

**ESTIMASI PENYIMPANAN KARBON MANGROVE DI KAWASAN  
MANGROVE, KECAMATAN LABUHAN MARINGGAI, KABUPATEN  
LAMPUNG TIMUR, PROVINSI LAMPUNG  
(Skripsi)**

**Oleh**

**EBED MANUEL MARPAUNG  
1914221039**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### ESTIMASI PENYIMPANAN KARBON MANGROVE DI KAWASAN MANGROVE, KECAMATAN LABUHAN MARINGGAI, KABUPATEN LAMPUNG TIMUR, PROVINSI LAMPUNG

Oleh  
Ebed Manuel Marpaung

Simpanan karbon mangrove pada biomassa, serasah, nekromassa, dan sedimen di Desa Margasari, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi simpanan karbon di atas permukaan tanah maupun di bawah permukaan tanah, selain itu juga untuk memetakan cadangan karbon di seluruh hutan mangrove dengan metode penginderaan jauh. Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli 2023, pengambilan sampel dilakukan pada 15 stasiun berdasarkan kerapatan mangrove. Kerapatan mangrove dihubungkan dengan biomassa menggunakan metode allometrik, kemudian dikonversi menjadi karbon. Simpanan karbon pada sedimen dianalisis dengan menggunakan metode Walkey dan Black. Simpanan karbon pada seluruh area ditentukan dari koefisien korelasi antara biomassa dan NDVI. Hasil penelitian ini menunjukkan kerapatan mangrove tertinggi pada stasiun 5 untuk kategori pohon, pancang diperoleh dari stasiun 9, dan semai dari stasiun 12. Jenis mangrove didominasi oleh *avicennia marina* untuk kategori pohon dan *rhizophora apiculata* untuk kategori pancang. Penyimpanan karbon menunjukkan bahwa simpanan karbon tertinggi diperoleh dari tegakan mangrove. Penyimpanan karbon menunjukkan hubungan terbalik dengan nilai biomassa, karena karbon dihitung dari nilai NDVI. NDVI mencerminkan tingkat kehijauan, sehingga mangrove di Margasari memiliki nilai NDVI yang tinggi namun memiliki karbon yang rendah yang disebabkan oleh dominasi semai yang lebih banyak berwarna hijau namun memiliki biomassa yang kecil.

Kata kunci: mangrove, karbon, biomassa.

## ABSTRACT

### THE MANGROVE CARBON STORAGE ESTIMATION AT MANGROVE REGION, LABUHAN MARINGGAI DISTRICT, EAST LAMPUNG REGENCY, LAMPUNG PROVINCE

Oleh  
Ebed Manuel Marpaung

Mangrove stock carbon in biomass, litter, necromass, and sediment. Mangrove in Margasari Village, Labuhan Maringgai District East Lampung Region are also stock carbon. This study aimed to estimate carbon storage both an aboveground and belowground carbon storage, it was also to map carbon storage through out the mangrove forest by remote sensing method. This research was conducted in July 2023, sampling was carried out at 15 stations. Station determined base on mangrove density. Mangrove density was obtained from NDVI value, which as resulted from satellite imagery analys. Mangrove density connected to biomass using allometric method, and then converted to carbon. Carbon storage in sediment analyzed using Walkey and Black method carbon storage in whole area determined by correlation coefficient between biomass and NDVI. The result of this research showed the highest mangrove density obtained from station 5 for trees category, for sapling obtained from station 9, and for seedling category obtained from station 12. The kind of mangrove dominated by *Avicennia marina* for trees category and *Rhizophora apiculata* for sapling category. The carbon storage shown that the highest obtained from mangrove stand followed by necromass, litter, and sediment. The storage of carbon showed an inverse relationship with biomass value, because the carbon calculated from NDVI value. NDVI reflected the level of greenness, so that mangrove in Margasari had a high NDVI, but low carbon caused by the domination of seedling that more green but have small biomass

Key word: mangrove, carbon, biomass.

**ESTIMASI PENYIMPANAN KARBON MANGROVE DI KAWASAN  
MANGROVE, KECAMATAN LABUHAN MARINGGAI, KABUPATEN  
LAMPUNG TIMUR, PROVINSI LAMPUNG**

**Oleh**

**EBED MANUEL MARPAUNG**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA SAINS**

**Pada**

**Program Studi Ilmu Kelautan  
Jurusan Perikanan dan Kelautan  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul : **ESTIMASI PENYIMPANAN KARBON  
MANGROVE DI KAWASAN  
MANGROVE, KECAMATAN LABUHAN  
MARINGGAI, KABUPATEN LAMPUNG  
TIMUR, PROVINSI LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : **Ebed Manuel Marpaung**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1914221039**

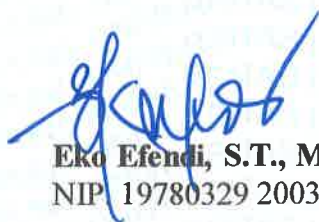
Program Studi : **Ilmu Kelautan**

Jurusan : **Perikanan dan Kelautan**

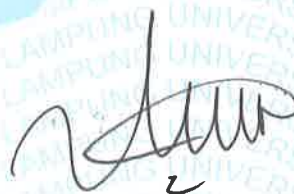
Fakultas : **Pertanian**

**Menyetujui,**

**1. Komisi Pembimbing**

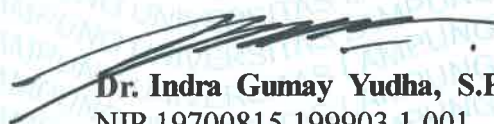


**Eko Efendi, S.T., M.Si.**  
NIP. 19780329 200312 1 001



**Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.**  
NIP. 19900120 201903 1 011

**2. Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan**



**Dr. Indra Gumay Yudha, S.PI., M.Si.**  
NIP 19700815 199903 1 001



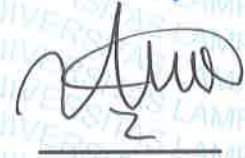
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

Ketua : **Eko Efendi, S.T., M.Si.**



Sekretaris : **Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si.**



Anggota : **Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



**Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P.**

NIP. 1964111181989021002

Tanggal lulus ujian skripsi: **16 Juli 2024**

## **PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ebed Manuel Marpaung

NPM : 1914221039

Judul Skripsi : Estimasi Penyimpanan Karbon Mangrove di Kawasan Mangrove,  
Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur,  
Provinsi Lampung

Menyatakan bahwa skripsi yang telah saya tulis ini merupakan murni karya saya sendiri berdasarkan pengetahuan, pengalaman, dan data yang saya peroleh dari hasil penelitian yang saya lakukan. Selain itu, semua yang tertulis di dalam skripsi sudah sesuai dengan panduan penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Demikian pernyataan ini saya buat, apabila di kemudian hari terbukti terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, Oktober 2024



**Ebed Manuel Marpaung**

## RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Ebed Manuel Marpaung, lahir di Deli Serdang, Sumatra Utara pada tanggal 12 April 2001, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara, buah kasih dari pasangan suami istri Bapak Karel Marpaung dan Ibu Sitihara Silitonga. Penulis pertama kali menempuh pendidikan pada umur 6 tahun di Sekolah Dasar Kristen (SDK) SoliDEO pada tahun 2007 dan lulus pada tahun 2013, lalu melanjutkan ke pendidikan menengah pertama di SMP Kristen SoliDEO dan lulus pada tahun 2016, kemudian melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 12 Tangerang Selatan dengan mengambil jurusan IPA dan lulus pada tahun 2019. Tahun 2019 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi pada tahun 2019 di Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Universitas Lampung. Penulis pernah aktif pada organisasi Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (Himapik) sebagai anggota pada periode 2020-2021. Penulis pernah mengikuti kuliah kerja nyata (KKN) di Desa Pasir Kupa, Kecamatan Kalanganyar, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten selama 40 hari kerja pada bulan Januari-Februari 2022.

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten dosen pada mata kuliah Renang, Ikhtologi, dan Adaptasi dan Mitigasi Ekosistem. Penulis juga aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (Himapik), Universitas Lampung sebagai Wakil Ketua Umum pada tahun 2022. Penulis juga mengikuti kegiatan Praktikum Umum (PU) di Desa Sungai Nibung, Kabupaten Tulang Bawang, Provinsi Lampung pada bulan Juni-Agustus tahun 2022.



## **PERSEMBAHAN**

Puji Tuhan, segala syukur bagi Tuhan Yesus Kristus dengan kemurahan dan kasih setia-Nya, sehingga skripsi ini dapat ditulis dengan baik dan lancar hingga selesai.

Dengan ini, kupersembahkan skripsi ini kepada:

Kedua orang tuaku tersayang, Bapak Karel Marpaung dan Ibu Sitihara Silitonga, yang selalu setia mendoakanku, memberiku kasih sayang, memberi motivasi, memberiku kenyamanan, serta tanpa lelah mendukung semua keputusan dan pilihan dalam hidupku tanpa menuntut banyak hal.

Kedua saudaraku, Rut Eunike Marpaung, dan Maria Silent Marpaung yang selalu memberiku semangat, doa, serta dukungannya tanpa pernah memberikan tekanan kepadaku.

Bapak dan ibu dosen yang telah memberikan ilmu dengan tulus dan ikhlas serta teman-teman Program Studi Ilmu Kelautan 2019.

Serta almamaterku tercinta, Universitas Lampung

## MOTO

“Belajarlah dari apa yang kau lihat, dengar dan rasakan.”

(Muhammad Fajar Kelana)

“Sepertinya prioritas kita bukanlah bahagia, melainkan bertahan hidup. buktinya ada banyak hal yang bikin sakit tetapi kita memilih untuk bertahan.”

(Fiersa Besari)

Keberhasilan bukanlah milik orang yang pintar. Keberhasilan adalah kepunyaan mereka yang senantiasa berusaha.

(BJ. Habibie)

Jika kamu bekerja keras, kamu akan mendapatkan apa yang kamu inginkan.

Jangan mudah menyerah.

(Indah Teresia Br Tarigan)

Bergerak seirama, takhlukan dunia

(Daiva Sagara)

## SANWACANA

Puji syukur selalu terpanjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, atas berkat, kesehatan, kemudahan, kekuatan dan kasih-Nya sehingga penulis mampu menyusun dan menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul ” Estimasi Penyimpanan Karbon Mangrove di Kawasan Mangrove, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa di Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung agar lulus menjadi sarjana.

Penyusunan skripsi ini dapat terlaksana dengan baik tidak terlepas dari bantuan, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P., selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
2. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si., selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
5. Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T., selaku Ketua Program Studi Ilmu Kelautan dan sebagai dosen pembahas yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, petunjuk serta arahan kepada penulis.
3. Eko Efendi, S.T., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Ketua yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, petunjuk, serta arahan kepada penulis.
4. Anma Hari Kusuma, S.I.K., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Sekretaris yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, petunjuk, serta arahan kepada penulis.
6. Keluarga besar yang telah mendoakan dan memberi semangat serta dukungan secara penuh.
7. Teman-teman Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung angkatan 2019 yang telah

memberikan semangat serta dukungan dan doa untuk menyelesaikan skripsi.  
9. Rekan-rekan presidium dan pengurus Himapik tahun 2022.

Bandar Lampung, Oktober 2024

Ebed Manuel Marpaung

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	v
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	3
1.4 Kerangka Pemikiran .....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Ekosistem Mangrove .....	5
2.2 Pemanasan Global .....	6
2.3 Penyerapan dan Siklus Karbon.....	6
2.4 Karbon Mangrove dan Biomassa.....	8
<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	9
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	9
3.2 Alat dan Bahan .....	10
3.3 Prosedur Penelitian.....	11
3.3.1 Pengambilan Data Lapangan.....	11
3.3.1.1 Kerapatan Mangrove .....	12
3.3.1.2 Pengukuran Simpanan Karbon pada Tegakan Mangrove .....	14
3.3.1.3 Pengukuran Karbon Tersimpan pada Tegakan Nekromassa .....	16
3.3.1.4 Pengukuran Karbon Tersimpan pada Tegakan Serasah.....	17
3.3.1.5 Hasil Konversi Karbon Tersimpan .....	18
3.3.1.6 Pengukuran Fraksi Sedimen .....	18
3.3.1.7 Pengukuran C-organik dengan metode Walkley dan Black .....	19
3.3.2 Analisis Citra .....	20
3.3.3 Analisis Data .....	21

<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	23
4.1 Kerapatan Mangrove .....	23
4.2 Simpanan Karbon Atas Permukaan.....	27
4.2.1 Simpanan Karbon pada Tegakan .....	27
4.2.2 Simpanan Karbon Nekromassa .....	29
4.2.3 Simpanan Karbon Serasah .....	31
4.3 Simpanan Karbon Sedimen.....	32
4.4 Estimasi Karbon Total.....	35
4.5 Peta Sebaran Karbon .....	37
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN</b> .....	39
5.1 Simpulan.....	39
5.2 Saran.....	39
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	40
<b>LAMPIRAN</b> .....	47



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Alat yang digunakan dalam penelitian.....	10
2. Bahan yang digunakan dalam penelitian.. ..	10
3. Hasil perhitungan simpanan karbon tegakan mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai. ....	28
4 Hasil pengukuran simpanan karbon pada nekromassa mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai. ....	30
5 Hasil perhitungan simpanan karbon pada serasah mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai. ....	31
6. Karbon organik yang tersimpan pada substrat sekitar mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai. ....	32
7. Tipe substrat pada stasiun penelitian di Kecamatan Labuhan Maringgai. ....	35

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikiran. ....	4
2. Siklus karbon. ....	7
3. Peta lokasi penelitian. ....	9
4. Bentuk plot transek. ....	12
5. Ilustrasi tegakan pohon di dalam dan diluar plot. ....	14
6. Pengukuran DBH pada berbagai kondisi pohon mangrove. ....	15
7. Kerapatan jenis mangrove kategori berdasarkan tingkat pertumbuhan di Kecamatan Labuhan Maringgai. ....	24
8. Penutupan jenis mangrove berdasarkan kategori pertumbuhan di Kecamatan Labuhan Maringgai. ....	26
9. Diagram fraksi sedimen pada berbagai kedalaman sekitar mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai. ....	34
10. Hasil perhitungan total karbon pada setiap stasiun pada setiap stasiun sekitar mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai. ....	36
11. Hasil analisis regresi antara nilai biomassa aktual dengan nilai NDVI. ....	37
12. Peta indeks kerapatan, sebaran biomassa, dan sebaran karbon vegetasi mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai. ....	38

**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran	Halaman
1. Hasil analisis C-organik tanah.....	48

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan yang memiliki banyak sumber daya alam yang bisa dimanfaatkan, salah satunya adalah hutan mangrove. Mangrove merupakan komunitas tumbuhan yang hidup dipengaruhi oleh pasang surut air laut dan terletak di antara lautan dan daratan (Bengen, 2001). Tumbuhan ini juga biasanya ditemukan pada daerah yang substratnya berlumpur dan dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Luasan mangrove dunia saat ini sekitar 16,53 juta hektar (FAO, 2007) dimana 22,6% dari total luasan tersebut berada di Indonesia dengan luas 3,11 juta ha (Giri *et al.*, 2011). Menurut Zainuddin dan Gunawan (2014), luas hutan mangrove di Indonesia mencapai 25% dari total luas hutan mangrove di dunia. Luasan mangrove di Indonesia sebesar 3.364.076 ha berdasarkan Peta Mangrove Nasional yang dirilis oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2021.

Mangrove yang berada di Provinsi Lampung termasuk kategori mangrove lebat (KKP, 2021). Menurut Walhi (2014) Provinsi Lampung memiliki potensi lahan hutan mangrove seluas 93.938,84 ha, sedangkan luas fisik hutan mangrove seluas 3.108 ha. Hasil penelitian Putra (2015), pada tahun 2014 luas hutan mangrove di Desa Margasari sudah mencapai 817,59 ha. Adapun jenis mangrove yang mendominasi adalah api-api (Kustanti *et al.*, 2014).

Peranan hutan sebagai penyerap dan penyimpan karbon sangat penting dalam rangka mengatasi masalah efek gas rumah kaca yang mengakibatkan pemanasan global (Yuniawati *et al.*, 2011). Penyerapan karbon dilakukan melalui proses fotosintesis yang menyerap CO<sub>2</sub> lalu diubah dalam bentuk karbon organik, yang tersimpan berupa biomassa di dalam seluruh. Ekosistem mangrove mampu menyerap karbon di udara sebanyak 67,7 MtCO<sub>2</sub> per tahun (Sadelie *et al.*, 2012). Hutan

mangrove memiliki potensi untuk menyimpan karbon dan mengurangi pemanasan global yang diakibatkan oleh gas rumah kaca (Hairiah & Rahayu, 2007). Mangrove memiliki kemampuan penyimpanan karbon yang lebih besar dibandingkan dengan vegetasi darat lainnya, yaitu sebesar  $5,1 \text{ kg C/m}^2$  (Sugirahayu & Rusdiana, 2011). Menurut Lestariningsih *et al* (2018), hutan mangrove dapat menyimpan karbon lebih besar daripada kawasan hutan lainnya. Mangrove *Avecennia marina* dapat menyimpan karbon berkisar antara  $18,2-19,7 \text{ kg C/m}^2$  (Dharmawan & Siregar, 2008; Windarni *et al.*, 2018), *Rhizophora mucronata* sebesar  $3,86 \text{ kg C/m}^2$  (Dharmawan, 2010) dan *Rhizophora stylosa* sebesar  $23,25 \text{ kg C/m}^2$  (Imiliyana *et al.*, 2012).

Penelitian mengenai estimasi karbon tersimpan dalam vegetasi mangrove penting dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kawasan hutan mangrove tersebut mampu menyerap  $\text{CO}_2$  dari udara, sehingga hal tersebut dapat menunjang kegiatan pengelolaan kawasan secara berkelanjutan dalam kaitannya dengan pengurangan konsentrasi  $\text{CO}_2$  di atmosfer (Cahyaningrum, 2014). Kawasan mangrove, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur ini memiliki potensi besar sebagai penyimpan karbon. Maka dari itu perlu dilakukannya pembaruan data estimasi karbon di kawasan mangrove, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian adalah:

1. Menganalisis kerapatan mangrove di kawasan mangrove, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur.
2. Menganalisis tipe substrat pada kawasan mangrove, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur.
3. Menganalisis karbon tersimpan pada tegakan, serasah, nekromassa dan substrat di kawasan mangrove, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur.
4. Menganalisis sebaran karbon tersimpan di kawasan mangrove, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur.

### 1.3 Manfaat Penelitian

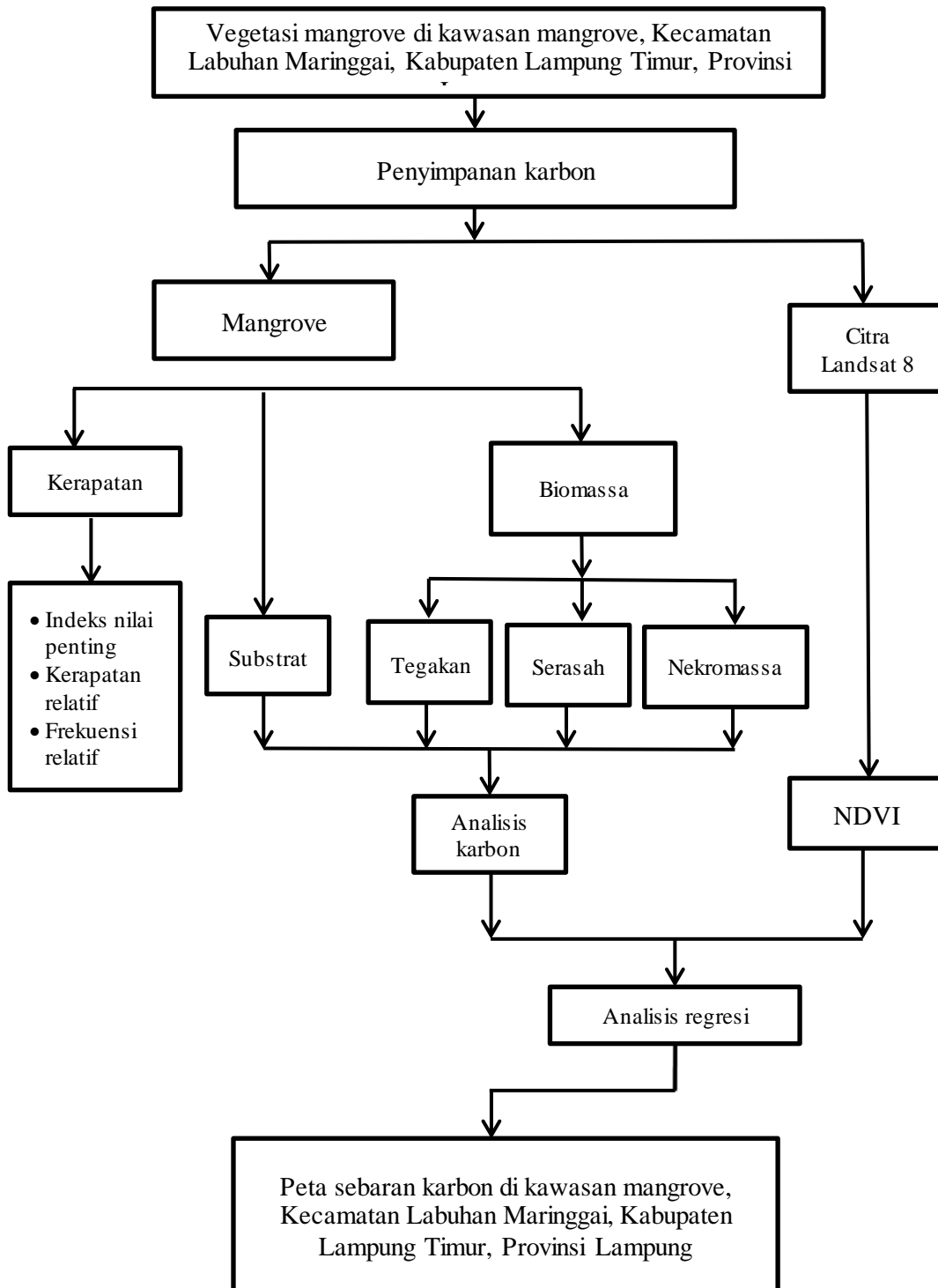
Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai kemampuan menyimpan karbon pada hutan mangrove di kawasan mangrove, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur.

### 1.4 Kerangka Pemikiran

Hutan mangrove di kawasan mangrove, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur didominasi mangrove jenis *Rhizophora* sp. dan *Avicennia* sp. Ekosistem mangrove berperan penting dalam upaya mitigasi pemanasan global dengan mengurangi konsentrasi CO<sub>2</sub> (Sondak, 2015). Nilai karbon yang tersimpan pada vegetasi mangrove merupakan potensi dari mangrove dalam menyimpan karbon (stok karbon) dalam bentuk biomassa (Rachmawati *et al.*, 2014). Melalui pengukuran karbon tersimpan pada biomassa mangrove baik yang di atas permukaan maupun di bawah permukaan mangrove, kita dapat mengetahui jumlah karbon yang diserap mangrove dalam upaya mengurangi emisi karbon pada atmosfer.

Biomassa nekromassa, tegakan, dan serasah mangrove menjadi tolak ukur perhitungan stok karbon di dalam biomassa atas permukaan, sedangkan pada biomassa bawah permukaan tolak ukurnya adalah substrat mangrove. Pengukuran biomassa karbon tersimpan pada nekromassa, tegakan, dan serasah mangrove dilakukan dengan menghitung berat jenis serta berat keringnya yang kemudian dikonversi. Pada perhitungan kandungan karbon yang berada pada bawah permukaan mangrove perlu dilakukan analisis kandungan C-organik tanah. Untuk memperoleh data yang mampu mewakili daerah pengambilan data maka perlu dilakukan pengambilan data menggunakan penginderaan jauh dengan memanfaatkan data citra Landsat 8. Kemudian hasil data penginderaan jauh tersebut diintegrasikan dengan data lapangan sehingga diperoleh hasil peta karbon dari daerah pengambilan data tersebut. Berdasarkan uraian tersebut, maka bagan kerangka pemikirannya disajikan pada Gambar 1.





Gambar 1. Kerangka pikiran.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Ekosistem Mangrove

Mangrove merupakan tipe tumbuhan yang tumbuh di daerah pesisir pantai tropis maupun subtropis. Mangrove umumnya tumbuh subur pada daerah pantai yang landai dan berdekatan dengan muara sungai serta pantai yang terlindungi oleh hempasan gelombang. Mangrove juga dapat beradaptasi di lingkungan yang memiliki fluktuasi suhu tidak lebih dari 10° C. Kesuburan mangrove juga bergantung pada tingkat salinitas dan jenis substrat yang cocok (Lakitan, 1993).

Menurut Bengen (2001), hutan mangrove terdiri dari beberapa zonasi. Pembagian zonasi didasarkan pada kemampuan mangrove merespon salinitas air, pasang surut air, dan kondisi tanahnya. Daerah yang langsung berhadapan dengan laut yang memiliki kontur tanah agak berpasir (zona pembuka), ditumbuhi jenis *Avicennia* sp. dan *Sonneratia* sp. Daerah yang berada di pertemuan air tawar dengan air laut didominasi oleh *Rhizophora* sp., *Bruguiera* sp., dan *Xylocarpus* sp. Zona transisi antara hutan mangrove dan hutan dataran rendah didominasi oleh *Nypa fruticans* (Akbar *et al.*, 2019).

Hutan mangrove memiliki berbagai macam fungsi, antara lain fungsi ekologis sebagai pelindung kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil, mengurangi terjadinya abrasi pantai dan intrusi air laut, mempertahankan keberadaan spesies hewan laut dan vegetasi, dan penyangga sedimentasi (Yuliarsana & Danisworo, 2000). Menurut Diki *et al.* (2019) mangrove juga berperan penting dalam mitigasi bencana dan variasi lingkungan sesuai dengan wilayah geologis Indonesia yang berada di wilayah rawan bencana. Adanya ekosistem mangrove menjadi penawaran untuk sebuah solusi dalam mencegah maupun mengurangi dampak adanya bencana di Indonesia, khususnya banjir.

Hutan mangrove juga mampu mengurangi gas CO<sub>2</sub> di atmosfer dengan proses fotosintesis dan jika dibandingkan dengan kebanyakan hutan tropis, hutan mangrove menyerap CO<sub>2</sub> lebih banyak (Dahuri, 2003). Hutan mangrove memiliki potensi yang besar sebagai penyimpan karbon serta mengurangi pemanasan global yang disebabkan oleh gas rumah kaca (Hairiah & Rahayu, 2007). Berdasarkan potensi tersebut dilakukan pembangunan hutan yang mampu menyerap karbon melalui proses fotosintesis sebagai upaya mengatasi pemanasan global.

Mangrove memiliki kemampuan untuk hidup di substrat berlumpur serta keadaan anaerob yang disebabkan perairan pasang dikarenakan mangrove mempunyai akar-akar khusus yang memiliki fungsi sebagai penyangga dan penyerap oksigen dari udara di atas permukaan air secara langsung (Aksornkoe, 1993). Adapun lima tipe perakaran dari mangrove, yaitu akar tongkat, akar lutut, akar cakar ayam, akar papan, dan akar gantung.

## **2.2 Pemanasan Global**

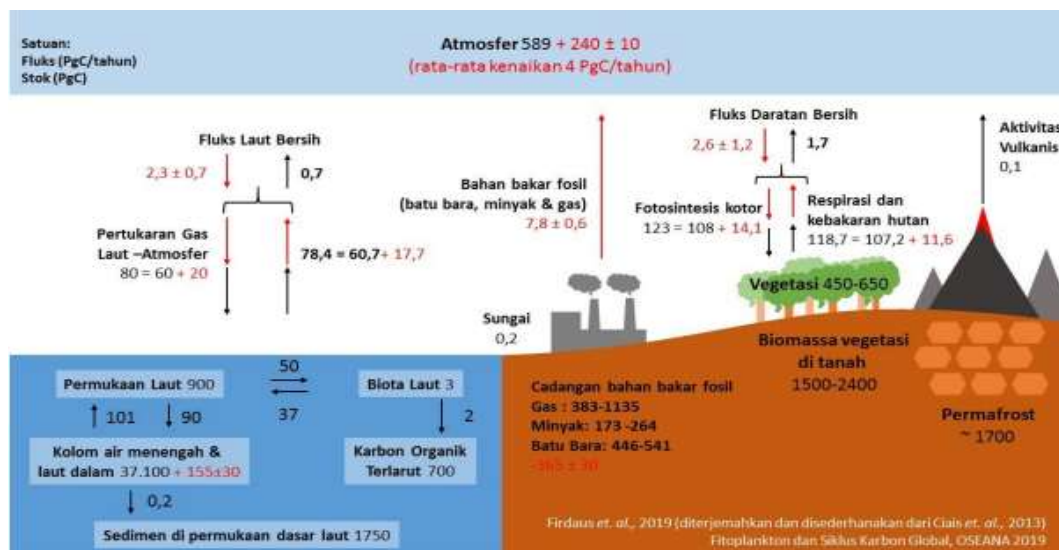
Pemanasan global merupakan fenomena dimana suhu rata-rata atmosfer, laut, dan daratan bumi mengalami peningkatan. Kebanyakan aktivitas manusia menyebabkan terjadinya peningkatan gas-gas efek rumah kaca sehingga menyebabkan terjadinya pemanasan global yang kini menjadi isu di dunia saat ini. Efek rumah kaca ini juga dapat terjadi disebabkan oleh jumlah CO<sub>2</sub> di atmosfer.

Jumlah CO<sub>2</sub> ini mengalami peningkatan disebabkan berkurangnya hutan sebagai penyerap karbon dioksida (Manuri *et al.*, 2011). Efek rumah kaca merupakan istilah yang digunakan tertuju pada panas yang terperangkap di alam atmosfer bumi dan tidak bisa menyebar (Vivi, 2008). Pemanasan global menyebabkan perubahan iklim mengakibatkan gunung-gunung es di daerah kutub mencair sehingga terjadi kenaikan permukaan air laut (Suarsana & Wahyuni, 2011). Hal ini menjadi ancaman serius bagi ekosistem pesisir, salah satunya ekosistem mangrove.

## **2.3 Penyerapan dan Siklus Karbon**

Karbon di alam mengalami suatu siklus materi yang kita kenal dengan istilah siklus karbon. Dalam siklus tersebut, karbon dapat mengalami perpindahan atau

pertukaran (*exchange*) antara reservoir biotik (biosfer) dan abiotik (laut, atmosfer dan kerak bumi). Reservoir merupakan tempat karbon terakumulasi membentuk stok karbon (*carbon stock*) dan tinggal selama kurun waktu tertentu. Terdapat empat reservoir utama karbon di bumi yaitu atmosfer, hidrosfer (laut), biosfer, dan litosfer (Falkowski *et al.*, 2000). Pertukaran karbon antar reservoir melibatkan beberapa proses di dalamnya, seperti proses kimia, fisika, geologi, dan biologi. Proses biologi melibatkan agen biologi yaitu makhluk hidup. Namun demikian, reservoir atmosfer dan hidrosfer merupakan reservoir utama dalam sistem siklus karbon yang melibatkan fitoplankton. Proses pertukaran karbon antar reservoir dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Siklus karbon.

Sumber: Ciais *et al.* (2013).

Aliran pertukaran karbon (*exchange flux*) antar reservoir dapat memakan waktu bulanan bahkan hingga jutaan tahun (Ciais *et al.*, 2013; Rackley, 2017). Siklus karbon merupakan siklus biogeokimia yang mencakup pertukaran karbon di antara biosfer, pedosfer, geosfer, hidrosfer, dan atmosfer bumi (Sutaryo, 2009). Biomassa hutan memiliki peran penting dalam siklus biogeokimia terutama pada siklus karbon. Melalui siklus karbon, karbon dapat mengalami perpindahan atau pertukaran (*exchange*) antara reservoir biotik (biosfer) dan abiotik (laut, atmosfer, dan kerak bumi). Aliran pertukaran karbon (*exchange flux*) antar reservoir dapat memakan waktu bulanan bahkan hingga jutaan tahun (Ciais *et al.*, 2013; Rackley, 2017).

## 2.4 Karbon Mangrove dan Biomassa

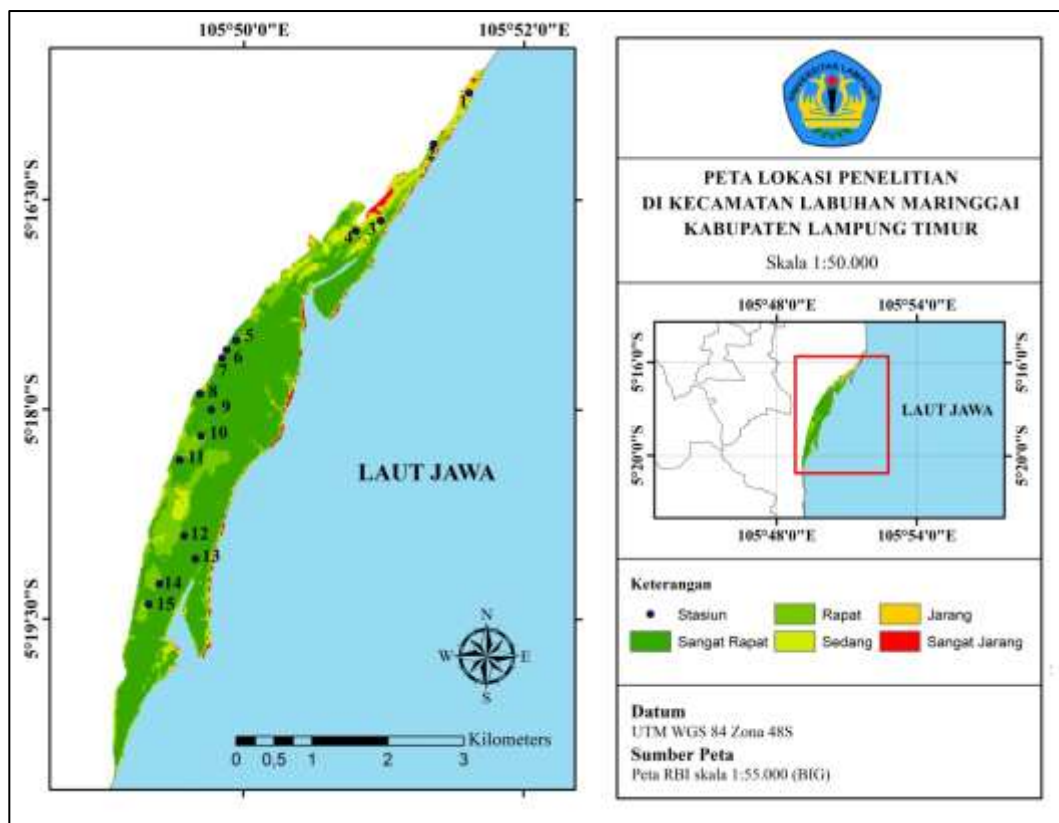
Mangrove memiliki kemampuan menyerap gas karbondioksida melalui fotosintesis dan selanjutnya disimpan dalam biomassa yang dikenal juga sebagai *sink carbon*. Kandungan karbon pada tanaman menggambarkan seberapa besar tanaman tersebut dapat mengikat CO<sub>2</sub> dari udara. Mangrove dapat menyimpan karbon dalam bentuk biomassa, baik pada bagian atas (*carbon above ground*) dan bagian bawah (*carbon below ground*). Selain itu, guguran material organik seperti serasah dan batang mangrove yang mati juga menyumbang karbon organik dalam tanah. Potensi cadangan karbon mangrove adalah salah satu yang tertinggi dibandingkan karbon beberapa ekosistem bervegetasi lainnya.

Mangrove memiliki fungsi optimal penyerapan karbon mencapai 77,9%, dimana karbon disimpan dalam biomassa mangrove, yaitu pada beberapa bagian seperti pada batang, daun dan, akar. Menurut Feleciano *et al.*, (2018), pada setiap pohon mangrove pada tingkat pancang terkandung 3,9-31,3 kg per pohon dan pada tingkat pohon sebesar 1,7 ton. Pada setiap lahan mengandung jumlah karbon yang berbeda-beda bergantung pada keragaman dan kepadatan tumbuhan yang ada, jenis tanah, serta cara pengelolaannya (Gurung *et al.*, 2015). Biomassa merupakan total jumlah materi hidup di atas permukaan suatu pohon dan dinyatakan dengan suatu ton berat kering per satuan luas (Brown, 1997). Biomassa pohon memiliki hubungan yang erat dengan penyerapan karbondioksida. Batang pohon merupakan bagian pohon yang memiliki simpanan karbon terbesar. Faktor yang menjadi penentu besarnya biomassa pohon tersebut, yaitu diameter, tinggi, dan berat jenis pohon per kayu (Bismark *et al.*, 2008).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli hingga Agustus 2023. Lokasi pengambilan sampel di kawasan mangrove, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur. Analisis sampel dilakukan di Laboratorium Oseanografi Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung dan Laboratorium Analisis Politeknik Negeri Lampung.



Gambar 3. Peta lokasi penelitian.

Pengambilan data untuk penelitian ini dilakukan pada 15 stasiun yang mewakili 5 kelas penutup lahan yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu mangrove kerapatan sangat rapat, mangrove kerapatan rapat, mangrove kerapatan sedang, mangrove



kerapatan jarang, dan mangrove kerapatan sangat jarang pada setiap desa di Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur. Mangrove di wilayah ini didominasi oleh jenis mangrove *Avicennia* sp. dan *Rhizophora* sp.

### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Alat yang digunakan dalam penelitian.

No.	Alat	Keterangan/Fungsi	Spesifikasi
1	Meteran jahit	Mengukur keliling batang.	Ne Moto
2	GPS	Menentukan titik koordinat.	Garmin Map 76
3	Timbang digital	Mengukur berat kering.	ARD-TBG 1
4	<i>Litter-trap</i>	Menampung sampel serasah.	Jaring
5	Parang	Memotong sampel mangrove.	<i>Tramontina</i>
6	Oven	Mengurangi kadar air sampel.	EYELA NDO-400
7	Core sampler	Mengambil sampel sedimen.	PVC Rucika ( 3 inch)
8	<i>Sieve shaker</i>	Mengayak sedimen.	RETSCH
9	Alat tulis	Mencatat sampel.	SIDU (A4), 2B, dan Joyko
10	Laptop	Mengolah data.	ASUS
11	Perangkat lunak	Mengolah data.	MS. Excel 2010
12	Perangkat lunak	Membuat peta lokasi.	Arc Map 10.8

Tabel 2. Bahan yang digunakan dalam penelitian.

No	Bahan	Keterangan/Fungsi	Spesifikasi
1	Plastik	Meletakkan sampel.	NAF
2	Tali rafia	Membuat transek pada sampel pohon.	SWAN
3	Tegakan mangrove	Sampel penelitian.	Mangrove <i>Avicennia</i>
4	Serasah	Sampel penelitian.	<i>marina</i> , <i>Rhizophora</i>
5	Nerkromassa	Sampel penelitian.	<i>apiculata</i> , dan
6	Sedimen	Sampel penelitian.	<i>Exocaria agallocha</i> Substrat

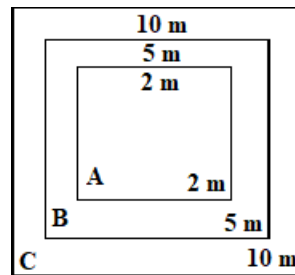
### 3.3 Prosedur Penelitian

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan melalui 4 tahapan, yaitu pengambilan data lapangan, analisis laboratorium, analisis citra, dan analisis data. Data lapangan yang diperlukan pada penelitian ini, yaitu data biomassa tegakan mangrove, kandungan karbon pada nekromassa, serasah, dan substrat.

#### 3.3.1 Pengambilan Data Lapangan

Pada pengambilan data primer diperlukan penentuan stasiun dalam pengamatan. Stasiun pengamatan ditentukan dengan metode *random sampling*. Metode *random sampling* diharapkan mampu menjadi representasi dari populasi yang diestimasi. Metode ini digunakan karena adanya perbedaan ciri, atau karakteristik antara strata yang ada, dan strata tersebut memengaruhi variabel. Pengamatan vegetasi mangrove akan dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Pada pengamatan biomassa tegakan dan indeks nilai penting (INP) terhadap vegetasi mangrove terbagi menjadi beberapa tiga tingkatan pertumbuhan vegetasi mangrove dengan ketentuannya masing-masing. Adapun ketiga tingkatan pertumbuhan vegetasi mangrove, yaitu semai dengan ketentuan diameter  $< 2$  cm serta tinggi  $\leq 1,5$  m, pancang dengan ketentuan diameter 2 cm sampai dengan  $< 10$  cm, tiang dengan ketentuan diameter 10 cm sampai dengan  $< 20$  cm, dan pohon dengan ketentuan diameter  $\geq 20$  cm.
2. Pengamatan indeks nilai penting (INP) dan pengamatan biomassa tegakan mangrove terhadap vegetasi mangrove menggunakan transek yang ukurannya berbeda berdasarkan tingkatan pertumbuhan vegetasi mangrove. Pengamatan biomassa tegakan pada vegetasi mangrove dilakukan dari tingkat semai hingga pohon pada tiap stasiun dengan ketentuan sebagai berikut:
  - a) Semai dengan ukuran transek  $2 \times 2 \text{ m}^2$
  - b) Pancang dengan ukuran transek  $5 \times 5 \text{ m}^2$
  - c) Tiang dengan ukuran transek  $10 \times 10 \text{ m}^2$



Gambar 4. Bentuk plot transek.

3. Pengamatan terhadap serasah mangrove diambil dengan *litter-trap* berukuran  $1 \times 1 \text{ m}^2$  dengan mata jaring berukuran sekitar 0,2 cm yang diletakkan secara acak di dalam transek  $10 \times 10 \text{ m}^2$ . Pada pengamatan nekromassa menggunakan transek berukuran  $10 \times 10 \text{ m}^2$ .

### 3.3.1.1 Kerapatan Mangrove

Data yang diperlukan untuk memperoleh data kerapatan, yaitu kerapatan jenis (persamaan 1), kerapatan relatif (persamaan 2), frekuensi jenis (persamaan 3), frekuensi relatif (persamaan 4), penutupan jenis (persamaan 5), penutupan relatif (persamaan 8) dan indeks nilai penting atau INP (persamaan 9) (Mueller-Dombois dan Ellenberg, 1974).

#### 1. Kerapatan mangrove

##### A) Kerapatan jenis

$$D_i = \frac{n_i}{A} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

$D_i$  = Kerapatan jenis

$n_i$  = Jumlah jenis tegakan jenis ke-i

A = Luas total area pengambilan sampel ( $\text{m}^2$ )

##### B) Kerapatan relatif

$$RD_i = \left( \frac{n_i}{\sum n} \right) \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

$RD_i$  = Kerapatan relatif spesies ke-i

$n_i$  = Jumlah individu spesies ke-i

## C) Frekuensi Jenis

$$F_i = \frac{p_i}{\sum f} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

 $F_i$  = Frekuensi jenis $p_i$  = Jumlah petak contoh dimana ditemukan jenis ke-i $\sum f$  = Jumlah total petak contoh yang dibuat

## D) Frekuensi relatif

$$RF_i = \left( \frac{F_i}{\sum F} \right) \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

 $RF_i$  = Frekuensi relatif spesies ke i $F_i$  = Frekuensi spesies ke i

## E) Penutupan jenis

$$C_i = \sum \frac{BA}{A} \dots\dots(5)$$

$$BA = \frac{\pi DBH^2}{4} \dots\dots(6)$$

$$DBH = \frac{CBH}{\pi} \dots\dots(7)$$

Keterangan:

 $C_i$  = Luas penutupan jenis ke-i ( $m^2$ ) $\pi$  = Suatu konstanta (3,14)

DBH = Diameter batang pohon dari jenis ke-i

A = Luas total area plot

CBH = Lingkaran pohon setinggi dada

BA = Basal area ( $cm^2$ )

## F) Penutupan relatif

$$RC_i = \left( \frac{C_i}{\sum C} \right) \times 100 \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan :

 $RC_i$  = Penutupan relatif spesies dan luas total area $C_i$  = Luas area penutupan spesies ke-i

## G) Indeks nilai penting

$$\%INP = \%RD_i + \%RF_i + \%RC_i \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan :

$RD_i$  = Kerapatan relatif

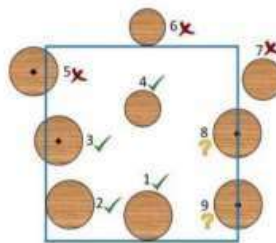
$RF_i$  = Frekuensi relatif

$RC_i$  = Penutupan jenis relatif

### 3.3.1.2 Pengukuran Simpanan Karbon pada Tegakan Mangrove

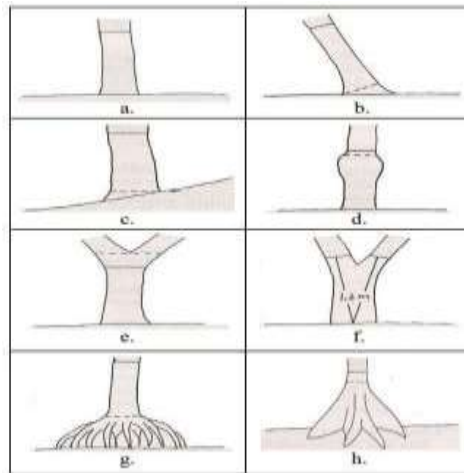
Biomassa karbon tersimpan pada tegakan mangrove didapatkan dari pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan metode *non-destructive* sampling. Pengukuran tersebut dilakukan dengan cara mengukur keliling tegakan pohon pada ketinggian 1,3 m (setinggi dada orang dewasa). Pengukuran keliling pohon dilakukan untuk mendapatkan diameter pohon. Pengamatan di dalam plot transek berukuran  $10 \times 10 \text{ m}^2$ . Metode pengukuran tegakan mangrove dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- A) Keliling pohon mangrove diukur berdasarkan pada posisi tegakan di dalam plot. Tegakan pohon yang diukur harus berada di dalam plot maupun setengah bagian dari tegakan pohon tersebut berada di dalam plot. Kriteria tegakan di dalam plot mengacu pada DLH Surabaya (2018), yaitu:



Gambar 5. Ilustrasi tegakan pohon di dalam dan di luar plot.  
Sumber: DLH Surabaya (2018).

- Pohon yang benar-benar berada di dalam plot seperti no. 1-4 (Gambar 5),
  - Pohon yang berada di dalam plot seperti no. 8 dan 9, dan
  - Pohon yang berada di luar plot seperti no. 5 dianggap pohon tersebut di luar plot sama seperti no. 6 dan 7.
- B) Keliling pohon diukur pada tegakan yang memiliki diameter  $\geq 5 \text{ cm}$  menggunakan meteran jahit. Keliling pohon diukur pada posisi ketinggian pohon yang diukur setinggi dada orang dewasa (DBH). Pengukuran keliling batang pohon mengacu pada SNI7724:2011 tentang pengukuran dan perhitungan cadangan karbon hutan (BSN, 2011) (Gambar 6):



Gambar 6. Pengukuran DBH pada berbagai kondisi pohon mangrove.  
Sumber: BSN (2011).

- a. Keliling pohon normal diukur pada ketinggian setinggi dada orang dewasa atau sekitar 1,3 m (Gambar 6a),
- b. Keliling pohon yang miring diukur pada ketinggian 1,3 m atau setinggi dada orang dewasa searah kemiringan pohon (Gambar 6b),
- c. Keliling pohon yang normal dengan kondisi tanahnya miring diukur dari permukaan tanah tertinggi (Gambar 6c),
- d. Keliling pohon yang cacat diukur pada bagian pohon yang sudah normal (Gambar 6d),
- e. Keliling pohon yang bercabang diukur pada ketinggian 1,3 m di bagian bawah cabang masih normal (Gambar 6e),
- f. Keliling pohon yang cabang dengan ketinggian percabangannya lebih dari 1,3 m diukur pada semua percabangan (Gambar 6f),
- g. Keliling pohon dengan akar penunjang diukur dari batas atas akar penunjangnya (Gambar 6g),
- h. Keliling pohon berbanir diukur pada ketinggian 1,3 m dari atas banirnya (Gambar 6h), dan
- i. Hasil pengukuran keliling batang pohon digunakan untuk mendapatkan nilai diameter yang ditulis dengan persamaan keliling lingkaran (persamaan 10)

$$K = \pi r^2 \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan :

K = keliling ( $\text{cm}^2$ )

$\pi = 3,14$

r = jari-jari (cm)

C) Analisis biomassa dihitung dari data tegakan pohon dengan menggunakan model persamaan alometrik (Komiyama *et al.*, 2005; Lestari & Rahadian, 2017):

$$\text{Biomassa } \textit{Rhizophora apiculata} = 0,235 * \text{DBH}^{2,4} \dots\dots\dots(12)$$

$$\text{Biomassa } \textit{Avicennia marina} = 0,308 * \text{DBH}^{2,11} \dots\dots\dots(13)$$

$$\text{Biomassa } \textit{Excoecaria agallocha} = 0,251 * \rho * \text{DBH}^{2,46} \dots\dots\dots(14)$$

$$\text{Persamaan umum} = \exp[-2,134+2,530*\ln(D)]\dots\dots\dots(15)$$

Keterangan :

DBH = Diameter batang pohon setinggi dada (cm)

D) Karbon tersimpan dihitung dari konversi nilai kandungan biomassa berdasarkan persamaan yang mengacu pada SNI 7724:2011 tentang pengukuran dan perhitungan cadangan karbon hutan (persamaan 16) (BSN, 2011):

$$C = B \times 0,47 \dots\dots\dots(16)$$

Keterangan:

C = Kandungan karbon tersimpan dari biomassa (g)

B = Total biomassa (g)

### 3.3.1.3 Pengukuran Karbon Tersimpan pada Tegakan Nekromassa

Pengukuran biomassa pada nekromassa dilakukan pada tegakan pohon mangrove yang sudah mati saja. Pengukuran nekromassa mengacu pada SNI 7724: 2011 tentang pengukuran dan perhitungan cadangan karbon hutan (BSN, 2011): Pohon mangrove yang sudah mati (tegak/jatuh) diukur diameter setinggi dada (DBH)

1. Tinggi pohon yang sudah mati diukur secara keseluruhan dari permukaan tanah sampai bagian atas pohon.
2. Volume pohon yang sudah mati dihitung menggunakan persamaan BSN(2011).
3. Sampel kayu mangrove yang sudah mati dipotong sepanjang 10 cm lalu dikeringkan menggunakan oven selama 48 jam pada suhu 80° C. Berat jenisnya dihitung dengan persamaan (persamaan 17) BSN (2011)

$$V_{pm} = \frac{1}{4} \pi (DBH)^2 \times t \times f \dots\dots\dots(17)$$

Keterangan =

V<sub>pm</sub> = Volume pohon mati (cm<sup>3</sup>)

π = 3,14

DBH = Diameter pohon pada ketinggian dada (1,3 meter) (cm)

t = Tinggi total pohon mati (cm)

f = Faktor bentuk (Nilai faktor bentuk bervariasi tergantung jenis kayu.

Apabila data faktor bentuk tidak tersedia, maka dapat digunakan faktor bentuk 0,6)

4. Berat jenis sampel kayu pohon dihitung dengan membandingkan antara berat kering sampel kayu dengan volume kering sampel kayu berukuran 10 cm (persamaan 18).

$$BJ_{pm} = \frac{BK}{VS} \dots \dots \dots (18)$$

Keterangan =

$BJ_{pm}$  = Berat jenis sampel kayu pohon ( $g/cm^3$ )

BK = Berat kering sampel kayu (g)

VS = Volume kering sampel kayu berukuran 10 cm ( $cm^3$ )

5. Kandungan bahan organiknya dihitung dari persamaan (17) dan (18) yang mengacu pada (persamaan 19) BSN (2011).

$$B_{pm} = V_{pm} \times BJ_{pm} \dots \dots \dots (19)$$

Keterangan =

$B_{pm}(g)$  = Bahan organik pohon mati

$V_{pm}(cm^3)$  = Volume pohon mati mengacu pada persamaan (17) ( $cm^3$ )

$BJ_{pm}$  = Berat jenis kayu pohon mati mengacu pada persamaan (18) ( $g/cm^3$ )

6. Jumlah karbon tersimpan di dalam nekromassa dihitung dengan persamaan(16).

### 3.3.1.4 Pengukuran Karbon Tersimpan pada Tegakan Serasah

Pengukuran karbon yang tersimpan di dalam serasah dilakukan dengan menimbun serasah menggunakan *litter-trap* selama 7 hari dengan tahapan sebagai berikut:

1. Serasah diambil dari *litter-trap* setelah ditimbun selama 7 hari.
2. Sampel dibersihkan dari lumpur maupun kotoran lainnya yang menempel.
3. Sampel yang sudah dibersihkan, kemudian ditimbang untuk mendapatkan nilai berat basah sampel (BB).
4. Sampel serasah dikeringkan di bawah sinar matahari.
5. Sampel serasah yang sudah kering diambil kemudian dikeringkan kembali menggunakan oven pada suhu  $80^{\circ}C$  selama 48 jam.



6. Setelah 48 jam, sampel tersebut didinginkan dan ditimbang untuk mengetahui berat keringnya (BK).
7. Kandungan bahan organik sampel serasah dihitung menggunakan persamaan (persamaan 20) BSN (2011).

$$BO = (BK \text{ sampel}) / (BB \text{ sampel}) \times BB \text{ Total} \dots \dots \dots (20)$$

Keterangan =

BO = Berat bahan organik (g)

BK = Berat kering (g)

BB = Berat basah (g)

8. Karbon tersimpan di dalam serasah dihitung dengan persamaan (16).

### 3.3.1.5 Hasil Konversi Karbon Tersimpan

Hasil pengukuran karbon tersimpan dikonversikan dengan menggunakan persamaan yang mengacu pada SNI 7724:2011 tentang pengukuran dan perhitungan cadangan karbon hutan (BSN, 2011) yang dimodifikasi sebagai berikut (persamaan 21).

$$C_n = \frac{C_x}{1000} \times \frac{10000}{L_{plot}} \dots \dots \dots (21)$$

Keterangan =

$C_n$  = Kandungan karbon tiap plot dalam kg C/m<sup>2</sup>

$C_x$  = Kandungan karbon tiap plot dalam g C

1.000 = Konversi kg menjadi g

10.000 = Konversi m<sup>2</sup> menjadi cm<sup>2</sup>

$L_{plot}$  = Luas plot (m<sup>2</sup>)

### 3.3.1.6 Pengukuran Fraksi Sedimen

Fraksi sedimen ditentukan dengan metode ayakan bertingkat (Triapriyasen *et al.*, 2016):

1. Sampel sedimen diambil dengan core sampler berukuran tinggi 30 cm dan diameter 7,5 cm,
2. Sampel sedimen kemudian dipotong menjadi 3 bagian masing-masing 10 cm,
3. Sampel dikeringkan menggunakan oven pada suhu 80<sup>o</sup> C selama 24 jam,
4. Sampel yang sudah kering dihaluskan dengan menggunakan mortar,
5. Sampel diayak pada *pan sieve shaker* untuk klasifikasi ukuran butir sedimennya

(pasir kasar berukuran 510 mm, pasir halus berukuran 315 mm, debu kasar berukuran 305 mm, debu halus berukuran 203 mm, liat kasar berukuran 200 mm, dan liat halus berukuran 100 mm), dan

6. Pengukuran fraksi sedimen dilakukan dengan menimbang sedimen yang tertinggal di setiap ayakan dengan persamaan (persamaan 22):

$$\%BA = \frac{B1}{B0} \times 100\% \dots \dots \dots (22)$$

Keterangan =

BA = Berat total sedimen di setiap ayakan (%)

B1 = Berat sedimen yang tertinggal di setiap ayakan (g)

B0 = Berat sedimen sebelum diayak (g)

### 3.3.1.7 Pengukuran C-organik dengan metode Walkley dan Black

Pengukuran C-organik pada tanah dilakukan dengan menggunakan metode walkley dan black (Nadapdap *et al.*, 2020). Tahapan pengukuran C-organik adalah sebagai berikut:

1. Sampel sedimen sebanyak 0,50 g yang telah dikeringanginkan kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer berukuran 500 mL,
2. Larutan  $K_2Cr_2O_7$  1N sebanyak 10 mL ditambahkan ke dalam erlenmeyer yang berisi sedimen kemudian digoyangkan sampai larutan  $K_2Cr_2O_7$  tercampur dengan sedimen,
3. Setelah sedimen dan larutan  $K_2Cr_2O_7$  tercampur, selanjutnya ditambahkan larutan  $H_2SO_4$  pekat sebanyak 20 mL. Erlenmeyer digoyangkan kembali dan setelah tercampur, erlenmeyer didiamkan selama 30 menit,
4. Setelah 30 menit, dilakukan pengenceran dengan menambahkan air akuades sebanyak 200 mL,
5. Indikator ferroin 0,025 M sebanyak 3-4 tetes ditambahkan ke dalam larutan yang sudah diencerkan,
6. Larutan dititrasi menggunakan buret dengan menambahkan larutan  $FeSO_4$  0,5 N,
7. Perhitungan C-organik dilakukan menggunakan persamaan (Ohorella & Hilmanto, 2011) (persamaan 23),

$$\%C - organik = \frac{(mlK_2Cr_2O_7) \times 0,003 \times f \times 100\%}{BKM} \dots \dots \dots (23)$$

Keterangan =

F = ketetapan (1,33)

BKM = Berat kering (g)

8. Setelah didapatkan nilai % C-organik, total karbon tersimpan di sedimen dihitung dengan menggunakan persamaan yang mengacu pada SNI 7724(2011) tentang pengukuran dan perhitungan cadangan karbon hutan (persamaan 24) (BSN, 2011),

$$C_t = \%C - organik \times \rho \times kd \dots \dots \dots (24)$$

Keterangan =

$C_t$  = Karbon tersimpan di sedimen ( $g/cm^2$ )

kd = Kedalaman sampel (cm)

$\rho$  = Perbandingan dari berat kering (g) dan volume sampel ( $cm^3$ )

9. Hasil perhitungan C-organik tanah per meter menggunakan persamaan (persamaan 25).

$$C_{tanah} = C_t \times 10 \dots \dots \dots (25)$$

Keterangan =

$C_{tanah}$  = Kandungan C-organik tanah per meter ( $kg/m^2$ )

10 = Faktor konversi dari  $g/cm^2$  ke  $kg/m^2$

### 3.3.2 Analisis Citra

Pada pengelolaan stok karbon dibutuhkan data NDVI yang berasal dari citra Landsat 8. Data citra yang digunakan merupakan data bulan Juni tahun 2023 dengan resolusi spasial 30 meter. Data tersebut kemudian dinalisis menggunakan metode regresi dan uji akurasi terhadap data lapangan yang bertujuan untuk mendapatkan yang mampu mewakili kawasan penelitian, yaitu Kecamatan Maringgai. Dalam pengelolaan citra Landsat 8 dilakukan beberapa langkah sebagai berikut:

- a. Input peta batas administasi Kabupaten Lampung Timur Kecamatan Labuhan Maringgai.
- b. Input data citra satelit Landsat 8 untuk melihat perubahan penutupan lahan.
- c. Dilakukukan koreksi geometri, radiometrik, dan koreksi atmosferik

- d. Peta yang sudah dikoreksi dianalisis NDVI untuk mengetahui tingkat kehijauan menggunakan persamaan indeks NDVI sebagai berikut (persamaan 26)

(Ahmed & Akter, 2017):

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \dots\dots\dots(26)$$

Keterangan:

NDVI= *Normalized difference vegetation index*

NIR = Sinar infrared dekat

Red = Sinar merah

### 3.3.3 Analisis Data

Estimasi cadangan karbon yang dihasilkan melalui citra Landsat 8 pada penelitian ini dihasilkan dari data piksel pada citra dan data besarnya stok karbon di lapangan. Data stok karbon di lapangan diperoleh melalui pendekatan persentase kerapatan biomassa tegakan. Pada kegiatan lapangan pertama telah diketahui besarnya stok karbon dan persentase biomassa aktual tiap sampel, kemudian data tersebut digunakan untuk membuat model stok karbon berdasarkan persentase biomassa aktual, sehingga kebutuhan sampel stok karbon untuk membangun model empiris melalui citra dapat dilakukan menggunakan persamaan yang telah dibangun sebelumnya tanpa harus mencabut kembali sampel tegakan untuk menghitung biomassa aktual di lapangan.

Untuk membangun model empiris maka dibutuhkan informasi besarnya presentase kerapatan biomassa terlebih dahulu yang juga dapat diperoleh melalui citra Landsat 8. Hasil proses yang dilalui dan hasil yang diperoleh sebelumnya, maka model empiris yang dibangun untuk membuat persamaan stok karbon pada penelitian ini paling baik menggunakan citra NDVI model eksponensial. Nilai koefisien regresi yang dihasilkan dari citra tersebut cukup tinggi pada setiap kelas dan masih signifikan berdasarkan jumlah sampel yang digunakan. Korelasi antara nilai indeks vegetasi menggunakan transformasi NDVI citra dengan biomassa hasil pengukuran di lapangan (biomassa aktual) dilakukan sebelum memilih model terbaik yang digunakan. Nilai biomassa di atas permukaan aktual hasil pengukuran lapangan menggunakan dua persamaan berdasarkan Brown (1997) menggunakan diameter batang setinggi dada.

Variabel yang digunakan untuk menghitung kandungan biomassa di atas permukaan hanya diameter batang setinggi dada yang diasumsikan dapat mewakili untuk pengukuran biomassa. Hal ini disebabkan data tinggi pohon hanya terdapat pada plot pengamatan saja, sedangkan berat jenis hanya pada jenis pohon tertentu sehingga tidak dapat memberikan keseluruhan informasi yang lebih akurat. Dari hasil perhitungan biomassa aktual menggunakan data tinggi pohon dan berat jenis banyak terjadinya bias karena pohon yang tinggi akan tetapi diameter batang yang kecil belum tentu memiliki kandungan biomassa yang tinggi pula. Lebih lanjut, sama halnya pada variabel berat jenis pohon yang tidak diukur secara destruktif, melainkan menggunakan berat jenis pohon hasil pengukuran yang telah dilakukan melalui penelitian sebelumnya. Dengan demikian kedua variabel ini dapat memberikan distorsi yang cukup besar apabila digunakan untuk estimasi kandungan biomassa di atas permukaan.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Kesimpulan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kerapatan mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai berada pada kategori sedang menuju sangat baik, akan tetapi pada daerah Margasari justru cenderung rendah karena banyak mengalami kerusakan.
2. Substrat pada kawasan mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai didominasi tipe substrat pasir sehingga mangrove jenis *A. marina* mampu tumbuh dengan baik disana.
3. Karbon yang tersimpan pada tegakan, nekromassa, serasah, dan substrat pada kawasan mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai berada pada kategori sedang.
4. Sebaran karbon mangrove pada kawasan mangrove di Kecamatan Labuhan Maringgai tergolong rendah karena nilai biomassa bergantung pada nilai diameter pohon (DBH) dan pada daerah penelitian ditemukan banyak anakan yang nilai diameter pohonnya kecil.

### 5.2 Saran

Adapun hal yang dapat penulis sarankan berdasarkan hasil penelitian, yaitu perlu dilakukannya pengawasan dan pengelolaan serta dilakukan penanaman kembali mangrove pada mangrove yang mati di Kecamatan Labuhan Maringgai.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

- Afif, B., Gamal, M., Rizki, & Rudi, H. 2016. Perbandingan emisi karbon dengan karbon tersimpan di hutan rakyat desa buana sakti kecamatan Batanghari Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*, 4(1): 89-96.
- Agustin, Y. L., Muryono, M., & Purnobasuki, H. 2011. Estimasi Stok Karbon pada Tegakan Pohon *Rhizophora stylosa* di Pantai Talang Iring, Pamekasan Madura. *Biologi*. 1(1): 2-1.
- Agustini, N. T., Ta'alidin, Z., & Purnama, D. 2016. Struktur Komunitas Mangrove Di Desa Kahyapu Pulau Enggano. *Jurnal Enggano*. 1(1): 19-31.
- Ahmed, K. R., & Akter, S. 2017. Analysis of landcover change in south-west Bengal delta due to floods by NDVI, NDWI and K-means cluster with landsat multi-spectral surface reflectance satellite data. *Remote sensing Applications: Society and Environment*, 8: 168-181.
- Aisyah, N., Rustam., & Syahrul. 2023. Struktur komunitas mangrove di Kelurahan Waetuo Kecamatan Tanete Riattang Timur Kabupaten Bone. *Jurnal Insan Tani*, 2 (2): 203-211.
- Akbar, C., Arsepta, Y., Dewiyanti, I., dan Bahri, S. 2019. Dugaan serapan karbon pada vegetasi mangrove, di kawasan mangrove Desa Beureunut, Kecamatan Seulimum, Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Laot Ilmu Kelautan*. 1(2): 11-22.
- Aksornkoae, S. 1993. *Ecology and Management of Mangroves*. IUCN Wetlands Programme. Bangkok. Thailand. 176 hlm.
- Andrianto, F., Bintoro, A., & Yuwono, S.B. 2015. Produksi dan laju dekomposisi serasah mangrove (*Rhizophora* sp.) di Desa Durian dan Desa Batu Menyan Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran. *Jurnal Sylva Lestari*, 3(1): 9-20.
- Bismark, M., Heriyanto, N. M., & Iskandar, S. (2008). Biomasa dan kandungan karbon pada hutan produksi di cagar biosfer Pulau Siberut, Sumatera Barat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 5(5), 397-407.
- Bengen, D. G. 2001. *Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove*. Pusat Kajian Sumber Daya Pesisir dan Laut Institut Pertanian Bogor. Bogor. 58 hlm.



- Brown, S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer. *FAO Forestry Paper*, 134: 1-55
- (BSN) Badan Standarisasi Nasional. 2011. *Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon–Pengukuran Lapangan Untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting)*. Jakarta. 16 hlm.
- Cahyaningrum, S. T., & Hartoko, A., & Suryanti. 2014. Biomassa karbon mangrove pada kawasan mangrove Pulau Kemujan Taman Nasional Karimunjawa. *Journal of Maquares*, 3(2), 34-42.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., & Chhabra, A. 2013. *Carbon and Other Biogeochemical Cycles*. Cambridge University Press. Cambridge. 570 hlm.
- Dahuri, R. 2003. *Keanekaragaman Hayati Laut: Aset Pembangunan Berkelanjutan Indonesia*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 412 hlm.
- Dharmawan, I. W. E., & Siregar, C. A. 2008. Karbon tanah dan pendugaan karbon tegakan *Avicennia marina*. (Forssk). Vierth. Purwakarta. *Jurnal Penelitian Kelautan dan Konservasi Alam*, 5(4):317-318
- Dharmawan, I. W. S. (2010). Pendugaan biomasa karbon di atas tanah pada tegakan *Rhizophora mucronata* di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 15(1): 50-56.
- Diki, S.Si., M.Ed., Ph.D., Sri Utami, S.ST., M.Kes., Dr. Yuni Tri Hewindati, & Elin Herlinawati, M.Si. *Peran Matematika, Sains, Dan Teknologi Dalam Kebencanaan*. Universitas Terbuka. Banten. 209 hlm.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya (DLH). 2018. *Estimasi Stok Karbon di Kawasan Mangrove Pantai Utara Kota Surabaya*. Pemerintah Kota Surabaya. Surabaya. 95 hlm.
- Falkowski, P. G., Scholes, E., Boyle, J., Canadell, D., Canfield, J., Elser, N., Gruber, K., Hibbard, P., Hogberg, S., Linder, F. T., Mackenzie, B., Moore III., Pedersen T., Rosenthal Y., Seitzinger S., Smetacek V., & Steffen W. 2000. The global carbon cycle: A test of our knowledge of earth as a system. *Science New Series*, 290: 291-296.
- Farid, A., Rosi, M. F., & Arisandi, A. 2022. Struktur komunitas mangrove lembung Kecamatan Galis, Kabupaten Pamekasan. *Jurnal Kelautan Nasional*, 10(3): 231-242.

- Feliciano, D., Ledoa, A., Hillierb, J., & Nayaka, D.R. (2018). Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions. *Agriculture, Ecosystems and Environment Journal*, 254: 117–129.
- Food and Agriculture Organization. 2007. *The World's Mangroves 1980-2005*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 153 hlm.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., Masek, J., & Duke, N. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20(2): 154-159.
- Gurung B. M., Hugh Bigsby., Ross Cullen., & Ugan Manandhar. 2015. Estimation of carbon stock under different mangement regimes of tropical forest in the Terai Arc Landscape, Nepal. *Forest Ecology and Management Journal*, 356: 144-152.
- Hairiah, K., & Rahayu, S. 2007. *Pengukuran Carbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. World Agroforestry Centre-ICRAF, SEA Regional Office. Malang. 77 hlm.
- Heriyanto, N. M., & Subiandono, E. 2016. Peran biomassa mangrove dalam menyimpan karbon di Kubu Raya Kalimantan Barat. *Jurnal Analisis Kebijakan*, 13(1): 1-12.
- Hilmi, E., & Sahri, A. S. 2006. Estimation biomass model of mangrove vegetation in Indragiri Hilir Regency, Riau. *Biosfera*, 23 (2): 20-29.
- Imiliyana, I., Muryono, M., & Purnobasuki, H. 2012. *Estimasi Stok Karbon pada Tegakan Pohon Rhizophora stylosa di Pantai Camplong, Sampung-Madura*. Institut Teknologi Sepuluh November Press. Surabaya. 84 hlm.
- Irawati, Clara, R., Merit, I. N., & Sudarma, I. M. 2021. Estimasi potensi karbon sedimen mangrove pada hutan alam dan hutan rehabilitasi di Taman Hutan Raya Ngurah Rai Bali. *Ecotrophic*, 15(2): 154-165.
- Istomo, & Farida, N. E. 2017. Potensi simpanan karbon di atas permukaan tanah tegakan *Acacia nilotica* L. (Wild) ex. Del. di Taman Nasional Baluran, Jawa Timur. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 7(2): 155-162.
- Kaonga, M.L. & Bayliss-Smith, T.P. (2009). Carbon pools in tree biomass and the soil improved fallows in eastern Zambia. *Agroforest Syst*, 76: 37-51.
- Komiyama, A., Pongparndan, S., Kato, S. 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21: 471–477.

- Kuncahyo, I., Rudhi, P., & Praktikto, I. 2020. Komposisi dan tutupan kanopi vegetasi mangrove di perairan Bakauheni, Kabupaten Lampung Selatan. *Journal of Marine Research*, 9(4): 444-452.
- Kurniawan, A., Sari, S. P., Asriani, E., Kurniawan, A., Sambah, A. B., Triswiyana, I., & Prihanto, A. A. 2019. Kapasitas hidrolisis bakteri pendegradasi selulosa dari ekosistem mangrove. *Journal of Tropical Marine Science*, 2(2): 76-82.
- Kustanti, A., Nugroho, B., Nurrochmat, D. R., & Yosuke, O. 2014. Evolusi hak kepemilikan dalam pengelolaan ekosistem hutan mangrove di Lampung Mangrove Center. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan*, 1(3): 143-158.
- Lakitan, B. 1993. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. Raja Grafindo Persada. Jakarta. 222 hlm.
- Leksono, S. S. B., Nirwani, & Pramesti, N. R. 2014. Produktivitas dan dekomposisi serasah daun mangrove di kawasan vegetasi mangrove Pasar Banggi, Rembang-Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 3(4): 549-555.
- Lestari, T. A., & Rahadian, A. 2017. *Metode Kuantifikasi Pendugaan Cadangan Karbon Ekosistem Mangrove*. Mangrove For the Future. Bogor. 52 hlm.
- Lestariningsih, T., Hadiyati, E., & Astuti, R. 2018. Study of service quality and patient satisfaction to trust and loyalty in public hospital. *Journal of Business Marketing and Management*, 3(2): 1-12.
- Mahasani, I. G. A. I., Karang, I. W. G. A. & Hendrawan I. G. 2016. Karbon organik di bawah permukaan tanah pada kawasan rehabilitasi hutan mangrove, Taman Hutan Raya Ngurah Rai, Bali. *Dalam Nugraha, W. A., & Siswanto, A. D.(Eds.). Prosiding Seminar Nasional Kelautan*. Universitas Trunojoyo Madura. Hlm: 33-42.
- Manuri, S., Putra, C. A. S., & Saputra, A. D. 2011. *Teknik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan*. Merang REDD Pilot Project. German International Cooperation GIZ. Palembang. 91 hlm.
- Maruroh, L., & Insafitri. 2020. Pengaruh jenis substrat terhadap keraapatan vegetasi *Avicennia marina* di Kabupaten Gresik. *Jurnal Juvenil*, 1(2): 151-159.
- Marzuki, Nurdin, N., Yasir, I., Mashoreng, S., & Selamat, M, B. 2023. Estimasi stok karbon biomassa pada ekosistem mangrove menggunakan data satelit di Pulau Nunukan Kabupaten Nunukan Kalimantan Utara. *Majalah Ilmiah Globe*, 25(1): 63-76.
- Mueller-Dombois dan H. Ellenberg. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. John Wiley and Sons. New York. 45-66 hlm.

- Nadapdap, N. S., Perwira, I. Y., & Ernawati, N. M. 2020. Analisis karbon, nitrogen, dan total bakteri pada substrat dasar tambak udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) pada pertengahan masa tanam di Desa Sangga langit, Buleleng, Bali. *Journal of Current Trends in Aquatic Science*, 3(1): 97-105.
- Nugraha, W. A. 2010. Produksi serasah (guguran daun) pada berbagai jenis mangrove di Bangkalan. *Jurnal Kelautan*, 3(1): 66-69.
- Ohorella, S., & Hilmanto, R. 2011. Kajian kandungan bahan organik tanah yang tersimpan pada lahan agroforestri dengan sistem tebas dan bakar (*slash and burn*). *Jurnal Agrohut*, 2(2): 119-127.
- Permatasari, I. R., Barus, M. S., & Diansyah, G. 2019. Analisis nitrat dan fosfat pada sedimen di Muara Sungai Banyuasin, Kabupaten Banyuasin, Provinsi Sumatra Selatan. *Jurnal Penelitian Sains*, 21(3): 140-150.
- Pratono, T., Razak, H., & Gunawan, I. 2009. Pestisida organoklorine di sedimen pesisir Muara Citarum, Teluk Jakarta serta peran penting fraksi halus sedimen se-bagai pentransport DDT dan proses diagenesanya. *Jurnal Ilmu dan Tekno-logi Kelautan Tropis*, 1(2): 11-21.
- Putra, A. K., Bakri, S. dan Kurniawan, B. 2015. Peranan ekosistem hutan mangrove pada imunitas terhadap malaria: studi Di Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*. 3 (2): 67-78.
- Rachmawati, D., Setyobudiandi, I., & Hilmi, E. 2014. Potensi estimasi karbon terimpan pada vegetasi mangrove di wilayah pesisir Muara Gembong, Kabupaten Bekasi. *Jurnal Omni-Akuatika*, 14(19): 89-91.
- Rackley, S. A. 2017. *Carbon Capture and Storage*. Butterworth-Heinemann. Oxford . 698 hlm.
- Rahayu, S., Lusiana, B., & Noordwijk, V. N. 2006. *Pendugaan Cadangan Karbon di atas Permukaan Tanah pada Sistem Penggunaan Lahan di Kabupaten Nunukan, Kalimantan Timur*. ICRAF. Bogor. 77 hlm.
- Sadelie, A., Kusumastanto, T., Kusmana, C., & Hardjomidjojo, H. 2012. Kebijakan pengelolaan sumberdaya pesisir berbasis perdagangan karbon. *Jurnal Hutan dan Masyarakat*, 6(1): 1-2.
- Sjostrom, M., & Ogren, E. 1990. Estimation of the effect of photoinhibition on the carbon gain in leaves of a willow canopy. *Journal of Planta*, 181(4): 560-567.
- Sondak, C. F. A. 2015. Estimasi potensi penyerapan karbon biru (*blue carbon*) oleh hutan mangrove Sulawesi Utara. *Jurnal of Asean Studies on Maritime Issues*, 1(1): 24-29.

- Suarsana, M., & Wahyuni, P. S. 2011. Global warming: Ancaman nyata sektor pertanian dan upaya mengatasi kadar CO<sub>2</sub> atmosfer. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 11(1): 31-37.
- Sugirahayu, L., & Rusdiana, O. 2011. Perbandingan simpanan karbon pada beberapa penutupan lahan di Kabupaten Paser, Kalimantan Timur berdasarkan sifat fisik dan sifat kimia tanahnya. *Journal of Tropical Silviculture*, 2(3): 149-155.
- Supriyantini, E. 2018. Nitrate and phosphate contents on sediments related to the density levels of mangrove *Rhizophora* sp. in mangrove park waters of pekalongan, Central Java. Dalam Santoso, A. (Ed.). 3rd International Conference on Tropical and Coastal Region Eco Development 2017. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Semarang. Hlm:1315-1755.
- Sutaryo, D. 2009. *Perhitungan Biomassa Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Wetlands International Indonesia Programme. Bogor. 39 hlm.
- Syukri, M. et al. 2018. Kajian Stok Karbon Mangrove di Bebanga Kabupaten Mamuju Sulawesi Barat. Prosiding Simposium Nasional Kelautan dan Perikanan V. Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Taillardat, P., Friess, D. A., & Lupascu, M. 2018. Mangrove blue carbon strategies for climate change mitigation are most effective at the national scale. *Biology Letters*, 14(10): 1–6.
- Taqwa, Amrullah. 2010. *Analisis Produktivitas Primer Fitoplankton dan Struktur Komunitas Fauna Makrobenthos Berdasarkan Kerapatan Mangrove Di Kawasan Konservasi Mangrove Dan Bekantan Kota Tarakan, Kalimantan Timur*. (Tesis). Universitas Diponegoro. Semarang. 97 hlm.
- Tamoo, F., Huxham, M., Karachi, M., Mencuccini, M., Kairo, J.G., & Kirui, B. 2008. Below-ground root yield and distribution in natural and replanted mangrove forests at Gazi Bay, Kenya. *Journal of Forest Ecology and Management*, 256(6): 1290-1297.
- Triapriyasen, A., Muslim, M., & Suseno, H. 2016. Analisis jenis ukuran butir sedimen di perairan Teluk Jakarta. *Journal of Oseanografi*, 5(3): 309-316.
- Vivi, T. 2008. Pemanasan global. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*. 2(2). *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 2(2):159-163.
- Winarso, S. 2005. *Kesuburan Tanah, Dasar Kesehatan dan Kualitas Tanah*. Gava Media. Yogyakarta. 350 hlm.
- 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.

- Yanti, R. 2021. *Komposisi Jenis dan Kerapatan Mangrove di Kawasan Hutan Mangrove Desa Sriminonasari, Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur*. (Skripsi). Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung. Bandar Lampung. 67 hlm.
- Yuliarsana, N., & Danisworo, T. 2000. Rehabilitasi pantai berhutan mangrove. *Dalam Sudibyakto. (Ed.). Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Ekosistem Pantai dan Pulau-pulau Kecil dalam Konteks Negara Kepulauan*. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. Hlm: 69-78.
- Yuniawati., Budi Aman A., & Elias. 2011. Estimasi potensi biomassa dan massa karbon hutan tanaman *Acacia crassicarpa* di lahan gambut. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 29(4): 343-350.
- Zainuddin, T., & Gunawan, I. 2014. Bakau dibabat kiamat mendekat. *Tabloid Boemi Poetra*, 1: 1-15.