenis kayu (*wood density*) yang berbeda-beda sehingga nilai kandungan karbon pada setiap lokasi dapat mengalami perbedaan.

Hubungan Rata-rata Diameter (DBH) Dengan Biomassa

Hasil analisis uji regresi linear sederhana hubungan antara diameter tegakan dengan biomassa *Rhizophora* spp pada stasiun I diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,9618, menunjukkan tingkat keakuratan parameter diameter tegakan *Rhizophora* spp untuk dipakai mengestimasi biomasanya mencapai nilai 96,18% (sangat kuat), dan nilai selebihnya dipengaruhi oleh faktor lainnya. Sedangkan pada stasiun II nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,6605, hal ini menunjukkan tingkat keakuratan parameter diameter tegakan *Rhizophora* spp dapat digunakan untuk mengestimasi biomasanya mencapai nilai hanya 66,05% saja. Dengan demikian rumus regresi yang diperoleh pada stasiun I yaitu $y = 4,3769x - 12,854$ dan stasiun II yaitu $y = 0.6261x + 1.14$, digunakan untuk mengestimasi serapan CO₂ tegakan mangrove *Rhizophora* spp., berdasarkan parameter diameter sebagai variabel independen. Prakoso, dkk., (2017) angka koefisien determinasi (R^2) menunjukkan kemampuan variabel bebas untuk memengaruhi variabel terikat, nilai koefisien determinasi (R^2) dikatakan baik jika bernilai diatas 0,5.

Berikut disajikan grafik garis regresi linear sederhana hubungan antara rata-rata diameter tegakan *Rhizophora* spp dengan biomasanya pada Stasiun I dan stasiun II Kecamatan Belopa.



Gambar 7. Grafik garis regresi linear hubungan rata-rata diameter tegakan dengan biomassa *Rhizophora* spp. pada (a) stasiun I dan (b) stasiun II di Kecamatan Belopa.

Rata-rata diameter tegakan *Rhizophora* spp. berkorelasi positif dengan kandungan biomassa yang dimiliki. Sehingga dapat dikatakan bahwa diameter tegakan berbanding lurus terhadap kandungan biomasanya, dimana semakin besar diameter tegakan maka akan diikuti dengan kenaikan kandungan biomassa karbonnya. Menurut Rahmat dkk., (2022), ukuran diameter batang berbanding lurus dengan biomassa dan simpanan karbon tegakan mangrove.

Berikut pada Tabel 4, disajikan hasil uji garis regresi, koefisien determinasi (R^2), koefisien korelasi (r), dan kriteria korelasi, hubungan diameter tegakan dengan biomassa *Rhizophora* spp. pada Stasiun I dan Stasiun II, di Kecamatan Belopa.

Tabel 4. Hasil uji regresi linear sederhana hubungan rata-rata diameter dengan biomassa tegakan *Rhizophora* spp. pada stasiun I dan II penelitian di Kecamatan Belopa, Kabupaten Luwu

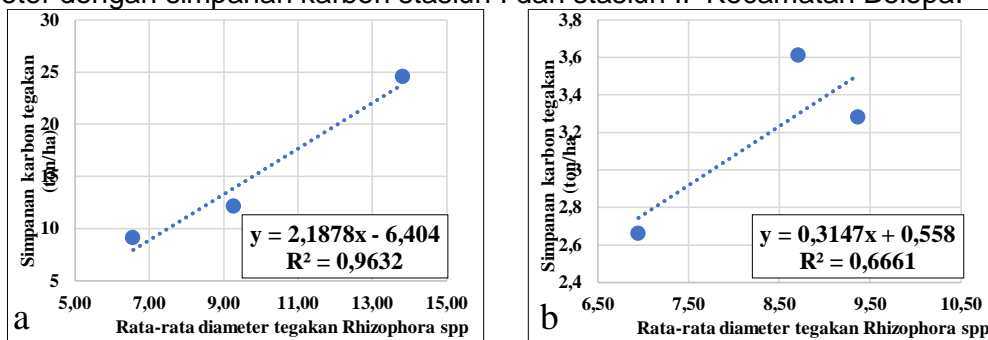
Stasiun	Garis Regresi	Koefisien Determinasi (R^2)	Koefisien Korelasi (r)	Kriteria Korelasi
I	$y = 4,3769x - 12,854$	0,9618	0,9806	Sangat Kuat
II	$y = 0,6261x + 1,140$	0,6605	0,8127	Kuat

Korelasi rata-rata diameter dengan biomassa pada tegakan *Rhizophora* spp., pada stasiun I di desa Belopa, diperoleh nilai koefisien korelasi (r) 0,9806 yang termasuk kriteria *sangat kuat*, sedangkan pada stasiun II di Desa Senga Selatan diperoleh nilai koefisien (r) 0,8127 termasuk kriteria *kuat*. Hal ini karena stasiun II merupakan areal rehabilitasi yang ditanam secara teratur dan hanya satu jenis saja. Menurut Sugiyono (2014), koefisien korelasi memiliki kriteria interval, yaitu antara 0,20-0,40 (rendah), 0,40-0,60 (sedang), 0,60-0,80 (kuat) dan 0,80-1,00 (sangat kuat).

Hubungan Rata-rata Diameter (DBH) Dengan Simpanan Karbon

Gambar 8 menunjukkan hasil uji regresi linear pada stasiun I diperoleh nilai koefisien (R^2) = 0,9632, menunjukkan keakuratan sebesar 96,32%. Sedangkan pada stasiun II di Desa Senga Selatan, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,6661, menunjukkan tingkat sebesar 66,61%. Dengan demikian rumus regresi yang diperoleh pada stasiun I yaitu $y = 2,1878x - 6,404$, dan stasiun II yaitu $y = 0,3147x + 0,558$ dapat digunakan untuk mengestimasi serapan CO₂ tegakan mangrove *Rhizophora* spp., berdasarkan pada parameter diameter sebagai variabel independen.

Berikut disajikan grafik garis regresi linear sederhana hubungan rata-rata diameter dengan simpanan karbon stasiun I dan stasiun II Kecamatan Belopa.



Gambar 8. Grafik garis regresi linear hubungan diameter tegakan dengan simpanan karbon *Rhizophora* spp. pada (a) stasiun I dan (b) stasiun II di Kecamatan Belopa.

Menurut Istomo dan Farida (2017), simpanan karbon cenderung meningkat sampai pertumbuhan tegakan mencapai optimal kemudian relatif stabil. Semakin meningkat diameter tegakan maka akan meningkat pula simpanan karbon suatu tegakan. Menurut Iswandar, dkk., (2017), batang yang berkayu tersusun dari selulosa,

hemiselulosa dan lignin, ketiga senyawa ini merupakan molekul gula linear yang tersusun oleh karbon, sehingga makin tinggi kadar selulosa, hemiselulosa dan lignin, maka kandungan karbon akan semakin tinggi pula.

Pada Tabel 5 disajikan hasil uji regresi, koefisien determinasi (R^2), koefisien korelasi (r), dan kriteria korelasi, hubungan diameter tegakan dengan simpanan karbon *Rhizophora* spp. pada stasiun I dan stasiun II, di Kecamatan Belopa.

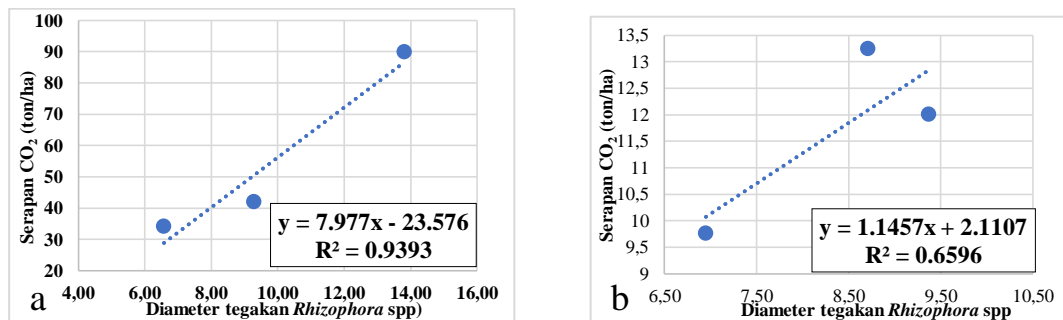
Tabel 5. Hasil uji regresi linear korelasi rata-rata diameter dengan simpanan karbon tegakan *Rhizophora* spp. pada stasiun I dan II di Kecamatan Belopa.

Stasiun	Garis Regresi	Koefisien Determinasi (R^2)	Koefisien Korelasi (r)	Kriteria Korelasi
I	$y = 2,1878x - 6,404$	0,9632	0,9814	Sangat Kuat
II	$y = 0,3147x + 0,558$	0,6661	0,8161	Kuat

Pada stasiun I diperoleh koefisien korelasi sebesar 0,9814 antara diameter dengan simpanan karbon tegakan *Rhizophora* spp., nilai ini termasuk kriteria korelasi sangat kuat. Sedangkan II diperoleh nilai sebesar 0,8161, yang termasuk nilai kriteria korelasi kuat. Baik pada stasiun I maupun II menunjukkan korelasi yang bersifat positif, ini berarti bahwa setiap peningkatan ukuran diameter tegakan akan diikuti peningkatan simpanan karbonnya. Menurut Hasidu, dkk., (2021), simpanan karbon vegetasi menggambarkan seberapa besar kapasitas vegetasi tersebut dalam menyerap dan menyimpan karbon dalam bentuk biomassa. Besarnya biomassa dan ukuran tegakan memengaruhi simpanan karbon.

Hubungan Rata-rata Diameter (DBH) Dengan Serapan Karbon

Di bawah ini disajikan grafik garis regresi linear sederhana hubungan antara rata-rata diameter dengan serapan karbon dioksida pada stasiun 1.



Gambar 9. Grafik garis regresi linear hubungan diameter tegakan dengan serapan CO₂ *Rhizophora* spp. pada (a) stasiun I dan (b) stasiun II Desa di Kecamatan Belopa.

Nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,9393 pada stasiun I, menunjukkan tingkat keakuratan parameter diameter tegakan dapat digunakan untuk mengestimasi serapan CO₂ tegakan *Rhizophora* spp., sebesar 96,32%, dan nilai. Sedangkan pada stasiun II (mangrove rehabilitasi) di Desa Senga Selatan, diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,6596, menunjukkan tingkat keakuratan diameter tegakan untuk digunakan mengestimasi serapan karbon pada tegakan hanya sebesar 66,61. Rumus regresi yang diperoleh pada stasiun I yaitu $y = 7,977x - 23,576$ dan stasiun II yaitu $y = 1,1457x + 2,1107$ dapat digunakan untuk mengestimasi serapan CO₂ tegakan mangrove *Rhizophora* spp., berdasarkan parameter diameter sebagai variabel independen. Menurut Manafe, dkk., (2016), peningkatan diameter disebabkan penyimpanan biomassa semakin bertambah banyak seiring dengan terjadinya konversi CO₂ yang diserap tumbuhan dari atmosfer. Selanjutnya menurut Almulqu (2019), semakin besar diameter pohon, maka CO₂ yang diserap semakin banyak.

Pada Tabel 6 berikut, disajikan hasil uji regresi, koefisien determinasi (R^2), koefisien korelasi (r), dan kriteria korelasi, hubungan diameter tegakan dengan serapan CO_2 *Rhizophora* spp. pada Stasiun I dan Stasiun II, di Kecamatan Belopa.

Tabel 6. Hasil uji regresi linear sederhana korelasi rata-rata diameter dengan serapan CO_2 tegakan *Rhizophora* spp. pada stasiun I dan II penelitian di Kecamatan Belopa, Kabupaten Luwu

Stasiun	Persamaan Garis Regresi	Koefisien Determinasi (R^2)	Koefisien Korelasi (r)	Kriteria Korelasi
1	$y = 27,977x - 23,576$	0,9393	0.9691	Sangat Kuat
2	$y = 1,1457x + 2,1107$	0,6596	0.8121	Kuat

Hasil uji regresi linear pada stasiun I diperoleh koefisien korelasi sebesar 0,9691, termasuk korelasi sangat kuat, pada stasiun II koefisien korelasi sebesar 0,8121, termasuk korelasi kuat. Korelasi antara diameter tegakan dan serapan CO_2 , pada ke dua stasiun penelitian di Kecamatan Belopa bersifat positif. Menurut Iswandar, dkk. (2017), banyaknya serapan CO_2 jenis mangrove bergantung pada tinggi dan diameter pohon, semakin besar pohon tersebut maka potensi serapan karbon semakin meningkat.

Kerapatan Jenis Mangrove

Hasil perhitungan tingkat kerapatan tegakan *Rhizophora* spp pada stasiun I dan stasiun II, Kecamatan Belopa, disajikan pada Tabel 7 sebagai berikut.

Tabel 7. Kerapatan tegakan (pohon) *Rhizophora* spp. pada stasiun I di Desa Belopa dan stasiun II di Desa Senga Selatan, Kecamatan Belopa

Stasiun	Spesies	Habitus	Jumlah Tegakan	Kerapatan (ind/ha)	Kriteria Kerapatan
I	<i>Rhizophora apiculata</i>	Pohon	42	2850	Sangat Rapat
		Pancang	75		
	<i>Rhizophora stylosa</i>	Pohon	7	591,67	Jarang
		Pancang	16		
II	<i>Rhizophora mucronata</i>	Pohon	10	483,33	Jarang
		Pancang	12		
II	<i>Rhizophora mucronata</i>	Pohon	79	11758,33	Sangat Rapat
		Pancang	333		

Kerapatan jenis mengindikasikan jumlah tegakan dari suatu individu jenis dalam luasan tertentu. Pada Tabel 7, terlihat tingkat kerapatan tegakan *Rhizophora* spp., pada stasiun II tergolong sangat rapat dan dominan ditumbuhi hanya satu jenis yaitu *Rhizophora mucronata*. Sedangkan tingkat kerapatan tegakan *Rhizophora* spp pada stasiun I relatif sedang (jarang-sangat padat), namun jenis *Rhizophora* spp yang tumbuh ada 3 jenis yaitu *Rhizophora apiculata* (dominan), *Rhizophora stylosa* dan *Rhizophora mucronata*. Tingginya tingkat kerapatan tegakan *Rhizophora mucronata* pada stasiun II, karena areal ini merupakan areal rehabilitasi ditanami mangrove sejenis saja, dengan jarak tanam yang seragam dan rapat. Walaupun tingkat kerapatan mangrove pada stasiun II, tinggi namun ternyata rata-rata diameter tegakan, biomassa, simpanan karbon dan serapan CO_2 -nya masih lebih rendah dibandingkan dengan stasiun I. Menurut Buwono (2017), kerapatan jenis mangrove dipengaruhi oleh faktor lingkungan termasuk jenis substrat yang menunjang keberhasilan pertumbuhan mangrove.

Parameter Kualitas Perairan

Hasil pengukuran beberapa parameter lingkungan di lokasi penelitian disajikan pada Tabel 8 sebagai berikut.

Tabel 8. Hasil pengukuran beberapa parameter kualitas lingkungan pada kedua stasiun di Kecamatan Belopa.

Parameter	Stasiun 1	Stasiun 2
Suhu udara (°C)	29,6	29
pH (substrat)	7	6,9
Kelembapan (%)	75	85
Substrat	Lempung Berpasir	Lempung Berpasir

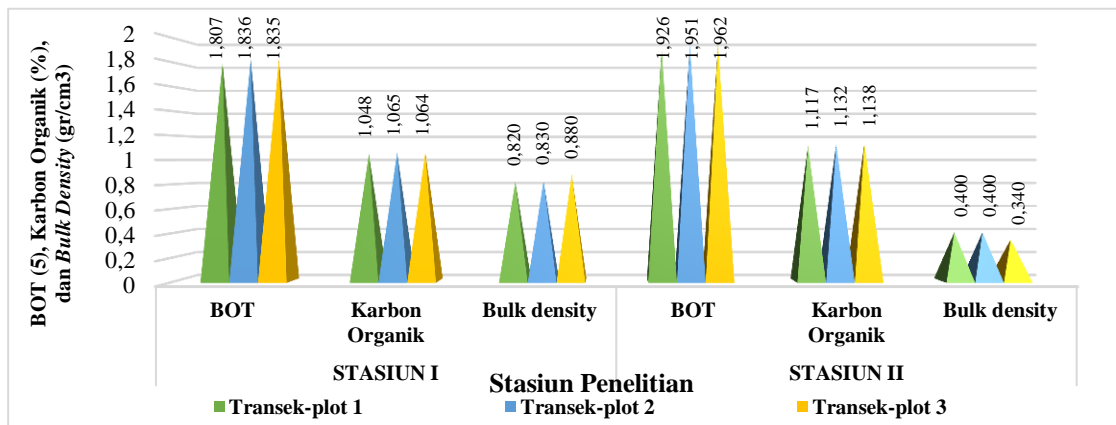
Kisaran suhu pada kedua stasiun penelitian di Kecamatan Belopa antara 29–29,6 C⁰, kisaran suhu tersebut merupakan suhu ideal pertumbuhan mangrove. Suhu berperan penting dalam proses fisiologi, seperti fotosintesis dan respirasi. Pada dasarnya suhu optimum pertumbuhan dan perkembangan mangrove adalah >20°C dan <35°C (Hambran, 2014).

Kisaran pH substrat di lokasi penelitian antara 6,9–7. pH substrat menggambarkan keseimbangan asam dan basa substrat. pH optimal untuk pertumbuhan mangrove berkisar antara 6 sampai 7 (Imamsyah, dkk., 2020).

Kisaran kelembaban relatif udara pada kedua stasiun penelitian antara 75%–85%, yang termasuk kelembaban udara cukup tinggi.

Karakteristik substrat pada stasiun I dan stasiun II adalah lempung berpasir. *Rhizophora* spp., mampu beradaptasi dengan mudah pada substrat lempung berpasir dan lempung liat berpasir. Marga *Rhizophora* spp., memiliki penyebaran yang luas di Indonesia, karena kemampuannya beradaptasi pada habitat yang beragam (Prinasti, dkk., 2020).

Hasil Analisis Sedimen (Substrat Mangrove) Pada Stasiun I (mangrove alami) dan II (mangrove rehabilitasi) di Kecamatan Belopa

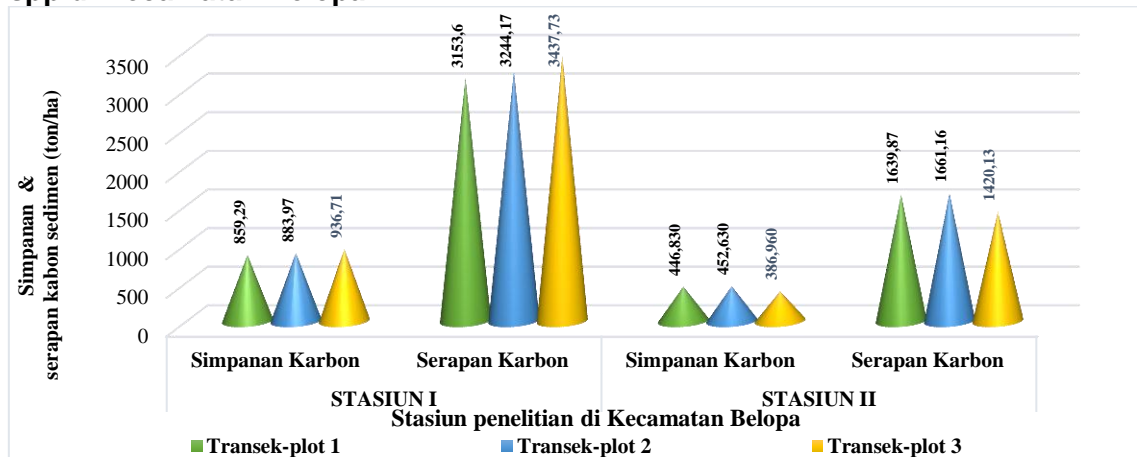


Gambar 10. Grafik rata-rata bahan organik total (BOT), karbon organik dan *bulk density* sedimen mangrove pada stasiun I dan stasiun II di Kecamatan Belopa

Pada Gambar 10 menunjukkan stasiun I bahan organik total (BOT) berkisar 1,807%-1,836%, karbon organik berkisar 1,048%-1,065%, lebih rendah sedikit dari pada stasiun II dengan organik total (BOT) , berkisar 1,926%-1,962%, karbon organik berkisar 1,117%-1,136%, namun untuk densitas tanah (*bulk density*) pada stasiun I lebih tinggi yaitu berkisar 0,820 - 0,880 g/cm³ daripada tanah densitas tanah pada stasiun II yaitu berkisar 0,340 – 0,400 g/cm³. Menurut Verisandria, dkk., (2018), karbon organik berfungsi untuk menciptakan kesuburan tanah yang menjadi unsur hara bagi tumbuhan. Sedangkan menurut Supriyantini, dkk., (2017), bahan organik total (BOT) menggambarkan konsentrasi bahan organik total suatu perairan yang berasal dari

bahan organik terlarut, tersuspensi dan koloid. Sedangkan nilai karbon organik adalah 58% dari bahan organik total. Tanah yang padat menyebabkan kerapatan tanahnya semakin tinggi, maka tanah akan mengandung massa yang lebih besar pada suatu kedalaman tertentu, sehingga cadangan karbon organik tanah lebih tinggi (Sari, dkk., 2017)

Hasil Analisis Simpanan dan Serapan Karbon Sedimen Mangrove *Rhizophora* spp di Kecamatan Belopa.



Gambar 11. Grafik simpanan karbon dan serapan karbon sedimen mangrove pada stasiun 1 (mangrove alami) dan stasiun II (mangrove rehabilitasi), di Kecamatan Belopa

Simpanan dan serapan karbon pada stasiun I lebih tinggi dibandingkan dengan simpanan dan serapan karbon pada stasiun II. Faktor yang dapat mempengaruhi jumlah simpanan karbon yaitu proses bioturbansi, jenis substrat dan lokasi pengambilannya. Densitas tanah / substrat juga sangat menentukan simpanan dan serapan karbon, nampak pada stasiun I lebih tinggi dari stasiun II. Menurut Susilowati, dkk., (2020), semakin tinggi nilai densitas tanah maka kepadatan tanah akan semakin tinggi, sehingga kemampuannya dalam menyimpan karbon juga akan meningkat. Faktor lainnya yang memengaruhi simpanan karbon sedimen adalah perbedaan kedalaman tanah. Menurut Yaqin, dkk., (2022), kandungan karbon organik tanah pada lapisan 0-5cm yang berada proses pelapukan aktif dan sering mengalami perubahan.

Kesimpulan

Simpanan karbon pada tegakan *Rhizophora* spp. pada stasiun I (mangrove alami) lebih tinggi yaitu $15,23 \pm 8,17$, daripada di Stasiun II (mangrove rehabilitasi) yaitu $3,18 \pm 0,48$. Hubungan antara diameter tegakan mangrove *Rhizophora* spp. dengan biomassa, simpanan karbon, dan serapan CO₂nya berkorelasi positif dengan kriteria tingkat korelasi antara kuat-sangat kuat. Simpanan karbon sedimen pada Stasiun I juga lebih tinggi (39.55 ton/ha) dari pada Stasiun II (36.36 ton/ha) dengan kondisi sedimen yang sama berupa lempung berpasir

Daftar Pustaka

- Agus, F., Hairiah, K., and Mulyani, A., 2010, Measuring Carbon Stock In Peat Soils, Practical Guidelines, World Agroforestry Centre.
- Almulqu, A., 2019, Simpana Karbon Dua Jenis Vegetasi Hutan Kering Tropika Di Wilayah Semi Arid Nusa Tenggara Timur, Jurnal Wanamukti, 22(2), 64-72.
- Ariani, E., Ruslan, M., Kurnain, A., dan Kissinger, K., 2016, Analisis Potensi Simpanan Karbon Hutan Mangrove Di Area PT. Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk P 12 Tarjun. *EnviroScienteeae*, 12(3): 312-329.
- Azzahra, F. S., Suryanti, & Febrianto, S., 2020, Estimasi Serapan Karbon Pada Hutan Mangrove Desa Bedeno, Demak, Jawa Tengah, *Journal of Fisheries and Marine Research*, 4(2), 308-315.
- Buwono, Y. R., 2017, Identifikasi dan Kerapatan Ekosistem Mangrove Di Kawasan Teluk Pangpang Kabupaten Banyuwangi, *Jurnal Ilmu Perikanan*, 8(1), 32-37.
- Dharmawan, I. W. S., dan Siregar, C. A., 2008, Karbon Tanah dan Pendugaan Karbon Tegakan *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. Di Ciasem Purwakarta, *Jurnal Penelitian dan Konservasi Alam*, 5, (4): 317-328.
- Donato, C. D., Kauffman, J. Murdiyarso, B., Kurnianto, S., Stidham, M., and Kanninen, M., 2011, Mangroves Among the Most Carbon-Rich Forests in the Tropics, *Nature Geoscience*, 4: 293-297.
- Hasidu, L. O. `A. F., Prasetya, A., Maharani, Asni, Agusriyadin, Ibrahim, A. A. A. F., Kamur, S., dan Kharisma, G. N., 2021, Analisis Vegetasi, Estimasi Biomassa dan Stok Karbon Ekosiste Mangrove Pesisir Kecamatan Latambaga, Kabupaten Kolaka, *Jurnal Sain dan Analisis Perikanan*, 5 (2): 60-71.
- Imamsyah, A., Bengen, D. G., dan Ismet, M. S., 2020, Struktur Vegetasi Mangrove Berdasarkan Kualitas Lingkungan Biofisik Di Taman Hutan Raya Ngurah Rai Bali, *Ecotropic*, 14(1):88–99.
- Irsadi, A., Martuti, N. K. T., dan Nugraha, S. B., 2017, Estimasi Stok Karbon Mangrove Di Dukuh Tapak Kelurahan Tugurejo Kota Semarang, *Jurnal Sain dan Teknologi*, 15, (2): 119-127.
- Istomo, & Farida, N. E., 2017, Potensi Simpanan Karbon Di Atas Permukaan Tanah Tegakan *Acacia L. (Willd) ex. Del.* Di Taman Nasional Baluran, Jawa Timur, *Jurnal Pengelolaan Sumbe rdaya Alam dan Lingkungan*, 7 (2): 155-162.
- Iswandar, M., Dewiyanti, I., dan Kurnianda, V., 2017, Dugaan Serapan Karbon pa-da Vegetasi Mangrove di Kawasan Mangrove Gampong Iboih, Kecamatan Sukakarya, Kota Sabang, *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*, 2 (4): 512-518.
- Kauffman, J.B., and Donato, D.C., 2012, *Protocols For The Measurement, Moni-toring And Reporting Of Structure, Biomass, And Carbon Stocks In Mangrove Forests* (pp. 50-p). Bogor, Indonesia: Cifor.

- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 201 Tahun 2004 Tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove.
- Komiyama, A., Pongparn, S., dan Kato, S., 2005, Common Allometric Equations For Estimating The Tree Weight Of Mangroves, *Journal of Tropical Ecology*, 21(4): 471-477.
- Lumbu, T., Rumengan, A.P., Paruntu. C.P., Darwisito, Ompil, S.M., dan Mandagi, S., 2022, Kajian Simpanan Karbon Pada Biomassa Mangrove Di Pesisir Desa Tatengesan Kecamatan Pusomaen Kabupaten Minahasa Tenggara Provinsi Sulawesi Utara, *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*, 10 (1): 63-71.
- Mansur, M., Hidayati, N., & Juhaeti, T., 2011, Struktur dan Komposisi Vegetasi Pohon serta Estimasi Biomassa, Kandungan Karbon dan Laju Fotosintesis di Taman Nasional Gunung Halimun-Salak, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 12(2), 161–169.
- Mayuftia, R., Hartoko, A., dan Hendarto, B., 2013, Tingkat Kerusakan dan Karbon Mangrove dengan Pendekatan Data Satelit NDVI di Desa Sidodadi Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung, *Diponogoro Journal of Maquares*, 2(4): 146–154.
- Nedhisa, P. I., dan Tjahjaningrum, I. T., 2019, Estimasi Biomassa, Stok Karbon dan Sekuestrasi Karbon Mangrove pada *Rhizophora mucronata* di Wonorejo Surabaya dengan Persamaan Allometrik, *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 8 (2): 61-65.
- Pearson, T. Walker, S. and Brown, S. 2005. Source Book for Land Use, Land-use Change and Forestry Projects. In: Report from BioCF and Winrock International World Bank Washington DC. Neotropical Dry Forests. *Ecology*. 74: 140–151.
- Prakoso, T. B., Afiati, N., & Suprpto, D., 2017, Biomassa Kandungan Karbon dan Serapan CO₂ Pada Tegakan Mangrove Di Kawasan Konservasi
- Rahmat, N., Pratikto, I., dan Suryono, C. A., 2022, Simpanan Karbon Pada Tegakan Vegetasi Mangrove di Desa Pasar Banggi Rembang, *Jurnal of Marine Research*, 11 (3): 506-512.
- Rahmattin, N. A. F. E., dan Hidayah, Z., 2020, Analisis Ketersediaan Stok Karbon pada Mangrove di Pesisir Surabaya, Jawa Timur, *Juvenil*, 1(1): 58-65.
- Sari, T., Rafdinal, dan Linda, R., 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): 263 – 269.
- Sugiyono. 2014. Metode Penelitian Bisnis. Edisi Ke 18. Alfabeta. Bandung.
- Sutaryo, D. 2009. Penghitungan Biomassa Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon, Bogor: Wetlands International Indonesia Programme.