

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanasan global telah menjadi ancaman yang serius terhadap keberlangsungan hidup manusia, dengan pesatnya perkembangan ekonomi dunia serta pembakaran bahan bakar fosil menyebabkan emisi karbon yang sangat besar. *Intergovernmental Panel in Climate Change* (IPCC) telah melakukan analisis dan prediksi perubahan suhu dari tahun 1990 hingga 2030 menunjukkan bahwa penyebab utama pemanasan global adalah meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (karbon dioksida, metana, dinitrogen oksida, hidrofluorokarbon, perfluorokarbon dan sulfur heksafluorida) di atmosfer (Zhu & Yan, 2022).

Terjadinya peristiwa ini disebabkan karena ketidakseimbangan siklus karbon global. Selama beberapa dekade terakhir tahun 1850-1900 suhu global telah meningkat sebesar $1,09^{\circ}\text{C}$ pada februari 2022 (Jia et al., 2022). Sepanjang periode pengamatan BMKG tahun 1981 hingga 2024 di Indonesia, Tahun 2024 menempati urutan pertama tahun terpanas di Indonesia dengan nilai anomali sebesar $0,8^{\circ}\text{C}$. *Blue Carbon* adalah konsep yang menjadi salah satu upaya mitigasi untuk mengurangi konsentrasi karbon dioksida (CO_2) di atmosfer, terdapat 3 ekosistem utama yang memiliki peran dalam menyimpan karbon baik pada jaringan maupun di dalam sedimen yaitu ekosistem padang lamun, rawa asin dan mangrove (Azzahra et al., 2020). Salah satu program *blue carbon* yang saat ini menjadi fokus utama pemerintah adalah rehabilitasi ekosistem mangrove, terutama pada area dengan tingkat kerapatan rendah atau mangrove jarang. Upaya ini dilakukan melalui program penanaman kembali di wilayah-wilayah mangrove yang membutuhkan pemulihan untuk meningkatkan fungsi ekologis dan kapasitas penyimpanan karbon (Puspaningrum et al., 2023).

Indonesia memiliki beraneka ragam jenis hutan, mulai dari hutan dataran tinggi, dataran rendah, hutan hujan tropis, hutan homogen, dan hutan bakau atau mangrove. Ekosistem mangrove memiliki kemampuan menyerap karbon lebih banyak daripada ekosistem lain. Hal ini dipengaruhi karena adanya kombinasi tingkat fiksasi karbon fotosintesis yang tinggi ditambah dengan dekomposisi yang sangat rendah di tanah anaerobik air jenuh. Hilangnya hutan mangrove dapat berkontribusi terhadap 19% dari total emisi deforestasi global (Portorreal et al., 2022).

Mangrove adalah tumbuhan yang hidup di sepanjang pantai atau muara yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Indonesia memiliki 22,6% dari total luas mangrove dunia yaitu sekitar 3.112.989 ha (Husnayaen et al., 2023). Mangrove berperan sebagai penyerap CO_2 yang disimpan dalam bentuk biomassa atas (daun, batang dan ranting) dan akar). Selain itu, ekosistem mangrove juga berkontribusi dalam menyimpan karbon dalam sedimen yang berfungsi sebagai penyimpanan karbon jangka panjang (Kusuma et al., 2022).

Untuk memanfaatkan guna menambah pemasukan negara, Indonesia mengikannya dalam bentuk valuasi ekonomi hutan mangrove. *Carbon trade* merupakan salah satu mekanisme Nilai Ekonomi Karbon yang bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca melalui



kegiatan jual beli karbon. Usaha untuk mengendalikan atau mengurangi emisi karbon merupakan komoditas aktivitas jual beli atas dasar kesepakatan dengan upaya pengelolaan hutan sebagai cara untuk mengurangi dampak negatif dari perubahan iklim. Perdagangan karbon menjadi suatu kebijakan yang melibatkan negara-negara di seluruh dunia dalam skala internasional (Ammara et al., 2024).

Kabupaten Pangkep memiliki kekayaan alam dalam sektor laut dan pesisir, dicirikan memiliki wilayah perairan yang lebih luas dibandingkan daratannya, dengan perbandingan 1 berbanding 17. Daerah pesisir daratan utama Kabupaten Pangkep memiliki hutan mangrove yang tumbuh secara alami maupun hutan mangrove yang ditanam oleh masyarakat setempat di sekitar pemukiman dan areal tambak. Salah satu dari enam kecamatan yang memiliki hutan mangrove adalah kecamatan Ma'rang dengan luas keseluruhan hutan mangrove di wilayah Kabupaten Pangkep adalah 347,84 ha (Nirawati et al., 2024)

Hutan mangrove memiliki peran ekologis yang sangat penting, terutama dalam mitigasi perubahan iklim melalui kemampuannya dalam menyerap dan menyimpan karbon. Selain itu, ekosistem ini juga berfungsi sebagai habitat bagi berbagai organisme, penyangga abrasi pantai, serta penyedia sumber daya bagi masyarakat pesisir. Oleh karena itu, diperlukan penelitian mengenai estimasi serapan karbon yang tersimpan di hutan mangrove Kassi Kebo beserta perhitungan nilai ekonominya diharapkan dapat memberikan data sebagai dasar dalam pengelolaan kawasan secara berkelanjutan serta mendukung upaya global dalam mengurangi konsentrasi CO₂ di atmosfer.

1.2 Tujuan dan Kegunaan

Tujuan penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui struktur komunitas mangrove di kawasan Hutan Mangrove Kassi Kebo Kabupaten Pangkep
2. Menganalisis potensi biomassa, stok karbon dan kemampuan serapan karbon dioksida (CO₂) pada vegetasi mangrove yang terdapat di kawasan Hutan Mangrove Kassi Kebo Kabupaten Pangkep
3. Mengestimasi nilai ekonomi dari hutan mangrove berdasarkan kapasitasnya dalam menyerap dan menyimpan karbon.

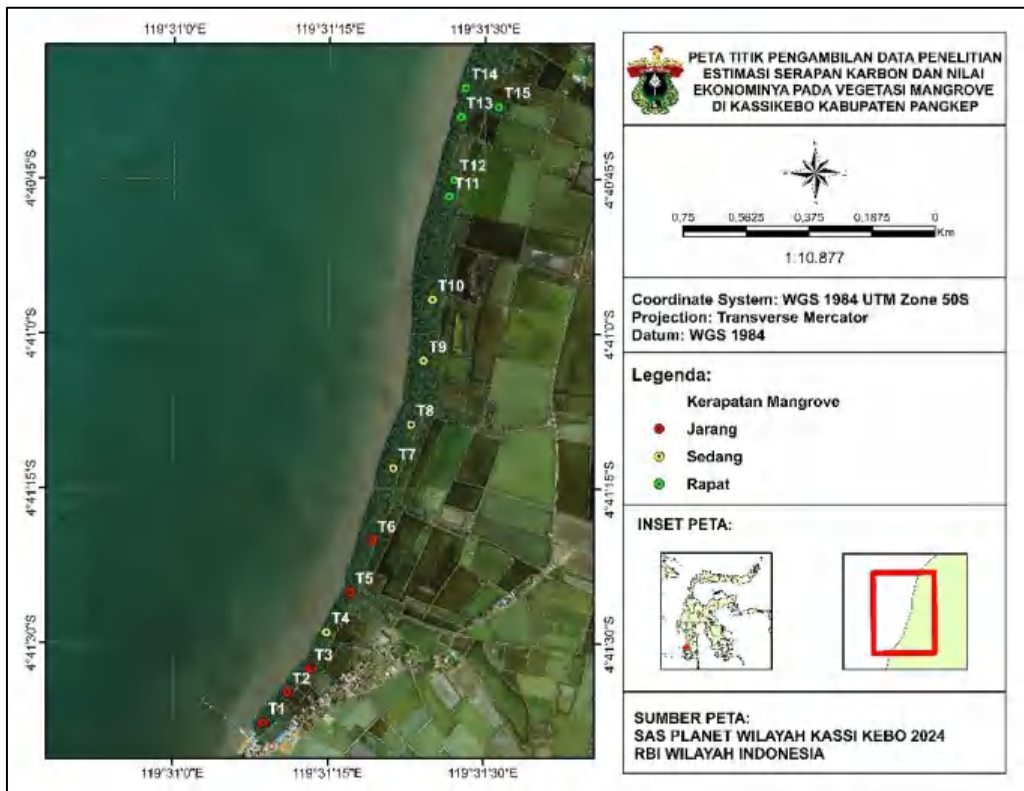
Manfaat penelitian ini adalah diharapkan dapat menjadi sumber pengetahuan mengenai peran penting ekosistem mangrove, khususnya dalam konteks mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan emisi karbon. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat meningkatkan kesadaran terhadap pentingnya pelestarian hutan mangrove sebagai aset ekologis dan ekonomi yang bernilai strategis di era perubahan iklim saat ini.



BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret – Juli 2025 yang meliputi tahap persiapan, pengambilan data lapangan, analisis data dan penyusunan hasil akhir penelitian. Pengambilan data lapangan dilakukan pada tanggal 26 April 2025. Lokasi penelitian berada di kawasan Hutan Mangrove Kassi Kebo, Desa Talaka, Kecamatan Ma'rang, Kabupaten Pangkep yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

2.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian digunakan untuk mendukung pengambilan data di lapangan. Alat dan bahan yang digunakan memiliki fungsi masing-masing ada Tabel 1 dan Tabel 2.



Tabel 1. Daftar alat penelitian

Nama Alat	Fungsi
Alat tulis	Untuk mencatat data-data penelitian
Aplikasi Avenza	Untuk menentukan titik koordinat pengambilan sampel
Buku Identifikasi Mangrove	Untuk membantu dalam identifikasi spesies mangrove
Kamera/ <i>Handphone</i>	Untuk dokumentasi kegiatan penelitian
Meteran Kain	Untuk mengukur diameter pohon mangrove
Roll Meter	Untuk mengukur titik pengambilan sampel
Sabak	Sebagai alas menulis data penelitian
Tali Rafia	Untuk membuat plot pendataan
<i>Underwater Paper</i>	Untuk tempat mencatat data lapangan

Tabel 2. Daftar bahan penelitian

Nama Bahan	Fungsi
Mangrove	Sebagai media identifikasi spesies mangrove dan media pengambilan data mangrove
Tissue	Untuk mengeringkan alat

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Tahap Persiapan

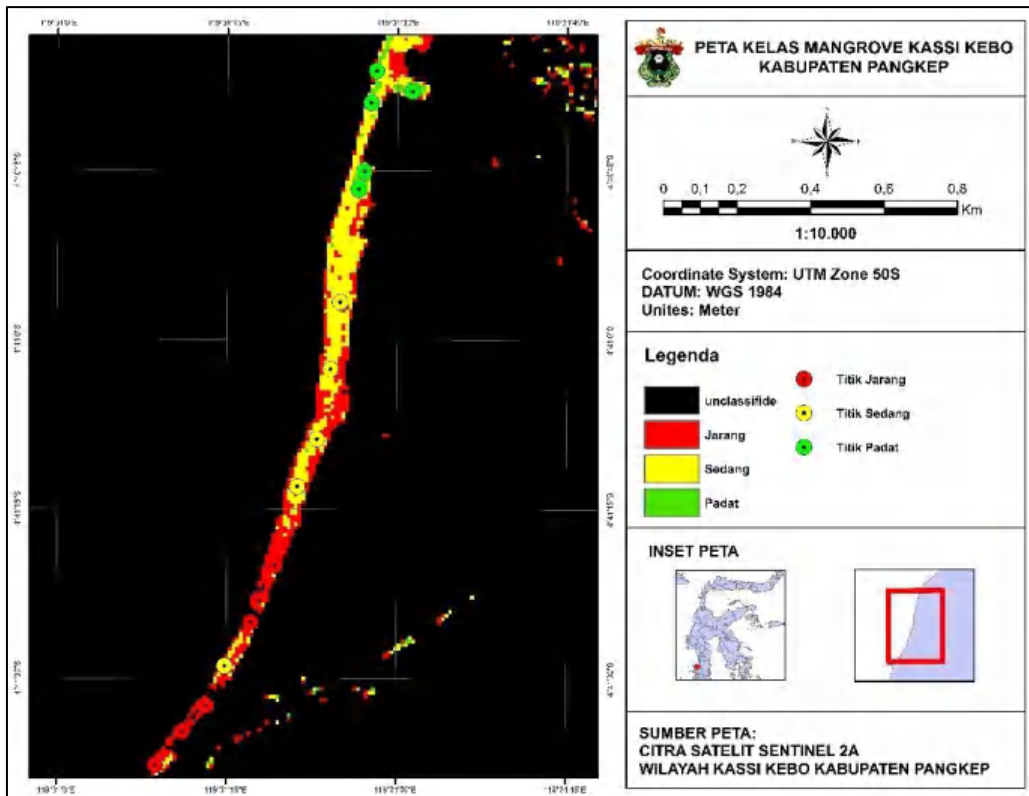
Tahapan awal dalam pelaksanaan penelitian ini diawali dengan studi literatur yang dilanjutkan dengan observasi lapangan. Studi literatur dilakukan sebagai landasan teoritis yang penting dalam memperkuat perumusan masalah, tujuan serta ruang lingkup penelitian. Selanjutnya, dilakukan observasi awal di lapangan untuk memperoleh gambaran umum mengenai kondisi kawasan penelitian, termasuk persebaran vegetasi mangrove, kondisi substrat, aksesibilitas lokasi. Observasi ini berperan penting sebagai dasar dalam perencanaan teknis pengambilan data.

2.3.2 Tahap Penentuan Stasiun Penelitian

Penentuan stasiun penelitian didasarkan pada tingkat kerapatan vegetasi mangrove yang tersebar di sepanjang area penelitian. Untuk mengidentifikasi dan memetakan kerapatan vegetasi tersebut, digunakan pendekatan penginderaan jauh dengan metode NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). NDVI merupakan salah satu indeks vegetasi yang banyak digunakan dalam analisis tutupan lahan, khususnya untuk menilai tingkat kehijauan dan kerapatan vegetasi. Metode ini bekerja dengan memanfaatkan perbedaan karakteristik pantulan cahaya oleh vegetasi terhadap dua spektrum elektromagnetik, yaitu *near infrared* (NIR) dan *red* (merah). Vegetasi yang memiliki kandungan klorofil tinggi akan memantulkan cahaya NIR dalam jumlah besar dan arah secara signifikan, sehingga menghasilkan nilai NDVI yang tinggi. Vegetasi yang jarang atau tidak sehat akan menunjukkan nilai NDVI yang rendah. Dengan demikian, semakin tinggi nilai NDVI suatu area, maka semakin rapat kerapatannya (Badiputra, 2021).



hasil perhitungan NDVI, kawasan mangrove dalam wilayah penelitian akan diklasifikasikan ke dalam tiga kelas kerapatan, yaitu kerapatan jarang, sedang, dan rapat).



Gambar 2. Peta kelas kerapatan mangrove

Klasifikasi ini menjadi dasar dalam penentuan titik-titik koordinat pengambilan data lapangan (Tabel 3). Titik-titik pengambilan data kemudian ditetapkan secara representatif pada masing-masing kelas kerapatan mangrove, dengan jumlah lima titik pengamatan untuk setiap kelas.

Tabel 3. Koordinat titik pengambilan data

Kategori	Titik	Koordinat
Jarang	1	779460.80E, 9480679.54S
	2	779533.72E, 9480771.04S
	3	779599.98E, 9480841.00S
	5	779720.80E, 9481067.45S
	6	779787.20E, 9481222.22S
Sedang	4	779650.28E, 9480949.20S
	7	779848.75E, 9481437.35S
	8	779902.07E, 9481566.58S
	9	779939.48E, 9481757.09S
	10	779966.31E, 9481938.99S
	11	780016.79E, 9482245.97S
	12	780031.93E, 9482295.91S
	13	780051.60E, 9482482.06S
	14	780065.95E, 9482569.01S
	15	780163.59E, 9482512.32S

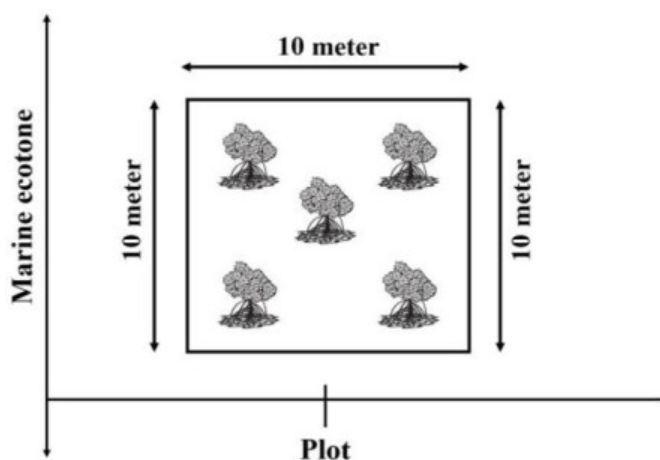


2.3.3 Pengambilan Data Lapangan

a. Identifikasi jenis mangrove

Proses identifikasi jenis mangrove diawali dengan pembuatan transek dengan metode transek garis. Pada setiap stasiun pengamatan, dibuat satu garis transek yang ditarik dari arah laut ke daerah darat, mengikuti gradasi zonasi alami ekosistem mangrove. Pembuatan transek ini bertujuan untuk menentukan fokus area pengamatan dan memudahkan pengumpulan data vegetasi secara representatif sesuai dengan variasi kerapatan dan komposisi vegetasi di lapangan. Plot pengamatan berukuran 10 x 10 meter, yang digunakan secara khusus untuk menginventarisasi kategori vegetasi mangrove pada tingkat pohon (Gambar 3).

Seluruh individu mangrove yang berada di dalam plot diamati dan didokumentasikan secara visual, kemudian dilakukan proses identifikasi spesies dengan mencocokkan ciri-ciri morfologis seperti bentuk daun, tipe akar, buah dan bunga terhadap buku literatur acuan identifikasi mangrove.



Gambar 3. Sketsa plot pengambilan data mangrove

Sumber: Suardana et al. (2023). <https://doi.org/10.24259/fs.v7i1.22062>

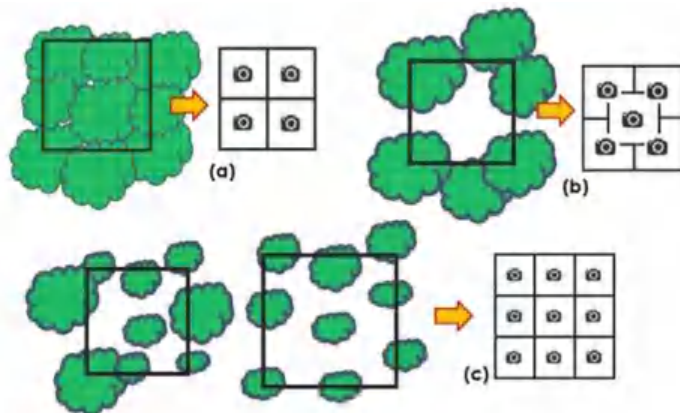
b. Persentase tutupan kanopi

Pengambilan data tutupan kanopi mangrove diukur menggunakan metode *Hemispherical Photography*, yaitu metode pengambilan gambar hemisfer yang digunakan untuk mengukur proporsi kanopi yang menutupi langit dari sudut pandang bawah. Pengambilan gambar dilakukan dengan kamera depan *Handphone*, yang diarahkan tegak lurus ke atas pada titik pengamatan tertentu. Kamera dipegang pada



dari permukaan tanah untuk memastikan sudut pandang yang pengambilan gambar.

Pengambilan gambar disesuaikan dengan kepadatan dan kondisi mangrove di masing-masing stasiun pengamatan sehingga dapat variasi tutupan kanopi secara akurat. Gambar diambil sebanyak satu dengan ketentuan pengambilan foto berdasarkan kondisi hutan



Gambar 4. Ketentuan pengambilan foto berdasarkan kondisi hutan mangrove; a) Vegetasi padat, b) Vegetasi cukup padat, c) Vegetasi jarang

Sumber: Purnama et al., (2020). <https://doi.org/10.14710/jmr.v9i3.27577>

Foto-foto hasil pengamatan kemudian dianalisis secara digital menggunakan *Microsoft Excel* dan perangkat lunak *ImageJ*, yaitu software pemroses citra yang mampu mengubah foto hemisfer menjadi citra biner (hitam-putih) dan menghitung persentase tutupan kanopi berdasarkan rasio antara area gelap (kanopi) dan area terang (langit terbuka). Analisis tutupan kanopi dengan menghitung jumlah *pixel* tutupan vegetasi mangrove dapat dihitung dalam analisis gambar *binner* (Vincentius et al., 2024). Perhitungan persentase tutupan kanopi dapat dihitung dengan persamaan 1:

$$\%Tutupan(cover)mangrove = \left(\frac{P255}{\Sigma P} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

P255 = Jumlah *pixel* yang bernilai 255 sebagai interpretasi tutupan kanopi mangrove

ΣP = Jumlah seluruh *pixel*

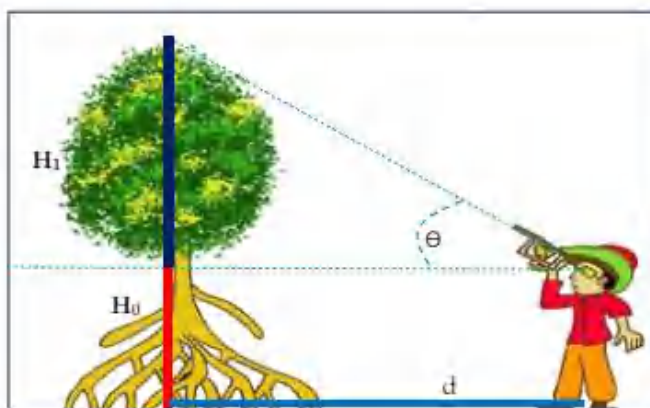
c. Tinggi tegakan pohon mangrove

Pengukuran tinggi tegakan pohon mangrove dilakukan dengan menggunakan pendekatan trigonometri sederhana, yang mengacu pada hubungan antara jarak horizontal pengukuran, sudut elevasi terhadap pucuk tertinggi pohon, serta tinggi mata pengamat dari permukaan tanah (Gambar 5). Pengukuran sudut elevasi dilakukan



si busur derajat digital (Protractor). Jarak horizontal dari pengamat terlebih dahulu menggunakan alat ukur roll meter.

tinggi dilakukan pada tegakan-tegakan pilihan yang mewakili tinggi riatas mangrove yang terdapat di dalam setiap plot, dengan tujuan an potensi pertumbuhan vertikal dan dominasi struktur kanopi (20).



Gambar 5. Teknik pengambilan tinggi tegakan mangrove

Sumber: Dharmawan et al., (2020). <https://www.researchgate.net/publication/344000335>

Untuk menghitung tinggi tegakan pohon mangrove dapat dihitung dengan persamaan 2 sebagai berikut:

$$H = H_0 + H_1 \text{ Dan } H_1 = d \times \tan \theta \quad (2)$$

Keterangan:

- H = Tinggi tegakan pohon (m)
- H₀ = Tinggi mata pengamat (m)
- H₁ = Tinggi bagian atas pohon (m)
- D = Jarak horizontal dari pengamat ke pohon (m)
- θ = Sudut elevasi ke pucuk pohon (derajat)

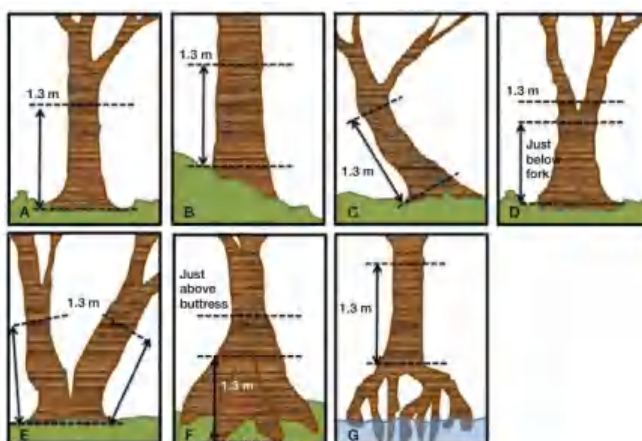
d. Pengukuran diameter batang pohon

Data diameter batang pohon berperan dalam analisis struktur dan fungsi ekosistem mangrove, karena digunakan sebagai dasar untuk menghitung jumlah tegakan pohon, dan tutupan basal, serta sebagai variabel utama dalam menghitung biomassa mangrove. Dalam penelitian ini, perhitungan biomassa dilakukan dengan menggunakan metode non-destruktif atau tanpa pemanenan, yaitu metode yang tidak melibatkan penebangan pohon sehingga tidak mengganggu kelestarian ekosistem mangrove. Pemilihan metode ini didasarkan pada pertimbangan konservasi ekosistem, kemudahan pelaksanaan di lapangan, dan efisiensi waktu, tanpa mengurangi akurasi hasil estimasi. Pendekatan ini dilakukan dengan mendata seluruh individu mangrove dalam plot pengamatan, meliputi



a pengukuran diameter batang yang kemudian digunakan dalam untuk menghitung biomassa. Diameter batang dilakukan pada ketinggian 1,3 meter dari permukaan sebagai *Diameter Breast Height* (DBH). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan tali ukur dan busur. Pengukuran DBH memerlukan penyesuaian terhadap jenis mangrove yang beragam (Gambar 6).

- DBH dapat diukur dari tanah sejajar dengan batang jika pohon cukup lurus dengan batang yang tinggi
- Jika pohon berada di lereng, maka pengukuran DBH dilakukan pada sisi yang menanjak
- Jika pohon miring, maka DBH diambil sesuai dengan ketinggian alami pohon yang sejajar dengan batang
- Jika pohon bercabang pada atau di bawah 1,3 meter maka ukur tepat di bawah percabangan
- Jika percabangan sangat dekat dengan tanah, maka ukur sebagai dua pohon
- Pohon yang memiliki penopang yang tinggi melebihi 1,3 meter di atas permukaan tanah, maka pengukuran DBH diukur tepat di atas penopang
- Untuk spesies berakar tunjang, DBH diukur mulai dari batas akar setinggi 1,3 meter, namun untuk beberapa pohon yang akarnya memanjang jauh ke kanopi, maka DBH diukur di atas akar tunjang batang utama sejati ada.



Gambar 6. Penentuan Lokasi pengukuran DBH pohon

Sumber: Howards et al. (2014). www.ioc.unesco.org

Untuk menghitung diameter tegakan mangrove dapat dihitung dengan persamaan 3 sebagai berikut (Howards et al., 2014):

$$DBH = \frac{CBH}{\pi} \quad (3)$$

Keterangan:

DBH = Diameter tegakan pohon (cm)

CBH = Lingkaran tegakan pohon (cm)



ian meliputi analisis struktur komunitas mangrove, perhitungan stok karbon, estimasi serapan karbon, serta valuasi ekonomi dari on.

2.4.1 Analisis Struktur Komunitas Mangrove

Kondisi ekosistem mangrove secara ekologis dapat diketahui melalui analisis struktur komunitas mangrove. Analisis ini penting untuk menggambarkan stabilitas, keanekaragaman, dan dominansi spesies dalam ekosistem. Menurut English et al., (1997), untuk menganalisis struktur komunitas mangrove dilakukan dengan menghitung beberapa parameter ekologi utama yaitu:

- a. Kerapatan Jenis (D_i), merupakan jumlah tegakan suatu spesies dalam suatu unit area. Untuk menghitung kerapatan jenis mangrove dapat dihitung dengan persamaan 4 sebagai berikut:

$$D_i = \frac{N_i}{A} \quad (4)$$

Keterangan:

- D_i = Kerapatan jenis suatu spesies
 N_i = Jumlah tegakan suatu spesies
 A = Luas area pengambilan sampel

- b. Kerapatan Relatif Jenis (Rd_i), merupakan perbandingan antara jumlah tegakan suatu spesies dan jumlah total tegakan semua spesies. Untuk menghitung kerapatan jenis relatif mangrove dapat dihitung dengan persamaan 5 sebagai berikut:

$$RD_i = \left(\frac{N_i}{\sum N} \right) \times 100 \quad (5)$$

Keterangan:

- RD_i = Kerapatan relatif jenis suatu spesies
 N_i = Jumlah tegakan suatu jenis spesies
 $\sum N$ = Jumlah total tegakan semua spesies

- c. Frekuensi Jenis (F_i), merupakan peluang ditemukannya suatu spesies dalam area penelitian. Untuk menghitung frekuensi jenis mangrove dapat dihitung dengan persamaan 6 sebagai berikut:

$$F_i = \frac{P_i}{\sum P} \times 100 \quad (6)$$

Keterangan:

- F_i = Frekuensi jenis suatu spesies
 P_i = Jumlah plot ditemukannya suatu spesies
 $\sum P$ = Jumlah total plot yang diamati

- d. Frekuensi Relatif Jenis (Rf_i), merupakan perbandingan antara frekuensi jenis suatu spesies dan jumlah total frekuensi semua spesies. Untuk menghitung frekuensi relatif mangrove dapat dihitung dengan persamaan 7 sebagai berikut:

$$RF_i = \left(\frac{F_i}{\sum F} \right) \times 100 \quad (7)$$



Fi = Frekuensi jenis suatu spesies
 ΣF = Jumlah total frekuensi spesies

- e. Tutupan Basal (Ci), merupakan penutupan suatu jenis spesies dalam suatu unit area. Untuk menghitung tutupan basal mangrove dapat dihitung dengan persamaan 8 sebagai berikut:

$$Ci = \frac{\Sigma BA}{A}, \left(BA = \frac{\pi DBH^2}{4} \right) \quad (8)$$

Keterangan:

Ci = Tutupan basal jenis suatu spesies
 BA = Luas penutupan area
 A = Luas total area pengambilan sampel
 DBH = Diameter pohon suatu spesies

- f. Tutupan Basal relatif (RCi), merupakan perbandingan antara tutupan basal jenis suatu spesies dengan jumlah total semua spesies. Untuk menghitung tutupan basal relatif mangrove dapat dihitung dengan persamaan 9 sebagai berikut:

$$RCi = \left(\frac{Ci}{\Sigma C} \right) \times 100 \quad (9)$$

Keterangan:

RCi = Tutupan basal relatif jenis suatu spesies
 Ci = Tutupan basal jenis suatu spesies
 ΣC = Jumlah total tutupan basal semua spesies

- g. Indeks Nilai Penting (INP) dapat memberikan suatu gambaran mengenai pengaruh atau peranan suatu jenis spesies dalam komunitas. Untuk menghitung Indeks Nilai Penting dapat dihitung dengan persamaan 10 sebagai berikut:

$$INP = RDi + RFi + RCi \quad (10)$$

Keterangan:

INP = Indeks nilai penting
 RDi = Kerapatan relatif jenis
 RFi = Frekuensi relatif jenis
 RCi = Tutupan basal relatif jenis

2.4.2 Analisis Biomassa Mangrove

Analisis biomassa pada ekosistem mangrove dapat dilakukan menggunakan metode non-destruktif dengan menggunakan metode alometrik, yaitu metode yang mengukur biomassa dan stok karbon tanpa harus melakukan atau merusak vegetasi, sehingga tetap menjaga kelestarian (Sudrajat et al., 2017).



metrik dalam pengukuran biomassa mangrove didasarkan pada antara DBH dan massa biomassa pohon. Biomassa yang diukur terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu biomassa di atas permukaan tanah (*Above Ground Biomass*) dan biomassa di bawah permukaan tanah

(*Below Ground Biomass*). Analisis dilakukan dengan memasukkan nilai DBH ke dalam rumus allometrik yang telah dikembangkan, sehingga diperoleh estimasi biomassa dari spesies pohon mangrove yang diteliti. Selanjutnya, nilai biomassa ini dapat dikonversi menjadi estimasi stok karbon yang tersimpan dalam ekosistem mangrove.

Dalam penelitian ini, digunakan persamaan allometrik umum untuk memperoleh nilai biomassa mangrove. Adapun rumus allometrik yang digunakan dalam perhitungan biomassa, baik di atas maupun di bawah permukaan tanah, telah disajikan dalam Tabel 4 dan Tabel 5 (Suryono et al., 2018). Selain itu, untuk memperhitungkan massa akar secara lebih akurat, digunakan data berat jenis kayu mangrove (*wood density*) per spesies, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 4. Model allometrik *above ground biomass* setiap spesies mangrove

Jenis Spesies	Model Allometrik	Sumber
<i>Avicennia marina</i>	$B=0.1848 \cdot D^{2.3524}$	Dharmawan dan Siregar, 2008
<i>Rhizophora apiculata</i>	$B=0,043 \cdot D^{2.63}$	Amira, 2008
<i>Rhizophora mucronata</i>	$B=0,1466 \cdot D^{2.3136}$	Dharmawan, 2013

Keterangan: B= Biomassa (kg); D=*Diameter at breast height* (cm); ρ = *wood density* (gr/cm²)

Tabel 5. Model allometrik *below ground biomass* setiap spesies mangrove

Jenis Spesies	Model Allometrik	Sumber
<i>Avicennia marina</i>	$B=1,28 \cdot D^{1.17}$	Komiyama et al., 2008
<i>Rhizophora apiculata</i>	$B=0,00698 \cdot D^{2.15}$	Ong et al., 2004
<i>Rhizophora mucronata</i>	$B=0,199 \rho^{0.899} D^{2.22}$	Komiyama et al., 2005

Keterangan: B= Biomassa (kg); D=*Diameter at breast height* (cm); ρ = *wood density* (gr/cm²)

Tabel 6. Nilai berat jenis setiap spesies mangrove

Jenis Spesies	Berat Jenis (ρ)
<i>Rhizophora apiculata</i>	0,8814
<i>Rhizophora mucronata</i>	0,8483
<i>Avicennia marina</i>	0,7316

Sumber: *World Agroforestry Center* <http://db.worldagroforestry.org/wd/>; in (Hermialingga et al., 2020)

2.4.3 Analisis Stok Karbon dan Estimasi Serapan Karbon dioksida (CO₂)

Analisis stok karbon pada ekosistem mangrove dapat dilakukan dengan mengacu pada total nilai biomassa yang telah dihitung sebelumnya. Berdasarkan pendekatan yang umum digunakan dalam kajian karbon, diasumsikan bahwa sekitar 46% dari total biomassa merupakan kandungan karbon organik. Oleh karena itu, estimasi jumlah



an dalam vegetasi mangrove dapat diperoleh dengan mengalikan n faktor konversi 0,46 (Hairiah et al., 2011). Estimasi jumlah karbon : biomassa dapat dihitung menggunakan persamaan 11:

$$C = 0,46 \times B \quad (11)$$

Keterangan:

C = Cadangan karbon (kg)

B = Biomassa (kg)

0,46 = Fraksi karbon

Setelah diperoleh nilai stok karbon (C) dari hasil perhitungan biomassa mangrove, tahap selanjutnya adalah menghitung kemampuan serapan karbon dioksida (CO₂) oleh vegetasi mangrove. Estimasi ini dilakukan dengan cara mengkonversi jumlah karbon tersimpan ke dalam satuan massa CO₂, mengacu pada prinsip dasar bahwa setiap satuan massa karbon yang tersimpan dalam biomassa berasal dari proses penyerapan karbon dioksida dari atmosfer melalui fotosintesis.

Menurut Kauffman & Donato, (2012), konversi dari karbon (C) ke karbon dioksida (CO₂) dapat dilakukan dengan mengalikan nilai stok karbon dengan faktor 3,67 yang merupakan rasio massa molekul CO₂ (44) terhadap massa atom C (12). Berikut persamaan 12 yang digunakan:

$$CO_2 = 3,67 \times C_n \quad (12)$$

Keterangan:

CO₂ = Serapan karbon dioksida (MgCO₂/ha)

3,67 = Rasio massa molekul CO₂ terhadap massa atom C

C_n = Cadangan karbon (MgC/ha)

2.4.4 Valuasi Ekonomi Karbon

Hutan mangrove merupakan salah satu kekayaan alam yang memiliki nilai ekonomi tinggi, tidak hanya dari aspek sumber daya hayati tetapi juga dari jasa ekosistem yang dihasilkannya, salah satu jasa lingkungan yang paling signifikan adalah perannya dalam menyimpan dan menyerap karbon, yang menjadikan ekosistem mangrove bernilai strategis dalam mitigasi perubahan iklim. Di Indonesia, nilai ekonomi dari jasa lingkungan mangrove semakin diakui seiring berkembangnya mekanisme valuasi ekonomi berbasis cadangan karbon, terutama melalui skema perdagangan karbon (*carbon emission trading*) (Siagian & Arifin, 2022).

Dalam rangka menghitung potensi manfaat finansial dari perdagangan karbon, dilakukan simulasi perhitungan dengan mengacu pada konsep perdagangan komoditas, mengingat emisis karbon telah diklasifikasikan sebagai komoditas yang dapat diperjualbelikan. Proses perhitungan dilakukan secara bertahap, dimulai dengan penerapan model ekonomi untuk mengestimasi potensi pendapatan dari aktivitas perdagangan karbon, yang kemudian dilanjutkan dengan konversi nilai tersebut ke dalam valuta asing. Mata uang asing yang digunakan dalam perhitungan ini adalah USD dan EUR. mengingat kedua mata uang tersebut secara umum digunakan berdasarkan dua



yaitu harga karbon dari Norwegia dan harga karbon dari skema *ance* (EUA). Harga karbon Norwegia ditetapkan sebesar 5 USD rsifat tetap (*fixed price*), sedangkan harga karbon EUA bersifat *ce*) tergantung dinamika pasar sepanjang tahun. Dalam penelitian ata harga karbon EUA sebesar 11,3 Euro per ton CO₂, yang

merupakan harga rata-rata yang digunakan perhitungan potensi penerimaan negara bukan pajak (PNBP) selama periode 2020 hingga 2030 (Irama, 2020).

Selain itu, digunakan juga harga karbon yang berlaku di pasar sukarela sebesar Rp.84.000.00/tCO_{2e} yang merupakan *voluntary market* karena adanya keinginan bersama untuk mengurangi emisi karbon. Di pasar wajib *Clean Development Mechanism* harga karbon sebesar Rp.219.520.00/tCO_{2e}, adanya kebijakan yang mewajibkan pengurangan dan/atau pembatasan jumlah emisi gas rumah kaca menjadi dasar terbentuknya pasar ini (Farahisah et al., 2021).

