

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mangrove merupakan ekosistem *blue carbon* yang berperan penting dalam penyerapan dan penyimpanan karbon, baik pada biomassa maupun tanah. Kemampuannya dalam menyimpan karbon tiga kali lebih efektif dibandingkan dengan hutan daratan (Alongi, 2012; J. B. Kauffman & Donato, 2012; Malik et al., 2020;). Melalui proses fotosintesis, ekosistem mangrove membantu mengurangi kadar CO₂ di atmosfer, menjadikannya salah satu ekosistem penting dalam mitigasi perubahan iklim (Donato et al., 2011; IPCC, 2022; Laffoley & Grimsditch, 2009). Selain itu, mangrove memberikan berbagai jasa ekologis penting seperti perlindungan pantai, habitat bagi kehidupan laut, dan dukungan bagi ekosistem terestrial (K et al., 2024; Islam et al., 2024).

Namun, ekosistem mangrove terus mengalami degradasi akibat berbagai aktivitas antropogenik, seperti konversi lahan untuk pembangunan, eksploitasi sumber daya, dan perubahan tata guna lahan yang tidak berkelanjutan (Dunic et al., 2021; Y. Zhang et al., 2020). Dampak dari degradasi ini sangat besar, mulai dari berkurangnya habitat bagi organisme akuatik seperti ikan, kepiting, udang, dan benthik, hingga penurunan fungsi dekomposisi mikroba yang mencapai 80%, yang berperan penting dalam siklus nutrisi (Carugati et al., 2018). Selain merusak fungsi ekologis, degradasi ini juga menyebabkan berkurangnya kemampuan mangrove dalam menyerap dan menyimpan karbon, yang berpotensi memperparah emisi karbon di atmosfer (Rudianto et al., 2020).

Estimasi stok karbon sangat penting dalam menilai kemampuan dan jasa ekosistem kawasan mangrove, estimasi stok karbon kawasan mangrove berdasarkan biomassa banyak dilakukan dengan menggunakan pendekatan allometrik yang bersifat non destruktif, baik dalam penilaian *Aboveground biomass* maupun *belowground biomass* (Ali et al., 2023; Bulmer et al., 2016; Malik et al., 2020), dan estimasi stok karbon pada setiap lapisan tanah menggunakan analisis karbon organik dengan menggunakan beberapa metode seperti LOI (*Loss On Ignition*), Walkley-Black dan CHN analyzer (Panda et al., 2025; Ratefinjanahary et al., 2025; Soeprbowati et al., 2024). Secara garis besar estimasi total ekosistem karbon yaitu berdasarkan akumulasi total stok karbon yang terdapat pada biomassa dan tanah (Howard et al., 2014; J. B. Kauffman et al., 2020; Morrisette et al., 2023).

Perkembangannya teknologi penginderaan jauh telah membuka peluang besar dalam estimasi stok karbon kawasan mangrove. Metode ini memungkinkan analisis spasial-temporal dengan memanfaatkan berbagai algoritma indeks vegetasi untuk mengukur biomassa secara efektif (Ruan et al., 2022; Winarso et al., 2023). berbagai penelitian telah melakukan estimasi stok karbon berdasarkan biomassa dengan menggunakan indeks vegetasi sebagai instrumen utama analisis stok karbon kawasan mangrove (N. Ali et al., 2023; Marelign et al., 2022; Purnamasari et al., 2021), Selain itu estimasi stok karbon tanah kawasan mangrove berdasarkan spasial

telah dilakukan dengan menggunakan pendekatan *machine learning* (Huang et al., 2024; Moreno Muñoz et al., 2024).

Teknologi geospasial memainkan peran penting dalam mendukung pengambilan keputusan tata kelola kawasan mangrove yang adaptif dan partisipatif, terutama melalui kemampuan visualisasi spasial yang memungkinkan identifikasi area prioritas konservasi, pemantauan perubahan tutupan lahan, serta analisis dampak degradasi ekologis secara real-time. Keunggulan efisiensi biaya dan waktu menjadikan pendekatan ini lebih unggul dibandingkan metode konvensional yang cenderung memerlukan sumber daya besar. Di Kelurahan Talaka, Kabupaten Pangkep, kawasan mangrove menghadapi tekanan antropogenik akibat alih fungsi lahan yang berpotensi menurunkan kapasitas ekosistem dalam menyerap dan menyimpan karbon.

Perhitungan dan estimasi cadangan karbon merupakan salah satu landasan ilmiah penentuan arah konservasi dan manajemen mitigasi perubahan iklim (Rahman et al. 2024). Banyak metode dalam menghitung penyimpanan dan penyerapan karbon, Salah satu metode yang dapat digunakan secara efektif dalam memetakan cadangan karbon pada kawasan mangrove secara keseluruhan pada suatu daerah yaitu dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh (Wicaksono et al., 2015). Namun perlu diintegrasikan dengan model penyimpanan dan penyerapan karbon AGB (*Aboveground Biomass*), BGB (*Belowground Biomass*) dan sedimen (Li et al., 2024; Hidayah et al., 2024; Pham et al., 2020; Farhaby et al., 2024).

Strategi pengelolaan kawasan mangrove yang berkelanjutan perlu mempertimbangkan kondisi sosial masyarakat setempat, karena berbagai aktivitas seperti pemanfaatan kayu mangrove, alih fungsi lahan, dan eksploitasi sumber daya perikanan dapat mengganggu keseimbangan ekologis ekosistem tersebut (Akram et al., 2023). Untuk itu, diperlukan pendekatan yang mengintegrasikan aspek sosial, estimasi cadangan karbon, serta nilai ekonomi dari jasa ekosistem mangrove dalam menyimpan karbon guna menghasilkan strategi pengelolaan yang lebih efektif dan berkelanjutan (Koesdaryanto et al., 2024). Dalam hal ini, analisis SWOT dapat menjadi alat yang relevan untuk menyelaraskan potensi biofisik-ekologis dengan kondisi sosial ekonomi masyarakat secara komprehensif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat dirumuskan masalah penelitian antara lain:

1. Bagaimana memetakan dan mengestimasi cadangan karbon pada kawasan mangrove menggunakan teknologi geospasial secara akurat dan efektif ?
2. Bagaimana strategi pengelolaan kawasan mangrove dapat ditentukan berdasarkan cadangan karbon, nilai ekonomi cadangan karbon dan keadaan sosial masyarakat setempat ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Memetakan dan mengestimasi cadangan karbon pada kawasan mangrove menggunakan teknologi geospasial dan analisis laboratorium?
2. menganalisis strategi pengelolaan kawasan mangrove berdasarkan nilai ekonomi cadangan karbon dan kondisi sosial masyarakat berdasarkan analisis SWOT?

1.4 Manfaat Penelitian

1. Manfaat akademis

- a. Penelitian ini akan memperkaya literatur ilmiah tentang metodologi pemetaan karbon di ekosistem mangrove menggunakan teknologi geospasial.
- b. Data dan informasi yang diperoleh dapat digunakan sebagai acuan atau basis data dalam penelitian lebih lanjut, baik terkait pemetaan ekosistem mangrove maupun estimasi stok karbon di wilayah pesisir.
- c. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mengembangkan model atau simulasi terkait pengelolaan mangrove berbasis nilai ekonomi karbon dan analisis sosial-ekologis.

2. Manfaat untuk pemerintah

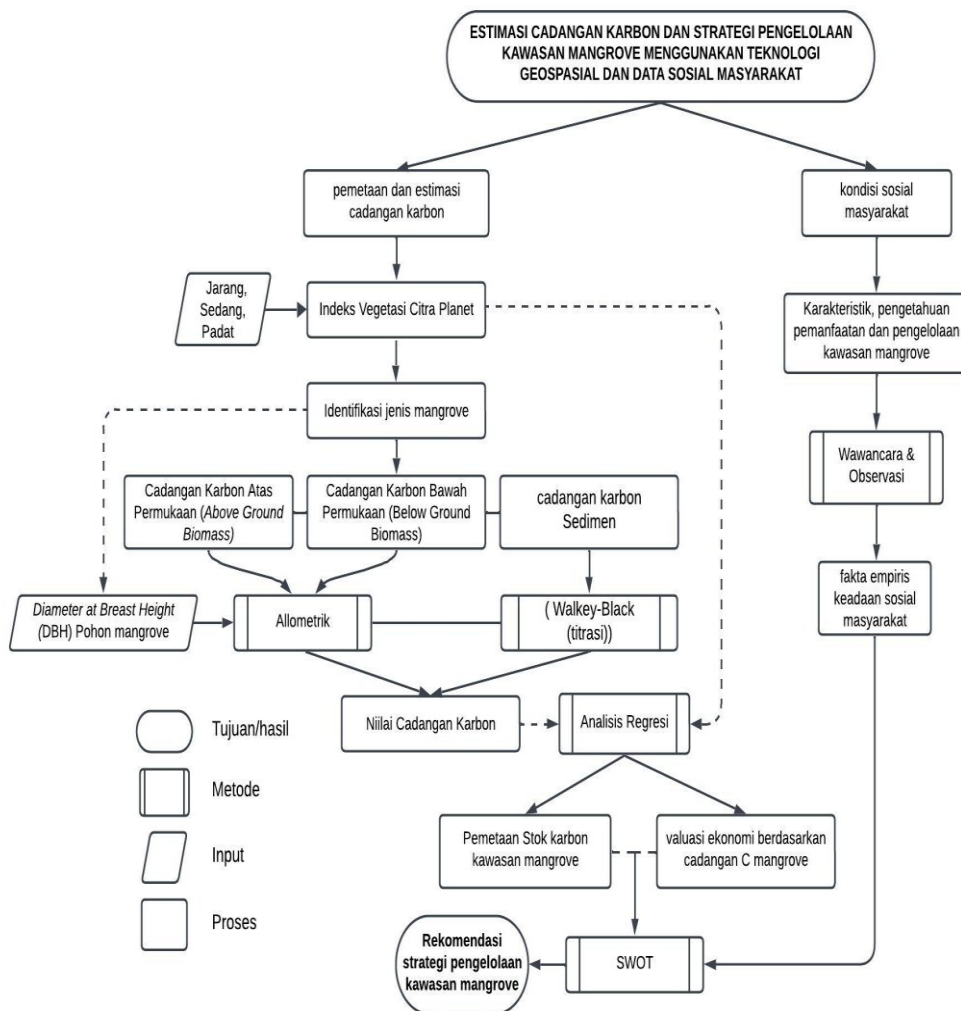
- a. Penelitian ini dapat mendukung pengambilan keputusan dan perumusan kebijakan yang lebih tepat terkait konservasi dan rehabilitasi mangrove, terutama dalam konteks mitigasi perubahan iklim.
- b. Hasil pemetaan dan estimasi cadangan karbon dapat menjadi referensi penting dalam perencanaan tata ruang kawasan pesisir dan pengelolaan sumber daya alam di wilayah mangrove.
- c. Temuan penelitian mengenai nilai ekonomi cadangan karbon dapat membantu pemerintah mengembangkan skema insentif ekonomi, seperti pembayaran jasa lingkungan (PES - *Payment for Environmental Services*) atau perdagangan karbon, yang melibatkan masyarakat lokal.

3. Manfaat untuk masyarakat

- a. Penelitian ini dapat meningkatkan pemahaman masyarakat mengenai pentingnya menjaga ekosistem mangrove dalam mitigasi perubahan iklim dan menjaga keseimbangan ekosistem pesisir.
- b. Hasil penelitian ini bisa membuka peluang bagi masyarakat lokal untuk berpartisipasi dalam program-program ekonomi berbasis ekosistem, seperti program konservasi yang didanai oleh perdagangan karbon.
- c. Strategi pengelolaan mangrove yang mempertimbangkan aspek sosial masyarakat dapat memberdayakan masyarakat lokal untuk terlibat secara aktif dalam kegiatan pengelolaan dan pemantauan ekosistem mangrove.

1.5 Kerangka Pikir

Secara keseluruhan, kerangka pikir dalam penelitian ini digambarkan melalui alur dan skema Gambar 1 di bawah ini.

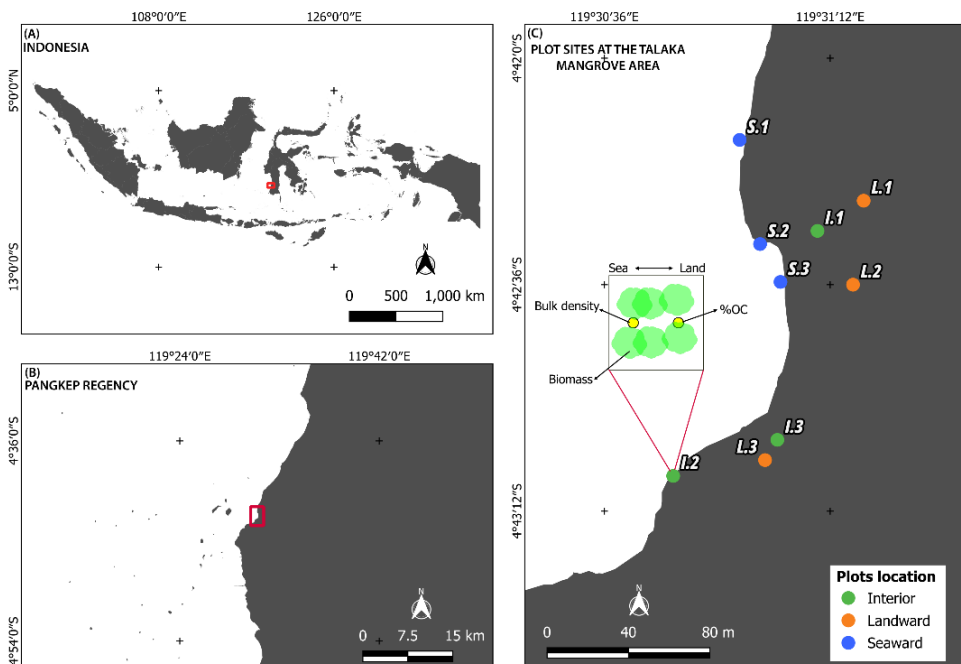


Gambar 1. kerangka pikir

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 21–29 November 2025, yang mencakup kegiatan observasi lapangan dan pengambilan sampel di kawasan mangrove Talaka, Kelurahan Talaka, Kecamatan Ma'rang, Kabupaten Pangkep, Provinsi Sulawesi Selatan. Kawasan ini memiliki ekosistem mangrove yang cukup luas dan beragam, dengan titik pengamatan tersebar di beberapa zona vegetasi. Secara geografis, Kelurahan Talaka berbatasan dengan Kelurahan Attang Salo di sebelah Timur, Desa Kanaungan di sebelah Selatan, dan Kelurahan Bonto-Bonto di sebelah Barat. Kawasan mangrove tersebut menawarkan jasa ekosistem yang penting, seperti mendukung keanekaragaman hayati, menyediakan habitat bagi berbagai jenis burung, serta melindungi tambak masyarakat dari ancaman abrasi (Hamsiah et al., 2023; Wiwiyani et al., 2025). Adapun lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi penelitian menunjukkan (a dan b) Desa Talaka berada di kaki pulau Sulawesi (persegi merah) yang terletak sebelah barat daratan utama sulawesi selatan (persegi merah) dan (c) 9 titik sampling pengukuran biomassa mangrove dan pengambilan sampel sedimen pada kawasan mangrove titik pengukuran sampel pada area *seaward* (S1-S3), *interior* (I1-I3) dan *landward* (L1-L3) pada kawasan mangrove.

2.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini alat dan bahan yang digunakan terbagi menjadi dua berdasarkan tujuan penelitian. Untuk tujuan pertama terdiri dari alat dan bahan pengolahan citra satelit, pengambilan data lapangan dan peralatan analisis laboratorium. Adapun tujuan kedua terdiri dari alat dan bahan wawancara keadaan sosial masyarakat sekitar kawasan mangrove, konversi nilai ekonomi kawasan mangrove berdasarkan cadangan karbon. alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

Tabel 1. Alat dan Bahan

Pencapaian tujuan pertama	
Alat & Bahan	Kegunaan
Aplikasi pengolahan citra satelit	Pengolahan citra satelit planet dan analisa indeks vegetasi
<i>Roll Meter</i>	Pengukuran diameter batang pohon mangrove
GPS	Penentuan titik lokasi pengambilan sampel
Pipa PVC	Pengambilan sampel sedimen
Alat Tulis	Mencatat data lapangan
Tali	Pembatas area pengambilan sampel
Buku panduan identifikasi mangrove	Mengidentifikasi jenis mangrove
Nitra & fosfat	Pengamatan laboratorium
Pencapaian tujuan kedua	
Alat & Bahan	Kegunaan
Kuesioner	Wawancara Masyarakat
Alat tulis	Mencatat hasil wawancara
Regulasi nilai ekonomi cadangan karbon	Konversi nilai cadangan karbon

2.3 Metode Penelitian

2.3.1 Jenis dan Sumber Data

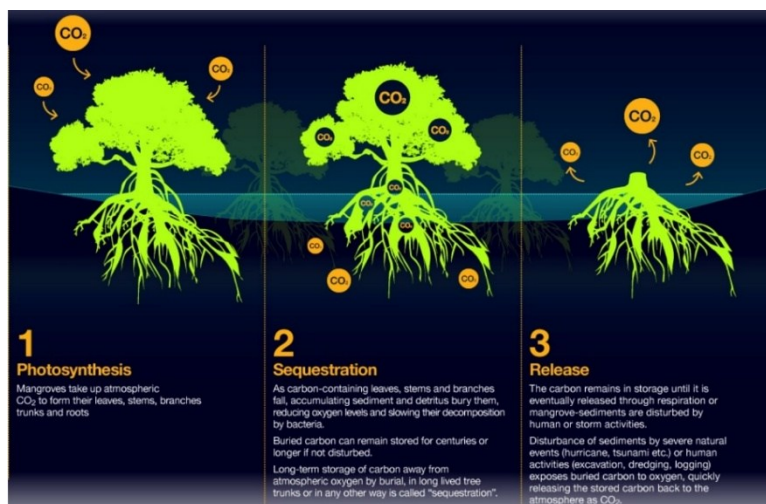
Jenis dan sumber data yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua berdasarkan tujuan penelitian. Dalam mengklasifikasi setiap sub tujuan pemetaan dan mengestimasi cadangan karbon, menghitung valuasi ekonomi serta menentukan strategi pengelolaan kawasan mangrove. maka dilakukan kluster berdasarkan jenis data, perolehan data, waktu perolehan, sumber data dan metode analisis data. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Jenis dan sumber data berdasarkan pencapaian tujuan

Pencapaian tujuan pertama				
Jenis Data	Perolehan Data	Akuisisi	Sumber Data	Metode Analisis Data
Downloading dan pengolahan Citra Planet Tahun 2024	<i>In situ</i>	Oktober-November 2024	https://www.planet.com/	Transformasi Nilai NDVI pada citra Planet dan klasifikasi nilai NDVI
Pengukuran lingkaran batang pohon mangrove pada plot pengamatan kawasan mangrove	- Lingkar batang - Studi referensi jenis mangrove	Oktober-November 2024	Pengukuran aktual lapangan kawasan mangrove	Analisis persamaan peubah nilai CBH ke DBH berdasarkan jenis mangrove
Pengambilan sampel aktual lapangan Analisis laboratorium	<i>In situ</i>	Oktober-November 2024	Hasil analisis laboratorium	Analisis C organik tanah dengan Welkey & Black
Data spasial cadangan karbon mangrove berdasarkan indeks vegetasi	<i>In situ</i>	Oktober-November 2024	- Raster NDVI - cadangan karbon aktual kawasan mangrove	Perubahan data raster NDVI menjadi nilai karbon berdasarkan estimasi karbon aktual menggunakan permodelan regresi
Pencapaian tujuan kedua				
Jenis Data	Perolehan Data	Akuisisi	Sumber Data	Metode Analisis Data
Data sosial masyarakat terdiri dari : Karakteristik, pengetahuan ekosistem mangrove, pemanfaatan kawasan mangrove, Pengelolaan kawasan mangrove.	Wawancara	Oktober-November 2024	Masyarakat sekitar kawasan mangrove	Analisis SWOT
Nilai ekonomi cadangan karbon	<i>In situ</i>	Oktober-November 2024	Akumulasi nilai cadangan karbon atas permukaan, bawah permukaan dan sedimen.	Nilai karbon aktual keseluruhan daerah penelitian dikonversi menjadi nilai ekonomi

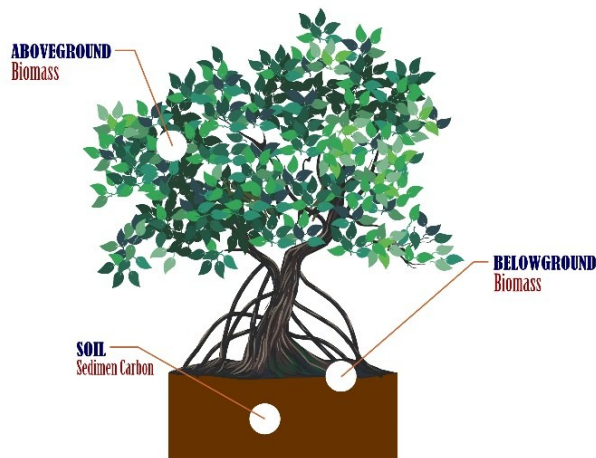
2.3.2 Metode Pengumpulan Data Pencapaian Tujuan Pertama

Dalam penelitian yang akan dilakukan pengumpulan data dimulai dari pengolahan dan analisis citra satelit. Kemudian dilanjutkan pelaksanaan penelitian dengan melakukan pengukuran, pengambilan, pengamatan terhadap sampel secara langsung dan analisis laboratorium. Data karbon kawasan mangrove diperoleh dari pengukuran biomassa atas permukaan, biomassa bawah permukaan dan sedimen. penentuan lokasi pengambilan sampel ditentukan dengan metode *purposive sampling* berdasarkan klasifikasi nilai indeks vegetasi NDVI pada citra planet tahun 2024, jumlah pengambilan titik sampel cadangan karbon yaitu sebanyak 9 titik yang terbagi pada tingkat klasifikasi indeks vegetasi jarang, sedang dan padat pada masing-masing lokasi penelitian.



Sumber : Indeks kesehatan laut

Gambar 3. Ilustrasi penyerapan dan penyimpanan karbon mangrove



Gambar 4. Ilustrasi estimasi cadangan karbon mangrove

a. Pengolahan Citra Satelit PlanetScope

Penelitian ini menggunakan citra PlanetScope level-3B dengan resolusi spasial 3-5 m, dari hasil perekaman satelit SuperDove pada 24 September 2024 dengan tutupan awan <10% . Citra tersebut merupakan produk citra yang telah diortorektifikasi sehingga sesuai dengan posisi permukaan bumi dan diproyeksikan ke proyeksi peta. Koreksi geometrik menggunakan GCP (*Ground Control Points*) yang bersumber dari data *Digital Elevation Model* (DEMs) dengan resolusi 30 m hingga 90 m dengan akurasi posisi <10 m RMSE (*Root Mean Square Errors*). Selain itu, citra PlanetScope yang digunakan telah melalui proses koreksi radiometrik dan dikonversi menjadi tingkat reflektansi permukaan (*surface reflectance*) yang telah dikalibrasi menggunakan koreksi *Top of Atmosphere* (TOA) (Planet Labs, 2023). Band yang digunakan dalam analisis indeks vegetasi pada citra PlanetScope yaitu *Near infrared* (NIR), Red, Green dan Blue (8,6,4,2).

b. Indeks Vegetasi NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

Interpretasi kawasan mangrove menggunakan data nilai NDVI sebagai acuan dalam pemisahan vegetasi dan non vegetasi menggunakan software QGIS, batas kawasan mangrove diverifikasi dengan data citra *Google earth* dan data observasi lapangan. Penentuan indeks vegetasi citra satelit pada kawasan mangrove menggunakan transformasi citra NDVI (*Normalized Difference Vegetation Indeks*) (Purnamasari et al., 2021). NDVI memiliki sensitivitas tinggi terhadap intensitas klorofil pada tanaman. Indeks ini tidak hanya mampu membedakan antara kawasan vegetasi dan non-vegetasi, tetapi juga memfasilitasi identifikasi batasan kawasan mangrove. Selain itu, NDVI menyediakan lapisan data yang relevan untuk klasifikasi kategori tingkat indeks vegetasi, karena karakteristik ini NDVI sangat populer dalam penelitian dan pengelolaan ekosistem mangrove dan estimasi stok karbon (Patil et al., 2015; Singh et al., 2023; Tran et al., 2022). Nilai piksel citra NDVI berkisar antara -1 hingga +1, Nilai NDVI yang lebih tinggi menunjukkan bahwa tingkat kerapatan kanopi mangrove semakin meningkat, begitu pun sebaliknya (Rouse Jr. et al., 1974). Pembagian kelas klasifikasi nilai NDVI terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Klasifikasi NDVI

Kelas	NDVI	Keterangan
1	0.5 – 0.6	Kehijauan jarang
2	0.6 – 0.7	Kehijauan sedang
3	0.7 – 0.8	Kehijauan padat
4	>0.8	Kehijauan sangat padat

Sumber : analisis NDVI

Adapun transformasi NDVI dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Keterangan :

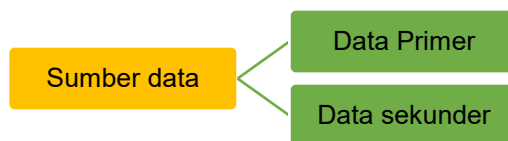
NIR (*Near infra red*) : band infra merah dekat

RED : band merah

2.3.3 Metode Pengumpulan Data Pencapaian Tujuan Kedua

a. Data Sosial Masyarakat

Pengumpulan data sosial masyarakat sekitar kawasan mangrove dirancang untuk memahami karakteristik masyarakat, pengetahuan, pemanfaatan, dan pengelolaan kawasan mangrove. pengumpulan data dilakukan dengan wawancara dan observasi. Kuesioner sebagai alat untuk mengumpulkan data dan diaplikasikan dengan wawancara langsung pada masyarakat yang berada di sekitar lokasi kawasan mangrove serta melakukan observasi dengan cara pengamatan langsung kegiatan sosial pada lokasi penelitian. Penentuan subyek wawancara dilakukan dengan metode *purposive sampling* dengan kriteria responden yaitu nelayan, lembaga swadaya masyarakat, tokoh masyarakat, pemuda, pemerintah desa dan masyarakat yang bertempat tinggal di sekitar kawasan mangrove. Jumlah responden pada lokasi penelitian yaitu 30 responden, menurut penelitian Nur Amalia et al., (2022) 30 responden sudah cukup untuk dilakukan analisa lebih lanjut dan dianggap memadai dalam mengidentifikasi pola sosial masyarakat.



Gambar 5. Sumber data sosial dan ekonomi masyarakat

b. Nilai Ekonomi Cadangan Karbon

Nilai ekonomi cadangan karbon didasarkan pada hasil pemetaan dan estimasi cadangan karbon. Nilai ekonomi tersebut dirumuskan berdasarkan studi literatur dan berdasarkan regulasi yang ada. Pengumpulan data nilai ekonomi cadangan karbon sangat penting sebagai bagian dari upaya pengelolaan dan konservasi mangrove.

2.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian sudah dilaksanakan dilaksanakan pada bulan Oktober – November 2024. Pelaksanaan penelitian berdasarkan dua tujuan yang ingin dicapai, tujuan penelitian ini saling berkaitan pada penentuan strategi pengelolaan kawasan mangrove. Data yang dibutuhkan yaitu pemetaan dan estimasi cadangan karbon dan nilai ekonomi cadangan karbon mangrove serta keadaan sosial masyarakat dalam memanfaatkan ekosistem tersebut. Alur pelaksanaan penelitian dimulai dari estimasi cadangan karbon serta perhitungan nilai ekonomi cadangan karbon mangrove dan

wawancara terhadap masyarakat sekitar kawasan mangrove yang berada pada dua lokasi penelitian.

2.4.1 Pelaksanaan Penelitian Pencapaian Tujuan Pertama

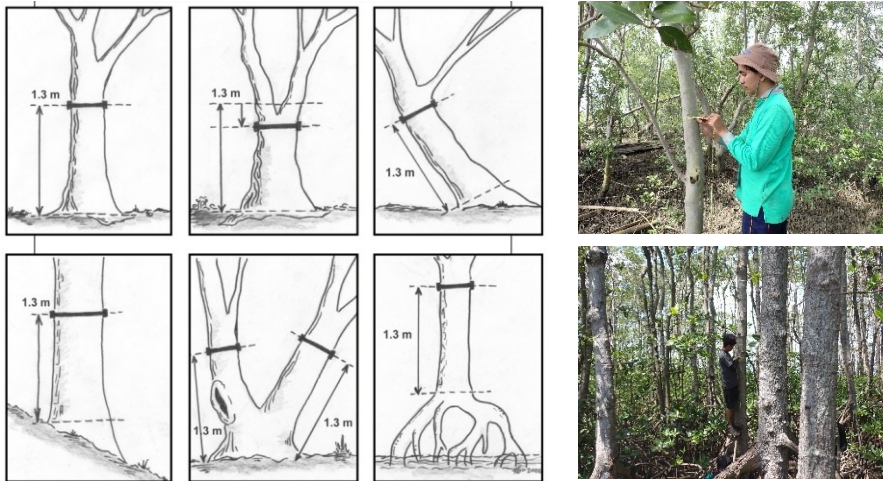
Estimasi cadangan karbon dimulai dengan pengolahan citra satelit PlanetScope untuk memperoleh nilai indeks vegetasi NDVI yang bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat vegetasi rendah, sedang dan tinggi pada kawasan mangrove sebagai acuan penentuan titik lokasi plot pengamatan stok karbon mangrove. Selanjutnya Pengambilan data lapangan nilai cadangan dan penyerapan karbon yang dilakukan secara langsung dengan mengikuti prosedur yang telah ditentukan pada area atas permukaan tanah, bawah permukaan tanah dan sedimen. nilai indeks vegetasi dan nilai cadangan karbon aktual lapangan dilakukan analisis lanjutan untuk mengakumulasi persebaran cadangan karbon spasial pada lokasi penelitian, hasil akumulasi tersebut menjadi acuan penentuan nilai ekonomi cadangan karbon pada kawasan mangrove tersebut.

a. Penentuan Plot Pengamatan

penetapan titik sampling berdasarkan nilai indeks vegetasi NDVI, yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan lokasi berdasarkan kerapatan mangrove. Posisi titik sampling dikategorikan ke dalam tiga kelompok yaitu, (1) lokasi mangrove yang dekat dengan daratan (*Landward*), (2) lokasi mangrove yang paling dekat dengan laut (*Seaward*), dan (3) lokasi mangrove yang berada diantara lokasi *Landward* dan *Seaward* atau di tengah. Setiap kategori memiliki tiga titik pengambilan data yang tersebar di sepanjang kawasan mangrove Talaka, yang bertujuan untuk merepresentasikan distribusi ekosistem mangrove secara ekologis dan spasial sehingga dapat memberikan gambaran dinamika karbon kawasan tersebut. luas plot yang digunakan pada setiap titik sampling adalah 9 m² disesuaikan dengan resolusi citra PlanetScope, pengumpulan data pada setiap titik plot sampling mencakup jenis pohon mangrove, lingkaran batang pohon mangrove. Persebaran titik dan bentuk plot pengamatan dapat dilihat pada Gambar 2.

b. Pengukuran Lingkaran Batang Pohon Mangrove (*Circumference at Breast Height*)

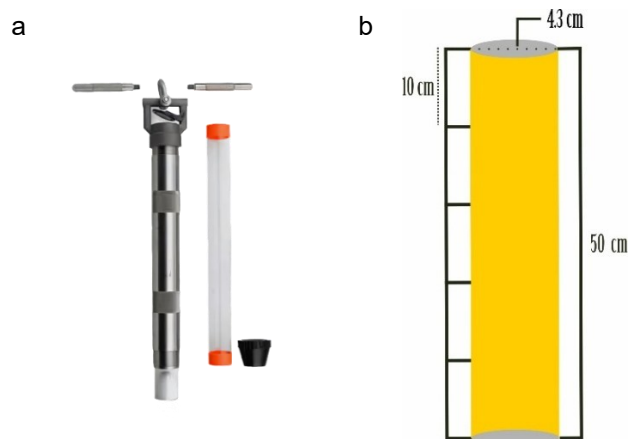
Mangrove merupakan struktur pohon (*tree architecture*) yang unik sehingga dibutuhkan teknik pengambilan data lingkaran batang mangrove yang biasa disebut CBH (*Circumference at Breast Height*) yang sesuai dengan bentuk dan struktur pohon (Sidik et al., 2019). Pengukuran lingkaran batang pohon mangrove bertujuan untuk memperoleh nilai DBH pohon mangrove, yang akan digunakan pada persamaan allometrik untuk mengestimasi biomassa atas permukaan dan bawah pada setiap jenis mangrove yang berada pada plot pengamatan. Adapun teknik pengukuran CBH pohon mangrove terdapat pada Gambar 6.



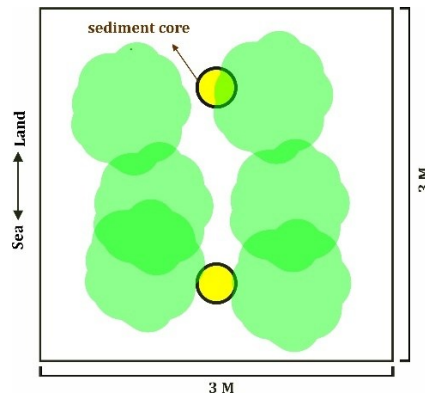
Gambar 6. Teknik pengukuran lingkaran batang mangrove (Pearson et al., 2005)

c. Pengambilan Sampel Karbon Dan *Bulk Density* Tanah Mangrove

Pengambilan sampel karbon tanah minimal kedalaman 0 – 30 cm, karna kedalaman tersebut rentang terhadap tekanan perubahan alih fungsi lahan dan berdampak pada penyimpanan karbon (J. B. Kauffman et al., 2011). Pengambilan sampel tanah dilakukan pada 2 titik setiap plot pengamatan untuk estimasi cadangan karbon dan perhitungan *bulk density*. Proses pengambilan tanah menggunakan *sedimen core* diameter 4,5 cm panjang 50 cm dan dilakukan penetrasi hingga kedalaman sedimen 50 cm, dan dilakukan penandaan pada sampel tanah setiap 10 cm untuk memudahkan analisis laboratorium pada tiap kedalaman tanah kawasan mangrove. Proses pengambilan sampel tanah dilakukan secara manual menggunakan sedimen core yang ditancapkan kemudian ditekan hingga seluruh pipa masuk ke dalam tanah. Perhitungan *dry bulk density* (DBD) dan estimasi karbon pada setiap tingkat ke dalam dapat dipengaruhi karena adanya pemadatan tanah.



Gambar 7. (a) *Sediment core* (b) Ilustrasi pipa *sediment core* yang dibagi berdasarkan tingkat kedalaman.



Gambar 8. Ilustrasi letak pengambilan sampel tanah pada plot pengamatan

2.4.2 Pelaksanaan Penelitian Pencapaian Tujuan Kedua

a. Wawancara dan Observasi

Wawancara dilakukan untuk memperoleh pemahaman mengenai aktivitas sosial masyarakat dalam memanfaatkan kawasan mangrove. Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk kuesioner. Selain itu, observasi dilakukan melalui pengamatan langsung untuk mengidentifikasi aktivitas sosial masyarakat guna mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif terkait pola pemanfaatan, strategi pengelolaan, serta kondisi lingkungan kawasan mangrove. Pengumpulan data melalui wawancara dikategorikan berdasarkan tiga indikator pertanyaan utama sebagai berikut.

Tabel 4. Indikator penilaian perspektif masyarakat pada kawasan mangrove

Indikator	Indikator penilaian
Karakteristik sosial masyarakat	1. Umur 2. Pendidikan 3. Pekerjaan 4. Jenis kelamin 5. Lama bermukim
Pengetahuan	1. Fungsi ekosistem mangrove bagi lingkungan. 2. Peran mangrove dalam mitigasi perubahan iklim 3. Urgensi perlindungan ekosistem mangrove 4. tindakan pelestarian kawasan mangrove
Pemanfaatan	1. tindakan pemanfaatan kawasan mangrove 2. kegiatan konversi kawasan mangrove
Pengelolaan	1. identifikasi kegiatan penanaman kawasan mangrove 2. identifikasi regulasi dalam upaya menjaga kawasan mangrove 3. tantangan dalam menjaga kawasan mangrove

2.1 Parameter Pengamatan

Parameter pengamatan merupakan bagian dari proses identifikasi variabel-variabel seperti AGC, BGC, karbon tanah kawasan mangrove, dan kondisi sosial masyarakat di sekitarnya. Parameter ini ditentukan berdasarkan data yang

dikumpulkan selama penelitian untuk memperoleh informasi yang relevan dan objektif mengenai fenomena yang diteliti. Pengamatan dilakukan menganalisis strategi pengelolaan berdasarkan nilai ekonomi cadangan karbon dan kondisi sosial masyarakat.

2.5.1 Parameter Pengamatan Pencapaian Tujuan Pertama

Pemetaan kawasan mangrove didasarkan pada hasil pengumpulan data yang diperoleh dari pengolahan data citra satelit planet yang ditransformasikan menjadi citra indeks vegetasi NDVI kawasan mangrove. Pemetaan cadangan karbon didasarkan pada nilai indeks vegetasi yang di konversi menjadi nilai cadangan karbon dari hasil analisis parameter pengamatan lapangan dan laboratorium dalam mengestimasi cadangan karbon. Analisis parameter pengamatan dalam estimasi cadangan karbon atas permukaan, bawah permukaan dan sedimen sebagai berikut :

a. Analisis *Diameter At Breast Height* Pohon Mangrove

Analisis DBH berdasarkan jenis mangrove dari hasil pengukuran CBH dan identifikasi jenis mangrove. Adapun persamaan dalam memperoleh nilai DBH yaitu sebagai berikut :

$$DBH = \frac{CBH}{\pi}$$

Keterangan :

DBH : *Diameter at breast height*

CBH : *Circumference at Breast Height*

π : 3.14

b. Analisis Biomassa Atas Permukaan Dan Bawah Permukaan Pohon Mangrove

Pada perhitungan biomassa tegakan dilakukan berdasarkan perhitungan dengan metode non-destruktif dengan menggunakan metode allometrik. Pada perhitungan Allometrik *Aboveground biomass* (AGB) data yang dibutuhkan yaitu data DBH dan *wood density* setiap jenis mangrove, persamaan allometrik yang digunakan berdasarkan persamaan Komiyama et al. (2005). Adapun persamaan allometrik sebagai berikut :

$$W_{top} = 0.251\rho D^{2.46}$$

Keterangan :

W_{top} : Biomassa tegakan (kg)

ρ : *Wood Density* (g/cm⁻³)

D : *Diameter at breast height* (cm)

Tabel 5. *Wood Density* pohon mangrove

Jenis Mangrove	Wood Density (g/cm ⁻³)	Sumber
<i>Rhizophora mucronata</i>	0,83	(Howard et al., 2014)
<i>Avicennia marina</i>	0,62	(J. B. Kauffman & Donato, 2012)
<i>Avicennia alba</i>	0,506	(J. B. Kauffman & Donato, 2012)
<i>Rhizophora mucronata</i>	0,87	(Komiyama et al., 2005)

Persamaan allometrik perhitungan *belowground biomass* (BGB) dihitung menggunakan persamaan allometrik berdasarkan data diameter pohon dan kepadatan kayu jenis mangrove. Persamaan umum allometrik yang digunakan yaitu persamaan yang dikembangkan Komiyama et al. (2005). adapun persamaan sebagai berikut:

$$W_R = 0.199\rho^{0.899}D^{2.22}$$

Keterangan :

W_R : Biomassa akar (kg)
 ρ : *Wood Density* (g/cm⁻³)
 D : *Diameter at breast height* (cm)

c. Analisis Cadangan Karbon Atas Permukaan dan Bawah Permukaan

Cadangan karbon dilakukan perhitungan berdasarkan nilai biomassa atas permukaan dan bawah permukaan. Berdasarkan penelitian (Kauffman & Donato, 2012) nilai cadangan karbon atas permukaan yaitu 46 hingga 50 % dari nilai biomassa dan nilai cadangan karbon bawah permukaan yaitu 39 % dari nilai biomassa bawah permukaan. Persamaan perhitungan cadangan karbon atas permukaan dan bawah permukaan, sebagai berikut :

$$AGC = 0,46 \times AGB$$

$$BGB = 0.39 \times BGB$$

Keterangan :

AGC : Cadangan Karbon atas permukaan (Kg)
 BGB : Cadangan karbon bawah permukaan (kg)
 AGB : Biomassa atas permukaan (Kg)
 BGB : Biomassa bawah permukaan (kg)
 $0,46$: Fraksi karbon atas permukaan
 0.39 : Fraksi karbon bawah permukaan

d. Analisis Penetapan C- Organik Metode *Walkey and Black*

Metode Walkley-Black adalah salah satu metode yang umum digunakan untuk menganalisis kandungan karbon organik dalam tanah. Metode ini melibatkan pengoksidasi bahan organik dengan menggunakan kalium dikromat (K₂Cr₂O₇) dalam kondisi asam. Proses ini menghasilkan oksidasi yang mengubah karbon organik

menjadi karbon dioksida, yang kemudian dapat diukur secara titrasi untuk menentukan kadar karbon organik.



Gambar 9. (a) preparasi sampel dan persiapan proses titrasi, (b) proses titrasi pada sampel tanah.

Analisis karbon tanah dilakukan pada setiap kedalaman 10 cm pada pipa sampel sedimen, persamaan yang digunakan pada perhitungan karbon organik sedimen mangrove sebagai berikut :

$$\text{Karbon Organik}(\%) = \frac{(Vb - Vc) \times N \times 0,003 \times 1,3 \times Fk}{W} \times 100\%$$

Keterangan :

Vb : Volume titar blanko (mL)

Vc : Volume titar contoh (mL)

N : Normalitas penitar

Fk : Faktor koreksi kadar air = $100 / (100 - \% \text{ kadar air})$

W : Konversi sampel gram ke miligram

0,003 : 1 ml $K_2Cr_2O_7$ setara dengan 36/12000 gram Carbon

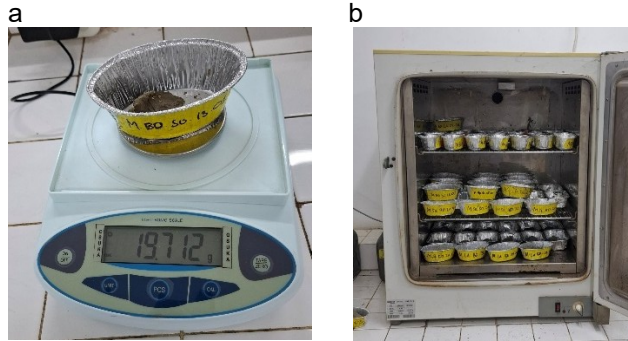
1,3 : 100/77 koreksi metode

1,724 : Nilai bahan organik dalam tanah

e. Analisis Dry Bulk Density (DBD)

Analisis DBD bertujuan untuk mengetahui berat kering tanah berdasarkan satuan volume sampel basah, analisis DBD dilakukan pada setiap kedalaman 10 cm pada sampel sedimen. setiap sampel dimasukkan kedalam aluminium cup dan dilakukan penimbangan berat setiap sampel menggunakan timbangan digital untuk mengetahui berat basah. Sampel dikeringkan dalam oven dengan suhu 105° selama 72 jam dan dilakukan pengukuran berat setiap 24 jam pengeringan. Perhitungan DBD dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Bulk density (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Berat Kering Sampel (g)}}{\text{Volume sampel (cm}^3\text{)}}$$



Gambar 10. (a) Pengukuran berat basah dan berat kering sampel, serta (b) proses pengeringan sampel menggunakan oven pengering.

f. Analisis Stok Karbon Tanah

Analisis karbon tanah dilakukan dengan menghubungkan parameter konsentrasi C organik, berat massa tanah atau *bulk density*, dan interval kedalaman tanah (Kauffman & Donato, 2012). Pada analisis karbon organik dilakukan dengan metode *Walkey & Black* dengan analisis titrasi kimia. Berikutnya, analisis berat massa tanah dilakukan dengan membandingkan berat kering tanah dengan volume sampel. Persamaan perhitungan karbon sedimen mangrove, sebagai berikut :

$$\text{Karbon tanah (mg/ha)} = p \text{ (g/cm}^3\text{)} \times h \text{ (cm)} \times \%C$$

Keterangan :

$\%C$: karbon organik (%)

p : densitas tanah (g/cm³)

h : Kedalaman tanah (cm)

g. Total Cadangan Karbon

Total cadangan karbon didasarkan pada nilai cadangan karbon atas permukaan, bawah permukaan dan sedimen yang dilakukan penjumlahan pada setiap plot pengamatan. Hasil penjumlahan tersebut diklasifikasi berdasarkan nilai indeks vegetasi NDVI jarang, sedang, dan padat. Persamaan total cadangan karbon sebagai berikut :

$$TC : AGC + BGC + CS$$

Keterangan :

TC : Total cadangan karbon

AGC : Cadangan karbon atas permukaan

BGC : Cadangan karbon bawah permukaan

CS : Cadangan karbon sedimen

h. Analisis Korelasi

Hubungan antara setiap variabel stok karbon dan NDVI di analisis menggunakan koefisien korelasi pearson (r) untuk menilai tingkat asosiasi linear. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan berikut :

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2}}$$

Keterangan :

n : jumlah pengamatan

x : variabel yang mempengaruhi

y : variabel yang dipengaruhi

r : koefisien korelasi *pearson*

i. Analisis Regresi Sederhana

Analisis tersebut dilakukan untuk menentukan pengaruh NDVI dan setiap komponen stok karbon (AgC, BgC dan karbon tanah), maka digunakan model regresi linear dengan persamaan perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Y = a + bX$$

Keterangan :

Y : variabel yang dipengaruhi

a : konstanta (intersep)

b : koefisien yang diduga

X : variabel yang mempengaruhi

j. RMSE (*root mean square errors*)

Ketepatan model regresi diuji menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE), yang menunjukkan rata-rata kesalahan prediksi berdasarkan selisih antara nilai yang diprediksi oleh model dan nilai aktual di lapangan. RMSE dihitung dengan persamaan:

$$\left(\frac{\sum y_i - \hat{y}_i}{n} \right)^{1/2}$$

Keterangan :

y : nilai hasil observasi

$\hat{y}$: nilai hasil prediksi

i : urutan data pada database

n : jumlah data

k. Estimasi Total Stok Karbon Kawasan Mangrove Berbasis Geospasial

total cadangan karbon kawasan mangrove ditentukan dengan menjumlahkan stok karbon pada setiap segmen (Agc, Bgc & Soil C) dilakukan konversi menjadi kg/pixel.

Total karbon per Pixel (kg/pixel) = AGC (kg/pixel) + BGC (kg/pixel) + Soil C (kg/pixel)

Pemetaan stok karbon dilakukan dengan membangun hubungan antara data total stok karbon dan nilai NDVI menggunakan model regresi yang telah dikembangkan. Hasil pemetaan digunakan untuk estimasi total stok karbon di seluruh area mangrove Talaka.

2.5.2 Parameter Pengamatan Pencapaian Tujuan Kedua

a. Analisis Nilai Ekonomi Karbon Mangrove

Valuasi ekonomi mangrove dihitung berdasarkan jumlah cadangan karbon hasil akumulasi dari penjumlahan karbon yang terdapat pada *Aboveground carbon* (AGC), *Belowground carbon* (BGC) dan karbon tanah. Pendekatan yang digunakan dalam mengestimasi nilai ekonomi karbon mengacu pada tiga pendekatan yaitu a) Perpres No. 98 Tahun 2021 mengenai Nilai Ekonomi Karbon dan UU HPP Pasal 13 yang mengatur nilai minimum dari pajak karbon senilai 30.000 ribu rupiah per ton CO₂e, b) mengacu pada harga pasar sukarela dan wajib dari karya ilmiah Kepel et al., (2017) dengan masing-masing senilai 81.000 ribu rupiah per ton CO₂e dan 211.680 ribu rupiah per ton CO₂e. Harga konversi nilai USD ke IDR yang digunakan pada penelitian ini adalah senilai Rp.15.000,00 rupiah per satu dolar. Harga pasar sukarela terwujud dari kemauan individu untuk mengurangi emisi tanpa ada komitmen, sedangkan pasar wajib terbentuk karena adanya kewajiban untuk mengurangi emisi yang diatur oleh kebijakan diantara perusahaan (Dicky et al. 2018). Konversi nilai stok karbon menjadi CO₂e menggunakan persamaan (Sidik et al., 2023).

CO₂e = Total Stok karbon (Mg) x 3,67

Keterangan

CO ₂ e	= Potensi emisi CO ₂
Total stok karbon (Mg)	= total stok karbon spasial
3,76	= faktor konversi

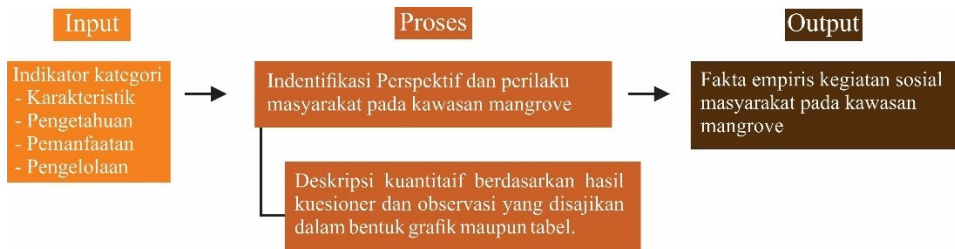
Nilai ekonomi stok karbon =

1. Rp. 15.000 (Perpres No. 98 Tahun 2021) x total stok karbon (Mg C)
2. Rp. 211.680 (harga pasar sukarela dan wajib) x total stok karbon (Mg C)

b. Analisis Data Hasil Kuesioner dan Observasi

Analisis data hasil wawancara keadaan sosial masyarakat bertujuan untuk memahami secara mendalam perspektif masyarakat berdasarkan pengetahuan, pemanfaatan dan pengelolaan kawasan mangrove. Dengan memahami perspektif

masyarakat, maka upaya strategi pengelolaan kawasan mangrove dapat dilakukan secara lebih efektif dan sesuai dengan kebutuhan dan problem yang terjadi. Pada kerangka analisis terdapat pada tiga bagian diantaranya *input*, proses dan *output*. Input disesuaikan dengan indikator yang ingin dicapai dalam perspektif sosial masyarakat. Kemudian pada tahap proses dilakukan analisis melalui beberapa metode seperti skoring dan pembobotan serta komparasi. Dan tahap terakhir yaitu *output* yaitu merupakan hasil dari analisa fakta empiris kegiatan sosial masyarakat.



Gambar 11. Alur analisis data sosial masyarakat

2.5.3 Strategi Pengelolaan Kawasan Mangrove

Penentuan strategi kawasan mangrove dengan memperhatikan hasil pemetaan dan perhitungan cadangan karbon, nilai ekonomi serta keadaan sosial masyarakat. Dengan pertimbangan tersebut maka perlu dilakukan rekomendasi rumusan strategi pengelolaan yang berkelanjutan dengan mempertimbangkan keseimbangan pemanfaatan dan pengelolaan kawasan Mangrove.



Gambar 12. Ilustrasi Strategi Pengelolaan Kawasan Mangrove

Penyusunan strategi pengelolaan kawasan mangrove mengacu pada hasil analisis SWOT. Analisis SWOT merupakan sebuah pendekatan untuk menilai kekuatan (*strengths*), kelemahan (*weakness*), peluang (*opportunities*) dan ancaman (*threats*) yang terkait dengan kondisi tertentu. Analisis SWOT terdiri dari 2 faktor yang memengaruhi empat komponen dasar, yaitu *internal factor evaluation* (IFE) dan

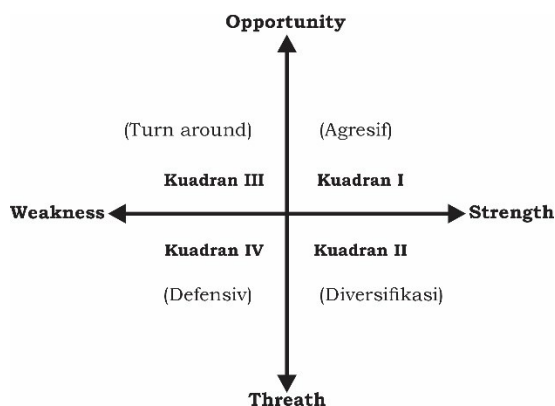
eksternal factor evaluation (EFE). Pendekatan analisis SWOT membandingkan berbagai faktor internal antara kekuatan (*strengths*) dan kelemahan (*weaknesses*) dengan faktor eksternal antara peluang (*opportunities*) dan ancaman (*thretas*). Alat yang digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor strategis dalam pengelolaan ekosistem mangrove yaitu matriks SWOT.

Analisis yang digunakan dalam merumuskan analisis SWOT adalah matriks SWOT, matriks tersebut memberikan pemahaman yang menyeluruh mengenai kekuatan dan kelemahan internal memanfaatkan peluang dan mengatasi ancaman yang merupakan bagian eksternal. Hasil analisis tersebut merumuskan strategi dan membuat keputusan yang tepat dalam pengelolaan kawasan mangrove.

Tabel 6. Matriks analisis SWOT

IFE \ EFE	IFE	Strenghts (S)	Weaknessess (W)
		Faktor – faktor kekuatan internal	Faktor – faktor kelemahan eksternal
Opportunies (O)		Strategi S-O	Strategi W-O
Faktor – faktor peluang eksternal		Strategi yang menggunakan kekuatan untuk memanfaatkan peluang	Strategi yang meminimalkan kelemahan untuk mengoptimalkan peluang
Treaths (T)		Strategi S-T	Strategi W-T
Faktor ancaman eksternal		Strategi yang memanfaatkan peluang untuk mengatasi ancaman	Strategi yang meminimalkan kelemahan dan mengatasi ancaman

Perumusan strategi pengelolaan kawasan mangrove berdasarkan hasil data yang telah dilakukan verifikasi melalui tabel matriks analisis SWOT, posisi kuadran yang dihasilkan dalam suatu matriks SWOT akan mempengaruhi pemilihan strategi yang akan digunakan, posisi kuadran tersebut diilustrasikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Posisi kuadran dalam analisis SWOT

Penjelasan pengertian kuadran I – IV adalah sebagai berikut :

1. Kuadran I, Posisi ini menandakan sebuah keuntungan untuk menjalankan strategi yang dimiliki dan dilakukan dengan progresif
2. Kuadran II, Kondisi tersebut menandakan penggunaan kekuatan untuk meminimalkan ancaman yang ada.
3. Kuadran III, Kondisi yang meminimalkan kelemahan untuk dapat mengambil keuntungan dari peluang.
4. Kuadran IV, Merupakan strategi defensif, dengan mengurangi kelemahan dan menghindari ancaman, atau melakukan rekonstruksi strategi lebih lanjut.

Untuk menentukan titik koordinat kuadran (X,Y) pada diagram SWOT, maka menggunakan rumus :

Titik koordinat (X) = (Kekuatan – Kelemahan)

Titik koordinat (Y) = (Peluang – Ancaman)