

Estimasi Simpanan Karbon Hutan Mangrove di Pesisir Utara Pulau Cawan, Indragiri Hilir

Tri Emrinelson¹, Trisla Warningsih²

¹Mahasiswa Program Studi Magister Ilmu Kelautan, Program Pascasarjana, Universitas Riau

²Dosen Program Studi Magister Ilmu Kelautan, Program Pascasarjana, Universitas Riau

ARTICLE INFO

Article history:

DOI:

[10.30595/pspfs.v5i.704](https://doi.org/10.30595/pspfs.v5i.704)

Submitted:

05 Mei, 2023

Accepted:

21 Mei, 2023

Published:

04 Agustus, 2023

Keywords:

Hutan Mangrove; Simpanan Karbon; Biomassa; Indragiri Hilir

ABSTRACT

Hutan mangrove memegang peran penting bagi kehidupan manusia serta lingkungan pesisir di sekitarnya, salah satunya adalah hutan mangrove sebagai penyerap CO₂ dan penyimpan karbon. Pesisir Utara Pulau Cawan di Indragiri Hilir memiliki hutan mangrove yang tergolong baik, sehingga diperkirakan mampu menyerap dan menyimpan karbon lebih banyak. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi nilai simpanan karbon pada tegakan (batang), karbon di bawah permukaan (akar), serasah dan sedimen hutan mangrove di Pesisir Utara Pulau Cawan, Indragiri Hilir. Metode penelitian menggunakan purposive sampling dengan menetapkan 5 stasiun pengamatan, masing-masing stasiun terdiri dari transek dengan 3 plot. Pengukuran biomassa batang dan akar mangrove menggunakan metode allometrik. Pengukuran biomassa serasah menggunakan metode penimbangan berat kering dan pengukuran karbon sedimen menggunakan metode Loss on Ignition (LOI). Berdasarkan hasil penelitian, rata-rata simpanan karbon tegakan (batang) sebesar 34,56 ton/ha, karbon di bawah permukaan (akar) sebesar 16,41 ton/ha, serasah sebesar 0,10 ton/ha, dan sedimen sebesar 32,91 ton/ha. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simpanan karbon tegakan (batang) lebih dipengaruhi oleh rata-rata diameter batang, simpanan karbon dibawah permukaan (akar) lebih dipengaruhi oleh jumlah spesies mangrove yang ditemukan serta kondisi substrat yang berlumpur, simpanan karbon serasah dipengaruhi oleh tingginya kerapatan semak, dan simpanan karbon sedimen berhubungan erat dengan simpanan karbon akar yaitu dipengaruhi oleh jumlah spesies yang ditemukan.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



Corresponding Author:

Tri Emrinelson

Universitas Riau

Kampus Bina Widya KM. 12,5, Simpang Baru, Kec. Tampan, Kota Pekanbaru, Riau 28293

Email: triemrinelson97@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove mampu menopang kehidupan manusia serta lingkungan sekitar melalui berbagai fungsi yang dimilikinya seperti fungsi ekologi, fungsi ekonomi, dan fungsi sosial. Fungsi ekologi mangrove yaitu menjaga kestabilan pantai, menahan dan melarutkan bahan pencemar, menyerap CO₂ dan menyimpan karbon, penghasil oksigen, serta sebagai habitat bagi hewan-hewan akuatik. Fungsi ekonomi mangrove yaitu sebagai penghasil bahan bangunan, makanan, obat-obatan serta sebagai daerah penangkapan ikan. Fungsi sosial mangrove yaitu sebagai daerah konservasi, pendidikan, wisata dan sebagai identitas budaya masyarakat setempat.

Berdasarkan fungsi ekologi, hutan mangrove mampu menyimpan karbon dari udara dengan mengubah CO₂ menjadi biomassa pada bagian-bagian tumbuhannya seperti batang, ranting, daun, dan akar. Kemampuan hutan mangrove dalam menyerap CO₂ dan menyimpan karbon dianggap lebih baik dibandingkan jenis hutan darat lainnya. Menurut penelitian Murray *et al.* (2011), ekosistem mangrove mampu menyerap rata-rata 8 ton CO₂ /ha/tahun. Nilai ini lebih kurang 2 hingga 4 kali lebih besar dibandingkan nilai rata-rata hutan tropis (1,8 – 2,7 ton CO₂ /ha/tahun). Menurut Warningsih *et al.* (2020), pemanfaatan hutan mangrove sering sekali tidak diperhatikan kelestariannya oleh masyarakat. Hal ini disebabkan tingginya laju pertumbuhan penduduk yang membutuhkan sumberdaya dalam memenuhi kebutuhan hidup. Banyaknya pemanfaatan hutan mangrove tanpa memperhatikan ekosistemnya dapat mengakibatkan kepunahan, berkurangnya luas kawasan mangrove akibat kurangnya nilai yang diberikan pada area ekosistem mangrove.

Aktifitas manusia yang tinggi mendorong naiknya konsentrasi CO₂ di udara, hal ini dapat memicu terjadinya pemanasan global yang berakibat pada perubahan iklim dunia. Dampak dari perubahan iklim dunia mengakibatkan peningkatan suhu bumi, naiknya rata-rata permukaan air laut, perubahan pola curah hujan dan terganggunya keseimbangan alam. Menurut Hidayah *et al.* (2020), Perubahan iklim merupakan salah satu isu lingkungan yang saat ini sedang gencar dibahas. Perubahan iklim secara global dapat terjadi salah satunya akibat kenaikan konsentrasi gas rumah kaca sebagai akibat dari gas CO₂ yang meningkat. Sejalan dengan itu, hasil penelitian Ambarsari & Tedjasukmana (2011), menunjukkan bahwa CO₂ berkontribusi besar dalam menyumbang gas rumah kaca sebesar 63% karena waktu hidupnya yang lama dan jumlahnya yang cepat meningkat di atmosfer.

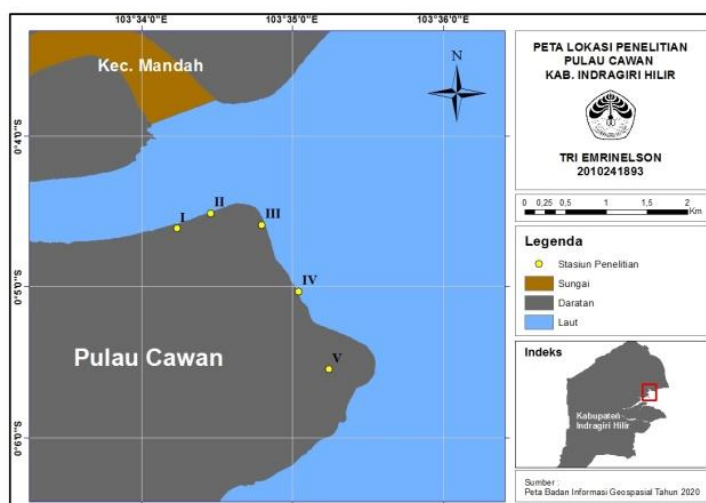
Kabupaten Indragiri Hilir, Provinsi Riau dikenal sebagai salah satu wilayah yang memiliki hutan mangrove terluas yaitu seluas ± 129.455,56 ha. Kabupaten Indragiri Hilir terdiri atas 20 kecamatan, salah satu diantaranya adalah Kecamatan Mandah yang memiliki hutan mangrove terluas yaitu seluas 34.147,84 ha termasuk di dalamnya hutan mangrove Pulau Cawan (Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Indragiri Hilir, 2016). Kondisi hutan mangrove di Pulau Cawan sangat penting untuk dijaga kelestariannya, karena hampir seluruh masyarakat yang tinggal di daerah tersebut berprofesi sebagai nelayan, sehingga hutan mangrove memegang peran penting bagi masyarakat. Keberadaan hutan mangrove di Pesisir Utara Pulau Cawan ini perlu untuk dikaji potensinya, sehingga menjadi alasan kuat untuk tetap mempertahankan kelestariannya.

Berdasarkan penelitian Syafruddin *et al.* (2018), bahwa estimasi simpanan karbon tegakan (batang) mangrove di Pulau Cawan yaitu sebesar 2.199,54 ton C/ha dan menggolongkan hutan mangrove dalam kategori baik yaitu sebesar 67,81% dari total luas mangrove. Berdasarkan hal tersebut, mendorong penulis untuk melakukan penelitian mengestimasi simpanan dan nilai ekonomi karbon pada tegakan (batang), karbon di bawah permukaan (akar), serasah dan sedimen hutan mangrove di Pesisir Utara Pulau Cawan, Indragiri Hilir.

2. METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September sampai Oktober 2022. Pengambilan data dan sampel dilakukan di kawasan Pesisir Utara Pulau Cawan, Kecamatan Mandah, Kabupaten Indragiri Hilir. Analisis sampel serasah dan sedimen mangrove dilakukan di Laboratorium Kimia Laut Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Riau. Penelitian ini dilakukan dengan menetapkan 5 stasiun di Pesisir Utara Pulau Cawan. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Pengambilan Data

Metode penelitian dilakukan secara *purposive sampling* untuk penentuan stasiun pengamatan, yaitu penentuan stasiun berdasarkan pertimbangan tertentu di lapangan. Pengambilan data mangrove dilakukan dengan metode petak contoh (*transec line plot*). Sebanyak 5 stasiun diamati dan setiap stasiun dibuat garis transek dari arah laut ke daratan. Tiap transek terdiri atas 3 plot berukuran 10 x 10 m² berjarak masing-masing 20 meter untuk kategori pohon dengan diameter batang ≥ 5 cm (Komiyama *et al.*, 2005), dan subplot berukuran 0,5 x 0,5 m² untuk serasah dengan posisi yang diacak.

Pengukuran diameter batang pohon dilakukan setinggi dada orang dewasa (*diameter at breast high*) yaitu 1,3 meter dari permukaan tanah. Pengukuran biomassa batang dan akar mangrove dilakukan secara metode allometrik berdasarkan diameter batang pohon, selanjutnya biomassa yang diperoleh dikonversikan ke dalam nilai karbon. Pengukuran biomassa serasah mangrove dilakukan dengan metode penimbangan berat kering dan pengukuran karbon sedimen dilakukan dengan metode *Loss on Ignition* (LOI).

Analisis Data

Analisis Simpanan Karbon Tegakan Mangrove

Pengukuran biomassa tegakan mangrove dilakukan secara nondestruktif (tidak merusak tanaman) yaitu dengan mengukur diameter batang pohon setinggi dada (1,3 meter) dan menggunakan persamaan allometrik pada masing-masing spesies mangrove. Persamaan allometrik biomassa tegakan mangrove disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Persamaan Allometrik Biomassa Tegakan Mangrove

Spesies	Model Allometrik	Sumber
<i>Rhizophora apiculata</i>	$B = 0,043 (D)^{2,63}$	Amira, 2008
<i>Sonneratia alba</i>	$B = 0,3841 (D)^{2,101} \rho$	Kauffman & Cole, 2012
<i>Sonneratia ovata</i>	$B = 0,258 (D)^{2,287}$	Kusmana <i>et al.</i> , 2018
<i>Xylocarpus granatum</i>	$B = 0,145 (D)^{2,55}$	Poungparn <i>et al.</i> , 2002
<i>Nypa fruticans</i>	$B = 0,098 (D)^{1,4934}$	Rahman <i>et al.</i> , 2020
<i>Excoecaria agallocha</i>	$B = 1,0996 (D)^{0,8572}$	Hossain <i>et al.</i> , 2015
<i>Lumnitzera racemosa</i>	$B = 0,184 (D)^{2,384}$	Kangkuso <i>et al.</i> , 2015
Mangrove secara umum	$B = 0,251 (D)^{2,46} \rho$	Komiyama <i>et al.</i> , 2005

Keterangan: ρ = wood density (g/cm³), B = Biomassa (kg/m², ton/ha), D = Diameter batang (cm)

Kepadatan kayu (*wood density*) diperoleh berdasarkan hasil penelitian terdahulu dari setiap spesies mangrove. Kepadatan kayu (*wood density*) digunakan untuk melengkapi rumus allometrik perhitungan biomassa tegakan dan akar mangrove, disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kepadatan Kayu (*Wood density*)

Spesies	Wood density (g/cm ³)	Sumber
<i>Rhizophora apiculata</i>	0,843	Chave <i>et al.</i> , 2009
<i>Sonneratia alba</i>	0,509	Chave <i>et al.</i> , 2009

Perhitungan simpanan karbon tegakan (batang) mangrove dilakukan dengan cara mengkalikan nilai biomassa dengan fraksi karbon menggunakan rumus SNI 7724 tahun 2011 sebagai berikut:

$$C = 0,47 \times B$$

Keterangan:

C = Simpanan karbon (kg)

B = Biomassa (kg)

0,47 = Fraksi karbon

Analisis Simpanan Karbon Akar Mangrove

Analisis simpanan karbon di bawah permukaan (akar) mangrove dilakukan dengan metode allometrik, yaitu diameter batang pohon diukur setinggi dada (1,3 meter). Simpanan karbon akar dihitung berdasarkan rumus yang sama dengan simpanan karbon batang menggunakan SNI 7724 tahun 2011. Persamaan allometrik biomassa akar mangrove disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Persamaan Allometrik Biomassa Akar Mangrove

Spesies	Model allometrik	Sumber
<i>Sonneratia alba</i>	$B = 0,199 \rho^{0,899} (D)^{2,22}$	Komiyama <i>et al.</i> , 2005
<i>Sonneratia ovata</i>	$B = 0,045 (D)^{2,320}$	Kusmana <i>et al.</i> , 2018
<i>Rhizophora apiculata</i>	$B = 0,00698 (D)^{2,61}$	Komiyama <i>et al.</i> , 2005
Mangrove secara umum	$B = 0,199 \rho^{0,899} (D)^{2,22}$	Komiyama <i>et al.</i> , 2005

Keterangan: B= Biomassa (kg/m², ton/ha), ρ = Wood density (g/cm³) D= Diameter batang (cm)

Analisis Simpanan Karbon Serasah Mangrove

Simpanan karbon serasah mangrove dilakukan dengan cara menimbang berat kering sampel dan mengkonversi ke dalam nilai biomassa (Hairiah *et al.*, 2011). Biomassa dapat ditentukan dengan rumus:

$$\text{Biomassa} = \frac{\text{BK sampel (g)}}{\text{BB sampel (g)}} \times \text{total BB sampel}$$

Keterangan:

BK = Berat kering

BB = berat basah

Selanjutnya setelah diperoleh nilai biomassa, kandungan karbon dihitung dengan cara mengkalikan biomassa dengan nilai estimasi karbon pada bahan organik (0,47%), perhitungan dilakukan dengan rumus:

$$\text{Estimasi C serasah} = \text{Biomassa} \times \text{kadar c-organik (0,47)}$$

Analisis Simpanan Karbon Sedimen Mangrove

Data analisis simpanan karbon sedimen mangrove yang dihitung adalah kedalaman sampel sedimen, densitas karbon, densitas tanah, estimasi karbon dan persentase karbon organik sedimen. Perhitungan yang digunakan berdasarkan Howard *et al.* (2014), sebagai berikut:

Perhitungan densitas tanah (BD) dari masing-masing sampel menggunakan rumus:

$$\text{Densitas tanah} = \frac{\text{oven dry mass}}{\text{sample volume}}$$

Keterangan:

Oven dry mass = Massa sampel yang dikeringkan (g)

Sample volume = Volume sampel (cm³)

Selanjutnya dihitung persentase bahan organik yang hilang saat pengabuan kering (*Loss on Ignition*) menggunakan rumus:

$$\% \text{ BO} = \left(\frac{w_o - w_t}{w_o} \right) \times 100$$

Keterangan:

%BO = Persentase bahan organik sedimen yang hilang pada proses pembakaran

Wo = Berat awal (g)

Wt = Berat akhir setelah pembakaran (g)

Selanjutnya dikonversi persentase bahan organik menjadi persentase karbon menggunakan rumus:

$$\% \text{ c} = (1/1,724) \times \% \text{ BO}$$

Keterangan:

%C = Kandungan karbon pada bahan organik sedimen

1,724 = konstanta untuk mengkonversi % bahan organik menjadi % C organik

Selanjutnya dihitung densitas karbon (C) dengan menggunakan rumus:

$$\text{Soil C density (g C cm}^3\text{)} = \% \text{ C} \times \text{BD (densitas tanah)}$$

Keterangan:

Soil C density = densitas karbon pada tanah

Selanjutnya simpanan karbon sedimen mangrove diestimasi dengan rumus:

$$\text{Soil C (Mg ha}^{-1}\text{)} = \text{BD} \times \text{SDI} \times \% \text{ C}$$

Keterangan:

Soil C = Estimasi simpanan karbon

SDI = Interval kedalaman sampel (cm)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Komunitas Mangrove

Struktur komunitas mangrove yang ditemukan selama penelitian di Pesisir Utara Pulau Cawan dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Struktur komunitas mangrove di Pesisir Utara Pulau Cawan

No.	Spesies	Nama lokal	Stasiun				
			I	II	III	IV	V
1.	<i>Rhizophora apiculata</i>	Bakau	+	+	+	+	+
2.	<i>Nypa fruticans</i>	Nipah	+	+	+	+	+
3.	<i>Excoecaria agallocha</i>	Jehe	-	-	+	+	-
4.	<i>Xylocarpus granatum</i>	Nyireh	-	+	-	-	-
5.	<i>Sonneratia alba</i>	Pedada/pedade	-	-	+	+	-
6.	<i>Sonneratia ovata</i>	Kedabu	-	-	+	+	+
7.	<i>Lumnitzera littorea</i>	Teruntum merah	-	+	+	-	-
8.	<i>Lumnitzera racemosa</i>	Teruntum putih	-	+	+	+	-

Keterangan: (+) spesies ditemukan, (-) spesies tidak ditemukan

Spesies mangrove *Rhizophora apiculata* dan *Nypa fruticans* ditemukan di seluruh stasiun penelitian, hal ini berkaitan dengan kemampuan adaptasi yang baik dari spesies mangrove. *Rhizophora apiculata* mampu bertahan disaat kondisi perubahan lingkungan seperti suhu, salinitas dan pH dengan baik, sehingga kemampuan adaptasinya lebih tinggi dibandingkan spesies mangrove lainnya. *Rhizophora apiculata* memiliki sebaran yang cukup tinggi karena bersifat vivipar, yaitu bijinya telah berkecambah pada saat buahnya masih melekat dengan pohon.

Menurut penelitian Setyawan *et al.* (2005), spesies mangrove memiliki tingkat adaptasi yang tinggi terhadap kondisi lingkungan terutama pada jenis tertentu seperti *Rhizophora sp.* karena umumnya propagul telah tumbuh sejak masih menempel dengan batang induknya (vivipar), sehingga tingkat keberhasilan pertumbuhan menjadi lebih besar. Menurut penelitian Eddy *et al.* (2019), apabila suatu kawasan hutan mangrove yang didominasi oleh spesies mangrove *Nypa fruticans* merupakan kawasan yang terganggu, dimana spesies ini akan berada di zona dekat daratan dan zona transisi yang mampu menginvasi ke seluruh zona hutan mangrove.

Estimasi Simpanan Karbon

Hasil estimasi simpanan karbon penelitian ini dihitung dari masing-masing *carbon pool* yaitu pada tegakan (batang), karbon di bawah permukaan (akar), serasah dan sedimen hutan mangrove di Pesisir Utara Pulau Cawan.

Simpanan Karbon Tegakan Mangrove

Hasil rata-rata simpanan karbon tegakan (batang) mangrove dari masing-masing stasiun pengamatan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Rata-rata Simpanan Karbon Tegakan Mangrove (Batang)

Stasiun	Biomassa (ton/ha)	Simpanan karbon (ton/ha)	Serapan CO ₂ (ton/ha)
I	204,43	96,08	352,62
II	49,60	23,31	85,55
III	46,46	21,83	80,13
IV	52,87	24,85	91,20
V	14,36	6,75	24,76
Rata-rata	73,54	34,56	126,85

Berdasarkan Tabel 5, rata-rata simpanan karbon tegakan (batang) mangrove dari masing-masing stasiun pengamatan menunjukkan bahwa, rata-rata simpanan karbon tertinggi tegakan (batang) mangrove terdapat di Stasiun I sebesar 96,08 ton/ha, sedangkan rata-rata simpanan karbon terendah terdapat di Stasiun V sebesar 6,7 ton/ha. Rata-rata simpanan karbon tegakan (batang) di Stasiun II, III dan IV tidak jauh berbeda yaitu

sebesar 23,31, 21,83, dan 24,85 ton/ha disamping memiliki kerapatan, rata-rata ukuran batang dan spesies mangrove yang berbeda. Tingginya simpanan karbon suatu kawasan hutan mangrove dilihat dari tingginya biomassa di daerah tersebut, biomassa yang tinggi diketahui dari banyaknya pohon dengan diameter batang besar dan kerapatan tinggi.

Stasiun I didominasi oleh spesies mangrove *Rhizophora apiculata* dengan rata-rata ukuran batang sebesar 20,59 cm sehingga memiliki rata-rata biomassa dan simpanan karbon yang tinggi. Spesies mangrove *Rhizophora apiculata* memiliki batang yang tergolong jenis kayu keras. Berdasarkan penelitian Senoaji & Hidayat (2016), bahwa mangrove yang tergolong jenis kayu keras banyak menyimpan karbon dibandingkan jenis kayu lunak, kandungan karbon di setiap spesies mangrove akan berbeda satu sama lain tergantung dari massa jenis kayunya. Semakin tinggi massa jenis kayunya maka semakin tinggi kandungan biomasannya

Biomassa terendah terdapat di Stasiun V sebesar 14,36 ton/ha yang memiliki jumlah individu banyak, tetapi memiliki diameter batang yang kecil sehingga simpanan karbon di stasiun tersebut juga rendah. Menurut penelitian Rahmawati (2011), tiap spesies mangrove memiliki nilai biomassa yang berbeda-beda tergantung dari massa jenis kayu, diameter batang pohon, ketinggian pohon dan pengaruh proses sekuestrasi. Stasiun V terdapat spesies mangrove *Rhizophora apiculata* dengan rata-rata diameter batang sebesar 10,65 cm. Hal ini dapat berpengaruh dalam nilai biomassa dan simpanan karbon pada stasiun. Spesies mangrove lain yang ditemukan di Stasiun V yaitu *Nypa fruticans* sebanyak 2 batang dan *Sonneratia ovata* sebanyak 1 batang. Jumlah spesies mangrove yang tumbuh sedikit di Stasiun V merupakan penyebab utama rata-rata biomassa dan simpanan karbon di stasiun ini lebih kecil dibandingkan stasiun lain.

Nilai rata-rata simpanan karbon batang yang diperoleh dalam penelitian ini sebesar 34,57 ton/ha, nilai ini lebih besar dibandingkan hasil penelitian Mandari *et al.* (2016), di kawasan Bandar Bakau Dumai yaitu sebesar 19,30 ton/ha. Hal ini dipengaruhi rata-rata diameter batang pohon pada penelitian ini lebih besar dari pada hasil penelitian Mandari *et al.* (2016), yaitu sebesar 8,02 cm. Menurut penelitian Hairiah & Rahayu (2007), nilai biomassa dan kandungan karbon tersimpan dapat berbeda di berbagai ekosistem mangrove tergantung dari keberagaman spesies, ukuran batang dan kerapatan di daerah tersebut.

Simpanan Karbon Akar Mangrove

Hasil rata-rata simpanan karbon akar mangrove dari masing-masing stasiun pengamatan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Rata-rata Simpanan Karbon di Bawah Permukaan (Akar)

Stasiun	Biomassa (ton/ha)	Simpanan karbon (ton/ha)	Serapan CO₂ (ton/ha)
I	35,09	16,49	60,53
II	24,32	11,43	41,95
III	71,25	33,49	122,90
IV	41,18	19,35	71,03
V	2,79	1,31	4,81
Rata-rata	34,93	16,41	60,24

Berdasarkan Tabel 6, rata-rata simpanan karbon akar mangrove dari masing-masing stasiun pengamatan menunjukkan bahwa, rata-rata simpanan karbon tertinggi pada akar mangrove terdapat di Stasiun III dengan nilai sebesar 33,49 ton/ha, sedangkan rata-rata simpanan karbon terendah terdapat di Stasiun V sebesar 1,31 ton/ha. Rata-rata simpanan karbon akar mangrove di Stasiun I, II dan IV tidak jauh berbeda yaitu sebesar 16,49, 11,43 dan 19,35 ton/ha disamping memiliki kondisi yang berbeda dari spesies, rata-rata diameter batang, dan jumlah mangrove pada masing-masing stasiun. Nilai simpanan karbon akar mangrove diperoleh dari model allometrik berdasarkan diameter batang pohon di masing-masing spesies mangrove.

Nilai simpanan karbon akar mangrove tertinggi diperoleh di Stasiun III diduga lebih dipengaruhi oleh jumlah spesies mangrove yang ditemukan di stasiun tersebut. Stasiun III terdapat 7 spesies mangrove yaitu *Rhizophora apiculata*, *Nypa fruticans*, *Excoecaria agallocha*, *Sonneratia alba*, *Sonneratia ovata*, *Lumnitzera littorea* dan *Lumnitzera racemosa*. Stasiun III juga terdapat spesies mangrove *Excoecaria agallocha* yang memiliki kerapatan tinggi, sehingga simpanan karbon akarnya juga menjadi tinggi. Banyaknya spesies dan tingginya kerapatan yang ditemukan terutama pada spesies mangrove *Excoecaria agallocha* merupakan faktor penyebab tingginya simpanan karbon akar mangrove di Stasiun III, meskipun rata-rata diameter batang yang ditemukan tergolong kecil. Perhitungan allometrik yang digunakan juga mempengaruhi rata-rata simpanan karbon akar, karena masing-masing spesies mangrove memiliki bentuk akar yang berbeda.

Stasiun V memiliki vegetasi mangrove yang tinggi pada plot 1 tetapi pada plot 2 dan 3 memiliki vegetasi mangrove yang sangat sedikit, sehingga hal ini berpengaruh terhadap nilai simpanan karbon pada akarnya yang rendah. Menurut penelitian Adame *et al.* (2017), biomassa akar yang diestimasi menggunakan

persamaan umum (Komiyama *et al.*, 2005) cenderung lebih tinggi dibandingkan biomassa akar yang diukur di lapangan. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan struktur masing-masing sedimen yang memiliki kekhasan tersendiri. Stasiun V cenderung memiliki jenis substrat berpasir sehingga sistem perakaran mangrove lebih sulit untuk berkembang dibandingkan jenis substrat lumpur. Sejalan dengan itu menurut Syarif *et al.* (2022), kemampuan adaptasi tiap jenis mangrove terhadap kondisi lingkungan menyebabkan terjadinya perbedaan komposisi hutan mangrove dengan batas-batas yang khas.

Rata-rata simpanan karbon akar mangrove pada penelitian ini adalah sebesar 16,41 ton/ha, nilai ini lebih rendah dibandingkan hasil penelitian Heriyanto *et al.* (2020), di Desa Kawal Kabupaten Bintan yaitu sebesar 50,06 ton/ha, karena pada penelitian tersebut rata-rata simpanan karbon batangnya juga tinggi dibandingkan hasil penelitian ini. Rata-rata simpanan karbon akar mangrove pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Ibrahim & Muhsoni (2020), di Desa Lembung Paseser Kabupaten Bangkalan yaitu sebesar 16,95 ton/ha yang memiliki 9 spesies mangrove dibandingkan penelitian ini memiliki 8 spesies mangrove, hal ini dapat menyebabkan rata-rata simpanan karbon akar mangrove tidak jauh berbeda. Simpanan karbon akar mangrove lebih kecil daripada simpanan karbon batang mangrove, akan tetapi turut mempengaruhi simpanan karbon lainnya yaitu pada sedimen.

Simpanan Karbon Serasah Mangrove

Hasil rata-rata simpanan karbon serasah mangrove dari masing-masing stasiun pengamatan dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Rata-rata Simpanan Karbon Serasah Mangrove

Stasiun	Biomassa (g/m²)	Simpanan karbon (g/m²)	Simpanan karbon (ton/ha)
I	32,44	15,25	0,15
II	19,68	9,25	0,09
III	8,17	3,84	0,04
IV	8,12	3,82	0,04
V	35,47	16,67	0,17
Rata-rata			0,10

Berdasarkan Tabel 7, hasil grafik rata-rata simpanan karbon serasah mangrove dari masing-masing stasiun pengamatan menunjukkan bahwa, rata-rata simpanan karbon serasah mangrove tertinggi terdapat di Stasiun V yaitu sebesar 0,17 ton/ha, sedangkan rata-rata simpanan karbon terendah terdapat pada Stasiun III dan IV yaitu sama-sama sebesar 0,04 ton/ha. Stasiun V plot 2 dan 3 terdapat vegetasi jenis semak yang sangat tinggi, hal ini merupakan penyebab tingginya kandungan serasah mangrove di stasiun tersebut. Stasiun IV terdapat *Lumnitzera racemosa* sebagai spesies mangrove dominan, hal ini dapat berpengaruh terhadap serasah yang diproduksi di stasiun tersebut, karena mangrove jenis ini memiliki ukuran daun relatif kecil.

Stasiun V plot 2 dan 3 didominasi semak jenis *Acrostichum aureum* dan *Acrostichum speciosum* dengan kerapatan sangat tinggi, hal ini merupakan penyebab produksi serasah mangrove di daerah tersebut tinggi. Stasiun V didominasi oleh vegetasi semak karena minimnya pengaruh air laut di daerah tersebut. Vegetasi jenis semak dapat mengganggu pertumbuhan mangrove sejati karena mampu tumbuh dengan cepat dan memiliki daun dalam jumlah banyak, sehingga menutupi cahaya matahari bagi pertumbuhan propagul mangrove sejati. Keberadaan vegetasi jenis semak yang memiliki banyak daun dapat meningkatkan nilai rata-rata simpanan karbon serasah mangrove di Stasiun V. Berdasarkan penelitian Leksono *et al.* (2014), bahwa nilai kerapatan mangrove mempengaruhi produksi serasah yang dihasilkan, pada vegetasi yang memiliki kerapatan tinggi maka akan menghasilkan serasah dalam jumlah lebih banyak.

Simpanan karbon di Stasiun III dan IV diperoleh hasil terendah yaitu sebesar 0,04 ton/ha. Nilai ini dipengaruhi oleh spesies mangrove yang terdapat di stasiun tersebut, seperti di Stasiun IV terdapat spesies mangrove *Lumnitzera racemosa* yang memiliki daun berukuran kecil sehingga simpanan karbonnya juga kecil. Pasang surut air laut juga mempengaruhi simpanan karbon serasah di suatu vegetasi mangrove, dimana vegetasi tersebut sering terendam oleh sebab itu serasah yang jatuh akan terbawa oleh air laut. Nilai simpanan karbon serasah mangrove dipengaruhi oleh laju produksi serasah di suatu vegetasi. Laju produksi serasah mangrove berbeda-beda tergantung dari umur pohon dan musim saat penelitian dilakukan.

Rata-rata simpanan karbon serasah mangrove pada penelitian ini yaitu 0,10 ton/ha, lebih kecil dibandingkan hasil penelitian Windarni *et al.* (2018), di Desa Margasari Kabupaten Lampung Timur sebesar 1,25 ton/ha, hal ini dapat dipengaruhi oleh spesies dan musim saat penelitian dilakukan. Perbedaan hasil penelitian simpanan karbon serasah mangrove berbeda-beda bergantung pada spesies mangrove dan kondisi musim saat pengambilan sampel. Mangrove dapat menggugurkan daunnya lebih banyak pada musim tertentu daripada musim lain.

Simpanan Karbon Sedimen Mangrove

Hasil rata-rata simpanan karbon sedimen mangrove dari masing-masing stasiun pengamatan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Rata-rata Simpanan Karbon Sedimen Mangrove

Stasiun	Simpanan karbon (g/cm ³)	Simpanan karbon (ton/ha)
I	3,31	33,13
II	3,27	32,67
III	4,67	46,71
IV	2,85	28,48
V	2,35	23,54
Rata-rata		32,91

Berdasarkan Tabel 8, rata-rata simpanan karbon sedimen mangrove dari masing-masing stasiun pengamatan menunjukkan bahwa, rata-rata simpanan karbon sedimen tertinggi terdapat di Stasiun III yaitu sebesar 46,71 ton/ha, sedangkan rata-rata simpanan karbon sedimen terendah terdapat di Stasiun V sebesar 23,54 ton/ha. Stasiun III memiliki spesies dan jumlah pohon mangrove yang ditemukan termasuk tinggi, sehingga bahan organik seperti serasah yang jatuh akan mengendap dan terakumulasi di stasiun tersebut tinggi. Stasiun V memiliki kondisi tanah yang kering dan jauh dari bibir pantai, sehingga proses sedimentasi terjadi sangat lambat yang mengakibatkan simpanan karbon di stasiun tersebut rendah.

Simpanan karbon sedimen mangrove tertinggi pada penelitian ini yaitu di Stasiun III, diperkirakan berhubungan erat dengan simpanan karbon akar mangrove tertinggi yang juga terdapat di Stasiun III. Jumlah spesies mangrove dan kerapatan yang tinggi di stasiun ini menyebabkan sumber bahan organik sedimen menjadi tinggi dan beragam. Masing-masing spesies mangrove memiliki musim tertentu untuk menggugurkan daunnya, menghasilkan buah dan bunga yang menyebabkan penumpukan bahan organik jatuh ke sedimen dapat terjadi sepanjang tahun. Kondisi substrat di Stasiun III dominan lumpur hitam yang kaya akan bahan organik, hal ini menjadikan simpanan karbon sedimen di stasiun tersebut lebih tinggi dibandingkan stasiun lain.

Penyumbang bahan organik di sedimen mangrove sebagian besar berasal dari daun, ranting dan batang mangrove. Aktifitas antropogenik juga diketahui turut meningkatkan masukan nutrien anorganik dan karbon organik ke dalam lingkungan estuari dan perairan pesisir (Gypens *et al.*, 2009). Bahan organik akan diserap oleh sistem perakaran mangrove, saat proses fotosintesis bahan organik akan diubah menjadi biomassa bagi tumbuhan mangrove. Tinggi rendahnya kandungan karbon dalam sedimen ditentukan dari nilai kepadatan sedimen tanah dan kedalaman tanah darimasing-masing sampel. Semakin tebal kepadatan tanah maka semakin tinggi simpanan karbon di lahan tersebut (Prayitno *et al.*, 2013).

Nilai rata-rata simpanan karbon sedimen mangrove pada penelitian ini sebesar 32,91 ton/ha, nilai ini lebih kecil dibandingkan hasil penelitian Susilowati *et al.* (2020), di Desa Tabakbulusan Demak Jawa Tengah sebesar 57,74 ton/ha. Hasil penelitian Rahmah *et al.* (2014), di kawasan pesisir Kota Banda Aceh menunjukkan lebih tinggi daripada penelitian ini yaitu sebesar 55,31 ton/ha. Tipe substrat dominan berlumpur pada kedua penelitian tersebut dapat menjadi penyebab tingginya simpanan karbon sedimen mangrove masing-masing penelitian tersebut dibandingkan pada penelitian ini.

Total Simpanan Karbon

Hasil rata-rata simpanan karbon dari masing-masing *carbon pool* hutan mangrove di Pesisir Utara Pulau Cawan dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Rata-rata Simpanan Karbon dari Masing-masing *Carbon Pool*

Stasiun	<i>Carbon pool</i>				Jumlah	Pesisir Utara Pulau Cawan 3.401,66 ha
	Batang	Akar	Serasah	Sedimen		
I	96,08	16,49	0,15	33,13	145,85	
II	23,31	11,43	0,09	32,67	67,5	
III	21,83	33,49	0,04	46,71	102,07	(83,98 * 3.401,66)
IV	24,85	19,35	0,04	28,48	72,72	=
V	6,75	1,31	0,17	23,54	31,77	285.671,40 ton
Rata-rata (ton/ha)	34,56	16,41	0,10	32,91	83,98	

Berdasarkan Tabel 9, rata-rata simpanan karbon dari masing-masing *carbon pool* menunjukkan bahwa, simpanan karbon terbesar dari hutan mangrove di Pesisir Utara Pulau Cawan yaitu terletak di bagian tegakan

(batang) sebesar 34,56 ton/ha dan sedimen mangrove sebesar 32,91 ton/ha, sedangkan simpanan karbon terendah terletak di serasah mangrove sebesar 0,10 ton/ha. Simpanan karbon total perhektar hutan mangrove yang diperoleh yaitu sebesar 83,98 ton/ha. Luasan hutan mangrove di Pesisir Utara Pulau Cawan adalah 3.401,66 ha, sehingga estimasi simpanan karbon yang diperoleh sebesar 285.671,40 ton.

Simpanan karbon tegakan (batang) mangrove tergolong tinggi karena karbon tersimpan di bagian tumbuhan seperti batang, ranting, dan daun. Karbon umumnya tersimpan lebih besar di bagian batang pohon, sehingga diameter batang pohon yang besar mengindikasikan simpanan karbonnya juga besar. Simpanan karbon sedimen mangrove juga tergolong tinggi, hal ini disebabkan karena sedimen mangrove berupa endapan dari bagian tumbuhan mangrove yang telah mati dan tidak dapat terurai karena minimnya kadar oksigen pada sedimen mangrove.

Simpanan karbon terendah hutan mangrove umumnya terletak di serasah mangrove. Hal ini disebabkan karena biomassa serasah berupa daun tergolong kecil sehingga simpanan karbonnya juga kecil. Serasah mangrove juga tidak mampu menyimpan karbon dalam waktu lama, karena serasah mangrove mengalami proses dekomposisi yang lebih cepat. Proses dekomposisi serasah akan terurai menjadi unsur-unsur kecil yang akan menyatu dengan tanah dan terurai ke udara. Hal ini dipertegas oleh penelitian Windarni *et al.* (2018), bahwa karbon yang tersimpan pada serasah akan kembali ke atmosfer sehingga dapat diartikan bahwa serasah tidak dapat menyimpan karbon secara efektif.

Simpanan karbon batang tertinggi terdapat di Stasiun I, hal ini diperkirakan lebih dipengaruhi oleh rata-rata diameter batang di stasiun tersebut terutama spesies mangrove *Rhizophora apiculata*. Simpanan karbon akar tertinggi terdapat di Stasiun III, hal ini diperkirakan dipengaruhi oleh banyaknya spesies yang ditemukan serta kondisi substrat berupa lumpur halus menyebabkan mangrove yang tumbuh membutuhkan sistem perakaran lebih banyak untuk dapat mempertahankan diri. Simpanan karbon serasah tertinggi terdapat di Stasiun V, hal ini diperkirakan dipengaruhi oleh tingginya kerapatan semak jenis *Acrostichum aureum* dan *Acrostichum speciosum* yang mampu memproduksi serasah lebih banyak. Simpanan karbon sedimen tertinggi terdapat di Stasiun III, hal ini diperkirakan berhubungan dengan simpanan karbon akar yaitu dipengaruhi oleh jumlah spesies yang tumbuh di stasiun tersebut.

4. SIMPULAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa ditemukan 8 spesies mangrove, yaitu *Rhizophora apiculata*, *Nypa fruticans*, *Excoecaria agallocha*, *Xylocarpus granatum*, *Sonneratia alba*, *Sonneratia ovata*, *Lumnitzera littorea* dan *Lumnitzera racemosa*. Estimasi simpanan karbon tegakan (batang) mangrove adalah sebesar 34,56 ton/ha, simpanan karbon di bawah permukaan (akar) sebesar 16,41 ton/ha, simpanan karbon serasah mangrove sebesar 0,10 ton/ha dan simpanan karbon sedimen sebesar 32,91 ton/ha. Rata-rata simpanan karbon hutan mangrove di Pesisir Utara Pulau Cawan adalah sebesar 83,98 ton/ha dan estimasi total simpanan karbon di Pesisir Utara Pulau Cawan adalah sebesar 285.671,40 ton.

Saran

Penelitian ini dilakukan dengan mengestimasi simpanan karbon pada tegakan (batang), akar, serasah dan sedimen mangrove. Nilai simpanan karbon batang dan akar mangrove dapat berubah setiap tahunnya, sehingga perlu dilakukan secara berkelanjutan untuk mengetahui perubahan simpanan karbon batang dan akar secara temporal. Simpanan karbon serasah dipengaruhi oleh musim pada saat penelitian dilakukan, sehingga perlu dilakukannya penelitian disetiap musim untuk mendapatkan rata-rata tahunan dari simpanan karbon serasah.

DAFTAR PUSTAKA

- Adame, M.F., Cherian, S., Reef, R., Koster, S. 2017. Mangrove Root Biomass and the Uncertainty of Belowground Carbon Estimations. *Forest Ecology and Management*. 403: 52-60.
- Ambarsari, N. dan Tedjasukmana, B.S. 2011. Kajian Perkembangan Teknologi Sounding untuk Mengukur Konsentrasi CO₂ di Atmosfer. *Jurnal Berita Dirgantara*. 12(1): 28-37.
- Amira, S. 2008. Pendugaan Biomassa Jenis *Rhizophora apiculata* B1 di Hutan Mangrove Batu Ampar Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat. [Skripsi]. Fakultas Kehutanan IPB. Bogor.
- Chave, J., Coomes, D.A., Jansen, S., Lewis, S.L., Swenson, N.G., Zanne, A.E. 2009. Towards a Worldwide Wood Economics Spectrum. *Ecology Letters*. 12: 351-366.
- Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Indragiri Hilir. 2015. *Laporan Studi Pencadangan Kawasan Konservasi, Perairan Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Kabupaten Indragiri Hilir*. Tembilahan.

- Eddy, S., Ridho, M.R., Iskandar, I., Mulyana, A. 2019. Species Competition and Structure of Degraded Mangrove Vegetation in the Air Telang Protected Forest, South Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*. 20 (8): 2119-2127.
- Gypens, N., Borges, A., Lancelot, C. 2009. Effect of Eutrophication on Air-Sea CO₂ Fluxes in the Coastal Southern North Sea: A Model Study of the Past 50 Years. *Glob Change. Biol.* 15(4): 1040-1056.
- Hairiah, K., dan Rahayu, S. 2007. Petunjuk Praktis Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. *World Agroforestry Centre ICRAF Southeast Asia*. Bogor.
- Hairiah, K., Ekadinata, A., Sari, R.R., Rahayu, S. 2011. Pengukuran Cadangan Karbon: dari Tingkat Lahan ke Bentang Lahan. *World Agroforestry Centre ICRAF Southeast Asia*. University of Brawijaya (UB). Malang. Indonesia.
- Heriyanto, T., Amin, B., Rahiman, I., Ariani, F. 2020. Analisis Biomassa dan Cadangan Karbon pada Ekosistem Mangrove di Kawasan Pantai Berpasir Desa Kawal Kabupaten Bintan, *Jurnal Maritim*. 2(1): 31-41.
- Hidayah, W., Hamidy, R., Warningsih, T. 2020. Nilai Ekonomi Serapan CO₂ Ekosistem Mangrove di Desa Kelapa Pati Kabupaten Bengkalis. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. 14(1): 87-95.
- Hossain, M., Siddique, M.R.H., Saha, S., Abdullah, S.M.R. 2015. Allometric Models for Biomass, Nutrients and Carbon Stock in *Excoecaria agallocha* of the Sundarbans, Bangladesh. *Wetlands Ecol Manage.*
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., Pidgeon, F. 2014. Coastal Blue Carbon: Methods for Assessing Carbon Stocks and Emission Factors in Mangroves, Tidal Salt Marshes, and Seagrass Meadows. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Virginia. USA.
- Ibrahim, A., dan Muhsoni, F.F. 2020. Estimasi Stok Karbon pada Ekosistem Hutan Mangrove di Desa Lembung Paseser, Kecamatan Sepuluh, Kabupaten Bangkalan. *Juvenil*. 1(4): 498-507.
- Kauffman, J.B. dan Donato, D.C. 2012. Protocols for the Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass and Carbon stocks in Mangrove Forest. *CIFOR*. Bogor. Indonesia. 40 pp.
- Kangkuso, A., Jamili, J., Septiana, A., Raya, R., Sahidin, I., Rianse, U., Rahim, S., Alfirman, A., Sharma, S., Nadaoka, K. 2015. Allometric Models and Aboveground Biomass of *Lumnitzera racemosa* Willd. Forest in Rawa Aopa Watumohai National Park, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Forest Science and Technology*. 12(1): 43-50.
- Komiyama, A., Pongpam, S., Karto, S. 2005. Common allometric Equations for Estimating the Tree of Mangroves. *Journal of Tropical Ecology*. 21(4): 471-477.
- Kusmana, C., Hidayat, T., Tiryana, T., Rusdiana, O., Istomo. 2018. Allometric Models for Above and Below Ground Biomass of *sonneratia* spp. *Global Ecology & Conservation*.
- Leksono, S.S.B., Nirwani, Pramesti, R. 2014. Produktivitas dan Dekomposisi Serasah Daun Mangrove di Kawasan vegetasi Mangrove Pasar Banggi, Rembang – Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*. 3(4): 549-553.
- Mandari, D.Z., Gunawan, H., Isda, M.N. 2016. Penaksiran Biomassa dan Karbon Tersimpan pada Ekosistem Hutan Mangrove di Kawasan Bandar Bakau Dumai. *Jurnal Riau Biologia* 1(3): 17-23.
- Murray, B.C., Peddleton, L., Jenkins, W.A., Sifleet, S. 2011. Green Payment for Blue Carbon Economic Incentive for Protecting Threatened Coastal Habitats. Report NI R 11-04. Durham, NC: Nicholas Institute for Environmental Policy Solution. Duke University.
- Pongpam, S., Komiyama, A., Jintana V., Piriyaota, S., Sangtitan, T., Tanapermpool, P., Patanaponpaiboon, P., Kato, S. 2002. A Quantitative Analysis on the Root system of a Mangrove, *Xylocarpus granatum* Koenig. *Tropics*. 12: 35-42.
- Prayitno, M.B., Sabaruddin, Setyawan, D., Yakup. 2013. Pendugaan Cadangan Karbon Gambut pada Agroekosistem Kelapa Sawit. *Jurnal Agrista*.
- Rahmah, F., Basri, H., Sufardi. 2014. Potensi Karbon Tersimpan pada Lahan Mangrove dan Tambak di Kawasan Pesisir Kota Banda Aceh. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Lahan*. 4(1): 527-534.
- Rahman, Effendi, H., Rusmana, I., Ali, M. 2020. Metode Pengukuran dan Model Pendugaan Biomassa *Nypa fruticans* di Sungai Tallo, Makassar-Indonesia. *Jurnal Grouper*. 11(1): 25-30.

- Rahmawati, S. 2011. Estimasi Cadangan Karbon pada Komunitas Lamun di Pulau Pari, Taman Nasional Kepulauan Seribu, Jakarta. *Jurnal Segara*. 7(1): 1-12.
- Senoaji, G., dan Hidayat, M.F. 2016. Peranan Ekosistem Mangrove di Pesisir Kota Bengkulu dalam Mitigasi Pemanasan Global Melalui Penyimpanan Karbon. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 23(3): 327-333.
- Setyawan, A.D., Indrowuryatno, Winarnom K., Susilowati, A. 2005. Tumbuhan Mangrove di Pesisir Jawa Tengah: 1. Keanekaragaman Jenis, Biodiversitas. *Journal of Biological Diversity*. 6(2): 90-94.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2011. Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon – Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (*Ground Based Forest Carbon Accounting*). *Badan Standarisasi Nasional*. Jakarta.
- Susilowati, M.W., Purnomo, P.W., Solichin, A. 2020. Estimasi serapan CO₂ Berdasarkan Simpanan Karbon pada Hutan Mangrove Desa Tambakbulusan Demak Jawa Tengah. *Jurnal Pasir Laut*. 4(2): 86-94.
- Syafruddin, Y.S., Mahdi, Yuerlita. 2018. Pendugaan Cadangan Karbon Biru pada Tingkat Pohon di Desa Pulau Cawan dan Desa Bekawan Kecamatan Mandah Provinsi Riau. *Jurnal Spasial*. 2(5): 54-62.
- Syarif, W., Nasution, S., Mubarak. 2022. Structure of the Mangrove Community in Batang Masang Beach Tiku V Jorong Tanjung Mutiara District Agam Regency West Sumatera. *Journal of Coastal and Ocean Science*. 3(2): 85-93.
- Warningsih, T., Kusai, Zulkarnain, Bathara, L., Mulyani, I., Deviasari. 2020. Valuasi Ekonomi Ekosistem Mangrove di Kawasan Pesisir Kabupaten Rokan Hilir, provinsi Riau. *Journal of Economic and Social of Fisheries and Marine*. 7(2): 239-248.
- Windarni, C., Setiawan, A., Rusita. 2018. Estimasi Karbon Tersimpan pada Hutan Mangrove di Desa Margasari Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*. 6(1): 66-74.