

**INDEKS KESEHATAN MANGROVE DAN LAJU SERAPAN KARBON DI
KELURAHAN KOTA KARANG, BANDAR LAMPUNG DAN
DESA KARYA TUNGGAL, LAMPUNG SELATAN**

(Skripsi)

Oleh

**FERDINA HUMAIROH
NPM 1814221018**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

INDEKS KESEHATAN MANGROVE DAN LAJU SERAPAN KARBON DI KELURAHAN KOTA KARANG, BANDAR LAMPUNG DAN DESA KARYA TUNGGAL, LAMPUNG SELATAN

Oleh

FERDINA HUMAIROH

Ekosistem mangrove memiliki kemampuan untuk menyerap dan menyimpan air dalam jaringan dan sedimen. Namun, kemampuan ini cenderung menurun akibat tekanan ekologis dan kebutuhan ekonomi masyarakat pesisir. Kelurahan Kota Karang dan Desa Karya Tunggal juga memiliki ekosistem mangrove yang memiliki potensi dalam penyerapan dan penyimpanan karbon. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis indeks kesehatan mangrove dan penyerapan karbon di Kelurahan Kota Karang dan Desa Karya Tunggal. Lokasi pengambilan sampel ditentukan secara *purposive*. Pengambilan data dilakukan dengan metode transek garis. Setiap transek dibagi menjadi beberapa plot berukuran 10 x 10 m². Data yang dikumpulkan terdiri dari tinggi pohon, diameter setinggi dada, kerapatan jenis pohon, dan data pendukung seperti persentase sampah dan jumlah semai serta tutupan tajuk. Data tutupan tajuk diperoleh dengan metode *hemisphere photography*. Seluruh data dicatat dan diolah menggunakan aplikasi MonMang 2.0. Penyerapan karbon dihitung dengan menggunakan metode indeks luas daun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa indeks kesehatan mangrove berada pada kondisi sedang hingga baik, dimana nilai indeks kesehatan mangrove di Kota Karang lebih rendah dibandingkan di Desa Karya Tunggal. Indeks kesehatan mangrove di Kelurahan Kota Karang berkisar antara 53,95-57,85%, sedangkan di Desa Karya Tunggal berkisar antara 67,47-68,95%. Selanjutnya, hasil analisis LAI menunjukkan bahwa rata-rata laju penyerapan karbon melalui proses fotosintesis di stasiun Kota Karang berkisar antara 0,634-0,642 kg C/ha/hari, sedangkan di Karya Tunggal berkisar antara 0,612-0,87 kg C/ha/hari. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kondisi mangrove di Karya Tunggal lebih baik dibandingkan dengan Kota Karang.

Kata kunci: kanopi, serapan karbon, indeks luas daun, indeks kesehatan mangrove.

ABSTRACT

MANGROVE HEALTH INDEX AND CARBON SEQUESTRATION IN KOTA KARANG, BANDAR LAMPUNG AND KARYA TUNGGAL, LAMPUNG SELATAN

By

FERDINA HUMAIROH

Mangrove ecosystems have ability to sequestrating and storage in tissues and sediments. However, this ability tends to decrease due to ecological pressures and economic needs by coastal communities. Kota Karang urban village and Karya Tunggal village also have mangrove ecosystem which also have potential in carbon sequestration and storage. The purpose of this research were to analyze mangrove health index and carbon sequestration in Kota Karang and Karya Tunggal. The sampling sites were determined purposively. Data collected from sampling site using line transect method. Every transect divided into several plot in 10 x 10 m². The data were collected consisted of tree height and diameter breast height, density of species tree and supporting data including percentage of waste and number of seeding also canopy cover. Canopy cover data obtained by hemisphere photography. All data were recorded and processed using MonMang 2.0 application. Carbon sequestration calculated using leaf area index method. Results of these research shown that mangrove health index in moderate condition to good condition, which mangrove health index value in Kota Karang lower than Karya Tunggal. Mangrove health index in Kota Karang urban village was 53,95-57,85%, while in Karya Tunggal village ranged 67,47-68,95%. Furthermore, the results of the LAI analysis showed that the average rate of carbon sequestration through the photosynthesis process at the Kota Karang station range from 0,634-0,642 kg C/ha/day, while in the Karya Tunggal mangrove ecotourism area ranged from 0,612-0,87 kg C/ha/day. Therefore, it can be concluded that the condition of mangroves in Karya Tunggal was better than Kota Karang.

Keywords: canopy, carbon sequestration, leaf area index, mangrove health index.

**INDEKS KESEHATAN MANGROVE DAN LAJU SERAPAN KARBON DI
KELURAHAN KOTA KARANG, BANDAR LAMPUNG DAN
DESA KARYA TUNGGAL, LAMPUNG SELATAN**

Oleh

FERDINA HUMAIROH

(Skripsi)

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

Pada

**Jurusan Perikanan dan Kelautan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **INDEKS KESEHATAN MANGROVE DAN LAJU SERAPAN KARBON DI KELURAHAN KOTA KARANG, BANDAR LAMPUNG DAN DESA KARYA TUNGGAL, LAMPUNG SELATAN**

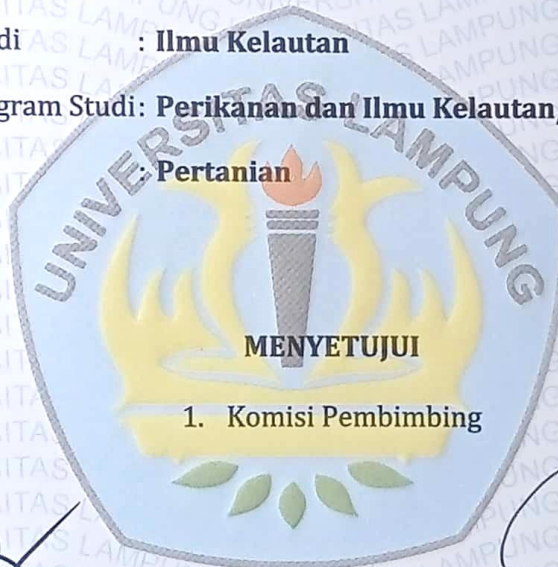
Nama Mahasiswa : **Ferdina Humairoh**

NPM : **1814221018**


Program Studi : **Ilmu Kelautan**

Jurusan/Program Studi: **Perikanan dan Ilmu Kelautan/Ilmu Kelautan**

Fakultas : **Pertanian**

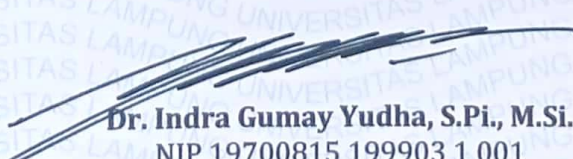


1. **Komisi Pembimbing**


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


Oktora Susanti, S.Pi., M.Si.
NIP 19881001 201903 2 014

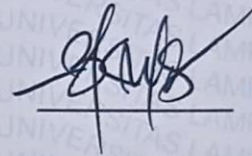
2. **Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan**


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

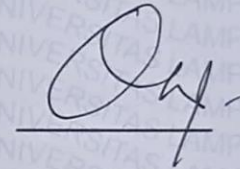
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

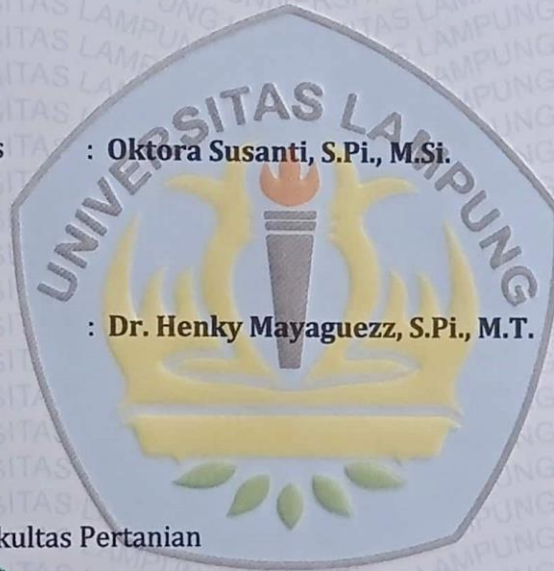
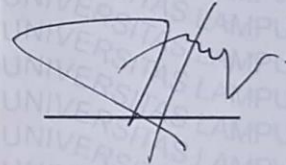
Ketua : Eko Efendi, S.T., M.Si.



Sekretaris : Oktora Susanti, S.Pi., M.Si.



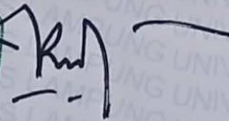
Anggota : Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 19611020 198603 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 25 Mei 2023

PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana baik di Universitas Lampung maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Tim Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan naskah, dengan naskah disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

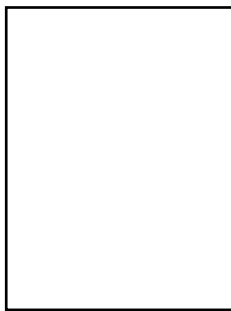
Bandarlampung, 13 September 2023

Yang membuat pernyataan,



Ferdina Humairoh
NPM. 1814221018

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan pada 19 Februari 2000 di Desa Tanjung Iman, Kecamatan Blambangan Pagar, Kabupaten Lampung Utara sebagai anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Muhammad Zainuddin dan Ibu Novawati. Penulis memiliki dua orang adik lelaki bernama Muhammad Habieb dan Hafidz Syaid Hanan.

Penulis menempuh pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Raudhatul Athfal Tunas Harapan Departemen Agama Kotabumi (2005-2006), Sekolah Dasar Negeri (SDN) 04 Tanjung Aman (2006-2012), Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 07 Kotabumi (2012-2015), dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 03 Kotabumi (2015-2018). Penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang sarjana (S1) di tahun 2018 pada Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Semasa menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti kegiatan Magang Pengelolaan Taman Nasional Kepulauan Seribu di Balai Taman Nasional Kepulauan Seribu Seksi Pengelolaan Taman Nasional Wilayah III Pulau Pramuka (09-26 Januari 2020). Penulis mengikuti kerja praktik di Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Stasiun Klimatologi Pesawaran Lampung (03 Agustus-03 September 2020). Pada tahun 2021, penulis tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (Himapik), yaitu menjadi anggota Bidang Komunikasi dan Informasi serta menjadi Bendahara Pelaksana acara *Fisheries and Marine EXPO*

Himapik. Selain itu, penulis menjadi asisten dosen pada praktikum mata kuliah Ekologi Laut Tropis dan Sistem Informasi dan Geografis Terapan pada tahun 2023.

Beberapa kegiatan yang pernah dilaksanakan penulis di antaranya, pada Januari-Februari 2021 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Tanjung Iman, Kecamatan Blambangan Pagar, Kabupaten Lampung Utara. Pada September-November 2021, penulis melaksanakan praktik umum (PU) mandiri dengan judul “Pemodelan Hidrodinamika Arus Laut pada Musim Barat di Perairan Teluk Jakarta”. Pada Agustus-November 2022, penulis melakukan penelitian di Kelurahan Kota Karang dan Desa Karya Tunggal dengan judul “Indeks Kesehatan Mangrove dan Laju Serapan Karbon pada Ekosistem Mangrove di Kota Karang dan Kawasan Ekowisata Mangrove Karya Tunggal”.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat serta karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

Dengan ketulusan hati, kupersembahkan skripsi ini sebagai tanda bukti kasih sayangku.

Untuk yang tersayang:

Buyaku M. Zainuddin dan Bundaku Novawati

yang senantiasa melalui banyak perjuangan serta rasa sakit hanya untukku.

Terima kasih atas setiap kepercayaan yang diberikan sehingga saya bisa sampai pada tahap Sarjana Sains.

Kedua adikku serta seluruh keluarga besar yang senantiasa memberikan dukungan dan menemani langkah di jalan hidupku.

Bapak dan Ibu dosen yang telah memberikan ilmu dengan tulus dan menginspirasi saya serta teman-teman perjuanganku yang senantiasa berada di sampingku ketika kondisi senang ataupun sulit.

Dan almameterku tercinta

Universitas Lampung

MOTO

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri”

(Q.S Ar-Ra’d: 11)

“Bumi yang menjadi saksi, jatuhnya keringat Bunda dan Buya kamu di tanah ini”

(Buya)

“Orang yang paling sempurna bukanlah orang dengan otak yang sempurna, melainkan orang yang dapat mempergunakan sebaik-baiknya dari bagian otaknya yang kurang sempurna”

(Aristoteles)

“Kita hendaknya hidup dengan cara yang membuat kita bahagia, orang tidak menjadi bahagia apabila ia berusaha untuk menjadi bahagia, sebab kita menjadi bahagia karena terlibat dalam proses”

(Aristoteles)

“Kita bisa mulai pelan-pelan dengan langkah kecil setiap harinya, tidak harus langsung mengambil langkah yang besar. Yang terpenting adalah mencoba, bukan cuma diam”

(Fiersa Besari)

“Hidupmu adalah kanvas, dan kamulah pelukisnya”

(FH)

SANWACANA

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, yang senantiasa memberikan limpahan berkat dan rahmat-Nya kepada penulis sehingga skripsi dengan judul “Indeks Kesehatan Mangrove dan Laju Serapan Karbon di Kelurahan Kota Karang, Bandar Lampung dan Desa Karya Tunggal, Lampung Selatan” dapat diselesaikan.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam perjalanan mengerjakan skripsi ini, baik berupa bantuan moral maupun moril. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung;
2. Dr. Indra Gumay Yudha, S.Pi., M.Si. selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan;
3. Eko Efendi S.T., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang telah membantu mengarahkan penulis dalam menyelesaikan penelitian;
4. Oktora Susanti, S.Pi., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membantu mengarahkan penulis dalam menyelesaikan penelitian;
5. Dr. Henky Mayaguezz, S.Pi., M.T selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan arahan dan saran dalam menyelesaikan penelitian;
6. Bunda, Buya, Habieb, Hafidz dan keluarga besarku yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian;
7. Sahabat-sahabat perjuanganku, Daffa Rizky Syafutra, M Fadhil Priyambodo, M Yusuf Azhari, Agung Mas, Fathan Al Fadhil, M Rizki Renaldi, Ima Mulani,

Nazolla Audia Laresty, Veronicka Kury, Suci Arshinta, dan Indah Falupi yang telah memberikan waktu, tenaga, dan pikiran dalam perjalanan penulis menyelesaikan penelitian;

8. Penulis mengharapkan agar skripsi ini dapat memberikan manfaat serta informasi bagi setiap pembacanya mengenai indeks kesehatan mangrove dan laju serapan karbon dengan proses fotosintesis pada ekosistem mangrove.

Bandarlampung, 13 September 2023

Ferdina Humairoh

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	2
1.4 Kerangka Pikir.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Mangrove.....	5
2.2 Distribusi dan Zonasi Mangrove	6
2.3 Lingkungan Mangrove	8
2.4 Karbon	11
2.4.1 Proses Penyerapan Karbon.....	12
2.4.2 Proses Penyimpanan Karbon.....	15
2.4.3 Biomassa Penyimpanan Karbon.....	16
2.5 Metode Menghitung Biomassa.....	17
III. METODE PENELITIAN	20
3.1 Waktu dan Tempat	20
3.2 Alat	21
3.3 Prosedur Penelitian.....	22
3.3.1 Tahap Persiapan	22
3.3.2 Penentuan Stasiun dan Plot Pengamatan.....	22
3.4 Parameter yang Diamati	23
3.4.1 Identifikasi Jenis Mangrove	23
3.4.2 Diameter dan Tinggi Mangrove	23
3.4.3 Tutupan Kanopi.....	25
3.4.4 Indeks Luas Daun (<i>Leaf Area Index</i>)	26
3.5 Pengolahan dan Analisis Data	26
3.5.1 Kerapatan Jenis	27

3.5.2 Analisis Indeks Kesehatan Mangrove	27
3.5.3 Analisis <i>Leaf Area Index</i> (LAI).....	28
3.5.4 Estimasi Serapan Karbon	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1 Kondisi Mangrove di Lokasi Penelitian.....	30
4.2 Indeks Kesehatan Mangrove	31
4.3 Laju Serapan Karbon.....	39
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	42
5.1 Kesimpulan.....	42
5.2 Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN.....	51

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Alat-alat penelitian	21
2. Kategori status degradasi mangrove dalam Kepmen LH No. 201 tahun 2004	26
3. Kategori kondisi mangrove berdasarkan MHI.....	28
4. Nilai kerapatan jenis mangrove (ind/m ²) di Kota Karang dan Karya Tunggal	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pikir penelitian.	4
2. Zonasi mangrove.	7
3. Siklus karbon pada ekosistem mangrove yang dimodifikasi dari Howard <i>et al.</i> (2017).....	13
4. Siklus karbon global yang dimodifikasi dari IPCC (2007).	14
5. Peta lokasi penelitian di Kota Karang	20
6. Peta lokasi penelitian di Karya Tunggal.....	21
7. Skema untuk pengambilan data	22
8. Posisi pengukuran lingkaran batang pohon mangrove pada beberapa tipe batang, yang dipengaruhi oleh sistem perakaran dan percabangan.	24
9. Teknik pengambilan data estimasi tinggi tegakan pohon.....	24
10. Titik pengambilan foto dalam plot.....	25
11. Ilustrasi metode <i>hemispherical photography</i>	25
12. Kondisi mangrove di lokasi penelitian.....	31
13. Rata-rata indeks kesehatan mangrove di Kota Karang dan Karya Tunggal ...	32
14. Kondisi mangrove	33
15. Persentase rata-rata tutupan kanopi mangrove di Kota Karang dan Karya Tunggal	36
16. Rata-rata jumlah pohon mangrove di Kota Karang dan Karya Tunggal	37
17. Diagram laju serapan karbon melalui fotosintesis di kawasan mangrove Kota Karang dan Karya Tunggal	39
18. Dokumentasi pengambilan data penelitian	51

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem pendukung utama bagi kehidupan di wilayah pesisir dan sekitarnya. Berdasarkan data dari Direktorat KTA dan Ditjen PDASRH (2021) luasan mangrove di Provinsi Lampung yang tersisa sebesar 9355 ha. Daerah dengan luasan mangrove terbesar di Lampung yaitu wilayah pesisir Kabupaten Lampung Timur, dengan capaian luas pada tahun 2013 di Labuhan Maringgai dan Pasir Sakti sebesar 2.228,44 ha (Yuliasamaya *et al.*, 2014).

Salah satu fungsi mangrove secara ekologis adalah menyerap dan menyimpan karbon (Rachmawati *et al.*, 2014). Donato *et al.* (2012), menyatakan mangrove memiliki kemampuan penyimpanan karbon tiga kali lebih besar dibandingkan dengan hutan hujan terestrial. Sadelie *et al.* (2012), menyatakan bahwa ekosistem mangrove Indonesia mampu menyerap karbon dari atmosfer sebesar 67,7 megaton CO₂ per tahun, dan jumlah simpanan karbon mencapai 956 mg C ha, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan hutan hujan tropis, rawa gambut, rawa asin dan padang lamun (Kusumaningtyas *et al.*, 2019).

Sembahen *et al.* (2022), telah menganalisis dinamika luasan kawasan mangrove di Desa Margasari Kabupaten Lampung Timur selama periode 2014-2020. Luasan tersebut diketahui dengan citra satelit Landsat, yang kemudian diperoleh bahwa luasan kawasan mangrove menurun pada tahun 2014-2017 sebesar -10,75% dan 2017-2020 sebesar -42,98%, sedangkan lokasi penelitian memiliki luasan 6,65% (700 ha) dari keseluruhan total luasan hutan mangrove yang berada di Lampung

(Monografi Desa Margasari, 2012). Hartoko (2013) menyatakan bahwa mangrove di Pulau Parang, Karimunjawa potensi penyimpanan karbonnya sebesar 128,29 ton/ha. Lebih lanjut Sari (2021) menemukan bahwa simpanan karbon di Sriminosari, Lampung Timur adalah sebesar 20,4 ton/ha pada serasah, 127,3 ton/ha di sedimen, dan 85,2 ton/ha di biomasnya.

Selanjutnya, pada penelitian Akbar *et al.* (2019), diketahui bahwa mangrove di Desa Beureunut, Aceh Besar memiliki kemampuan simpanan karbon 397,53 g/pohon. Windarni *et al.* (2018), menemukan jumlah estimasi karbon tegakan mangrove di Desa Margasari, Lampung Timur sebesar 197,36 ton/ha dan estimasi karbon serasah sebesar 1,25 ton/ha. Andriwibowo *et al.* (2021) memperoleh potensi stok karbon di pesisir Cilamaya, Karawang sebesar 92 ton/ha.

Kelurahan Kota Karang dan Desa Karya Tunggal merupakan wilayah yang berada di dekat ibu kota Provinsi Lampung yang memiliki mangrove. Kedua daerah tersebut memiliki kondisi mangrove yang berbeda. Berdasarkan penelitian, daerah mangrove memiliki potensi penyerap karbon, akan tetapi potensi serapan karbon di kedua wilayah tersebut belum pernah dikaji. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui potensi mangrove di kedua wilayah tersebut sebagai penyerapan karbon.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Menganalisis indeks kesehatan mangrove di Kota Karang dan kawasan ekowisata mangrove Karya Tunggal.
2. Menganalisis laju serapan karbon dengan pendekatan metode *leaf area index* (LAI).

1.3 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai sumber informasi tentang kesehatan mangrove dan penyerapan karbon di Kota Karang dan Karya

Tunggal. Informasi tersebut kemudian dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk pengambilan kebijakan dalam pengelolaan kawasan mangrove terkait mitigasi krisis iklim di wilayah pesisir Kota Karang dan wilayah Ekowisata Mangrove Karya Tunggal khususnya, dan di wilayah Provinsi Lampung pada umumnya.

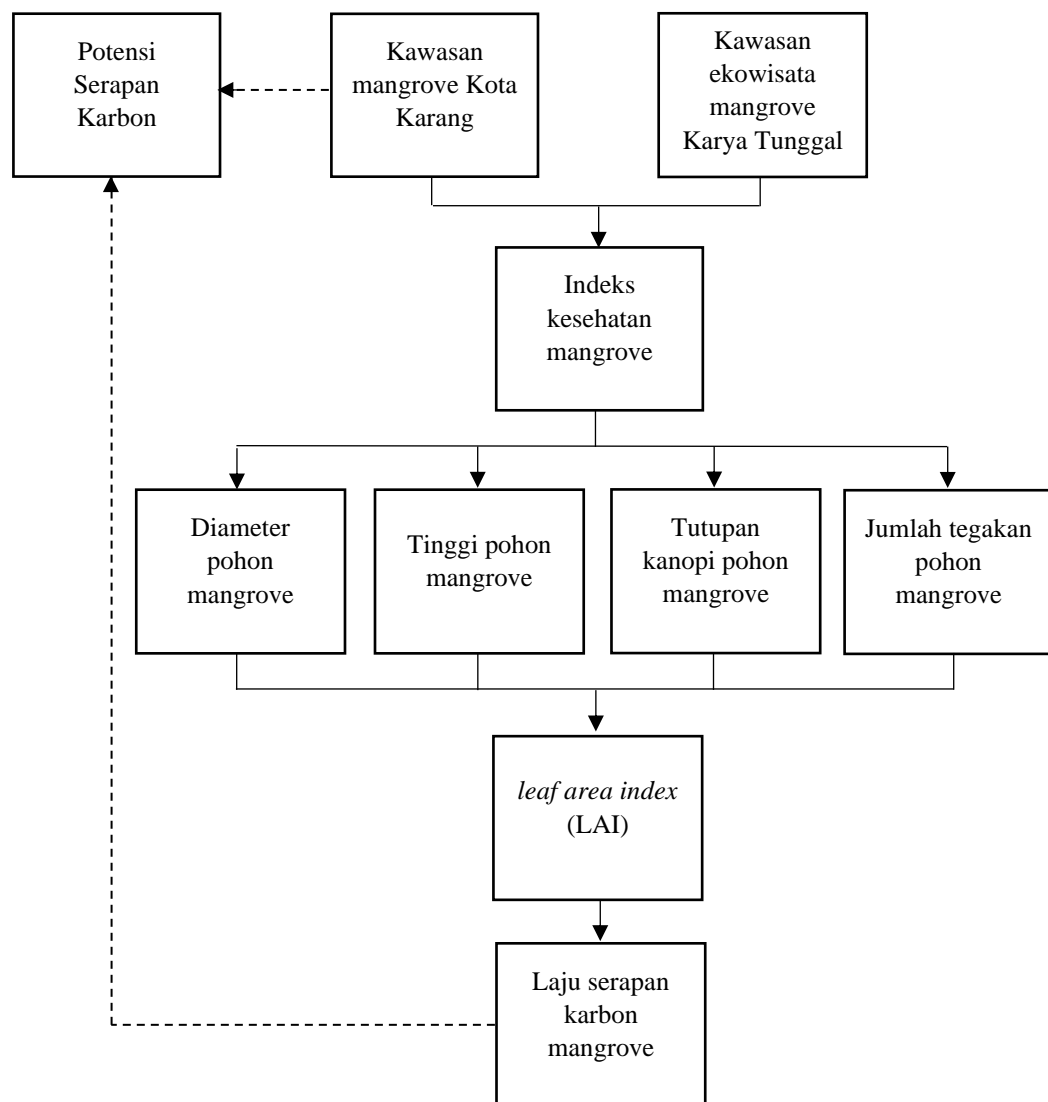
1.4 Kerangka Pikir

Mangrove menjadi salah satu ekosistem pesisir yang memiliki kemampuan menyerap dan menyimpan karbon. Karbon tersimpan tersebut dikenal sebagai karbon biru. Ekosistem mangrove dapat menyerap karbon di atmosfer serta menyimpan karbon baik pada jaringan tumbuhan dan sedimen. Kemampuan ekosistem mangrove menyerap karbon dapat berkurang karena masalah lingkungan dan permasalahan yang diakibatkan oleh tekanan ekologis dan kebutuhan ekonomi oleh masyarakat pesisir.

Kawasan mangrove yang berada di Kota Karang merupakan salah satu ekosistem mangrove yang tersisa di pesisir kota Bandar Lampung. Pada lahan ekosistem mangrove tersebut, masih banyak dijumpai sampah-sampah berserakan. Sampah tersebut kemudian akan berpengaruh terhadap keberlangsungan hidup ekosistem mangrove hingga berdampak pada penyerapan karbonnya. Kondisi kawasan ekowisata mangrove Karya Tunggal, tidak lagi terpapar oleh pasang surut air laut, sedangkan habitat mangrove bersifat unik sebab berada di pesisir pantai dan dipengaruhi pasang surut air laut.

Salah satu langkah yang dapat dilakukan dalam upaya melestarikan ekosistem mangrove yaitu dengan mengetahui indeks kesehatan mangrove. Untuk mendapat indeks kesehatan mangrove, perlu diketahui faktor-faktor yang menjadi penentu nilai tersebut. Kondisi lingkungan dan kesehatan ekosistem mangrove menjadi faktor yang perlu diperhatikan dalam keberlangsungan hidup mangrove. Kedua faktor tersebut akan menunjang pertumbuhan pada tinggi pohon, diameter pohon, kerapatan yang selanjutnya berpengaruh terhadap tutupan kanopi mangrove.

Untuk mendapatkan estimasi serapan karbon dengan proses fotosintesis, diperlukan perhitungan terkait indeks luas daun/*leaf area index* (LAI). Metode LAI secara khusus ditentukan sebagai luas satu sisi dari lembaran hijau daun yang diproyeksikan di atas satuan luas tanah, dan merupakan parameter struktural yang mengontrol pertukaran energi dan gas antara ekosistem darat dan atmosfer. Metode ini dilakukan dengan mengukur intensitas cahaya matahari yang diserap oleh kanopi mangrove, sehingga dihasilkan nilai LAI yang selanjutnya nilai tersebut dikoreksi dan dihitung nilai fotosintesis bersihnya. Kerangka pikir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka pikir penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mangrove

Salah satu vegetasi unik yang hidup pada zona pasang surut air laut yaitu ekosistem mangrove (Mustofa, 2018). Mangrove adalah istilah umum yang digunakan untuk menggambarkan komunitas pesisir tropis yang didominasi oleh banyak spesies pohon atau semak unik yang mampu tumbuh di air payau (Nybakken, 1992). Mangrove juga didefinisikan sebagai formasi tumbuhan daerah litoral yang khas di pantai daerah tropis dan sub tropis yang terlindung (Saenger *et al.*, 1983). Ketika daerah pasang surut mengalami pasang tertinggi hingga surut terendah, mangrove melakukan adaptasi yang sangat baik (Fuady *et al.*, 2013).

Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki garis pantai yang panjang. Komunitas mangrove Indonesia tercatat sebagai kawasan mangrove terluas di dunia, dan Indonesia juga memiliki keanekaragaman mangrove tertinggi di dunia (Tjandra dan Ronaldo, 2011). Keanekaragaman hayati yang tinggi, seperti mangrove, kini dijadikan sebagai aset yang dapat dimanfaatkan dari fungsi ekologisnya. Mangrove termasuk pohon dan perdu yang tergolong dalam 8 famili, terdiri dari 12 genus tumbuhan berbunga, yaitu: *Avicennia*, *Sonneratia*, *Rhizophora*, *Bruguiera*, *Ceriops*, *Xylocarpus*, *Lummitzera*, *Laguncularia*, *Aegiceras*, *Aegiatilis*, *Snaeda* dan *Conocarpus* (Bengen, 1999). Noor *et al.* (2006) menyatakan bahwa 202 spesies tercatat, di mana 43 spesies (termasuk 33 spesies pohon dan beberapa spesies semak) ditemukan sebagai mangrove sejati, sementara yang lain ditemukan di sekitar mangrove dan disebut sebagai mangrove asosiasi. Mangrove sejati merupakan mangrove yang tumbuh pada habitat intertidal bergaram, sedangkan mangrove lainnya yang hidup berasosiasi dengan mangrove sejati dikatakan sebagai mangrove asosiasi.

Lingkungan mangrove merupakan lingkungan dengan karakteristik khusus, karena dasar hutan sering terendam air, dan bergantung pada fluktuasi ketinggian air yang disebabkan oleh salinitas dan pasang surut. Ekosistem mangrove juga didefinisikan sebagai dataran lumpur yang berada di daerah pasang surut dan supratidal di teluk dan muara, serta didominasi halofit, yaitu tumbuhan yang hidup di air asin, dipenuhi pepohonan, mudah beradaptasi, hidup selaras terkait dengan sungai dan rawa serta populasi tumbuhan dan hewan (Kasjian *et al.*, 2007).

2.2 Distribusi dan Zonasi Mangrove

Ekosistem mangrove tersebar di seluruh kepulauan Indonesia (Noor *et al.*, 2006), terutama di pantai timur Sumatera, pantai utara Jawa, pantai barat dan timur Kalimantan, dan bentang alam teluk yang terlindung di Sulawesi, pulau-pulau kecil di Maluku dan pantai selatan Papua. Mangrove tumbuh di lanskap pantai berlumpur, teluk terlindung, delta, dan pulau-pulau kecil. Hingga saat ini, Indonesia menjadi negara dengan hutan mangrove terluas di dunia, meskipun deforestasi dan degradasi mangrove terus terjadi.

Menurut Noor *et al.* (2006), adapun tipe vegetasi mangrove dibagi menjadi empat bagian, yaitu:

a. Mangrove terbuka

Mangrove berada pada bagian yang berhadapan dengan laut. Jenis mangrove yang termasuk jenis ini adalah *Avicennia marina*.

b. Mangrove tengah

Mangrove yang berada di belakang mangrove zona terbuka. Pada lokasi ini didominasi oleh *Rhizophora*.

c. Mangrove payau

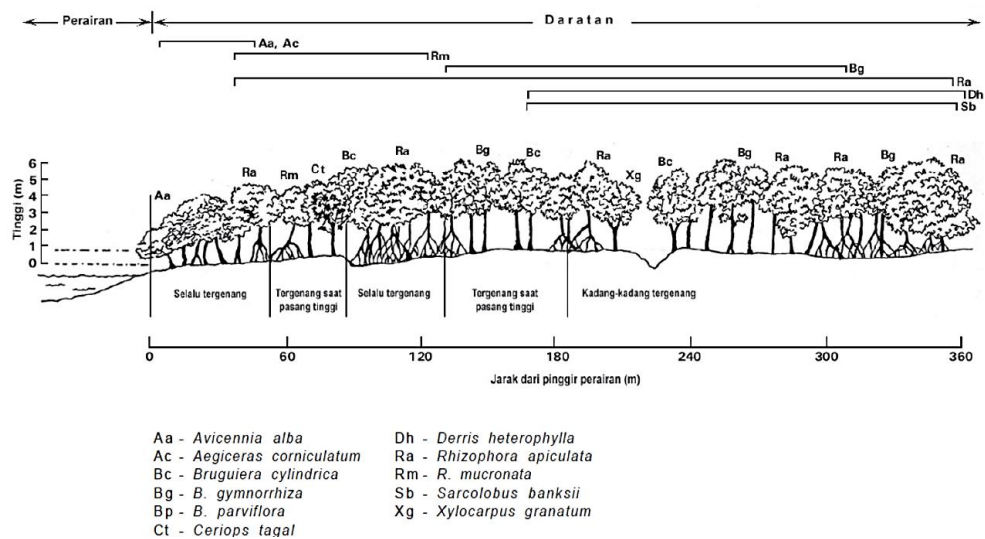
Mangrove yang berada di sepanjang sungai berair payau hingga air tawar. Pada lokasi ini biasanya didominasi oleh *Nypa* atau *Sonneratia*.

d. Mangrove daratan

Mangrove berada di zona perairan payau atau hampir tawar di belakang jalur hijau mangrove yang sebenarnya. Zona ini memiliki kekayaan tertinggi dan jenis-jenis yang umum ditemukan pada zona ini termasuk *Ficus microcarpus*

(*F. retusa*), *Intsia bijuga*, *Nypa fruticans*, *Lumnitzera racemosa*, *Pandanus* sp. dan *Xylocarpus moluccensis*.

Setiap spesies mangrove memiliki batas toleransi terhadap kondisi lingkungan tertentu, dengan demikian satu spesies bisa hanya tumbuh pada satu kondisi lingkungan saja tetapi tidak bagi spesies lainnya. Perbedaan komposisi spesies sepanjang gradien lingkungan pada zona intertidal sering diinterpretasi sebagai suatu pola zonasi. Pada Gambar 2 ditampilkan salah satu contoh sebaran spesies mangrove sepanjang gradien lingkungan di zona intertidal.



Gambar 2. Zonasi mangrove.

Sumber: White *et al.* (1989).

Zona vegetasi mangrove berkaitan erat dengan pasang surut. Di Indonesia, areal yang selalu digenangi, walaupun pada saat pasang rendah, umumnya didominasi oleh *A. alba* atau *S. alba*. Areal yang digenangi oleh pasang sedang didominasi oleh jenis-jenis *Rhizophora*. Adapun areal yang digenangi hanya pada saat pasang tinggi, yang mana areal ini lebih ke daratan, umumnya didominasi oleh jenis-jenis *Bruguiera* dan *X. granatum*, sedangkan areal yang digenangi hanya pada saat pasang tertinggi (hanya beberapa hari dalam sebulan) umumnya didominasi oleh *B. sexangula* dan *L. littorea* (Noor *et al.*, 2006).

2.3 Lingkungan Mangrove

Mangrove memiliki sifat khusus yang mendukung perkembangannya. Ada 3 elemen yang mengatur lingkungan mangrove di lokasi yang berbeda, yaitu: geofisika, geomorfologi, dan biologi (Knox, 2000). Menurut Bengen dan Dutton (2004), ada beberapa parameter lingkungan utama yang menentukan sifat abiotik dari kelangsungan hidup dan pertumbuhan mangrove, yaitu:

a. Suplai air tawar dan salinitas

Ciri-ciri habitat yang umum di kawasan mangrove antara lain pasokan air tawar yang cukup dari darat, seperti dari sungai, mata air, dan air tanah. Menurut Bengen dan Dutton (2004), tingkat salinitas dalam air diklasifikasikan sebagai salinitas rendah (yaitu, salinitas $\pm 0,5 - \pm 5$ ppt), salinitas sedang (salinitas antara $\pm 5 - \pm 18$ ppt), dan salinitas tinggi (yaitu salinitas di atas ± 18 ppt). Nirarita *et al.* (1996) dalam Nursal *et al.* (2005) berpandangan bahwa air payau memiliki salinitas 2-22 ppt atau air asin dengan salinitas sekitar 38 ppt. Perbedaan salinitas ini disebabkan bercampurnya air dengan kandungan salinitas tinggi dengan air salinitas rendah.

Kisaran nilai salinitas dalam batas toleransi untuk pertumbuhan mangrove secara umum berkisar antara 10-30‰ (Hariphin *et al.*, 2016). Ketersediaan air tawar dan konsentrasi salinitas sangat memengaruhi kelestarian ekosistem mangrove. Ketersediaan air tawar bergantung pada: (a) frekuensi dan volume air dari sistem sungai dan irigasi lahan, (b) frekuensi dan volume air pasang surut, dan (c) laju penguapan ke atmosfer.

b. Pasokan nutrisi

Pasokan nutrisi tidak hanya dihasilkan langsung oleh ekosistem mangrove, tetapi juga berasal dari sungai dan lautan (Bengen dan Dutton, 2004). Mangrove membutuhkan nutrisi untuk bertahan hidup. Dua hal yang sangat memengaruhi konsentrasi relatif dan rasio optimal (rasio) nutrisi dalam mempertahankan produktivitasnya: (1) frekuensi, jumlah, dan durasi genangan air asin atau air tawar, dan (2) sirkulasi dinamis internal dan kompleks detritus. Proses-proses tersebut sangat memengaruhi suplai nutrisi pada ekosistem mangrove.

Nutrien nitrat merupakan salah satu elemen penyusun protein, asam nukleat dan klorofil. Sebab itu, nutrisi sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan mangrove. Penambahan nutrisi akan berdampak pada diameter batang, tinggi, dan jumlah tegakan yang baik untuk kehidupan mangrove (Hermayanti, 2014).

c. Substrat

Menurut Darmadi *et al.* (2012), karakteristik substrat menjadi faktor pembatas kehidupan bagi mangrove. Jenis substrat sangat memengaruhi komposisi dan kerapatan vegetasi mangrove yang hidup di atasnya. Vegetasi mangrove umumnya tumbuh di tanah berlumpur, tetapi beberapa spesies dapat tumbuh di tanah pasir, karang, kerikil, dan gambut (Kusmana *et al.*, 2008). Potensi penyimpanan karbon yang besar, ada pada substrat berlumpur. Tanah mangrove memiliki karakteristik kelembaban normal, mengandung kadar garam, oksigen rendah, dan kaya bahan organik. Pembentukan tanah mangrove dipengaruhi oleh: (1) faktor fisik, seperti pengangkutan hara oleh sungai, dan arus pasang surut; (2) faktor fisik-kimia, seperti agregasi berbagai partikel; (3) faktor biologis, seperti produksi bahan organik dan dekomposisi. Tanah mangrove terdiri dari berbagai komposisi yang berbeda-beda, dan terbagi menjadi pasir, lumpur, dan lempung.

Tipe substrat pada suatu pantai sangat memengaruhi pertumbuhan mangrove. Tipe tanah jenis *silt* (debu) dan *clay* (liat) merupakan faktor penunjang proses regenerasi dimana partikel liat yang berupa lumpur akan menangkap buah tumbuhan mangrove yang jatuh ketika sudah masak. Proses regenerasi ini sangat memengaruhi kerapatan mangrove di suatu area. Sebaliknya pada pantai dengan substrat berpasir atau pasir dengan campuran pecahan karang, kerapatan mangrovenya akan rendah karena jenis substrat tersebut tidak mampu menangkap atau menahan buah mangrove yang jatuh sehingga proses regenerasi tidak terjadi (Kordi, 2012)

Karakteristik habitat yang umum di kawasan mangrove antara lain jenis tanah berlumpur, lempung dan berpasir, tergenang air laut secara periodik, kestabilan substrat, rasio antara erosi, dan perubahan lokasi sedimen yang dipengaruhi oleh laju aliran air tawar, muatan sedimen, dinamika pasang surut, dan angin. Pentingnya perubahan sedimentasi terhadap spesies mangrove tercermin dari kemampuan

mangrove untuk menahan berbagai dampak terhadap ekosistemnya. Perubahan utama sedimentasi dalam ambang kritis meliputi: (1) akumulasi sedimen dan kolonisasi oleh mangrove; (2) nutrien, polutan, dan endapan lumpur yang dapat menyimpan nutrisi dan menyaring zat beracun.

d. Oksigen terlarut

Tumbuhan dan hewan yang berasosiasi dengan mangrove membutuhkan oksigen terlarut untuk proses fotosintesis dan respirasi (Aksornkoe, 1993). Tanah mangrove umumnya berlumpur dan selalu jenuh air, sehingga hanya ada sedikit rongga udara untuk menyerap oksigen. Kadar oksigen terlarut di perairan mangrove umumnya lebih rendah dibandingkan dengan di laut terbuka (Bengen dan Dutton, 2004). Mengingat oksigen diserap untuk penguraian bahan organik, kandungan oksigen akan lebih rendah disebabkan kelebihan bahan organik, sehingga membentuk zona anoksik. Oksigen pada permukaan sedimen digunakan oleh bakteri untuk dekomposisi bahan organik dan respirasi (Aksornkoe, 1993). Oksigen terlarut berasal dari sirkulasi pasang surut dan pengaruh atmosfer.

Untuk mengatasi kekurangan oksigen, tanaman mangrove beradaptasi melalui sistem perakaran yang unik. Contohnya adalah *Avicennia* sp. dan *Sonneratia* sp. Jenis mangrove tersebut mengatasinya dengan adanya sel-sel udara pada akar. Adanya lubang-lubang di tanah yang dibuat oleh hewan seperti kepiting juga bisa mengatasi kekurangan oksigen. Konsentrasi oksigen terlarut bervariasi menurut waktu, musim, kesuburan tanah, dan keragaman tanaman dan hewan akuatik. Konsentrasi oksigen terlarut harian tertinggi terjadi pada siang hari dan terendah pada malam hari.

e. Pasang surut air laut

Durasi pasang surut memiliki pengaruh besar terhadap variasi salinitas di kawasan mangrove (Aksornkoe, 1993). Salinitas air laut meningkat pada saat pasang dan menurun pada saat surut. Hal ini dapat membatasi zonasi dan sebaran jenis mangrove, terutama sebaran horizontal (Kusmana *et al.*, 2008). Area dari pasang surut tengah sampai pasang surut tertinggi merupakan zona pertumbuhan mangrove

(Bengen dan Dutton, 2004). Pada daerah yang selalu tergenang saat pasang sedang, hanya *R. mucronata* yang tumbuh dengan baik, sedangkan *Bruguiera* spp. dan *Xylocarpus* spp. jarang mendominasi di area ini.

Ekosistem mangrove yang tumbuh pada zona pasang harian memiliki struktur dan kesuburan yang berbeda dengan zona pasang surut semidiurnal atau pasang campuran (Aksornkoe, 1993). Rentang pasang surut dapat memengaruhi sistem perakaran mangrove. Pada daerah dengan pasang surut yang lebar, *pneumatofora* dari *A. alba.*, *S. alba.*, dan *X. moluccensis* tumbuh lebih tinggi daripada di daerah sempit. Bengen dan Dutton (2004) menunjukkan bahwa pada saat pasang perbani dan pasang purnama, mangrove sejati terbatas pada zona intertidal antara permukaan laut. Mangrove dapat tumbuh hingga 45 m jika hidup dalam kondisi optimal, seperti di delta sungai, muara dan laguna, sehingga dapat memberikan manfaat ekonomi yang tinggi.

2.4 Karbon

Karbon adalah unsur yang paling berlimpah keempat di alam semesta dan memainkan peran penting dalam kesehatan dan stabilisasi planet melalui siklus karbon. Secara umum, karbon akan diambil dari udara oleh organisme fotoautotrof (tumbuhan, ganggang, dan lainnya yang mampu melakukan fotosintesis). Organisme tersebut, sebut saja tumbuhan, akan memproses karbon menjadi bahan makanan yang disebut karbohidrat, dengan proses kimia sebagai berikut : $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$ (+Sinar Matahari yang diserap Klorofil) $\leftrightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$.

Karbon adalah unsur kimia yang memiliki nomor atom 6 (C2) (Badan Standardisasi Nasional, 2011). Tumbuhan akan mengurangi karbon dioksida di atmosfer (CO_2) diserap melalui proses fotosintesis dan tumbuhan akan menyimpannya dalam jaringan tumbuhan. Sampai waktunya karbon tersebut tersikluskan kembali ke atmosfer, karbon tersebut akan menempati salah satu dari sejumlah kantong karbon. Semua komponen penyusun vegetasi, baik pohon, semak, liana dan epifit, merupakan bagian dari biomassa atas permukaan. Di bawah permukaan tanah, akar tumbuhan juga merupakan penyimpan karbon selain tanah. Pada tanah

gambut, jumlah simpanan karbon mungkin lebih besar dibandingkan dengan simpanan karbon di permukaan.

Pada umumnya unsur karbon menyusun 45-50% bahan kering (biomassa) dari tanaman. Karbon tersimpan dalam bahan yang sudah mati seperti serasah, batang pohon yang jatuh ke permukaan tanah, dan sebagai material sukar lapuk di dalam tanah (Whitmore, 1984). Kegiatan deforestasi menghasilkan emisi tahunan yang tinggi dan memberikan kontribusi yang besar terhadap efek rumah kaca. Emisi gas terbesar yang dihasilkan kegiatan deforestasi adalah CO₂. Sejak jumlah CO₂ meningkat secara drastis di atmosfer sebagai masalah lingkungan global, berbagai pakar ekologi tertarik untuk menghitung jumlah karbon yang tersimpan di hutan.

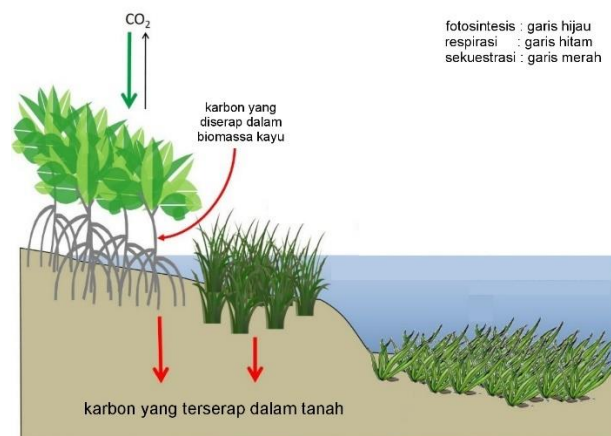
2.4.1 Proses Penyerapan Karbon

Mekanisme tanaman dalam menyerap karbon melalui fotosintesis. Fotosintesis adalah proses penyusunan energi menggunakan cahaya pada organisme yang memiliki kloroplas. Fotosintesis adalah proses kimia yang paling penting di bumi ini. Kebanyakan tanaman melakukan fotosintesis pada daunnya. Proses fotosintesis diawali dengan reaksi terang. Pada reaksi terang, energi matahari diubah menjadi dan mengeluarkan oksigen. Tahap yang kedua adalah siklus *calvin* yang membuat molekul gula dari karbon dan membutuhkan energi (ATP) yang didapat dari proses respirasi. Siklus ini juga membawa hasil produksi dari reaksi terang (Campbell *et al.*, 2005).

Hutan berperan dalam upaya peningkatan penyerapan CO₂ di mana dengan bantuan cahaya matahari dan air dari tanah, vegetasi yang berklorofil mampu menyerap CO₂ dari atmosfer melalui proses fotosintesis. Hasil fotosintesis ini antara lain disimpan dalam bentuk biomassa yang menjadikan vegetasi tumbuh menjadi makin besar atau makin tinggi. Pertumbuhan ini akan berlangsung terus sampai vegetasi tersebut secara fisiologis berhenti tumbuh atau dipanen. Secara umum hutan dengan "*net growth*" (terutama dari pohon-pohon yang sedang berada pada fase pertumbuhan) mampu menyerap lebih banyak CO₂, sedangkan hutan dewasa dengan pertumbuhan yang kecil hanya menyimpan stok karbon tetapi tidak menyerap CO₂ berlebih. Biomassa hutan sangat relevan dengan isu perubahan iklim.

Biomassa hutan berperan penting dalam siklus biogeokimia terutama dalam siklus karbon. Dari keseluruhan karbon hutan, sekitar 50% di antaranya tersimpan dalam vegetasi hutan. Sebagai konsekuensi, jika terjadi kerusakan hutan, kebakaran, pembalakan, dan sebagainya akan menambah jumlah karbon di atmosfer (IPCC, 1995).

Mangrove juga berfungsi sebagai penyerap karbon di atmosfer dan merupakan bagian dari konsep *blue carbon*, yang mana memiliki peranan dalam menyimpan karbon baik pada jaringan maupun di dalam sedimen (Sondak *et al.*, 2015). Ekosistem mangrove yang lestari tentu sangat diperlukan, sebab ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem yang mampu mereduksi CO₂ melalui mekanisme “sekuestrasi” yaitu penyerapan karbon dari atmosfer dan penyimpanannya dalam beberapa kompartemen seperti tumbuhan, serasah dan materi organik tanah (Hairiah dan Subekti, 2007). Proses penyerapan karbon dioksida di atmosfer, melalui proses fotosintesis pada ekosistem mangrove dapat dilihat pada Gambar 3.

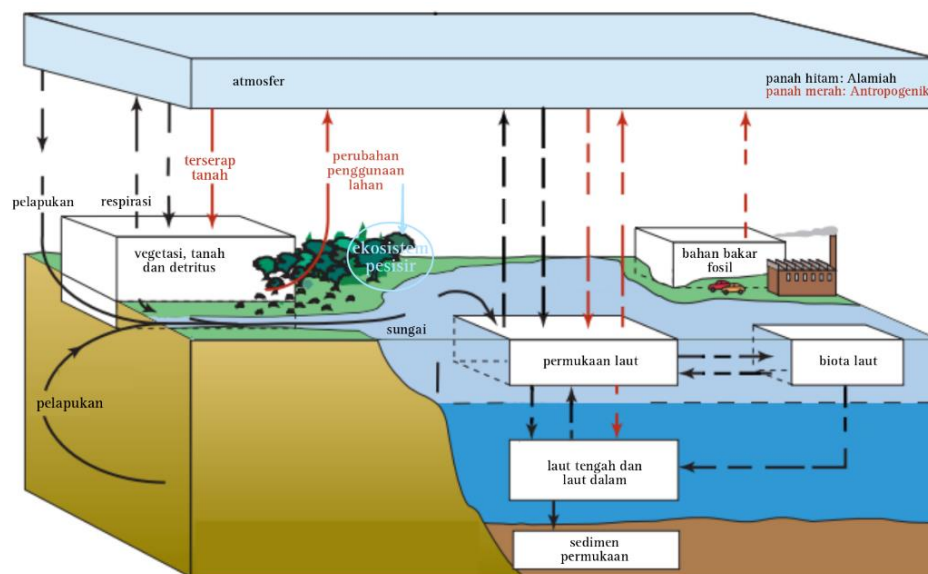


Gambar 3. Siklus karbon pada ekosistem mangrove yang dimodifikasi dari Howard *et al.* (2017)

Karbon diambil dari atmosfer pada saat mangrove melakukan fotosintesis (panah hijau pada Gambar 3) untuk mengubah karbon dioksida menjadi karbohidrat, dan melepaskan oksigen ke atmosfer dalam proses respirasi. Selanjutnya, CO₂ yang diubah menjadi karbohidrat didistribusikan ke seluruh tubuh mangrove dan ditimbun dalam bentuk daun, batang, cabang, buah dan bunga dan diubah dalam bentuk biomassa (Hairiah *et al.*, 2011). Proses fotosintesis ini berlangsung dengan faktor

yang memengaruhi seperti kondisi lingkungan (suhu, kecepatan angin, kelembaban, dan konsentrasi CO₂), sejarah hidup daun-daun, ketersediaan nutrisi dan kelembaban tanah, pertukaran gas pada stomata, dan jalur tertentu fotosintesis (Roy *et al.*, 2001).

Pada sebagian besar ekosistem, bahan vegetasi membusuk dan melepaskan karbon kembali ke atmosfer. Jumlah karbon dalam bentuk karbon bebas sangat dipengaruhi oleh faktor antropogenik, seperti penggunaan lahan dan akibat bahan bakar fosil. Namun hutan mangrove justru mengandung sejumlah besar bahan organik yang tidak membusuk, sehingga karbon terikat membentuk biomassa tubuh (Wirakusumah, 2003). Selain itu, jumlah karbon pada atmosfer juga dipengaruhi oleh besarnya hasil proses fotosintesis, dan respirasi pada vegetasi, tanah dan detritus. Karbon organik dalam dedaunan hijau kemudian masuk ke tubuh organisme melalui proses pencernaan dan kembali ke udara melalui proses respirasi. Rangkaian proses ini menghasilkan siklus yang disebut dengan siklus karbon (Gambar 4).



Gambar 4. Siklus karbon global yang dimodifikasi dari IPCC (2007).

Saat kandungan CO₂ dalam atmosfer bumi mengalami peningkatan, yang disebabkan oleh aktivitas antropogenik maupun alam, potensi emisi rumah kaca (ERK) pun naik sehingga mengakibatkan suhu bumi meningkat (Gambar 4). Dengan adanya tempat penyimpanan karbon seperti halnya mangrove pada ekosistem pesisir,

dapat membantu kandungan CO₂ yang terdapat di atmosfer menurun dan mengakibatkan penurunan intensitas emisi rumah kaca. Hutan mangrove merupakan salah satu kawasan yang dapat mengatur emisi rumah kaca. Dengan adanya penurunan luas hutan mangrove akan mengakibatkan daya simpan karbon pun menurun. Penebangan hutan akan mengakibatkan karbon yang terikat dalam biomassa terlepas dari rusaknya karbon dalam bentuk CO₂ dan masuk ke dalam atmosfer sehingga kadar CO₂ dalam atmosfer menjadi naik (Soemarwoto, 1998).

2.4.2 Proses Penyimpanan Karbon

Karbon juga masih tersimpan pada bahan organik mati dan produk-produk berbasis biomassa, seperti produk kayu, baik ketika masih dipergunakan maupun sudah berada di tempat penimbunan. Dalam siklus karbon, vegetasi melalui fotosintesis mengubah CO₂ dari udara dan air menghasilkan karbohidrat dan oksigen. Karbohidrat yang terbentuk disimpan oleh vegetasi dan sebagian oksigen dilepaskan ke atmosfer (Fardiaz, 1992). Menurut Whitmore (1984) umumnya karbon menyusun 45–50% berat kering dari biomassa. Menurut Dury *et al.* (2002) biomassa karbon pada tegakan hutan terdapat pada:

- a. Pohon dan akar (Tr), yaitu pada biomassa hidup baik yang terdapat di atas permukaan tanah atau di bawah permukaan dari berbagai jenis pohon, termasuk batang, daun, cabang, dan akar;
- b. Vegetasi lain (OV), yaitu pada vegetasi bukan pohon (semak, belukar, herba, dan rerumputan);
- c. Sampah hutan, yaitu pada biomassa mati di atas lantai hutan, termasuk sisa pemanenan ; dan
- d. Tanah (S), yaitu pada karbon tersimpan dalam bahan organik (humus) maupun dalam bentuk mineral karbon. Karbon dalam tanah mungkin mengalami peningkatan atau penurunan bergantung pada kondisi tempat sebelumnya dan kondisi pengolahan.

2.4.3 Biomassa Penyimpanan Karbon

Biomassa adalah total berat atau volume organisme dalam suatu area atau volume tertentu (IPCC,1995). Biomassa juga didefinisikan sebagai total jumlah materi hidup di atas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan dengan satuan ton berat kering per satuan luas (Brown, 1997). Pengukuran biomassa hutan mencakup seluruh biomassa hidup di atas dan di bawah permukaan dari pepohonan, semak, palem, anakan pohon, dan tumbuhan bawah lainnya, tumbuhan menjalar, liana, epifit dan sebagainya ditambah dengan biomassa dari tumbuhan mati seperti kayu dan serasah (IPCC,1995).

Proporsi terbesar penyimpanan karbon di daratan umumnya terdapat pada komponen pepohonan. Jumlah karbon dalam tegakan pohon dipengaruhi oleh proses fotosintesis dan respirasi dari tegakan pohon yang akan memengaruhi jumlah karbon dioksida bebas di atmosfer (Muhdi, 2008). Hubungan timbal balik ini merupakan proses pengikatan dan pelepasan karbon bebas di atmosfer menjadi karbon terikat pada tegakan pohon. Tegakan pohon menggunakan energi cahaya matahari untuk memecah molekul air dan menggabungkannya dengan karbon dioksida untuk dijadikan karbohidrat.

Dalam inventarisasi karbon hutan, *carbon pool* (kantong karbon) yang diperhitungkan setidaknya ada 4 kantong karbon. Kantong karbon adalah wadah dengan kapasitas untuk menyimpan karbon dan melepaskannya. Keempat kantong karbon tersebut adalah biomassa atas permukaan, biomassa bawah permukaan, bahan organik mati, dan karbon organik tanah, sedangkan pengertian dari masing-masing 4 kantong karbon adalah sebagai berikut:

- a. Biomassa atas permukaan tanah adalah semua material hidup di atas permukaan tanah. Termasuk bagian dari kantong karbon di permukaan tanah ini adalah pada batang, tunggul, cabang, kulit kayu, biji, dan daun dari vegetasi, baik dari strata pohon maupun dari strata tumbuhan bawah di lantai hutan.
- b. Biomassa bawah permukaan tanah adalah semua biomassa dari akar tumbuhan yang hidup. Pengertian akar ini berlaku hingga ukuran diameter tertentu yang ditetapkan. Hal ini dilakukan sebab akar tumbuhan dengan diameter yang lebih

kecil dari ketentuan cenderung sulit untuk dibedakan dengan bahan organik tanah dan serasah.

- c. Bahan organik mati meliputi kayu mati dan serasah. Serasah dinyatakan sebagai semua bahan organik mati dengan berbagai tingkat dekomposisi yang terletak di permukaan tanah. Kayu mati, akar mati, dan tunggul dengan diameter lebih besar dari diameter yang telah ditetapkan adalah semua bahan organik mati yang tidak tercakup dalam serasah baik yang masih tegak maupun yang roboh di tanah.
- d. Karbon organik tanah mencakup karbon pada tanah mineral dan tanah organik termasuk gambut.

Hutan, tanah, laut, dan atmosfer semuanya menyimpan karbon yang berpindah secara dinamis di antara tempat-tempat penyimpanan tersebut sepanjang waktu. Tempat penyimpanan ini disebut dengan kantong karbon aktif (*active carbon pool*). Penggundulan hutan akan mengubah kesetimbangan karbon dengan meningkatkan jumlah karbon yang berada di atmosfer dan mengurangi karbon yang tersimpan di hutan, tetapi hal ini tidak menambah jumlah keseluruhan karbon yang berinteraksi dengan atmosfer. Tumbuhan akan mengurangi karbon di atmosfer melalui proses fotosintesis dengan menyerap CO₂ dan menyimpannya dalam jaringan tumbuhan. Penyusun vegetasi baik pohon, semak, liana, dan epifit merupakan bagian dari biomassa atas permukaan. Akar tumbuhan di bawah permukaan tanah juga merupakan penyimpan karbon selain tanah tersebut (Sutaryo, 2009).

2.5 Metode Menghitung Biomassa

Menurut Katili *et al.* (2020) terdapat 4 metode utama untuk menghitung biomassa, yaitu (1) sampling dengan pemanenan (*destructive sampling*); (2) *sampling* tanpa pemanenan (*non-destructive sampling*); (3) Pendugaan melalui penginderaan jauh; dan (4) pembuatan model. Untuk masing-masing metode tersebut, persamaan alometrik digunakan untuk mengekstrapolasi cuplikan data ke area yang lebih luas. Penggunaan persamaan alometrik standar yang telah dipublikasikan sering dilakukan, tetapi karena koefisien persamaan alometrik ini bervariasi untuk setiap lokasi dan spesies, penggunaan persamaan standar ini dapat mengakibatkan galat (*error*) yang signifikan dalam mengestimasi biomassa suatu vegetasi. Hal ini

disebabkan koefisien persamaan alometrik bervariasi untuk setiap lokasi dan spesies. Menurut Katili *et al.* (2020), metode untuk menghitung biomassa adalah sebagai berikut:

1. Sampling dengan pemanenan

Metode ini dilaksanakan dengan memanen seluruh bagian tumbuhan termasuk akarnya, mengeringkannya dan menimbang berat biomasanya. Pengukuran dengan metode ini untuk mengukur biomassa hutan dapat dilakukan dengan mengukur beberapa area cuplikan atau melakukan ekstrapolasi untuk area yang lebih luas dengan menggunakan persamaan alometrik. Meskipun metode ini terhitung akurat untuk menghitung biomassa pada cakupan area kecil, yang menjadi bahan pertimbangan adalah metode ini terhitung mahal, sangat memakan waktu dan merusak ekosistem.

2. Sampling tanpa pemanenan

Metode ini merupakan cara sampling dengan melakukan pengukuran tanpa melakukan pemanenan. Metode sampling tanpa pemanenan dilakukan dengan mengukur tinggi atau diameter pohon dan menggunakan persamaan alometrik untuk mengekstrapolasi biomassa.

3. Pendugaan melalui penginderaan jauh

Penggunaan teknologi penginderaan jauh umumnya tidak dianjurkan terutama untuk proyek-proyek dengan skala kecil. Kendala yang umumnya adalah karena teknologi ini relatif mahal dan secara teknis membutuhkan keahlian tertentu yang mungkin tidak dimiliki oleh pelaksana proyek. Metode ini juga kurang efektif pada daerah aliran sungai, pedesaan atau wanatani (*agroforestry*) yang berupa mosaik dari berbagai penggunaan lahan dengan persil berukuran kecil (beberapa hektar saja).

4. Pembuatan model

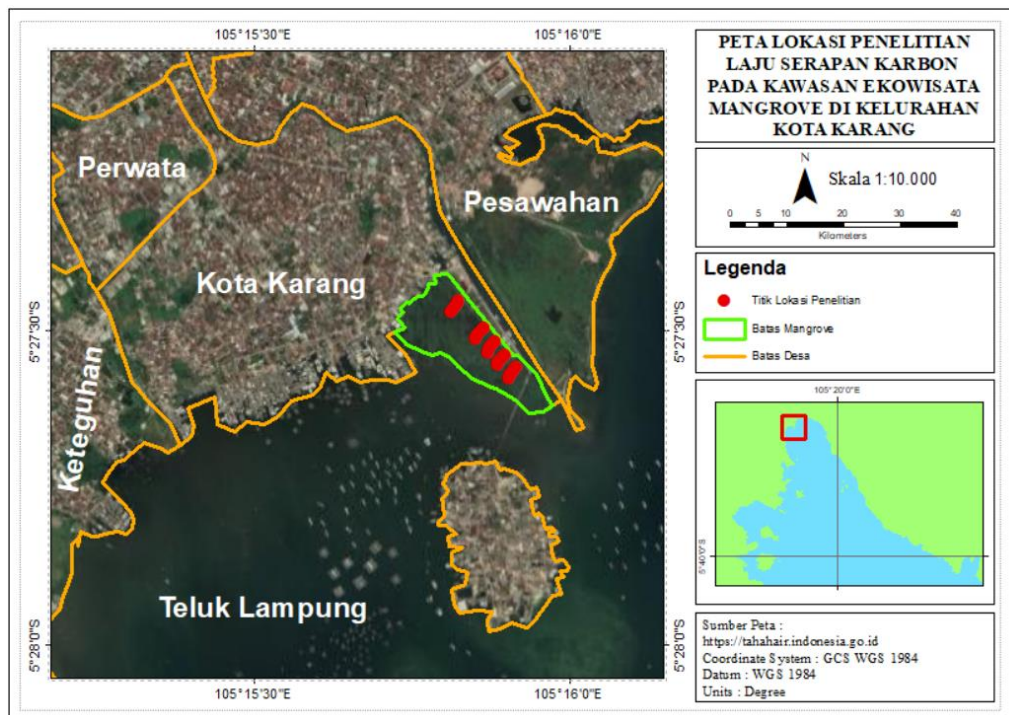
Model digunakan untuk menghitung estimasi biomassa dengan frekuensi dan intensitas pengamatan *in situ* atau penginderaan jauh yang terbatas. Umumnya, model empiris ini didasarkan pada jaringan dari sampel plot yang diukur berulang,

yang mempunyai estimasi biomassa yang sudah menyatu atau melalui persamaan alometrik yang mengonversi volume menjadi biomassa.

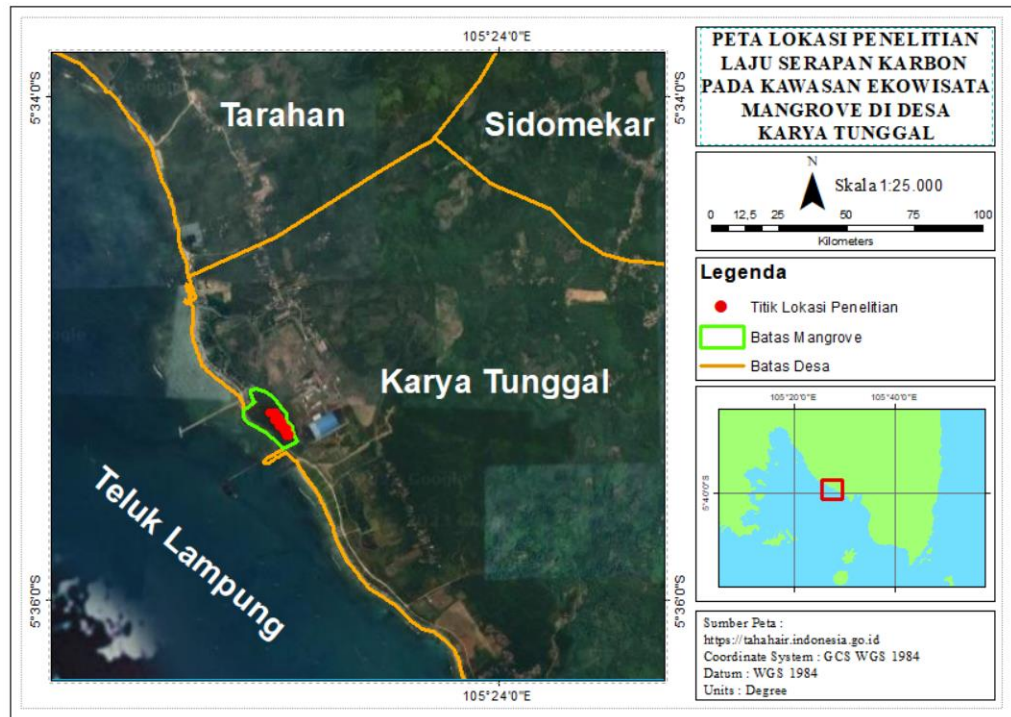
III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus - November 2022. Lokasi penelitian yaitu pada kawasan mangrove Kelurahan Kota Karang, Kecamatan Teluk Betung Timur, Kota Bandar Lampung dan kawasan ekowisata mangrove desa Karya Tunggal, Kecamatan Katibung, Kabupaten Lampung Selatan. Peta penelitian disajikan pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Peta lokasi penelitian di Kota Karang.



Gambar 6. Peta lokasi penelitian di Karya Tunggal.

3.2 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat-alat penelitian

No.	Nama Alat	Kegunaan
1.	<i>Lux</i> meter	Mengukur intensitas cahaya di kanopi mangrove.
2.	<i>Handphone</i>	Dokumentasi dan pengambilan data lapang.
3.	Tali raffia	Membuat transek kuadran dan penanda stasiun pengamatan.
4.	<i>Roll</i> meter	Mengukur transek.
5.	Topi	Perlengkapan dasar pribadi.
6.	Sepatu <i>allbike</i>	Perlengkapan dasar pribadi.
7.	Papan ujian	Alas untuk mencatat.
8.	Alat tulis	Mencatat hasil pengamatan.
9.	Meteran jahit	Menghitung lingkaran batang pohon dan anak-anak mangrove.

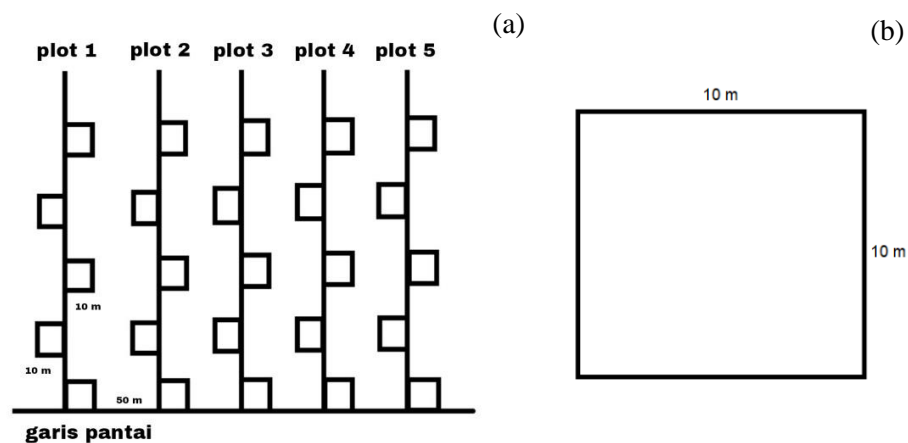
3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Tahap Persiapan

Tahap ini merupakan tahap awal penelitian yaitu studi literatur, kegiatan observasi/survei lapangan dengan cara mengumpulkan informasi dari masyarakat setempat tentang sejarah di lokasi penelitian kemudian menyiapkan alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian di lapangan.

3.3.2 Penentuan Stasiun dan Plot Pengamatan

Penentuan lokasi ini dilakukan secara *purposive sampling*. Menurut Sugaepi (2013) *purposive* adalah suatu teknik penentuan lokasi secara sengaja. Pengambilan data dalam penelitian ini menggunakan metode *sampling* tanpa pemanenan. Pengamatan dilakukan pada plot pengamatan. Setiap stasiun dibagi menjadi 5 plot dengan jarak antar plot 50 m setiap plot, kemudian dibagi menjadi 5 sub plot pengamatan dan menggunakan transek kuadrat yang berukuran 10x10 m. Jarak antara subplot adalah 10 m. Plot pengamatan dibuat tegak lurus dari garis pantai menggunakan metode transek garis. Subplot ditempatkan berselang-seling di sisi kiri dan kanan transek garis. Skema penempatan plot dan subplot disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema untuk pengambilan data.

Keterangan: a. Penempatan plot dan sub plot di setiap stasiun
b. Ukuran transek kuadrat pada setiap sub plot

3.4 Parameter yang Diamati

3.4.1 Identifikasi Jenis Mangrove

Pengamatan jenis mangrove dilakukan pada setiap subplot. Jenis yang ditemukan diidentifikasi berdasarkan karakter kunci identifikasi seperti jenis akar, morfologi daun dan alat reproduksi (bunga dan buah). Identifikasi dilakukan dengan mencocokkan karakter kunci tersebut dengan panduan identifikasi pada aplikasi Mon-Mang 2.0.

3.4.2 Diameter dan Tinggi Mangrove

Data diameter diukur dari setiap tegakan yang masuk ke dalam kriteria pohon berdasarkan Ghufrona *et al.* (2015). Data diameter diperoleh dari pengukuran lingkaran batang. Pengukuran keliling lingkaran batang dilakukan pada posisi yang sama dengan tinggi dada orang dewasa ($\pm 1,3$ m). Hasil pengukuran keliling ini kemudian dikonversi menjadi diameter batang dengan persamaan:

$$DBH = \frac{GBH}{\pi} \dots\dots\dots(1)$$

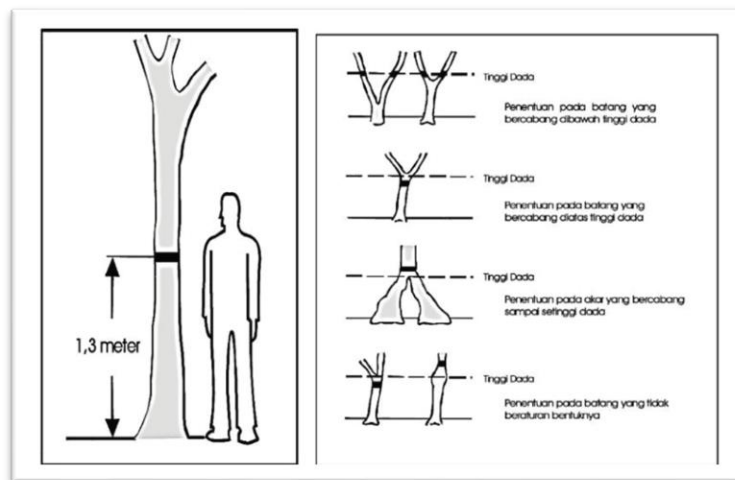
Keterangan:

DBH : *Diameter at breast height* / diameter pohon setinggi dada (cm)

GBH : *Girth at breast height* / keliling lingkaran batang pohon setinggi dada (cm)

π : 3,14

Untuk kondisi tertentu, misalnya terdapat percabangan atau jenis akar, penentuan tinggi pohon setinggi dada akan ditentukan berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove, posisi pengukuran ditampilkan pada Gambar 8.



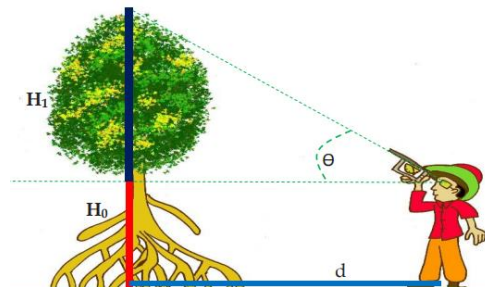
Gambar 8. Posisi pengukuran lingkaran batang pohon mangrove pada beberapa tipe batang, yang dipengaruhi oleh sistem perakaran dan percabangan.
 Sumber: (KepMen LH No. 201 Tahun 2004)

Tinggi pohon diukur dengan metode *pythagoras*, yaitu perbandingan sisi miring dengan sisi sejajar pengamat. Sisi miring ditentukan dengan sudut antara pengamat yang berada pada ketinggian setinggi dada dan puncak pohon. Sisi mendatar adalah jarak antara pohon dan pengamat. Penentuan sudut dan perhitungan dilakukan dengan bantuan aplikasi MonMang 2.0 dan seluruh data dicatat pada aplikasi. Perhitungan tinggi pohon dihitung pada persamaan 2, sedangkan ilustrasi penentuan sisi miring, tinggi dan sudut disajikan pada Gambar 9.

$$H = H_0 + (d \times \tan \theta) \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- H : Tinggi pohon (m)
- H₀ : Tinggi mata pengamat (m)
- φ : Jarak pengukuran (m)
- θ : Sudut ujung tertinggi kanopi (°)

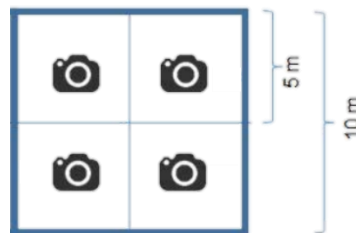


Gambar 9. Teknik pengambilan data estimasi tinggi tegakan pohon.
 Sumber: Dharmawan *et al.* (2020)

Selain data diameter dan tinggi pohon, dicatat pula data jumlah semai di setiap subplot serta persentase tutupan sampah. Estimasi penutupan sampah plastik dibagi lima kategori, yaitu: 0% (tidak ada tutupan sampah); 1-25% (ada sedikit tutupan sampah / jumlahnya jarang); 25-50% (sampah menutupi hampir di sebagian substrat); 50-75% (penutupan sampah lebih banyak dibandingkan dengan substrat); dan 75-100% (sampah menutupi hampir bahkan seluruh substrat).

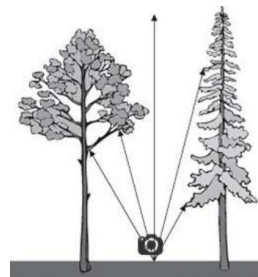
3.4.3 Tutupan Kanopi

Data tutupan kanopi diukur pada setiap subplot. Data tutupan kanopi didapatkan dengan metode *hemispherical photography*. Metode *hemispherical photography* dilakukan dengan mengambil foto tutupan kanopi di setiap subplot. Subplot dibagi menjadi 4 bagian kecil berukuran 5 x 5 m² (Gambar 10). Foto diambil dari bagian tengah subplot yang dibagi di antara pohon. Kamera diletakkan dengan lensa menghadap ke atas pada posisi yang sejajar dengan ketinggian pohon setinggi dada (DBH). Ilustrasi pengambilan foto disajikan pada Gambar 11.



Gambar 10. Titik pengambilan foto dalam plot.

Sumber: Dharmawan dan Pramudji, (2014)



Gambar 11. Ilustrasi metode *hemispherical photography*.

Sumber: Dharmawan dan Pramudji, (2014)

Tutupan kanopi dihitung berdasarkan perbandingan jumlah piksel maksimal (hitam) yang bernilai 255 jumlah piksel total hasil pemotretan. Perhitungan tersebut

digunakan pada setiap foto *hemisphere* pada persamaan (3) (Dharmawan *et al.*, 2020) :

$$C = P_{255} / P_{total} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

- C : Persentase tutupan kanopi (%)
 P₂₅₅ : Jumlah *pixel* yang bernilai 255, kanopi
 P_{total} : Jumlah seluruh *pixel* foto

Berdasarkan keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 201 tahun 2004, kriteria tutupan kanopi mangrove terbagi menjadi beberapa kelompok yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kategori status degradasi mangrove dalam Kepmen LH No. 201 tahun 2004

Kategori	Tutupan Kanopi
Buruk/Rusak	<50%
Sedang	50-75
Baik/Sehat	≥75%

3.4.4 Indeks Luas Daun (*Leaf Area Index*)

Indeks luas daun diperoleh dari intensitas cahaya yang masuk ke dalam areal mangrove. Pengukuran intensitas cahaya dilakukan menggunakan *lux* meter. Pengukuran intensitas cahaya dilakukan pada setiap plot pengamatan dan di luar area mangrove yang tidak terdapat vegetasi. Hasil pengukuran dicatat untuk kemudian dianalisis lebih lanjut.

3.5 Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan terhadap data yang telah diperoleh dilakukan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Pengolahan data meliputi kerapatan jenis, indeks kesehatan mangrove dan laju serapan karbon.

3.5.1 Kerapatan Jenis

Data jenis mangrove dan jumlah tegakan kemudian dihitung untuk mendapatkan nilai kerapatan jenis, perhitungan didapat dengan persamaan (4) (Prakoso *et al.*, 2018):

$$Di = \frac{ni}{A} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

- Di : Kerapatan Jenis
- ni : Jumlah total tegakan dari suatu jenis
- A : Luas total area pengambilan sampel (m²)

3.5.2 Analisis Indeks Kesehatan Mangrove

Data yang digunakan untuk menghitung indeks kesehatan mangrove atau *mangrove health index* (MHI) adalah diameter rata-rata per plot, jumlah tegakan, persentaseutupan kanopi dalam setiap plot. Setiap parameter tidak dapat berperan sebagai nilai tunggal dalam menentukan kondisi kesehatan mangrove. Formula dari COREMAP CTI yang mengombinasikan antara parameter persentaseutupan mangrove (C), diameter rata-rata (D) dan jumlah tegakan (Nsp) menghasilkan satu nilai kombinasi *mangrove health index* yang dapat digunakan dalam menginterpretasikan kesehatan mangrove yang diukur. Adapun formula dapat dilihat pada persamaan (5) (Dharmawan dan Ulumuddin, 2020):

$$MHI = (S_C + S_D + S_{Nsp}) : 3 * 10 \dots\dots\dots(5)$$

Dimana nilai didapat dari:

- S_C : 0,25C – 13,06
- S_D : 0,45D + 1,42
- S_{Nsp} : 0,13Nsp + 4,1

Keterangan:

- MHI : *Mangrove health index* /indeks kesehatan mangrove
- S : Skor
- C : Persentaseutupan kanopi (%)
- D : Diameter batang (cm)
- Nsp : Jumlah tegakan

Indeks kesehatan mangrove yang diperoleh selanjutnya dianalisis berdasarkan tiga kategori berbeda (Dharmawan, 2021), yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kategori kondisi mangrove berdasarkan MHI

Kategori	MHI
Buruk	$< 33,33\%$
Sedang	$33,33\% \leq \text{MHI} < 66,67\%$
Baik	$\geq 66,67\%$

3.5.3 Analisis *Leaf Area Index* (LAI)

Data pengukuran intensitas cahaya di dalam area dan di luar area mangrove digunakan untuk menghitung indeks luas daun (*leaf area index*) seperti pada persamaan (6) (Sahu dan Kathiresan, 2019):

$$LAI = \frac{\text{Log } e \left(\frac{I}{I_0} \right)}{-k} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

- LAI : *Leaf area index* (luas area (m^2))
- I : Intensitas cahaya di bawah kanopi (*lux*)
- I_0 : Intensitas cahaya di luar kanopi (*lux*)
- k : Kanopi koefisien mangrove (0,5)

Untuk mengetahui pengaruh posisi matahari terhadap bumi, nilai LAI yang diperoleh dari persamaan (6) dikoreksi menurut Clough *et al.* (1997), menjadi persamaan (7):

$$LAI \text{ terkoreksi} = LAI \times \cos \left(\frac{\alpha \times 3.14}{180} \right) \dots \dots \dots (7)$$

Nilai α merupakan sudut zenith matahari, yaitu sudut antara radiasi matahari terhadap garis normal dari permukaan horizontal. Nilai α dihitung menggunakan aplikasi yang disediakan secara daring melalui laman <http://solardat.uoregon.edu/SolarPositionCalculator.html>. Nilai α dihitung dengan memasukkan data lintang, bujur, tanggal, dan jam saat pengambilan data.

3.5.4 Estimasi Serapan Karbon

Hasil perhitungan LAI terkoreksi dari persamaan (7), kemudian digunakan untuk menghitung jumlah serapan karbon. Nilai serapan karbon dihitung menggunakan persamaan menurut Kathiresan (2011):

$$P = LAI \text{ terkoreksi} \times \varphi \times t \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

- P : Fotosintesis bersih ($gr^{-c}/m^2/hari$)
 LAI terkoreksi: *Leaf area index* terkoreksi
 φ : Konstanta laju fotosintesis (0,216) (gr^{-c}/m^2)
 t : Panjang hari siang

Seluruh hasil perhitungan dianalisis secara deskriptif, dan ditampilkan dalam grafik, yang selanjutnya dilihat sebaran dan kecenderungan datanya.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa:

1. Indeks kesehatan mangrove di Kota Karang lebih rendah dibandingkan dengan di Karya Tunggal.
2. Laju serapan karbon di Kota Karang lebih rendah dibandingkan dengan di Karya Tunggal.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, saran yang dapat diberikan adalah:

1. Menjaga kelestarian hutan mangrove karena berfungsi untuk menyerap CO₂.
2. Melakukan upaya peningkatan luasan hutan mangrove melalui penanaman kembali.
3. Mengurangi dampak pencemaran (sampah) yang dapat mengurangi indeks kesehatan mangrove.

DAFTAR PUSTKA

DAFTAR PUSTAKA

- Aksornkoae, S. 1993. *Ecology and Management of Mangrove*. IUCN. Bangkok. 192 p.
- 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.
- Ali, M. 2015. Potensi wisata bahari Pulau Pasaran Bandar Lampung. [*Prosiding*] *Seminar Nasional Swasembada Pangan*. 1: 568-575.
- Alindra, M. I., Samiaji, J., dan Mulyadi, A. 2019. Analisis kesehatan hutan mangrove dengan menggunakan metode hemispherical photography di kawasan pesisir Kabupaten Tapanuli Tengah Provinsi Sumatera Utara. *Jurnal Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau*. 1(1): 1-14.
- Andriwibowo., Nasution, N. S., Basukriadi, A., dan Nurdin, E. 2021. Pemetaan tutupan mangrove dan potensi stok karbon pada kawasan restorasi Tangkolak di pesisir Cilamaya, Karawang, Jawa Barat. [*Prosiding*] *Gunung Djati Conference Series*. 6: 122-127.
- Anthoni, A., Schaduw, J., dan Sondak, C., 2017. Persentase tutupan dan struktur komunitas mangrove di sepanjang pesisir Taman Nasional Bunaken bagian utara. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*. 5(3): 13-21.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon-Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (*ground-based forest carbon accounting*). Jakarta. SNI 7724: 2011. 24 hlm
- Bengen, D. G., 1999. *Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove*. PKSPL – IPB. Bogor. 58 hlm.
- Bengen, D. G., dan Dutton I. M. 2004. *Interactions : Mangrove, Fisheries and Forestry Management in Indonesia* : in Northcote T. G and Hartman G. F. Fishes and Forestry. Blackwell Science. 783 p.

- Brown, S. 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest: A Primer*. FAO: Forestry Paper. USA. 55 p.
- Campbell, N. A., Jane, B. R., dan Lawrence, G. M. 2005. *Biologi*. Erlangga. Jakarta. 501 hlm.
- Clough, B. F., Ong, J. E., dan Gong, W. K. 1997. Estimating *leaf area index* and photosynthetic production in canopies of the mangrove rhizophora apiculata. *Marine Ecology Progress Series*. 159: 285-292.
- Darmadi., Lewaru, M. W., dan Khan, A. M. A. 2012. Struktur komunitas vegetasi mangrove berdasarkan karakteristik substrat di muara harmin desa Cangkring kecamatan Cantigi kabupaten Indramayu. *Jurnal Perikanan dan Kelautan Unpad*. 3(3): 347-358.
- Dharmawan, I. W. E. 2021. Mangrove health index distribution on the restored post tsunami mangrove area in Biak Island, Indonesia. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 860(1): 1-7.
- Dharmawan, I. W. E., dan Pramudji. 2014. *Panduan Monitoring Kesehatan Ekosistem Mangrove*. COREMAP-CTI, Pusat Penelitian Oseanografi, LIPI. Jakarta. 35 hlm.
- Dharmawan, I. W. E., dan Pramudji. 2017. *Panduan Pemantauan Komunitas Mangrove (Edisi 2)*. PT. Media Sains Nasional. Bogor. 70 hlm.
- Dharmawan, I. W. E., dan Ulumuddin, Y. I. 2020. *Mangrove Community Structure Data Analysis: A Guidebook for Mangrove Health Index (MHI) Training*. Nas Media Pustaka. Makassar. 43 hlm.
- Dharmawan, I. W. E., Suyarso., Ulumuddin, Y. I., Prayuda, B., dan Pramudji. 2020. *Panduan Monitoring Struktur Komunitas Mangrove di Indonesia*. PT Media Sains Nasional. Jakarta. 108 hlm.
- Direktorat Konservasi Tanah dan Air dan Direktorat Jenderal Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Rehabilitasi Hutan. 2021. *Peta Mangrove Nasional*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Jakarta. 181 hlm.
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., dan Kanninen, M. 2012. Mangrove salah satu hutan terkaya karbon di daerah tropis. *Brief Cifor*. 12: 1-10.
- Dury, S., Kumar, L., Schmidt, K., dan Skidmore, A. 2002. Imaging spectrometry and vegetation science. *Imaging Spectrometry*. Springer. Dordrecht. 4: 111-155.

- Ellsworth, D. S., dan Reich, P. B. 1993. Canopy structure and vertical patterns of photosynthesis and related leaf traits in a deciduous forest. *Oecologia*. 96: 169–178.
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Kanisius. Yogyakarta. 190 hlm.
- Fuady, I., Rudhi., P., dan Nirwani. 2013. Struktur komunitas mangrove di Pulau Jemaja, Kabupaten Kepulauan Anambas, dan Pulau Liran, Kabupaten Maluku Barat Daya. *Journal of Marine Research*. 2(2): 94-102.
- Ghufrona, R. R., Kusmana, C., dan Rusdiana, O. 2015. Komposisi jenis dan struktur hutan mangrove di Pulau Sebuku, Kalimantan Selatan. *Jurnal Silvicultur Tropoika*. 6(1): 15-26.
- Hairiah, K., Ekadinata, A., Sari, R. R., dan Rahayu, S. 2011. *Pengukuran Cadangan Karbon: dari Tingkat Lahan ke Bentang Lahan: Petunjuk praktis edisi kedua*. World Agroforestry Centre, ICRAF SEA Regional Office. Bogor. 88 hlm.
- Hairiah, K., dan Subekti, R. 2007. *Petunjuk Praktis Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. World Agroforestry Centre (ICRAF). Bogor. 77 hlm.
- Halidah. 2014. *Avicennia marina* (forssk) vierh jenis mangrove yang kaya manfaat. *Info Teknis EBONI*. 11(1): 37-44.
- Hariphin., Linda, R., dan PW, E. R. 2016. Analisis vegetasi hutan mangrove di kawasan muara sungai Serukan Kabupaten Bengkayang. *Jurnal Protobiont*. 5(3): 66-72.
- Hartoko, A., Suryanti., dan Febrianti, D. A. 2013. Biomassa karbon vegetasi mangrove melalui analisa data lapangan dan citra satelit geoeeye di Pulau Parang, Kepulauan Karimunjawa. *Journal of Management of Aquatic Resources*. 2(2): 9-18.
- Hermayanti, H. Y., Tri Nuraini, R. A., dan Soenardjo, N. 2014. Analisis kondisi lingkungan pada kawasan rehabilitasi mangrove di Kota Semarang. *Journal of Marine Research*. 3(4): 499-507.
- Howard, J., Sutton-Grier, A., Herr, D., Kleypas, J., Landis, E., Mcleod, E., Pidgeon, E., dan Simpson, S. 2017. Clarifying the role of coastal and marine systems in climate mitigation. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 15(1): 1-9.
- Husch, B., Beers, T. W., dan Junior, J. A. K. 2002. *Forest Mensuration*. John Wiley & Sons. New Jersey. 456 p.

- IPCC. 1995. *IPCC Second Assessment: Climate Change 1995*. United Nations Environment Programme. Texas. 63 p.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. New York. 996 p.
- Kasjian, R., Knox., dan Juwana, S. 2007. *Biologi Laut*. Djambatan. Jakarta. 540 hlm.
- Kathiresan, K. 2011. Methods of studying mangrove Tamil Nadu: Centre of advanced studies in marine biology. *Annamalai University*. 116-125.
- Katili, A. S., Mamu, H. D., dan Husain, I. H. 2020. *Potensi Struktur Vegetasi Mangrove dan Nilai Serapan Biomassa Karbon*. Ideas Publishing. Gorontalo. 117 hlm.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 201 tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove.
- Knox, G. A. 2000. *The Ecology of Seashores*. Crc Press. London. 576 p.
- Kordi, M.G.H. 2012. *Ekosistem Mangrove: Potensi, Fungsi dan Pengelolaan*. PT. Rineka Cipta. Jakarta. 256 hlm.
- Kurnia, A. A., dan Hasanah, A. 2016. Analisis spasial dan temporal perubahan karakteristik ekosistem mangrove di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung. *Journal of Environment and Sustainable Development*. 1(1): 1-7.
- Kusmana, C., Istomo, W. C., Budi, S. W., Siregar, I. Z., Tiryana, T., dan Sukardjo, S. 2008. *Manual Silvikultur Mangrove di Indonesia*. Departemen Kehutanan Republik Indonesia dan Korea International Cooperation Agency (KOICA). Jakarta. 226 hlm.
- Kusumaningtyas, M. A., Hutahaeen, A. A., Fischer, H. W., Pérez-Mayo, M., Ransby, D., dan Jennerjahn, T. C. 2019. Variability in the organic carbon stocks, sources, and accumulation rates of Indonesian mangrove ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 218: 310-323.
- Lekatompessy, H. S., dan Maitindom, F. A. 2022. Kandungan karbon pada tegakan mangrove jenis (*Sonneratia alba*) di pesisir Worbak Kampung Rawawudo Distrik Teluk Kimi Kabupaten Nabire. *Tabura Jurnal Perikanan dan Kelautan*. 3(1): 22-27.
- Maharani, M. K., Febryano, I. G., Tresiana, N., dan Banuwa, I. S. 2021. Perubahan luasan lahan mangrove sebagai ruang terbuka hijau di wilayah pesisir Kota Bandar Lampung. *Journal of Tropical Marine Science*. 4(1): 18-24.

- Mardiyah, R., Ario, R., dan Pribadi, R. 2019. Estimasi simpanan karbon pada ekosistem mangrove di Desa Pasar Banggi dan Tireman, Kecamatan Rembang Kabupaten Rembang. *Journal of Marine Research*. 8(1): 62-68.
- Marsondang, A. T., Muntalif, B. S., dan Sudjono, P. 2016. Probabilitas terperangkapnya sampah non-organik di kawasan mangrove studi kasus: Pantai Karangantu, Kota Serang. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 22(1): 11-20.
- Meilinda, S. D., dan Fiolanda, R. 2019. Pendekatan pengetahuan dan kearifan lokal dalam pengembangan pariwisata hutan mangrove. [*Prosiding*] *Seminar Nasional FISIP Universitas Lampung (SeFila)*. 3: 61-69.
- Monografi Desa Margasari. 2012. Potensi Desa Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur, Provinsi Lampung. Lampung: Monografi Desa Margasari.
- Muhdi. 2008. *Model Simulasi Kandungan Karbon Akibat Pemanenan Kayu di Hutan Alam Tropika*. [*Karya Tulis*] Departemen Kehutanan Fakultas Pertanian: USU e-Repository. Universitas Sumatera Utara. 16 hlm.
- Mustofa, A. 2018. Praktik pembibitan dan revitalisasi hutan mangrove pesisir Jepara. *Journal of Dedicators Community*. 2(1): 8-16.
- Nana, K. T. M., dan Irsadi, A. 2014. Peranan mangrove sebagai biofilter pencemaran air wilayah Tambak Bandeng Tapak, Semarang. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 21(2): 188-194.
- Nedhisa, P. I., dan Tjahjaningrum, I.T. 2020. Estimasi biomassa, stok karbon dan sekuestrasi karbon mangrove pada *rhizophora mucronata* di Wonorejo Surabaya dengan persamaan allometrik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 8(2): 61-65.
- Nirarita, C. H. E., Wibowo, P. Susanti, S., Padmawinata, D., Kusmarini., dan Syarif, M. 1996. *Ekosistem Lahan Basah: Buku Panduan untuk Guru dan Praktisi Pendidikan*. Wetlands International Indonesia Programme. Bogor. 113 hlm.
- Noor, Y. R., Khazali, M., dan Suryadipura, I, N, N. 2006. *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia*. Wetlands International Indonesia Programme. Bogor. 220 hlm.
- Nursal., Fauziah, Y., Ismiati. 2005. Struktur dan komposisi vegetasi mangrove Tanjung Sekodi Kabupaten Bengkalis Riau. *Jurnal Biogenesis*. 2(1): 1-7.
- Nybakken, J. W. 1992. *Biologi Laut: Suatu Pendekatan Ekologis*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 459 hlm.

- Prakoso, T. B., Afiati, N., dan Suprpto, D. 2018. Biomassa kandungan karbon dan serapan CO₂ pada tegakan mangrove di kawasan konservasi mangrove Bedono, Demak. *Management of Aquatic Resources Journal*. 6(2): 156-163.
- Pretzsch, H., Biber, P., UHL, E., Dahlhausen, J., Rötzer, T., Caldentey, J., Koike, T., Van Con, T., Chavanne, A., Seifert, T., dan Du Toit, B., 2015. Crown size and growing space requirement of common tree species in urban centres, parks, and forests. *Urban Forestry & Urban Greening*. 14(3): 466-479.
- Purwoko, P. F., Wulandari, A. A., Noriko, N., dan Priambodo, T. W. 2015. Ketahanan vegetasi wilayah mangrove suaka margasatwa Muara Angke, DKI Jakarta terhadap sampah dari aliran sungai. [Prosiding] *Seminar Nasional PBI 2016*. 8 hlm.
- Rachmawati, D., Setyobudiandi, I., dan Hilmi, E. 2014. Potensi estimasi karbon tersimpan pada vegetasi mangrove di wilayah pesisir Muara Gembong Kabupaten Bekasi. *Jurnal Omniakuatika*. 14(19): 89-91.
- Radar Lampung Selatan. 2017. *Lamsel Miliki Wisata Tracking Mangrove*. <https://www.radarlamsel.com>. diakses pada tanggal 17 Februari 2023 pukul 12.55.
- Roesyane, A. 2010. *Potensi simpanan karbon pada hutan tanaman Mangium (Acacia mangium Willd.) di Kph Cianjur Perum Perhutani Unit III Jawa Barat dan Banten*. [Skripsi] Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Roy, J., Saugier, B., dan Mooney, H. A. 2001. *Terrestrial Global Productivity*. Academic Press. London. 573 p.
- Sadelie, A., Kusumastanto, T., Kusmana, C., dan Hardjomidjojo, H. 2012. Kebijakan pengelolaan sumberdaya pesisir berbasis perdagangan karbon. *Jurnal Hutan dan Masyarakat*. 6(1):1-11.
- Saenger, P., Hegerl., dan Davie, J.D.S. 1983. *Global Status of Mangrove Ecosystems*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Switzerland. 88 p.
- Sahu, S. K., dan Kathiresan, K. 2019. The age and species composition of mangrove forest directly influence the net primary productivity and carbon sequestration potential. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 20: 1-11.
- Sari, D. M. 2021. *Estimasi Karbon Tersimpan di Hutan Mangrove Desa Sriminosari Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur*. [Tesis] UIN Raden Intan Lampung. Bandar Lampung.

- Sembahen, B. M., Ryan, F., Fajar, M. A., Attorik, M. Falensky., dan Supriatna. 2022. Penggunaan teknologi geospasial dalam upaya konservasi mangrove di Desa Margasari, Kabupaten Lampung Timur. *SPECTA Journal of Technology*. 6(1): 109-121.
- Silmarita., Fauzi, M., dan Sumiarsih, E. 2019. Composition and amount of marine debris in the mangrove area in Mengkapan Village, Sungai Apit District, Siak Regency, Riau Province. *Asian Journal of Aquatic Sciences*. 2(1): 49-56.
- Soemarwoto, O. 1998. *Analisis Mengenai Dampak Lingkungan*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta. 326 hlm.
- Sondak, C. F. A., dan Chung, I. K. 2015. Potential blue carbon from coastal ecosystems in the Republic of Korea. *Ocean Science Journal*. 50(1):1-8.
- Sugaepi. 2013. *Pengaruh Pendekatan Point of Reward dan Sikap Demokratis Terhadap Hasil Belajar Peserta Didik dalam Mata Pelajaran PKN*. [Tesis] Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung. 48 hlm.
- Susanto, A., Khalifa, M. A., Munandar, E., Nurdin, H. S., Syafrie, H., Supadminingsih, F. N., Hasanah, A. N., Meata, B. A., Irnawati, R., Rahmawati, A., Putra, A. N., Alansar, T., Saputra, J., Sulistyono, B., dan Raihan, A. 2022. Kondisi kesehatan ekosistem mangrove sebagai sumber potensial pengembangan ekonomi kreatif pesisir Selat Sunda. *Journal of Local Food Security*. 3(1): 172-181.
- Sutaryo, D. 2009. *Penghitungan Biomassa: Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Wetlands International Indonesia Programme. Bogor. 39 hlm.
- Syam'ani, Agustina, A., Susilawati., dan Yusanto, N. 2012. Cadangan karbon di atas permukaan tanah pada berbagai sistem penutupan lahan di sub-sub DAS Amandit. *Jurnal Hutan Tropis*, 13(2): 152- 153.
- Tjandra, E., dan Ronaldo, Y. 2011. *Mengenal Hutan Mangrove*. Pakar Media. Jakarta. 64 hlm.
- Tomlinson, P. B. 1994. *The Botany of Mangroves*. Cambridge University Press. New York. 436 p.
- Ulqodry, T. Z., Suganda, A., Agussalim, A., Aryawati, R., dan Absori, A. 2020. Estimasi serapan karbon mangrove melalui proses fotosintesis di Taman Nasional Berbak-Sembilang. *Jurnal Kelautan Nasional*. 15(2): 77-84.
- White, A. T., Martosubroto, P., dan Sadorra, M. S. M. 1989. *The Coastal Environmental Profile of Segara Anakan-Cilacap, South Java, Indonesia*. In-

ternational Center for Living Aquatic Resources Management. Manila. 81 hlm.

Whitmore, T. C. 1984. *Tropical Rain Forest of The Far East Second Edition*. Oxford: University Press. 376 p.

Windarni, C., Setiawan, A., dan Rusita, R. 2018. Estimasi Karbon Tersimpan pada Hutan Mangrove di Desa Margasari Kecamatan Labuhan Maringgai Kabupaten Lampung Timur (Carbon Stock Estimation of Mangrove Forest in Village Margasari Sub-District Labuhan Maringgai District East Lampung). *Jurnal Sylva Lestari*. 6(1): 66-74.

Wirakusumah, S. 2003. *Dasar-dasar Ekologi: Bagi Populasi dan Komunitas*. UI Press. Jakarta. 149 hlm.

Yuliasamaya., Darmawan, A., dan Hilmanto, R. 2014. Perubahan tutupan hutan mangrove di Pesisir Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*. 2(3): 111-124.