

Estimasi stok karbon di atas permukaan pada ekosistem mangrove di Salo Sumbala Muara Badak Kalimantan Timur

Resvita Yolanda¹, Rita Diana^{1*}, Paulus Matius¹

¹Program Studi Kehutanan, Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman

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

Artikel diterima : 17 Juli 2024 Revisi diterima 22 Agustus 2024

ABSTRACT

Climate change mitigation is an effort to reduce the risk of increasing greenhouse gas emissions in the atmosphere, gases can occur naturally in the environment and can also arise due to human activities. The role of forests as carbon sinks and stores is very important in overcoming the problem of greenhouse gas effects that cause global warming. Mangrove forests can store carbon as much as 3-5 times that of dryland land forests. This study aims to determine carbon storage and carbon sequestration in Salo Sumbala, Muara Badak District, Kutai Kartanegara Regency, East Kalimantan Province. Data collection at the site using the 125-meter transect method and circle plot. In total there are 18 observation plots divided from 3 location points to obtain data on mangrove species, tree diameter and height measurements on seedling, stake, tree and necromass vegetation. The results of measuring carbon stocks at location 1 have carbon stocks of 88.23 tons / ha, location 2 has carbon stocks of 87.17 tons / ha and location 3 has carbon stocks of 52.24 tons / ha. From the results of research at location 1 able to absorb CO₂ of 324.16 tons / ha, at location 2 able to absorb CO₂ of 319.14 tons / ha and location 3 able to absorb CO₂ of 191.57 tons / ha.

Keyword: Carbon stocks, CO₂ sequestration, mangrove ecosystems, mitigation

ABSTRAK

Mitigasi perubahan iklim merupakan suatu kegiatan usaha untuk mengurangi resiko peningkatan emisi gas rumah kaca yang ada di atmosfer, gas dapat muncul secara alami di lingkungan dan dapat pula muncul akibat aktivitas manusia. Peran hutan sebagai penyerap dan penyimpan karbon sangat penting dalam mengatasi masalah efek gas rumah kaca yang mengakibatkan pemanasan global. Hutan mangrove mampu menyimpan karbon sebanyak 3-5 kali dari hutan daratan lahan kering. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui simpanan karbon dan serapan karbon di Salo Sumbala, Kecamatan Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Pengambilan data di lokasi menggunakan metode transek sepanjang 125 meter dan plot lingkaran. Secara keseluruhan terdapat 18 plot pengamatan yang terbagi dari 3 titik lokasi untuk memperoleh data jenis-jenis mangrove, pengukuran diameter dan tinggi pohon pada vegetasi semai, pancang, pohon dan *necromass*. Hasil pengukuran stok karbon pada lokasi 1 memiliki stok karbon sebesar 88,23 ton/ha, lokasi 2 memiliki stok karbon 87,17 ton/ha dan lokasi 3 memiliki stok karbon sebesar 52,24 ton/ha. Dari hasil penelitian pada lokasi 1 mampu menyerap CO₂ sebesar 324,16 ton/ha, pada lokasi 2 mampu menyerap CO₂ sebesar 319,14 ton/ha dan lokasi 3 mampu menyerap CO₂ sebesar 191,57 ton/ha

Kata kunci: Stok karbon, serapan CO₂, ekosistem mangrove, mitigasi.

PENDAHULUAN

Perubahan iklim adalah masalah yang sulit untuk dikelola sehingga perlu di lakukan mitigasi untuk mengurangi penyebabnya. Mitigasi perubahan iklim merupakan suatu kegiatan usaha untuk mengurangi resiko peningkatan emisi gas rumah kaca yang ada di atmosfer, gas dapat muncul secara alami di lingkungan dan dapat pula muncul akibat aktivitas manusia. Karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu penyebab utama terjadi perubahan iklim dikarenakan karena kemampuannya untuk menyerap dan memancarkan radiasi inframerah, yang berkontribusi terhadap efek rumah kaca. Ketika gas-gas ini terakumulasi di atmosfer, mereka menghalangi panas dari bumi

untuk keluar ke luar angkasa, sehingga menyebabkan peningkatan suhu atmosfer. Peningkatan konsentrasi CO₂ disebabkan oleh berbagai aktivitas manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan perubahan penggunaan lahan. Hal ini menyebabkan perubahan iklim dan berbagai dampak lingkungan yang merugikan. Mengurangi emisi CO₂ merupakan salah satu langkah penting dalam mitigasi perubahan iklim. sebagai gas rumah kaca (GRK) yang menyebabkan pemanasan global. Jika konsentrasi CO₂ di atmosfer bertambah, suhu udara naik dan terjadi perubahan iklim (Aldrian dkk., 2011).

Peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO_2) di atmosfer menyebabkan terjadinya perubahan iklim yang berdampak terhadap peningkatan permukaan air laut, peningkatan frekuensi dan intensitas kebakaran hutan, serta kekeringan dan gangguan terhadap berbagai ekosistem yang dapat menyebabkan bencana. Salah satu upaya mitigasi perubahan iklim yang dapat dilakukan dengan mengoptimalkan penyerapan karbon dioksida dan menyimpan dalam stok karbon terutama dalam sedimen (Nedhisa dan Tjahjaningrum, 2020).

Peran hutan sebagai penyerap dan penyimpan karbon sangat penting dalam mengatasi masalah efek gas rumah kaca yang mengakibatkan pemanasan global. Ada berbagai tipe hutan, tiap tipe hutan dan jenis hutan mempengaruhi kemampuan menyerap dan menyimpan karbon. Hutan mangrove mampu menyimpan karbon sebanyak 3-5 kali dari hutan daratan lahan kering (Donato dkk., 2012; Hong dkk., 2017). Tumbuhan memerlukan karbon dioksida (CO_2) pada proses fotosintesis yang akan diserap dari udara di atmosfer. Stok karbon merupakan kandungan karbon baik itu dari permukaan tanah sebagai biomassa tanaman, sisa tanaman yang sudah mati,

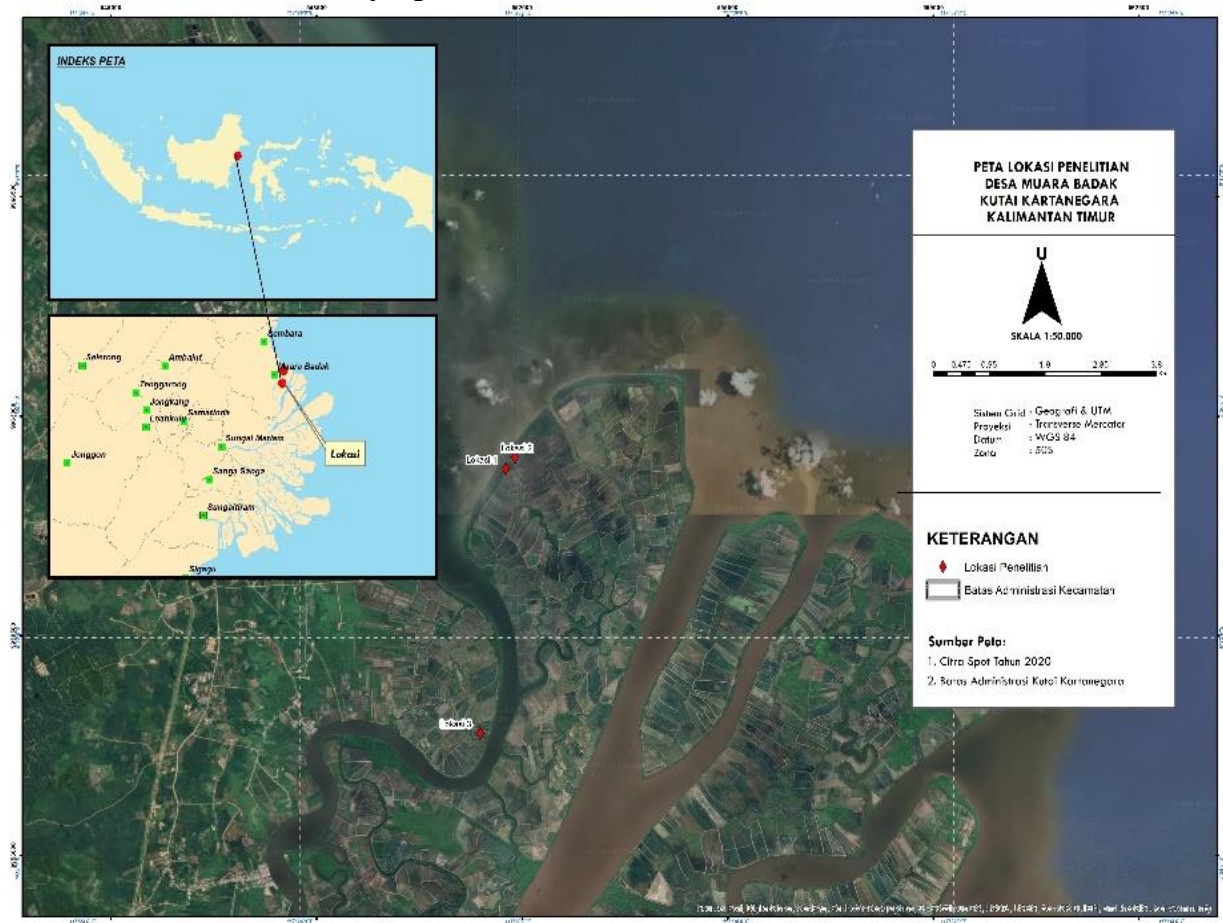
maupun dalam tanah sebagai bahan organik tanah (Dinilhuda dkk., 2018).

Mangrove adalah tumbuhan tropis / sub tropis yang hidup di daerah intertidal. Hutan mangrove adalah hutan yang tumbuh di air payau dan dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Hutan mangrove merupakan sumber daya alam yang memiliki beberapa sifat diantaranya karena letak hutan mangrove yang sangat spesifik, peranan ekologisnya yang khas, potensi yang bernilai ekonomis tinggi. Mangrove memiliki ciri khas dalam bentuk pohon, akar, buah, bentuk dan susunan daun, rangkaian bunga dan habitat tempat tumbuh. Hutan ini tumbuh khususnya tempat dimana terjadi pelumpuran dan akumulasi bahan organik (Widakdo dkk., 2014).

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada kawasan Mangrove Alami Salo Sumbala di Desa Muara Badak Ulu, Kecamatan Muara Badak, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Berikut merupakan peta wilayah dari penelitian ini:

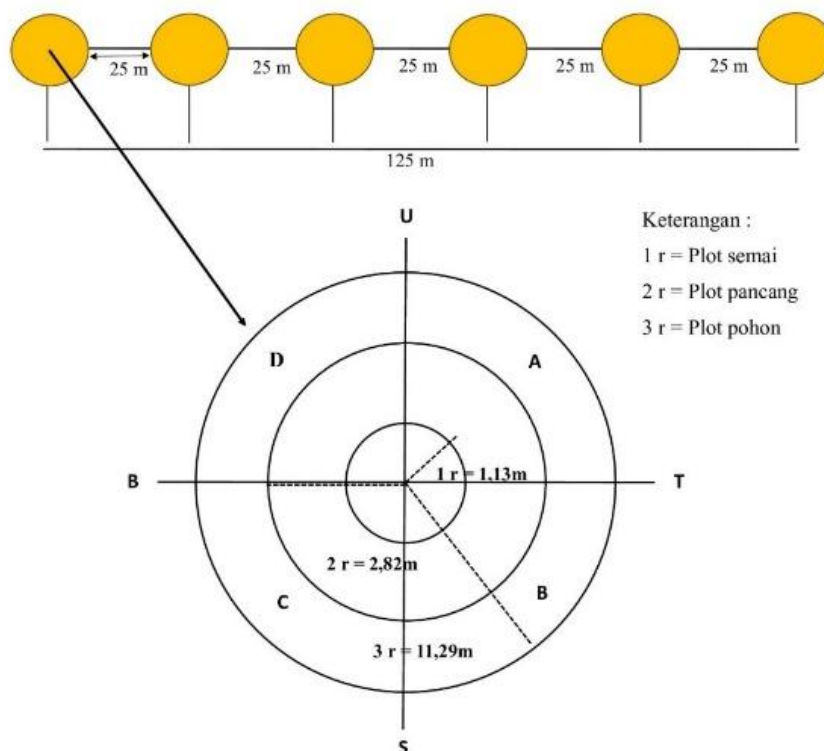


Gambar 1. Lokasi Penelitian

Prosedur Penelitian

Penentuan lokasi penelitian ditentukan secara purposive sampling setelah dilakukan survei terlebih dahulu. Teknik pengambilan sampel pada penelitian ini dengan menggunakan metode transek kuadran (*quadran transect*). Transek yang digunakan 1 transek dan terdiri dari 6 plot lingkaran. plot penelitian menggunakan metode random sampling di mana penentuan tempat

dilakukan secara acak sesuai kondisi lapangan. Masing-masing lokasi dengan panjang 125 meter dan sub plot dengan jarak 25 meter berbentuk lingkaran sebanyak 6 sub-plot dengan radius 11,29 meter yang dibagi menjadi 4 kuadran yaitu kuadran A, kuadran B, kuadran C dan kuadran D supaya memudahkan dalam pengambilan data. Berikut gambaran transek dan penempatan sub – plot sampling dan plot lingkaran yang digunakan (SNI 7724:2019).



Gambar 2. Desain Pembuatan Plot

Pengukuran Semai

Pengambilan sampel semai dilakukan pada radius 1,13 meter pada setiap plot kuadran. Pengambilan semai mempunyai syarat berdiameter 0 - <2 cm dan memiliki tinggi <1,5 m.

Pengukuran Pancang

Pengukuran pancang dilakukan pada radius 2,82 meter pada setiap plot kuadran. Pengukuran pancang memiliki syarat yang tingginya $\geq 1,5$ m sampai pohon muda dengan berdiameter ≤ 5 cm. Dalam pengukuran pancang ini diukur tinggi dan diameter.

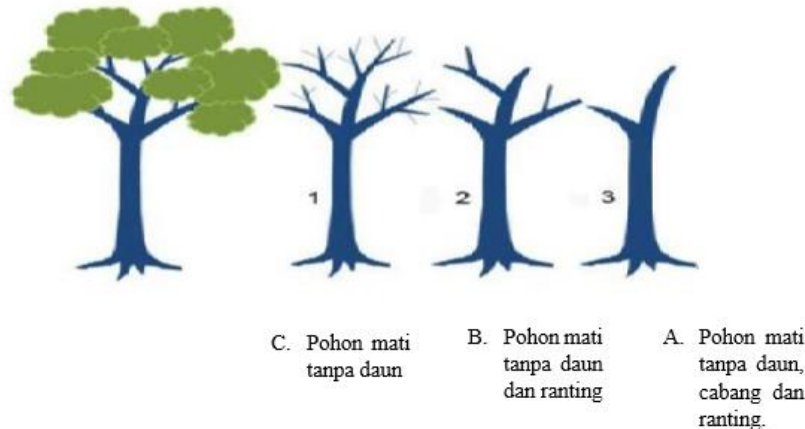
Pengambilan Biomassa Pohon

Pengukuran pohon pada mangrove dilakukan pada

radius 11,29 meter di setiap plot kuadran. Pengukuran pohon dilakukan yang memiliki tinggi $\geq 1,5$ m diameter ≥ 5 cm. Tahapan kegiatan yang dilakukan adalah mengukur tinggi dan diameter pohon, pengukuran diameter dengan mengukur DBH (diameter at breast height) atau setinggi 1,3 meter dari permukaan tanah. Pengukuran pohon yang tidak normal, ada beberapa petunjuk yang ditentukan berdasarkan SNI 7724:2019.

Pengukuran Biomassa Pohon Mati Berdiri

Pengukuran pohon mati berdiri diukur tinggi dan diameter pangkal. Pohon mati berdiri untuk melihat kriteria pohon untuk menentukan tingkat keutuhan dengan faktor koreksi. Tingkat keutuhan pohon mati disajikan pada Gambar 4, dengan faktor koreksi tipe A 0,9 , B 0,8 dan C 0,7.



Gambar 3. Tingkat Keutuhan Pohon Mati (SNI 7724:2019)

Keterangan:

- Tingkat keutuhan dengan faktor koreksi 0,9
- Tingkat keutuhan dengan faktor koreksi 0,8
- Tingkat keutuhan dengan faktor koreksi 0,7

Pengukuran Biomassa Pohon Mati Rebah

Pengukuran pohon mati rebah dilakukan dengan mengidentifikasi jenis, mengukur panjang kayu, diameter pangkal dan diameter ujung.

Penimbangan Sampel

Sampel dari lapangan yang didapat selanjutnya dipindahkan ke amplop kertas lalu ditimbang dengan menggunakan timbangan digital.

Pengeringan Sampel

Pengukuran berat kering sampel, sampel yang

telah dimasukkan ke dalam amplop kemudian dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 70oC hingga mencapai berat konstan

Analisis Data

Biomassa Atas Permukaan

Biomassa hutan mangrove yang ada dapat dihitung dengan menggunakan persamaan allometrik yang dibuat dan dikembangkan oleh peneliti sebelumnya (Kauffman dan Donato 2012). Beberapa variable dapat digunakan untuk menghitung biomassa pohon, seperti data diameter dan tinggi pohon. Berikut merupakan beberapa rumus persamaan allometrik untuk mendapatkan nilai biomassa mangrove di atas permukaan tanah (semai, pancang, pohon) yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Persamaan Allometrik Untuk Beberapa Jenis Mangrove (Kauffman dan Donato, 2012).

	N	D _{Maks}	Maks H	Persamaan
Persamaan Umum	84	42,0		$B = 0,0509 * \rho * (D)^2 * H$
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	325	132,0	34	$0,0464 * (D^2H)^{0,94275} * \rho$
<i>Sonneratia alba</i>	345	323,0	42	$0,0825 * (D^2H)^{0,89966} * \rho$
<i>Rhizophora apiculata</i>	193	60,0	35	$0,0444 * (D^2H)^{0,96842} * \rho$
<i>Rhizophora mucronata</i>	73	39,5	21	$0,0311 * (D^2H)^{1,00741} * \rho$
<i>Xylocarpus granatum</i>	115	128,5	31	$0,0830 * (D^2H)^{0,089806} * \rho$

B = biomassa (kg), N = jumlah individu, H = Height / Tinggi (m), D = Diameter (cm), ρ = massa jenis (g cm⁻³), D_{maks} = diameter maksimum (cm), Maks H = tinggi maksimum (m)

Biomassa Pohon Mati Bediri

Biomassa pohon mati bediri dilakukan dengan tahap sebagai berikut.

- Mengukur diameter pohon mati bediri dengan menggunakan pita ukur.
- Mengukur tinggi pohon mati bediri dengan menggunakan klinometer dan meteran.
- Menentukan tingkat keutuhan pohon mati bediri masuk di kriteria yang dapat dilihat pada Gambar 4

- Menghitung biomassa pohon mati bediri dengan menggunakan persamaan allometrik jenis kemudian dikalikan dengan faktor koreksi dari tingkat keutuhan pohon mati.

Biomassa Pohon Mati Rebah

Untuk pengukuran biomassa pohon mati rebah dilakukan pada tahap:

- Mengukur diameter pangkal dan diameter ujung kayu.

- Mengukur panjang kayu mati.
- Menghitung volume kayu mati dengan rumus Brereton sesuai dengan rumus menurut (SNI 7724:2019).

$$V_{km} = 0,25 \pi \left(\frac{d_p + d_u}{2 \times 100} \right)^2 \times \rho$$

Keterangan:

- V_{km} : volume kayu mati, dinyatakan dalam meter kubik (m³)
 d_p : diameter pangkal kayu mati, dinyatakan dalam sentimeter (cm)
 d_u : diameter ujung kayu mati, dinyatakan dalam sentimeter(cm);
 π : panjang kayu mati, dinyatakan dalam meter (m); adalah 22/7 atau 3,14
 ρ : berat jenis

Kemudian nilai volume yang sudah di peroleh dikalikan dengan berat jenis kayu mati berdasarkan jenis yang dapat dilihat pada Tabel 2 yang masing-masing jenis dengan berat jenisnya.

Adapun rumus pengukuran kayu mati/pohon mati sebagai berikut ini. Jika ketersediaan data yang ada di lapangan adalah volume kayu, maka perhitungan biomassa atas permukaan dapat menggunakan rumus menurut (SNI 7742:2019)

$$B_{okm} = V_{km} \times B_{Jkm}$$

Keterangan:

- B_{okm} : total bahan organik pohon mati, dinyatakan dalam kilogram (kg)
 V_{km} : volume kayu mati dinyatakan dalam meter kubik (m³)
 B_{Jkm} : berat jenis kayu mati, dinyatakan dalam kilogram per meter kubik (kg/m³).

Perhitungan Biomassa Tumbuhan Bawah

$$B_o = \frac{B_{ks} \times B_{kt}}{B_{bs}}$$

Keterangan :

- B_o : berat bahan organik, dinyatakan dalam kilogram (kg)
 B_{ks} : berat kering contoh, dinyatakan dalam kilogram (kg);
 B_{bt} : berat basah total , dinyatakan dalam kilogram (kg);

Perhitungan Karbon

Penghitungan karbon dari biomassa vegetasi atas permukaan (*Above ground*), menggunakan rumus sebagai berikut (SNI7724-2019):

$$C_v = B_{ov} \times \% C_{organik}$$

Keterangan:

- C_v : kandungan karbon dari biomassa vegetasi, dinyatakan dalam kilogram (kg);
 B_{ov} : total biomassa vegetasi dinyatakan dalam kilogram (kg);
 $\% C$: organik nilai persentase kandungan karbon masing-masing jenis dan jika nilai persentase jenis tidak tersedia maka digunakan nilai sebesar 0,47 .

Perhitungan Cadangan Karbon Total Dalam Plot

Sebelum menghitung cadangan karbon total dalam plot yang dilakukan adalah dengan menghitung total kandungan karbon atas permukaan yang diperoleh dari total kandungan karbon pohon, pancang dan semai. Total kandungan karbon pohon mati diperoleh dari total kandungan karbon pohon mati berdiri dan pohon mati rebah. Berikut perhitungan cadangan karbon dalam plot pengukuran menggunakan rumus berikut menurut (SNI 7724: 2019)

$$C_{plot} = (C_{bap} + C_{pm})$$

Keterangan :

- C_{plot} : total kandungan karbon pada plot, dinyatakan dalam ton per hektar (ton/ha);
 C_{bap} : total kandungan karbon biomassa atas permukaan per hektar pada plot, dinyatakan dalam ton per hektar (ton/ha);
 C_{pm} : total kandungan karbon pohon mati per hektar pada plot, dinyatakan dalam ton per hektar (ton/ha).

Perhitungan karbon Per Hektar

Perhitungan cadangan karbon per hektar untuk biomassa di atas permukaan tanah dapat menggunakan rumus sebagai berikut menurut (SNI 7742:2019)

$$C_n = \frac{c_x}{1000} \times \frac{10000}{l_{plot}}$$

Keterangan:

- C_n : Kandungan karbon per hektar pada masing-masing *carbon pool* tiap plot (ton C/ha)
 C_x : Kandungan karbon pada masing-masing *carbon pool* tiap plot (kg)
 l_{plot} : Luas plot pada masing-masing pool (m²)

Perhitungan Kemampuan Vegetasi Mangrove Menyerap Emisi CO₂

Kemampuan vegetasi dalam menyerap karbon dioksida menggunakan rumus menurut JIFPRO dan JOPP (2001); Morikawa dkk., (2003); Diana (2015).

$$\text{CO}_2\text{-ekuivalen} = (44/12) \times \text{Stok karbon Atas permukaan tanah}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penelitian ini berada di kawasan mangrove alami di daerah Sempadan Sungai Delta Mahakam

yang berdekatan dengan tambak warga tepatnya di Desa Muara Badak Ulu. Terdapat 3 (tiga) lokasi yaitu *Green Belt* (Lokasi 1), Sempadan Sungai (Lokasi 2, Demonstrasi Plot (Lokasi 3).



Gambar 6. Lokasi Penelitian *Green Belt*



Gambar 7. Lokasi Penelitian Sempadan Sungai



Gambar 8. Lokasi Penelitian pada Demonstrasi Plot

Komposisi Jenis Vegetasi di Salo Sumbala

Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan pada ekosistem mangrove yang dilakukan pada tingkat semai, pancang dan pohon pada 3 (tiga) lokasi dengan total 18 plot dengan metode sistem

jalur atau transek sepanjang 125 meter, ditemukan 8 jenis dalam 4 famili yaitu *Acanthaceae*, *Rhizophoraceae*, *Lythraceae*, *Meliaceae*. Sebaran jenis mangrove yang ditemukan pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Kehadiran Jenis Tumbuhan Mangrove

No	Jenis Tumbuhan Mangrove	Famili	Jumlah Individu Pada Tiap Lokasi		
			1	2	3
1	<i>Avicennia marina</i> (Forssk.) Vierh*	Acanthaceae	7	2	25
2	<i>Bruguiera gymnorhiza</i> (L.) Lam. ex Savigny*	Rhizophoraceae	13	-	-
3	<i>Bruguiera parviflora</i> (Roxb.) Wight dan Arn. ex Griff.*	Rhizophoraceae	-	1	-
4	<i>Ceriops tagal</i> (Perr.) C. B. Rob*	Rhizophoraceae	-	-	5
5	<i>Rhizophora apiculata</i> Blume*	Rhizophoraceae	157	211	153
6	<i>Rhizophora mucronata</i> Poir*	Rhizophoraceae	45	15	19
7	<i>Sonneratia alba</i> Sm*	Lythraceae	4	-	-
8	<i>Xylocarpus granatum</i> J.Koenig	Meliaceae	-	-	1

*: Jenis Mayor

Berdasarkan Tabel 3 tidak semua jenis tumbuhan mangrove muncul di setiap lokasi seperti *Bruguiera gymnorhiza* yang hanya ditemukan di *Green Belt*, *Ceriops tagal* yang hanya ditemukan pada lokasi 3, *Sonneratia alba* yang hanya ditemukan pada lokasi 1 dan *Xylocarpus granatum* yang hanya muncul pada lokasi 3. Berbeda dengan jenis *Avicennia marina*, *Rhizophora apiculata* dan *Rhizophora mucronata* yang muncul di setiap lokasi penelitian. Hal ini dikarenakan di lokasi tersebut yang dominan berlumpur dan jenis-jenis tersebut merupakan jenis yang menyukai substrat tanah berlumpur dan berpasir (Puspayanti dkk., 2013). Dari 8 jenis tumbuhan mangrove yang ditemukan pada lokasi 1 sebanyak 226 individu, lokasi 2 sebanyak 229 individu dan lokasi 3 sebanyak 203 individu.

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan ditemukan 8 jenis yang ditemukan di tiga lokasi penelitian, di antara vegetasi yang ditemukan 8 jenis di antaranya adalah kategori mangrove mayor (mangrove sejati) atau kelompok mayor (vegetasi dominan). Kategori mangrove mayor mampu membentuk tegakan murni dan mensekresikan air garam sehingga dapat tumbuh pada air tergenang. Komponen penyusunannya berbeda dengan taksonomi tumbuhan daratan, kelompok ini hanya tumbuh di hutan mangrove serta membentuk tegakan murni, tetapi tidak meluas sampai ke dalam komunitas daratan. Di Indonesia yang

termasuk ke dalam kelompok ini diantaranya adalah *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, *Sonneratia alba*, *Avicennia marina*, *Avicennia officinalis*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Bruguiera cylindrica*, *Bruguiera parvifolia*, *Ceriops tagal*, *Xylocarpus granatum* (Diana, 2020). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel

Tabel 4 menunjukkan bahwa jenis yang mendominasi di Salo Sumbala adalah jenis yang termasuk dalam kategori mangrove mayor (mangrove sejati). Dari 7 jenis mangrove mayor yang mendominasi adalah *Rhizophora apiculata*. Menurut Rahim (2017), kehadiran *Rhizophora apiculata* yang banyak dapat disebabkan karena kondisi lingkungan sekitar yang mendukung pertumbuhannya, jenis ini merupakan jenis yang sangat cocok tumbuh pada daerah berlumpur. Dapat dikatakan bahwa lokasi penelitian ini masuk ke dalam zona tengah (*mid zone*), zona tengah merupakan zona peralihan yang menghubungkan perairan dan daratan, kawasan yang terletak di belakang zona dekat laut (*seaward zone*) karena berada di tengah wilayah pesisir laut dan terdapat jenis-jenis yang hadir di ke tiga lokasi tersebut adalah *Rhizophora apiculata* dan *Rhizophora mucronata* yang selalu hadir dalam setiap plot.

Di lokasi penelitian ditemukan jenis *Sonneratia alba* dan *Xylocarpus granatum*, jenis *Sonneratia alba* dan *Xylocarpus granatum* ini muncul di lokasi penelitian dikarenakan faktor alam dan pasang surut air laut sehingga buah yang jatuh akan

terbawa pada saat air pasang dan tersangkut atau tertinggal pada substrat lumpur pada saat air surut sehingga tumbuh di lokasi tersebut. Mughofar dkk., (2017) menyatakan bahwa zona yang paling dekat dengan laut (*seaward zone*) didominasi oleh jenis *Avicennia* dan *Sonneratia*. Zona belakang (*landward zone*) yang dekat dengan daratan biasanya didominasi oleh jenis *Xylocarpus*, *Exoecaria*, *Acrostichum*, *Heritiera*, *Nypa*. Keanekaragaman jenis, kemerataan jenis, kekayaan jenis dan dominansi jenis merupakan parameter vegetasi yang masing-masing berguna untuk mengetahui distribusi persebaran individu suatu jenis yang hadir pada tingkat pertumbuhan. Menurut Nurmawati (2023) mengatakan bahwa hutan mangrove di Salo Sumbala didominasi oleh satu jenis saja yaitu *Rhizophora apiculata* dan indeks keanekaragaman, indeks kemerataan dan indeks kekayaan jenis termasuk dalam kriteria yang rendah.

Stok Karbon Atas Permukaan (Above Ground Biomass)

Stok Karbon Tersimpan Pada Vegetasi Tingkat Semai

Pada vegetasi semai dilakukan pengambilan sampel pada plot penelitian dengan cara memotong bagian dari tumbuhan bawah yang berada di atas permukaan tanah kemudian sampel semai dilakukan pengeringan menggunakan oven untuk menghasilkan berat kering tanur (konstan). Dari hasil penimbangan di lapangan, pada tingkat semai memiliki berat yang beragam pada setiap plot. Penimbangan berat basah secara langsung pada tiap bagian komponen vegetasi (daun dan batang) dan mengkonversinya menjadi berat kering (biomassa). (Yamani, 2013). Lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 5. Estimasi Stok Karbon Mangrove Tingkat Semai

Lokasi	Berat total (gr)	Berat basah (gr)	Berat kering (gr)	Berat kering total (gr)	Biomassa (kg)	Karbon (kg)
1	175,8	150,4	64,3	75,16	0,08	0,04
	26,1	22,9	17,5	19,95	0,02	0,01
	63,3	61,4	38,7	39,90	0,04	0,02
Total					0,14	0,06
Total Ton/Ha					0,11	0,05
2	200,8	155,1	102,6	132,8	0,13	0,06
	599,8	408,2	230,2	338,3	0,34	0,16
	197,2	138,6	58,8	83,7	0,08	0,04
Total					0,55	0,26
Total Ton/Ha					0,46	0,21
3	319,1	155,1	109,4	225,1	0,23	0,11
	368,2	92,7	47,1	187,1	0,19	0,09
	368,2	149,4	78,2	192,7	0,19	0,09
Total					0,60	0,28
Total Ton/Ha					0,50	0,24

Dari Tabel 5 hasil perhitungan potensi stok karbon yang tersimpan di atas permukaan tanah pada vegetasi tingkat semai menyimpan biomassa pada lokasi 1 sebesar 0,11 ton/ha dan karbon sebesar 0,05 ton/ha. Pada lokasi 2 biomassa sebesar 0,46 ton/ha dan karbon sebesar 0,21 ton/ha. Pada lokasi biomassa sebesar 0,50 ton/ha dan karbon sebesar 0,24 ton/ha. Dapat dilihat lokasi 3 memiliki biomassa dan karbon tingkat semai tertinggi, hal ini dikarenakan lokasi tersebut memiliki berat total lebih besar dibandingkan lokasi 1 dan lokasi 2. Kerapatan dan diameter tegakan dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan semai. Kondisi mangrove yang rapat, karakteristik perakaran yang beragam

dan ukuran diameter yang besar akan mengakibatkan adanya persaingan untuk pertumbuhan dan perkembangan semai (Agustini, 2016). Hasil penelitian Hendrawan dkk., (2014) menyatakan bahwa pada daerah yang rumpang memiliki jumlah semai yang lebih banyak dibandingkan pada daerah tertutup.

Stok Karbon Vegetasi Tingkat Pancang

Pada vegetasi tingkat pancang ditemukan jenis *Bruguiera gymnorrhiza*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata* dan *Xylocarpus granatum*.

Ditingkat vegetasi pancang dari ke tiga lokasi didominasi oleh jenis *Rhizophora apiculata* yang

memiliki jumlah individu paling banyak dari 4 jenis yang ditemukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Estimasi Stok Karbon Mangrove Tingkat Pancang

Lokasi	Jenis	Rata- Rata Diameter (cm)	Jumlah Individu	Biomassa (kg)	Karbon (kg)
1	<i>Bruguiera gymnorhiza</i> (L.) Lam. ex Savigny	3,4	1	0,63	0,3
	<i>Rhizophora apiculata</i> Blume	2,9	3	2,66	1,25
	<i>Rhizophora mucronata</i> Poir	2,7	3	1,32	0,62
	Total			4,61	2,17
	Total Ton/Ha			0,31	0,14
2	<i>Rhizophora apiculata</i> Blume	2,3	45	11,82	5,55
	<i>Rhizophora mucronata</i> Poir	2,8	2	0,21	0,1
	Total			12,03	5,65
	Total Ton/Ha			0,8	0,38
3	<i>Rhizophora apiculata</i> Blume	3,94	18	78,8	37,04
	<i>Xylocarpus granatum</i> J.Koenig	3,6	1	2,33	1,09
	Total			81,13	38,13
	Total Ton/Ha			5,42	2,55

Dari Tabel 6 hasil perhitungan potensi stok karbon yang tersimpan di atas permukaan tanah pada vegetasi tingkat pancang menyimpan biomassa pada lokasi 1 sebesar 0,31 ton/ha dan karbon sebesar 0,14 ton/ha. Pada lokasi 2 menyimpan biomassa sebesar 0,80 ton/ha dan karbon sebesar 0,38 ton/ha. Pada lokasi 3 menyimpan biomassa sebesar 5,42 ton/ha dan karbon sebesar 0,24 ton/ha. Dapat dilihat lokasi 3 mampu menyimpan biomassa dan karbon tertinggi dari lokasi 1 dan 2 dikarenakan besarnya biomassa dan karbon dipengaruhi oleh diameter dan jumlah individu pada lokasi 3 memiliki diameter lebih besar

dibandingkan dengan lokasi 1 dan 2. Kandunganbiomassa tegakan dipengaruhi oleh diameter pohon, semakin besar diameter maka semakin besar juga nilai biomasanya (Rahim dkk., 2018).

Stok Karbon Vegetasi Tingkat Pohon

Pada vegetasi tingkat pohon didapatkan ada 7 jenis mangrove dan pada tingkat vegetasi pohon didominasi oleh jenis *Rhizophora apiculata* yang memiliki jumlah individu yang lebih banyak dan hadir di setiap lokasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 7

Tabel 7. Esimasi Stok Karbon Mangrove Tingkat Pohon

Lokasi	Jenis	Rata- Rata Diameter (cm)	Jumlah Individu	Biomassa (kg)	Karbon (kg)
1	<i>Avicennia marina</i> (Forssk.) Vierh	22,84	7	3247,55	1526,35
	<i>Bruguiera gymnorhiza</i> (L.) Lam. ex Savigny	11,36	10	792,40	372,43
	<i>Rhizophora apiculata</i> Blume	17,20	140	32869,96	15448,88
	<i>Rhizophora mucronata</i> Poir	19,89	38	7426,91	3490,65
	<i>Soneratia alba</i> Sm	37,45	4	264,12	124,14
	Total			44600,94	20962,44
	Total Ton/Ha			185,74	87,3
2	<i>Avicennia marina</i> (Forssk.) Vierh	26,5	2	1511,8	710,55
	<i>Bruguiera parviflora</i> (Roxb.) Wight dan Arn. ex Griff.	24,4	1	437,54	205,64
	<i>Rhizophora apiculata</i> Blume	20,7	126	39405,69	18520,67
	<i>Rhizophora mucronata</i> Poir	19,9	11	1942,85	913,14

Lokasi	Jenis	Rata- Rata Diameter (cm)	Jumlah Individu	Biomassa (kg)	Karbon (kg)
Total				43297,88	20350
Total Ton/Ha				180,32	84,75
3	<i>Avicennia marina</i> (Forssk.) Vierh	15,99	21	4146,04	1948,64
	<i>Ceriops tagal</i> (Perr.) C. B. Rob	8,68	5	145,3	68,29
	<i>Rhizophora apiculata</i> Blume	11,66	107	14264,38	6704,26
	<i>Rhizophora mucronata</i> Poir	8,91	20	652,91	306,87
Total				19208,63	9028,06
Total Ton/Ha				80	37,6

Stok Karbon Tersimpan Pada Kayu Mati (Necromass)

Stok Karbon Tersimpan pada Pohon Mati Berdiri

Pohon mati berdiri merupakan bagian dari komponen cadangan karbon tersimpan pada bagian necromass. Pada stok karbon tersimpan pada pohon mati berdiri memiliki vegetasi yang berbeda-beda pada setiap lokasi penelitian pada lokasi 1 didapatkan jenis *Rhizophora apiculata* dan *Sonneratia alba*. Pada lokasi 2 didapatkan jenis *Rhizophora apiculata*. Pada lokasi 3 didapatkan jenis *Avicennia marina*, *Ceriops tagal* dan *Rhizophora apiculata*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 8. Dari Tabel hasil perhitungan potensi stok karbon yang tersimpan di atas

permukaan tanah pada tingkat pohon mati berdiri menyimpan biomassa pada lokasi 1 sebesar 1,53 ton/ha dan karbon sebesar 0,72 ton/ha. Pada lokasi 2 menyimpan biomassa sebesar 3,87 ton/ha dan karbon sebesar 1,82 ton/ha. Pada lokasi 3 menyimpan biomassa sebesar 25,21 ton/ha dan karbon sebesar 11,85 ton/ha. Dapat dilihat lokasi 3 memiliki biomassa dan karbon untuk pohon mati berdiri terbesar, hal ini dikarenakan lokasi tersebut memiliki jumlah pohon mati yang cukup banyak dengan 80 individu dengan 75 individu dari jenis *Rhizophora apiculata* yang memiliki nilai berat jenis tertinggi dari jenis mangrove lain. Banyaknya jumlah pohon mati berdiri tersebut kemungkinan karena wilayah lokasi tersebut cukup terbuka dan juga sering terjadi gangguan dari manusia karena lokasi ini berdekatan dengan tambak milik warga.

Tabel 8. Kandungan Biomassa dan Estimasi Stok Karbon Mangrove Tingkat Pohon Mati Rebah

Lokasi	Jenis	Rata- Rata Diameter (cm)	Jumlah Individu	Biomassa (kg)	Karbon (kg)
1	<i>Rhizophora apiculata</i> Blume	6,8	11	365,44	171,76
	<i>Sonneratia alba</i> Sm	5,6	6	7,01	3
	Total			372,45	174,76
2	Total Ton/Ha			1,55	0,73
	<i>Rhizophora apiculata</i> Blume	20,32	21	930,46	437,31
	Total			930,46	437,31
3	Total Ton/Ha			3,87	1,82
	<i>Avicennia marina</i> (Forssk.) Vierh	10,25	3	27,06	12,72
	<i>Ceriops tagal</i> (Perr.) C. B. Rob	6,4	2	2,63	1,23
	<i>Rhizophora apiculata</i> Blume	10,27	75	6024,13	2831,34
	Total			6053,82	2845,29
Total Ton/Ha				25,21	11,85

Stok Karbon Tersimpan pada Pohon Mati Rebah

Pada tingkat pohon mati rebah menyimpan biomassa pada lokasi 1 sebesar 0,02 ton/ha dan karbon tersimpan sebesar 0,01 ton/ha. Pada lokasi Sempadan Sungai menyimpan biomassa sebesar 0,02 ton/ha dan karbon sebesar 0,01 ton/ha. Pada lokasi Demonstrasi Plot menyimpan biomassa

sebesar 0,003 ton/ha dan karbon sebesar 0,002 ton/ha. Lokasi 2 Sempadan Sungai menyimpan paling banyak biomassa dan karbon dari pada lokasi 1 dan 3. Hal ini karena ditemukan paling banyak pohon mati rebah di lokasi 2 dengan 42 individu, banyaknya pohon mati rebah ini diduga karena banyak dari batang pohon yang ikut hanyut terbawa arus sungai

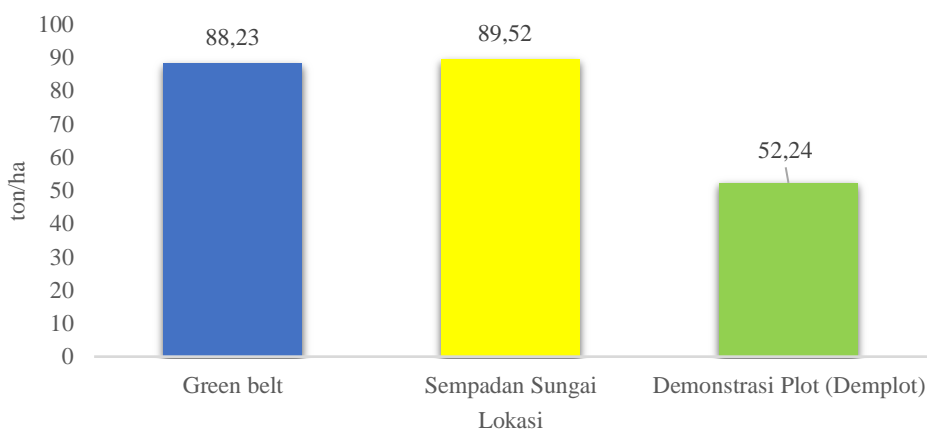
Tabel 9. Kandungan Biomassa dan Estimasi Stok Karbon Mangrove Tingkat Pohon Mati Rebah

Lokasi	Jenis	Rata- Rata Diameter (cm)		Jumlah Individu	Biomassa (kg)	Karbon (kg)
		Pangkal	Ujung			
1	<i>Rhizophora</i> Blume <i>apiculata</i>	21,13	15,61	29	3,81	1,79
	<i>Soneratia alba</i> Sm	15	10,65	2	0,06	0,03
	Total				3,87	1,82
	Total Ton/Ha				0,02	0,01
2	<i>Rhizophora</i> Blume <i>apiculata</i>	21,7	18,53	42	4,97	2,34
	Total				4,97	2,34
	Total Ton/Ha				0,02	0,01
3	<i>Avicennia</i> (Forssk.) Vierh <i>marina</i>	17,8	12,8	1	0,08	0,04
	<i>Rhizophora</i> Blume <i>apiculata</i>	11,95	8,44	22	1,4	0,66
	Total				1,48	0,7
	Total Ton/Ha				0,003	0,002

Total Stok Karbon Pada Masing-Masing Lokasi

Biomassa dan karbon merupakan dua unsur yang tidak dapat dipisahkan. Total stok karbon di atas permukaan merupakan penjumlahan dari

perhitungan yang didapatkan pada nilai biomassa dan karbon tingkat semai, pancang, pohon dan *necromass*.



Gambar 9. Grafik Total Stok Karbon

Sebagaimana terlihat pada Gambar 9 diketahui bahwa nilai stok karbon pada lokasi Sempadan Sungai lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi *Green Belt* dan *Demonstrasi Plot*, dengan nilai stok karbon sebesar 89,52 ton/ha, *Green Belt* dengan nilai stok karbon 88,23 ton/ha dan nilai stok karbon terendah berada pada lokasi. *Demonstrasi Plot* dengan nilai stok karbon 52,24 ton/ha. Amanda dkk., (2021) menyatakan bahwa setiap penambahan kandungan biomassa akan diikuti oleh penambahan stok karbon. Potensi stok karbon dapat dilihat dari biomassa tegakan yang ada. Besarnya stok karbon pada tiap bagian pohon

dipengaruhi oleh biomassa. Oleh karena itu, setiap peningkatan terhadap biomassa akan diikuti oleh peningkatan stok karbon. Perbedaan nilai stok karbon dipengaruhi karena lokasi *Sempadan Sungai* memiliki jumlah individu lebih banyak yaitu 229 individu dan memiliki rata-rata ukuran diameter pohon yang lebih besar dibandingkan lokasi lainnya.

Mangrove yang memiliki diameter batang yang lebih besar memiliki biomassa dan karbon yang lebih besar pula. Nilai biomassa yang telah didapatkan bisa menunjukkan berapa banyak stok karbon yang tersedia atau tersimpan pada suatu

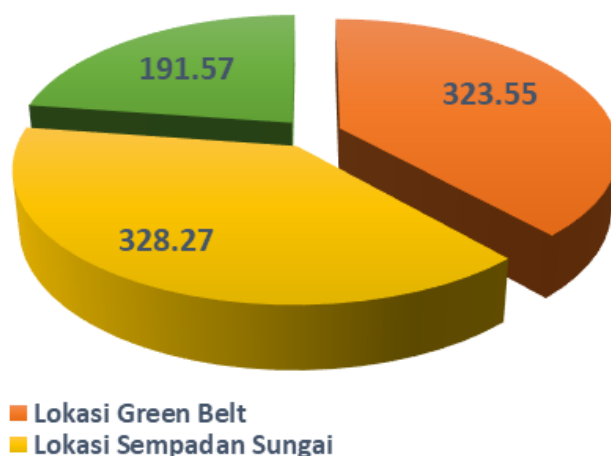
pohon. Jumlah stok karbon berbanding lurus dengan besarnya biomassa pohon tersebut (Badan Standarisasi Nasional, 2019). Perbedaan kandungan karbon pada setiap kawasan hutan karena perbedaan komposisi penyusun tegakan dan diameter pohon pada kawasan hutan tersebut. Simpanan karbon tumbuhan dipengaruhi oleh diameter dan berat jenisnya. Semakin besar diameter tumbuhan semakin besar kandungan karbonnya (Pebriandi dkk., 2023).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa total stok karbon mangrove di Salo Sumbala Muara Badak Kutai Kartanegara yaitu 299,98 ton/ha. Jumlah stok karbon total pada wilayah ini lebih tinggi daripada

penelitian yang dilakukan oleh Juraidah (2023) di Ekosistem Mangrove di Desa Salo Palai Muara Badak Kutai Kartanegara dengan stok karbon total sebesar 107,75 ton/ha.

Estimasi Serapan CO₂ di Salo Sumbala

Hairiah dan Rahayu (2007), menyatakan bahwa tumbuhan dapat mengurangi emisi gas CO₂ dengan cara menyerap gas CO₂ dalam proses fotosintesis yang dibantu oleh zat hijau daun (klorofil), air, dan cahaya matahari untuk menghasilkan karbohidrat sebagai sumber energi bagi tumbuhan. Hasil dari estimasi serapan CO₂ lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Serapan CO₂ pada Tiap Lokasi

Tingginya serapan CO₂ pada lokasi Sempadan Sungai adalah karena di lokasi Sempadan Sungai memiliki total stok karbon yang lebih tinggi dibandingkan dari 2 lokasi lainnya. Kemampuan tegakan mangrove dalam menyerap CO₂ dari atmosfer juga dipengaruhi oleh estimasi stok karbon yang terkandung di dalam tegakan. Hubungan antara estimasi stok karbon dengan estimasi serapan karbon memiliki hubungan erat, semakin tinggi kandungan karbonnya maka kemampuan vegetasi menyerap CO₂ dari atmosfer juga akan semakin tinggi (Yaqin dkk., 2022).

Tumbuhan menyerap karbon dari udara dan mengkonversinya menjadi senyawa organik melalui proses fotosintesis. Hasil fotosintesis digunakan untuk pertumbuhan secara vertikal dan horizontal. Semakin besarnya diameter pohon disebabkan oleh penyimpanan biomassa hasil konversi karbon yang semakin bertambah besar seiring dengan semakin banyaknya karbon yang diserap pohon tersebut. Secara umum hutan dengan *net growth* (pohon-pohon yang sedang berada dalam fase pertumbuhan) mampu menyerap lebih banyak karbon, sedangkan hutan. dewasa

dengan pertumbuhan yang kecil menahan dan menyimpan persediaan karbon tetapi tidak dapat menyerap karbon secara ekstra (Handoko dkk., 2016).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan bahwa total serapan CO₂ mangrove di hutan mangrove Salo Sumbala Muara Badak Kutai Kartanegara yaitu 843,39 ton/ha. Jumlah serapan CO₂ pada wilayah ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian Juraidah (2023) di hutan mangrove di Desa Salo Palai Muara Badak dengan total serapan CO₂ yaitu sebesar 378,62 ton/ha.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, N.T., Ta'alidin, Z., dan Purnama, D. 2016. Struktur Komunitas Mangrove Di Desa Kahyapu Pulau Enggano. *Jurnal Enggano*, 1(1), 19-31.
- Aldrian, E., Karmini, M., dan Budiman, B. 2011. Adaptasi dan mitigasi perubahan iklim di Indonesia. Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara, Kedepatian Bidang

- Klimatologi, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- Amanda, Y., Mulyadi, A., dan Siregar, Y. I. 2021. Estimation of Carbon Reserved in Mangrove Forest at the Estuary of the Batang Apar River, North Pariaman District, Pariaman City, West Sumatra Province. *Ilmu Perairan (Aquatic Science)*, 9(1), 38-48.
- Apriliansa, W. I., Purwanti, F., dan Latifah, N. 2021. Estimasi Kandungan Biomassa dan Simpanan Karbon Hutan Mangrove, Mangunharjo, Semarang. *Life Science*, 10(2), 162-172.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. SNI 7724 – Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon- Pengukuran Lapangan Untuk Penaksiran Cadangan Karbon Berbasis Lahan (Land-based Carbon Accounting). Badan Standardisasi Nasional (BSN). Jakarta.
- Dewi, M. S. 2021. Estimasi Karbon Tersimpan Di Hutan Mangrove Desa Sriminosari Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur (Doctoral dissertation, UIN Raden Intan Lampung).
- Diana, R. 201). Potensi Cadangan Karbon Jenis Primer di Taman Penghijauan Wanatirta PT Pupuk Kaltim. Pusat Pengkajian Perubahan Iklim Universitas Mulawarman (P3I-UM). Samarinda.
- Diana, R. 2021. Cadangan Carbon Pesisir. Mulawarman University Press. Samarinda.
- Dinilhuda, A., Akbar, A. A., dan Jumiati, J. (2018). Peran ekosistem mangrove bagi mitigasi pemanasan global. *Jurnal Teknik-Sipil*, 18(2).
- Hairiah, K., dan Rahayu, S. 2007. Petunjuk praktis pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan. World Agroforestry Centre, ICRAF Southeast Asia, Bogor.
- Handoko, E., Amin, B., dan Siregar, S. H 2016. Analysis Of Biomass And Carbon Reserves In The South Part Of Rupan Island Mangrove Ecosystem. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Perikanan dan Ilmu Kelautan*, 3(2), 1-12.
- Hendrawan, F., Satjapradja, O., dan Dharmawan, I. W. S. 2014. Potensi Biomassa Karbon Tegakan, Nekromas (Necromass) dan Seresah (Litter) pada Hutan Penelitian Dramaga. *Jurnal Nusa Sylva*, 14(1), 1-9.
- Hismayasari, I., Poltak, H., Ismail, I., Ernawati, E., Abadi, A. S., Puspitasari, A. W., dan Permana, I. K. H. 2022. Peningkatan Kesadaran Masyarakat Melalui Sosialisasi Peran dan Manfaat Hutan Mangrove: Peningkatan Kesadaran Masyarakat Melalui Sosialisasi
- Peran Dan Manfaat Hutan Mangrove. *Buletin SWIMP*, 2(02), 63-70.
- Hong, L. C., Hemati, Z., dan Zakaria, R. 2017. Carbon stock evaluation of selected mangrove forests in peninsular Malaysia and its potential market value. *Journal of Environmental Science and Management*, 20(2).
- Irsadi, A., Martuti, N. K. T., dan Nugraha, S. B. 2017. Estimasi Stok Karbon Mangrove Di Dukuh Tapak Kelurahan Tugurejo Kota Semarang. *Saintekno*: 3, 15(2), 119-128.
- Nanlohy, L. H., Maruapey, A., dan Malaum, Y. 2017. Komposisi Jenis Dan Zonasi Mangrove Di Kampung Gisim Kabupaten Sorong. *Median: Jurnal Ilmu Eksakta*, 9(1), 25-35.
- Nedhisa, P. I., dan Tjahjaningrum, I. T. 2020. Estimasi biomassa, stok karbon dan sekuestrasi karbon mangrove pada *Rhizophora mucronata* di Wonorejo Surabaya dengan persamaan allometrik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 8(2), E61-E65.
- Noor, Y. R., M. Khazali, dan I N.N. Suryadiputra. 2012. Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia.
- Rahim, S., dan Baderan, D. W. K. 2017. Hutan mangrove dan pemanfaatannya. Yogyakarta. Deepublish.
- Rahmadhani, T., Rahmawati, Y. F., Qalbi, R., HP, N. F., dan Husna, S. N. 2021. Zonasi dan Formasi Vegetasi Hutan Mangrove: Studi Kasus di Pantai Baros, Yogyakarta. *Jurnal Sains Dasar*, 10(2), 69-73.
- Rahman, R., Effendi, H., dan Rusmana, I. 2017. Estimasi stok dan serapan karbon pada mangrove di Sungai Tallo, Makassar. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 11(1), 19-28.
- Sulistiyowati, H. 2020. Estimasi Stok Karbon Ekosistem Mangrove Pasir Putih Pulau Bawean Desa Sukaoneng. *Bioma: Jurnal Biologi dan Pembelajaran Biologi*, 5(2), 112-120.
- Supriadi, H. 2014. Peran Biomassa Dan Bioindustri Kakao Dalam Mitigasi Perubahan Iklim. IAARD Press.
- Sutaryo, D. 2009. Penghitungan Biomassa Sebuah pengantar untuk studi karbon dan perdagangan karbon. Wetlands International Indonesia Programme. Bogor, 13.
- Triyanti, R., Firdaus, M., dan Pramoda, R. 2017. Total nilai ekosistem mangrove di Kabupaten Gorontalo Utara, Provinsi Gorontalo. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 14(3), 219-236.