



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Pemetaan Potensi Penyimpanan Blue Carbon di Pesisir Pantai Gunungkidul dalam Upaya Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim

Muhammad Al Khaidar
21513119

Dosen Pembimbing I :

Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D

Dosen Pembimbing II:

Ikrom Mustofa, S.Si., M.Sc.

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
2025



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Mapping the Blue Carbon Storage Potential of the Coastal Area of Gunungkidul for Climate Change Mitigation and Adaptation Efforts

Muhammad Al Khaidar

21513119

Supervisor I :

Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Supervisor II :

Ikrom Mustofa, S.Si., M.Sc.

Environmental Engineering Bachelor Program

Faculty of Civil Engineering and Planning

Universitas Islam Indonesia

2025

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

**Pemetaan Potensi Penyimpanan Blue Carbon di Pesisir Pantai Gunung Kidul
dalam Upaya Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim**

Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.


Muhammad Al Khaidar
21513119

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 25 Juli 2025 dan disetujui oleh:

 20/11/2025

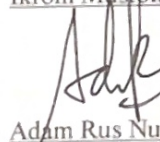
Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.

(Pembimbing 1)

 20/11/2025

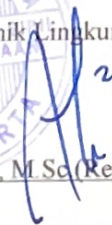
Ikrom Mustofa, S.Si., M.Sc.

(Pembimbing 2)



Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

(Penguji)

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana
 24/11/25

Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res. Eng.), Ph.D.



PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan studi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
 - a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
 - b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, tanggal submit TA
Yang membuat pernyataan,



Muhammad Al Khaidar
21513119

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, Tuhan semesta alam, yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Berkat limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya, penulis diberikan kekuatan untuk terus berpikir, menuntut ilmu, menjaga keimanan, serta menjalani hidup dengan kesabaran. Semoga pencapaian ini menjadi langkah awal dalam meraih impian dan tujuan besar di masa mendatang. Dengan izin-Nya pula, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **“Pemetaan Potensi Penyimpanan Blue Carbon di Pesisir Pantai Gunung Kidul dalam Upaya Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim”**. Penyusunan laporan tugas akhir ini merupakan salah satu bentuk pemenuhan persyaratan akademik dalam rangka menyelesaikan program pendidikan Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia.

Pada kesempatan ini, penulis menyadari bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini tidak akan dapat diselesaikan tanpa adanya arahan, dukungan, bantuan, serta nasihat dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala hormat penulis ingin menyampaikan apresiasi dan ucapan terima kasih kepada:

1. Segala puji bagi Allah SWT yang senantiasa mencurahkan rahmat, nikmat, dan petunjuk-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini dengan baik.
2. Untuk kedua orang tua penulis, ayah idham dan ibu nur, diah dan caca selaku kakak penulis yang selalu memberi semangat untuk tidak menyerah dalam berproses untuk berkembang lebih baik.
3. Bapak Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D. dan bapak Ikrom Mustofa, S.Si., M.Sc. yang selalu membimbing, mengajarkan, dan memberikan nasehat baik dari akademik, non akademik, hingga tugas akhir ini.

4. Kepada Rifcha dan Indah, yang tergabung dalam tim riset ini. Terima kasih karena telah bekerja sama dengan baik, membantu dalam penelitian dan penulisan tugas akhir.
5. Pengurus Laboratorium Teknik Lingkungan FTSP UII yang telah membantu penulis selama perkuliahan hingga pengerjaan tugas akhir.
6. Hilbram Nabil selaku udabest friends penulis, selalu mendukung penulis dalam keadaan apapun, selalu mengingatkan, memberikan semangat/saran yang lebih, selalu mendengarkan curhatan penulis, dan banyak lagi yang tidak bisa diungkapkan dengan kata-kata
7. Kebum geng yang selalu mengingatkan, memberikan semangat, dan motivasi penulis dalam pengerjaan tugas akhir dan selama di perkuliahan.
8. Teman-teman angkatan 21 teknik lingkungan yang sudah memberi warna selama masa perkuliahan

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih memiliki berbagai kekurangan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, masukan serta saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi yang berguna bagi penelitian selanjutnya. Aamiin.

Sleman, 23 Juli 2025

Muhammad Al Khaidar

Pemetaan Potensi Penyimpanan Blue Carbon di Pesisir Pantai Gunung Kidul dalam Upaya Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim

Mahasiswa : Muhammad Al Khaidar
NIM : 21513119
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing I : Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D.
Pembimbing II : Ikrom Mustofa, S.Si., M.Sc.

Abstrak

Ekosistem pesisir memiliki peran penting dalam mendukung keberlanjutan lingkungan serta mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Habitat seperti mangrove, lamun, dan rawa asin yang termasuk dalam ekosistem blue carbon mampu menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar. Namun, hingga saat ini belum terdapat informasi yang jelas mengenai sebaran dan potensi simpanan karbon di kawasan pesisir Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis ekosistem pesisir yang berpotensi sebagai blue carbon, mengestimasi potensi penyimpanan karbon, menganalisis kandungan ion natrium (Na^+) dan kalsium (Ca^{2+}) pada tanah, serta mengkaji dampak perubahan infrastruktur dan aktivitas manusia terhadap penyerapan karbon di wilayah tersebut.

Penelitian ini menggunakan metode pemetaan berbasis penginderaan jauh dengan bantuan perangkat lunak QGIS 3.40. Penentuan batas kawasan pesisir dilakukan dengan teknik buffering, sedangkan klasifikasi tutupan lahan dilakukan berdasarkan interpretasi citra dan hasil validasi lapangan. Setelah titik-titik lokasi ditentukan, dilakukan pengambilan sampel tanah yang dianalisis di laboratorium untuk mengukur kandungan karbon serta ion

Na⁺ dan Ca²⁺ menggunakan metode Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS).

Hasil penelitian menunjukkan adanya ketidaksesuaian antara citra peta tutupan lahan dengan kondisi aktual di lapangan. Estimasi total karbon bervariasi di setiap titik, mulai dari 334,99 ton/ha hingga 509,63 ton/ha. Kandungan ion Na⁺ yang melebihi konsentrasi >1 menunjukkan indikasi sodisitas yang cukup tinggi, sedangkan kandungan Ca²⁺ berkisar antara sedang hingga tinggi. Tingginya natrium dapat memengaruhi kemampuan tanah dalam menyimpan karbon. Selain itu, perubahan infrastruktur dan kurangnya keterlibatan masyarakat dalam proses pengelolaan wilayah pesisir turut memengaruhi potensi penyimpanan karbon dan memicu konflik sosial. Oleh karena itu, diperlukan pemulihan melalui penanaman vegetasi pesisir non-mangrove, transparansi tata kelola, dan pengelolaan tanah secara terpadu.

Kata kunci: *Blue carbon*, pesisir Gunungkidul, QGIS, karbon tanah, Na⁺/Ca²⁺

Mapping the Blue Carbon Storage Potential of the Coastal Area of Gunung Kidul for Climate Change Mitigation and Adaptation Efforts

Student : Muhammad Al Khaidar
Student Number : 21513119
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor : Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

Coastal ecosystems play a crucial role in supporting environmental sustainability and in mitigating and adapting to climate change. Habitats such as mangroves, seagrasses, and salt marshes classified as blue carbon ecosystems are capable of absorbing and storing significant amounts of carbon. However, the spatial distribution and carbon storage potential in the coastal area of Gunungkidul, Yogyakarta, remain poorly identified. This study aims to identify types of coastal ecosystems with blue carbon potential, estimate carbon sequestration capacity, analyze sodium (Na^+) and calcium (Ca^{2+}) content in coastal soils, and assess the impact of infrastructure changes and human activities on carbon storage in the region.

This research employed remote sensing mapping methods using QGIS version 3.40. The coastal boundaries were defined using the buffering technique, while land cover classification was based on satellite imagery interpretation and validated through direct field surveys. Soil samples were collected from designated points and analyzed in the laboratory for carbon content and ion concentrations (Na^+ and Ca^{2+}) using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS).

The results show a mismatch between land cover maps and actual field conditions. Total carbon estimates varied across sites, ranging from 334,99 tons/ha to 509,63tons/ha. Sodium concentrations exceeding >1 indicate high sodicity, which may hinder carbon stabilization, while calcium levels were moderate to high. Elevated Na^+ concentrations suggest potential

limitations in carbon retention. Additionally, infrastructure development and limited community engagement negatively impact carbon storage and have triggered social conflicts. Integrated conservation strategies through revegetation, land management, and transparent coastal governance are essential.

Key words: Blue Carbon, Gunungkidul Coast, QGIS, Soil Carbon, Na⁺/Ca²⁺

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| PRAKATA | i |
| Abstrak..... | iii |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR TABEL | ix |
| DAFTAR GAMBAR..... | x |
| DAFTAR LAMPIRAN | xi |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.5 Ruang Lingkup | 4 |
| 1.6 Kerangka Berpikir | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Pengaturan Tata Letak Gambar dan Tabel | 5 |
| 2.2 Blue Carbon | 6 |
| 2.3 Paris Agreement | 7 |
| 2.4 Ekosistem Pesisir dan Perannya dalam Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim | 9 |
| 2.5 Jenis Tanah dan Batuan di Pesisir Gunungkidul | 19 |
| 2.6 Pemetaan Potensi Penyimpanan <i>Blue Carbon</i> | 19 |
| 2.7 Penelitian Terdahulu | 22 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 25 |

| | |
|--|----|
| 3.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian | 25 |
| 3.2 Prosedur Penelitian | 26 |
| 3.3 Pengumpulan dan Pengambilan Sampel | 27 |
| 3.4 Analisis Potensi Karbon Biru | 34 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 37 |
| 4.1 Perencanaan Lokasi Penelitian | 37 |
| 4.2 Pemetaan Stok Karbon Biru Pesisir Gunungkidul | 39 |
| 4.3 Total Simpanan Karbon Pesisir Gunungkidul | 47 |
| 4.4 Pengaruh Ion Na terhadap Ca Pada Tanah Pesisir Gunungkidul | 50 |
| 4.5 Dampak Keberadaan Ion Na dan Ca terhadap Simpanan Karbon | 52 |
| 4.6 Upaya Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim | 52 |
| 4.7 Aspek Sosial dalam Pengelolaan Lingkungan | 53 |
| 4.8 Rekomendasi Teknis | 54 |
| BAB V PENUTUP | 64 |
| 5.1 Kesimpulan | 64 |
| 5.2 Saran | 65 |
| DAFTAR PUSTAKA | 66 |
| LAMPIRAN | 70 |
| RIWAYAT HIDUP | 1 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Ukuran Kelas Kayu..... | 12 |
| Tabel 2.2 Kelas Ukuran Kayu..... | 14 |
| Tabel 2.3 Biomassa Rumput Laut dan Organik Tanah..... | 16 |
| Tabel 4.1 Total Luas Area Pesisir Gunungkidul..... | 37 |
| Tabel 4.2 Estimasi Jumlah Plot Pengambilan Sampel..... | 38 |
| Tabel 4.3 Perbandingan Rencana Plot dan Plot Lapangan | 39 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Mekanisme Karbon Biru Dalam Menyerap Karbon | 7 |
| Gambar 2.2 Pohon Hidup di Pesisir..... | 11 |
| Gambar 2.3 Tanaman Bakau..... | 11 |
| Gambar 2.4 Tumbuhan Liana yang Merambat | 13 |
| Gambar 2.5 Zostera Marina Jenis Tanaman Padang Lamun | 15 |
| Gambar 2.6 Serasah Rawa Asin..... | 17 |
| Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian Berdasarkan Kecamatan yang Berada Pada Wilayah Pesisir | 26 |
| Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian | 27 |
| Gambar 4.1 Peta Rencana Pengambilan Sampel | 40 |
| Gambar 4.2 Lokasi Pengambilan Sampel Titik 2 | 42 |
| Gambar 4.3 Lokasi Pengambilan Sampel Titik 3 | 43 |
| Gambar 4.4 Lokasi Pengambilan Sampel Titik 4 | 44 |
| Gambar 4.5 Lokasi Pengambilan Sampel Titik 5 | 45 |
| Gambar 4.6 Lokasi Pengambilan Sampel Titik 6 | 46 |
| Gambar 4.7 Perbandingan Total Karbon (ton.ha)..... | 48 |
| Gambar 4.8 Peta Kemiringan Lereng Lokasi Sampling ke-1 | 55 |
| Gambar 4.9 Peta Kemiringan Lereng Lokasi Sampling ke-2 | 56 |
| Gambar 4.10 Peta Kemiringan Lereng Lokasi Sampling ke-3 | 57 |
| Gambar 4.11 Peta Kemiringan Lereng Lokasi Sampling ke-4 | 58 |
| Gambar 4.12 Peta Kemiringan Lereng Lokasi Sampling ke-5 | 59 |
| Gambar 4.13 Peta Kemiringan Lereng Lokasi Sampling ke-6 | 60 |
| Gambar 4.14 Ilustrasi Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim..... | 62 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|-------------|--|----|
| Lampiran 1 | Estimasi vegetasi pada tutupan lahan lokasi penelitian | 70 |
| Lampiran 2 | Estimasi karbon pada setiap tutupan lahan | 70 |
| Lampiran 3 | Estimasi total karbon setiap titik pengambilan sampel | 71 |
| Lampiran 4 | Total Karbon dari validasi lapangan pada titik sampel | 72 |
| Lampiran 5 | Perbandingan total karbon estimasi awal dengan validasi lapangan | 72 |
| Lampiran 6 | Kurva standar logam Na | 72 |
| Lampiran 7 | Hasil Perhitungan konsentrasi logam Na | 74 |
| Lampiran 8 | Kurva standar logam Ca | 75 |
| Lampiran 9 | Hasil perhitungan logam Ca | 76 |
| Lampiran 10 | Dokumentasi penelitian | 77 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ekosistem pesisir menjadi salah satu keanekaragaman hayati yang sangat penting dalam membantu kesejahteraan manusia maupun alam. Secara khusus, hutan mangrove, rawa asin, dan lamun memberikan banyak manfaat yang dapat membantu manusia dalam mitigasi dan adaptasi dengan dampak perubahan iklim. Banyak peran pesisir sangat penting untuk adaptasi dan ketahanan iklim di sepanjang pesisir. Seperti mencegah erosi di sepanjang garis pantai, mengontrol kualitas air pesisir, perangkap sedimen, dan menyediakan habitat untuk banyak spesies laut (Howard dkk., 2014). Selain itu, ekosistem ini juga berkontribusi dalam mitigasi perubahan iklim. Contohnya hutan mangrove, mampu menyimpan karbon tiga hingga lima kali lebih banyak per satuan luas dibandingkan hutan tropis di daratan. Sementara itu, padang lamun meskipun hanya mencakup kurang dari 0,2% permukaan dasar laut berperan dalam menyimpan sekitar 10% karbon yang terendapkan di laut setiap tahunnya. Rawa asin juga memberikan kontribusi besar dengan menyimpan karbon di dalam sedimennya, yang berperan dalam menurunkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer (Qodriyatun dkk., 2024). Ekosistem yang berada pada pesisir biasanya disebut ekosistem *blue carbon*.

Blue carbon atau karbon biru disimpan dalam ekosistem laut dan pesisir. Habitat seperti lamun, mangrove, dan rawa asin dikenal karena memainkan peran penting dalam mitigasi iklim karena mereka dapat menyerap banyak karbon atmosfer (Mazor dkk., 2023). Untuk mencapai hal ini, konservasi dan pemanfaatan yang berkelanjutan diperlukan untuk wilayah pesisir. Indonesia, sebagai negara dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia, memiliki peranan strategis dalam konteks ekosistem laut dan pesisir sebagaimana komitmen dalam Nationally Determined Contribution (NDC). Indonesia juga memiliki potensi emisi karbon yang tinggi, diperkirakan antara 10 hingga 100 Teragram CO₂ equivalen, lebih besar dibandingkan banyak negara lain (Raynaldo dkk., 2024). Oleh karena itu, Indonesia harus mendukung program nasional guna memaksimalkan upaya

mitigasi perubahan iklim melalui peningkatan penurunan emisi Gas Rumah Kaca (GRK). (Rosyada dkk., 2021).

Permasalahan utama yang dihadapi adalah belum teridentifikasinya sebaran ekosistem blue carbon secara jelas. Ketidakjelasan ini menjadi faktor krusial dalam upaya penilaian potensi penyimpanan karbon di suatu wilayah, termasuk di kawasan pesisir Gunungkidul, Yogyakarta. Padahal, pemahaman mengenai distribusi ekosistem blue carbon sangat penting karena setiap kawasan pesisir memiliki kapasitas penyimpanan karbon yang berbeda-beda. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis dan kerapatan vegetasi, karakteristik fisik dan kimia tanah, serta akibat yang ditimbulkan oleh aktivitas manusia di sekitarnya (Rizki dkk., 2024).

Gunungkidul sendiri merupakan kawasan yang didominasi oleh karst. Kawasan ini terbentuk dari batuan kapur (batugamping) yang mengalami proses pelarutan dalam jangka waktu yang lama. Proses pelarutan tersebut menghasilkan bentang alam khas karst serta menyebabkan air yang mengalir di kawasan ini banyak mengandung ion kalsium (Ca^{2+}). Dominasi bentang alam karst di Gunungkidul tidak hanya membentuk karakteristik fisik wilayah, tetapi juga memengaruhi sifat dan kondisi tanah (Nurkholis dkk., 2016). Terlebih kawasan pesisir merupakan wilayah yang rentan terhadap akumulasi ion natrium (Na^+), yang dapat meningkatkan tekanan osmotik dalam tanah. Kondisi ini menghambat penyerapan air dan unsur hara oleh tanaman, sehingga berdampak negatif terhadap pertumbuhannya (Wardani dkk., 2024). Kerentanan ini semakin diperparah oleh naiknya muka air laut sebagai akibat dari perubahan iklim, yang turut berkontribusi terhadap penurunan tingkat kesuburan tanah di wilayah pesisir (Karolinoerita & Yusuf, 2020).

Untuk mengetahui sebaran dan potensi penyimpanan karbon dalam ekosistem ini, pendekatan menggunakan teknologi penginderaan jauh dapat dimanfaatkan, sehingga estimasi jumlah karbon yang tersimpan maupun yang berisiko terlepas akibat degradasi atau perubahan penggunaan lahan bisa dilakukan. Penggabungan kanal citra satelit dapat digunakan guna menampilkan visualisasi kawasan, yang kemudian dapat diterapkan dalam proses klasifikasi wilayah. Selain itu, berbagai indeks vegetasi juga sering digunakan untuk membedakan kawasan berdasarkan

dari citra satelit. Penginderaan jarak jauh memungkinkan untuk mengestimasi jumlah karbon yang mungkin disimpan dan dilepas akibat alih guna lahan dan degradasi. Dalam upaya mitigasi perubahan iklim, beberapa pendekatan indeks vegetasi juga digunakan untuk mengkategorikan mangrove, lamun, dan rawa asin. Untuk klasifikasi kawasan pesisir pantai Gunungkidul, visualisasi gambar dapat digunakan dengan kombinasi pemetaan dan validasi lapangan secara langsung. (Raynaldo dkk., 2024). Di wilayah karst pesisir Gunungkidul, analisis ini dapat dipadukan dengan data kimia tanah, khususnya kadar natrium (Na^+) dan kalsium (Ca^{2+}). Kadar Na^+ yang tinggi akibat gelombang air laut dapat menghambat penyimpanan karbon, sementara Ca^{2+} dari pelarutan batu gamping berpotensi meningkatkan kestabilan tanah dan simpanan karbon organik. Integrasi kedua data ini penting untuk memahami dinamika karbon di wilayah pesisir karst.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Apa saja jenis ekosistem pesisir di Gunung Kidul yang berpotensi sebagai blue carbon?
- 2) Berapa besar potensi penyerapan karbon oleh ekosistem pesisir Gunung Kidul?
- 3) Apa pengaruh keberadaan unsur natrium (Na^+) dan kalsium (Ca^{2+}) terhadap sifat dan kualitas tanah di pesisir Gunungkidul?
- 4) Apa pengaruh dari perubahan infrastruktur dan aktivitas manusia terhadap penyerapan karbon di pesisir Gunung Kidul?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) Mengetahui jenis ekosistem pesisir di Gunung kidul yang berpotensi sebagai blue carbon.
- 2) Mengestimasi besarnya potensi penyerapan karbon oleh ekosistem pesisir Gunung Kidul.

- 3) Menganalisis kandungan ion natrium (Na^+) dan kalsium (Ca^{2+}) pada tanah di kawasan pesisir Gunungkidul
- 4) Menganalisis pengaruh dari perubahan infrastruktur dan aktivitas manusia terhadap penyerapan karbon di pesisir Gunung Kidul.

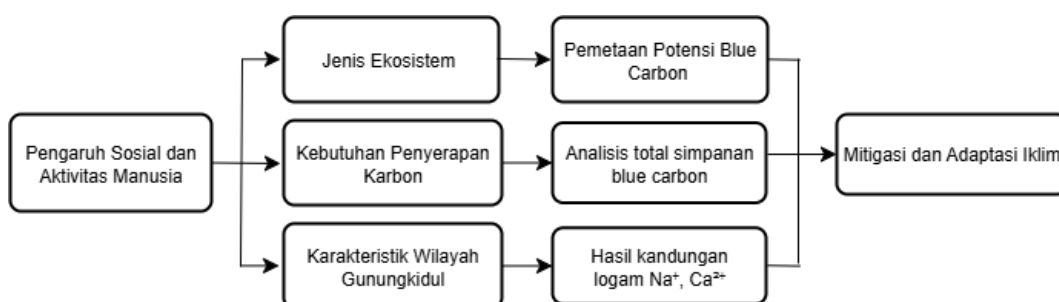
1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan tentang potensi ekosistem pesisir Gunung Kidul sebagai karbon biru, memberikan data sebagai dasar kebijakan konservasi dan pengelolaan ekosistem pesisir, serta solusi bagi masyarakat dan pemerintah untuk mendukung upaya mitigasi dan adaptasi perubahan iklim.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini akan dilakukan diwilayah pesisir pantai Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini akan membahas ekosistem pesisir yang berpotensi sebagai karbon biru, pemetaan sebaran ekosistem, estimasi potensi penyerapan karbon, serta pengaruh perubahan infrastruktur dan aktivitas manusia terhadap penyerapan karbon diwilayah tersebut.

1.6 Kerangka Berpikir



Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengaturan Tata Letak Gambar dan Tabel

Perubahan iklim akan meningkatkan kemungkinan ketidakstabilan iklim yang jauh lebih luas. Temperatur rata-rata Bumi naik 0,4–0,8°C dan diperkirakan akan terus meningkat sampai pada tahun 2100. Dalam kaitannya dengan perubahan iklim, sistem iklim didefinisikan sebagai totalitas atmosfer, hidrosfer, biosfer, dan geosfer dengan interaksinya. Sementara itu, perubahan iklim didefinisikan sebagai perubahan pada iklim yang dipengaruhi langsung atau tidak langsung oleh aktivitas manusia, yang mengubah komposisi atmosfer, yang menghasilkan peningkatan keragaman iklim selama periode yang cukup lama. Perubahan iklim terutama disebabkan oleh peningkatan konsentrasi karbon dioksida dan gas rumah kaca (GRK) (Harmoni, 2005).

Kehidupan manusia dan keseimbangan alam yang normal dapat dipengaruhi oleh perubahan iklim. Menurut Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), perubahan iklim menyebabkan naiknya suhu bumi, yang berdampak pada spesies dan keanekaragaman hayati laut yang punah. IPCC juga menyatakan bahwa perubahan iklim menunjukkan dampak yang signifikan terhadap Bumi dan isinya, dengan konsekuensi meningkatnya bencana alam. Suhu udara meningkat, kekeringan, banjir, dan musim hujan berkurang sebagai tanda perubahan iklim. Permukaan air laut juga meningkat, dan iklim ekstrim juga meningkat. Antara tahun 1899 dan 2005, suhu global meningkat rata-rata 0,760°C, permukaan air laut global meningkat rata-rata 1,8 mm per tahun, dan frekuensi kekeringan dan erosi meningkat, serta cuaca ekstrem (Ainurrohmah dan Sudarti., 2022).

Dari perspektif sosiologi, orang tua, anak-anak, dan kelompok lainnya merasakan dampak yang bervariasi. Pria dan wanita memiliki pandangan yang berbeda terkait perubahan iklim. Masing-masing memiliki peran yang berbeda dalam keluarga serta cara pandang yang berbeda terhadap masa depan. Salah satu dampak sosial yang dialami adalah hilangnya mata pencaharian di daerah pesisir akibat kenaikan permukaan air laut, yang paling dirasakan oleh para nelayan. (Ainurrohmah & Sudarti, 2022).

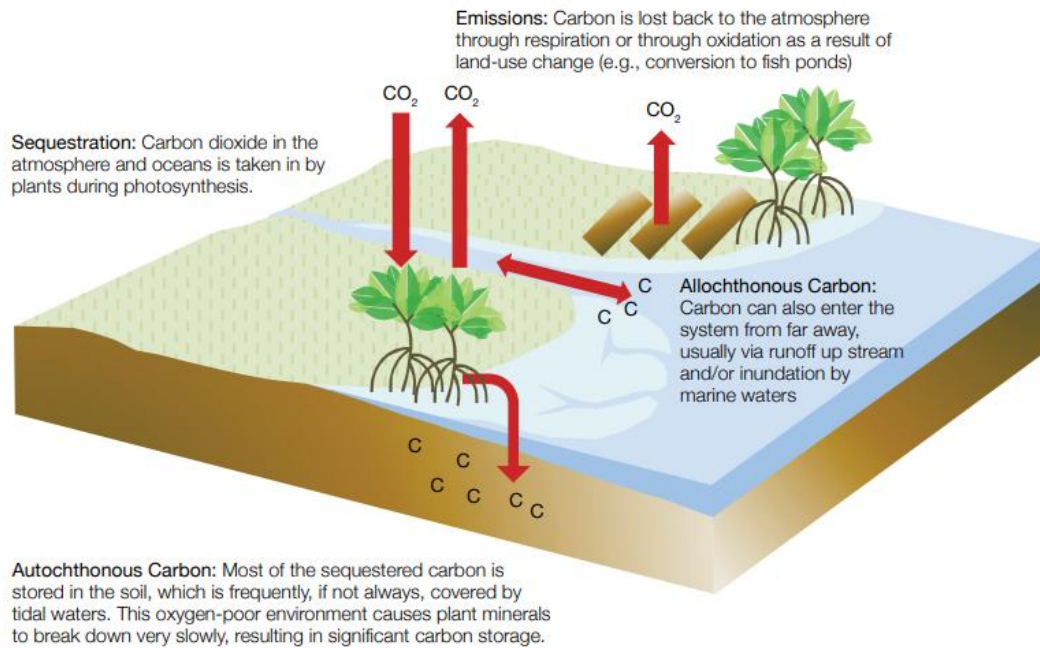
2.2 Blue Carbon

Blue carbon atau yang juga sering disebut karbon biru di ekosistem pesisir dapat membantu konservasi dan pemulihan lingkungan pesisir (Howard dkk., 2014). Konservasi dan perlindungan karbon biru yaitu karbon organik yang diserap dan disimpan dalam waktu lama oleh ekosistem pesisir yang bervegetasi seperti hutan bakau, lamun, dan rawa-rawa asin semakin diakui sebagai salah satu solusi iklim alami yang utama (Zeng dkk., 2021). Menurut Lovelock & Duarte (2019), ekosistem karbon biru memiliki peran penting dalam pengembangan proyek yang dapat ditindaklanjuti. Ekosistem ini termasuk dalam definisi "lahan basah" dan hutan bakau sering kali dikategorikan sebagai "hutan" (sehingga masuk dalam inventarisasi hutan nasional). Hal ini memungkinkan ekosistem tersebut untuk diperhitungkan dalam panduan penghitungan gas rumah kaca oleh International Panel on Climate Change (IPCC). IPCC juga menyediakan faktor emisi (CO_2 , metana, dan dinitrogen oksida) terkait perubahan penggunaan lahan di lahan basah pesisir, baik untuk kegiatan yang menyebabkan kehilangan dan konversi, maupun untuk upaya restorasi ekosistem tersebut.

Kemampuan penyimpanan karbon tanah di wilayah terestrial berbeda dengan tanah di wilayah pesisir. Tanah dataran tinggi memiliki kapasitas penyimpanan karbon yang lebih rendah karena ketersediaan oksigen yang tinggi, yang memungkinkan mikroba aerobik mengoksidasi karbon dan melepaskannya kembali ke atmosfer. Di sistem karbon biru, tanah yang jenuh air tetap berada dalam kondisi anaerobik, yang berarti ada kadar oksigen yang sangat rendah, sehingga tidak ada karbon yang disimpan di sana (Howard dkk., 2014).

Ekosistem pesisir seperti mangrove, padang lamun, dan rawa asin memiliki kemampuan penting dalam melakukan mekanisme sekuestrasi karbon. Mekanisme ini dimulai dengan penyerapan karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer melalui proses fotosintesis, di mana karbon tersebut diubah menjadi biomassa tumbuhan, baik di atas permukaan (batang dan daun) maupun di bawah tanah (akar). Selain itu, sebagian besar karbon juga akan tersimpan di dalam lapisan sedimen, sehingga menciptakan penyimpanan karbon jangka panjang yang mampu bertahan selama ratusan hingga ribuan tahun, tergantung pada kondisi ekologis dan tingkat

gangguan antropogenik (Alviana dkk., 2023)



Gambar 2.1 Mekanisme Karbon Biru Dalam Menyerap Karbon

Sumber : Howard dkk. (2014)

2.3 Paris Agreement

Perjanjian Paris adalah kesepakatan global yang dirancang untuk mengatasi masalah perubahan iklim yang semakin meningkat. Dinegosiasikan oleh 196 negara, Perjanjian ini disepakati pada periode 30 November hingga 12 Desember 2015 di Le Bourget, Prancis. Perjanjian ini mengundang negara-negara di seluruh dunia untuk menerapkan kebijakan yang bertujuan melakukan mitigasi, adaptasi, dan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan dengan emisi rendah (Suwatno., 2022).

Perjanjian Paris berhasil diadopsi sebagai langkah besar baru dalam mengatasi isu perubahan iklim global. Perjanjian ini memiliki tujuan utama untuk membatasi peningkatan suhu rata-rata global menjadi jauh di bawah 2°C (3,6°F) dari tingkat pra-industri, dan berusaha keras untuk tidak melebihi kenaikan 1,5°C (2,7°F). Ini bertujuan untuk mengurangi risiko dan efek buruk dari perubahan iklim secara signifikan. Selain itu, Perjanjian Paris bertujuan untuk meningkatkan adaptasi terhadap efek negatif perubahan iklim, mempromosikan ketahanan iklim

dan pembangunan yang rendah emisi tanpa mengorbankan produksi pangan. Perjanjian ini juga mencakup skema pendanaan yang dirancang untuk mendukung pembangunan beremisi rendah (Suwatno., 2022).

Perjanjian Paris merupakan instrumen hukum internasional yang mengikat dan berlaku bagi semua negara. Perjanjian ini menganut prinsip tanggung jawab yang bersifat umum namun terdiferensiasi berdasarkan kapasitas dan kondisi nasional masing-masing negara, yang tercermin dalam Kontribusi yang Ditentukan Secara Nasional (NDC). NDC adalah dokumen yang berisi rencana atau aksi mitigasi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Perjanjian ini juga mewajibkan negara maju untuk memberikan dukungan pendanaan, peningkatan kapasitas, dan transfer teknologi kepada negara-negara berkembang. Selain itu, Perjanjian Paris memperkuat kerja sama bilateral dan multilateral untuk efektifitas pelaksanaan tindakan mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim, didukung dengan pendanaan, transfer teknologi, dan pembangunan kapasitas, sambil memastikan transparansi dan tata kelola yang baik. (Suwatno., 2022).

Dalam konteks implementasi Perjanjian Paris, perlindungan dan restorasi ekosistem karbon biru menjadi salah satu strategi mitigasi yang selaras dengan upaya pengurangan emisi global. Emisi akibat kerusakan ekosistem karbon biru diperkirakan setara dengan 3–19% dari total emisi deforestasi global, menyebabkan kerugian ekonomi sekitar 6 hingga 42 miliar dolar AS setiap tahunnya. Setiap tahun, degradasi wilayah pesisir berkontribusi terhadap pelepasan antara 0,15 hingga 1,02 petagram (miliar ton) CO₂ ke atmosfer. Negara-negara, terutama yang memiliki garis pantai luas dan ekosistem pesisir yang kaya, dapat memasukkan aksi pelestarian karbon biru dalam Kontribusi yang Ditentukan Secara Nasional (NDC) sebagai bagian dari komitmen mereka terhadap penurunan emisi gas rumah kaca. Dengan memasukkan konservasi ekosistem pesisir ke dalam kebijakan iklim nasional, negara-negara tersebut tidak hanya membantu menstabilkan siklus karbon global, tetapi juga memperkuat ketahanan iklim komunitas lokal serta menciptakan peluang ekonomi berkelanjutan. Oleh karena itu, integrasi pendekatan berbasis ekosistem biru dalam kebijakan iklim menjadi langkah penting untuk mencapai tujuan Perjanjian Paris secara menyeluruh (Hilmi dkk., 2021).

2.4 Ekosistem Pesisir dan Perannya dalam Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim

Ekosistem Pesisir Ekosistem semakin diakui peran pentingnya dalam penyerapan karbon seperti Mangrove, padang lamun dan rawa asin. ekosistem ini membantu mengurangi perubahan iklim dengan menyerap dan menyimpan sejumlah besar karbon, yang dikenal sebagai karbon biru pesisir, dari atmosfer dan lautan. Meskipun memiliki manfaat dan layanan, ekosistem karbon biru pesisir merupakan salah satu ekosistem yang paling terancam di bumi, dengan perkiraan 340.000 hingga 980.000 hektare hancur setiap tahun. Dan bila terdegradasi, potensinya menjadi sumber emisi karbon. diperkirakan hingga 67% dari rentang mangrove global historis, 35% rawa garam pasang surut, dan 29% lamun telah hilang. Jika tren ini terus berlanjut pada tingkat saat ini, 30–40% rawa pasang surut dan lamun dan hampir semua mangrove yang tidak dilindungi dapat hilang dalam 100 tahun ke depan (Howard dkk., 2014).

1. Mangrove

Kemampuan ekosistem mangrove untuk menyerap dan menyimpan karbon sangat tinggi. Ekosistem ini tidak hanya menyimpan karbon dalam bentuk biomassa di atas tanah (vegetasi) tetapi juga di bawah tanah (tanah organik). Salah satu peran penting dari ekosistem mangrove adalah mereka dapat berfungsi sebagai lokasi untuk mengurangi karbon di daerah pesisir (Rizki dkk., 2024). Sebagaimana ditunjukkan oleh penelitian (Zeng dkk., 2021), karbon biru mangrove menunjukkan bahwa hutan bakau dapat memainkan peran yang signifikan dalam mitigasi perubahan iklim secara nasional. Menurut "nationally determined contributions" (NDC), negara-negara yang menandatangani Perjanjian Iklim Paris berkomitmen untuk mengurangi emisi dan beradaptasi dengan dampak perubahan iklim. Jumlah kontribusi ini sesuai dengan NDC. Perlindungan 0,33 juta hektar hutan bakau Indonesia, yang secara finansial layak untuk proyek karbon biru, dapat membantu Indonesia mencapai sekitar 1,8% dari target NDC-nya. Ini hanyalah sekitar 0,01% dari total luas daratan Indonesia.

Berikut ini terdapat estimasi biomassa pada mangrove yang memiliki potensi *blue carbon* diantaranya:

a. Pohon Hidup

Pohon merupakan komponen utama dalam penyimpanan karbon di atas permukaan tanah di ekosistem hutan bakau. Keberadaan serta kondisi pohon dapat menjadi indikator penting dalam memahami perubahan penggunaan lahan serta kondisi ekologi wilayah tersebut. Oleh karena itu, pengukuran pohon yang menyeluruh dan akurat menjadi hal yang sangat krusial. Dalam melakukan pendataan pohon bakau pada suatu plot, terdapat beberapa informasi dasar yang perlu dicatat, antara lain:

- Spesies pohon, mengingat hutan bakau umumnya hanya memiliki sedikit variasi spesies.
- Diameter batang utama pada tinggi dada sebagai parameter utama dalam analisis pertumbuhan dan biomassa pohon.
- Tinggi pohon, jika memungkinkan untuk diukur, guna memberikan gambaran lebih lengkap mengenai struktur vegetasi.
- Lokasi pohon, yang berguna dalam analisis distribusi spasial dan perubahan ekologi.

Apabila terdapat banyak bibit, pencatatan dapat dilakukan dengan menghitung jumlah individu dalam suatu subarea tertentu. Dalam konteks ini, bibit didefinisikan sebagai tanaman berkayu dengan tinggi antara 10 hingga 30 cm. Diameter batang merupakan parameter utama yang sering digunakan untuk menghitung volume pohon. Pengukuran diameter batang utama umumnya dilakukan pada ketinggian 1,3 meter di atas tanah. Metode yang digunakan bervariasi, mulai dari pita diameter untuk pengukuran berulang hingga jangka sorong pohon untuk pengukuran tunggal yang lebih cepat. Namun, dalam praktiknya, proses pengukuran ini bisa menjadi tantangan tersendiri karena adanya variasi bentuk dan struktur batang pada pohon bakau.



Gambar 2.2 Pohon Hidup di Pesisir

Sumber : Howard dkk. (2014)

b. Semak Bakau

Dalam upaya mengembangkan persamaan alometrik, diperlukan pengukuran terhadap setidaknya 15 hingga 25 pohon dari setiap spesies yang diteliti. Pohon-pohon yang dipilih harus mencakup berbagai ukuran, mulai dari bibit terkecil hingga individu terbesar, guna memastikan representasi yang komprehensif. Pengukuran yang umumnya dilakukan mencakup diameter tajuk, volume tajuk, luas tajuk, tinggi pohon, serta diameter batang utama pada ketinggian 30 cm di atas permukaan tanah.



Gambar 2.3 Tanaman Bakau

Sumber : Howard dkk. (2014)

c. Pohon Mati yang Berdiri

Dalam kondisi ideal, kepadatan kayu dari pohon mati yang masih berdiri sebaiknya dianalisis langsung di laboratorium guna memperoleh hasil yang akurat. Namun, apabila pengujian di laboratorium tidak memungkinkan atau sulit dilakukan, alternatif lain yang dapat digunakan adalah mengacu pada daftar kepadatan kayu standar berdasarkan ukuran pohon. Metode ini dapat membantu dalam melakukan perhitungan estimasi kepadatan kayu secara lebih praktis.

Tabel 2.1 Ukuran Kelas Kayu

| Ukuran Kelas (Diameter 10 cm) | Kepadatan \pm SE (g/cm³) | Ukuran Sampel (n) |
|--|---|------------------------------|
| < 0,64 | 0,48 \pm 0,01 | 117 |
| 0,65 - 2,4 | 0,64 \pm 0,02 | 31 |
| 2,54 - 7,6 | 0,71 \pm 0,01 | 69 |
| > 7,6 | 0,69 \pm 0,02 | 61 |

d. Liana

Liana merupakan tumbuhan yang dapat merambat dari satu tumbuhan ke tumbuhan lainnya, mereka merambat untuk mendapat sinar matahari dengan batangnya yang fleksibel. Setiap liana yang terdapat dalam area sampel harus diukur apabila ingin dimasukkan dalam perhitungan biomassa dan kandungan karbon. Pengukuran ini penting untuk memastikan bahwa estimasi karbon yang dihasilkan mencerminkan kondisi sebenarnya di lapangan. Terdapat berbagai persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung biomassa liana.



Gambar 2.4 Tumbuhan Liana yang Merambat

Sumber : Howard dkk. (2014)

e. Palem dan Tumbuhan Lainnya yang Bukan Pohon

Untuk menentukan biomassa pelepah palem (dalam kg), diperlukan pengambilan sampel sebanyak 15 hingga 25 pelepah dari berbagai tanaman yang berada di luar petak sampel permanen. Pengambilan sampel ini bertujuan untuk memastikan bahwa distribusi ukuran daun yang diamati dalam ekosistem tersebut terwakili dengan baik. Setiap pelepah yang dikumpulkan harus dipotong pada titik pertemuannya dengan permukaan tanah guna mendapatkan data yang konsisten dan akurat. Selanjutnya, pelepah yang telah dikumpulkan dikeringkan di laboratorium untuk menentukan massa keringnya. Setelah seluruh pelepah dalam sampel dikeringkan, rata-rata massa kering dihitung sebagai nilai acuan dalam perhitungan biomassa lebih lanjut

f. Serasah

Lapisan serasah merupakan akumulasi bahan organik mati yang tidak mengandung kayu dan baru saja jatuh ke permukaan tanah. Material ini umumnya terdiri dari daun kering, bunga, buah, biji, serta serpihan kulit kayu yang telah mati. Dalam ekosistem hutan bakau, serasah hanya menyumbang sebagian kecil dari total simpanan karbon. Hal ini disebabkan oleh tingginya aktivitas kepiting pemakan detritus yang

mengurai material organik dengan cepat, serta adanya proses ekspor serasah melalui pasang surut dan banjir musiman dari sungai.

g. Kayu Mati dan Tumbuhan

Semua material kayu yang telah tumbang, mati, dan memiliki sifat berkayu, seperti batang, cabang, akar tunggang, serta tangkai dari pohon atau semak yang terlepas, harus dihitung dan diklasifikasikan apabila berada di atas atau melintasi garis transek dalam radius 2 meter dari permukaan tanah. Pendataan ini dilakukan dengan menggunakan teknik standar yang memungkinkan identifikasi dan pengelompokan material kayu berdasarkan ukuran dan karakteristiknya. Serpihan kayu yang ditemukan di area sampel dapat dikategorikan ke dalam empat kelas ukuran utama, yaitu partikel kayu halus, kecil, sedang, dan besar. Pengelompokan ini telah menjadi standar dalam berbagai metode inventarisasi hutan dan digunakan secara luas untuk mempermudah analisis serta perhitungan biomassa.

Tabel 2.2 Kelas Ukuran Kayu

| Keterangan | Diameter |
|-------------------|----------------------|
| Baik atau Bagus | Ukuran 0-0,6 cm |
| Kecil | Ukuran 0,6-2,5 cm |
| Sedang | Ukuran 2,5-7,6 cm |
| Besar | Ukuran $\geq 7,6$ cm |

2. Padang Lamun

Padang lamun menyimpan karbon yang mencerminkan kemampuan lamun dalam mengikat CO₂ dari udara. Kandungan karbon ini mengacu pada jumlah karbon yang dapat diserap oleh tumbuhan lamun dalam bentuk biomassa (Graha dkk., 2016). Faktor-faktor seperti umur tegakan, komposisi, struktur tegakan, dan perkembangan vegetasi memengaruhi biomassa lamun. Atmosfer menyerap karbon melalui fotosintesis, yang kemudian terlarut di laut dan disimpan dalam bentuk Dissolved inorganic Carbon (DIC). Ekosistem lamun dapat menyimpan hingga 83.000 metrik ton karbon per kilometer persegi, yang kemudian mengendap di jaringan

lamun atau sedimen untuk waktu yang lama. Oleh karena itu, keberadaan lamun sangat penting untuk proses penyerapan karbon (Ganefian dkk, 2019).



Gambar 2.5 Zostera Marina Jenis Tanaman Padang Lamun

Sumber : Howard dkk. (2014)

Padang lamun merupakan salah satu ekosistem pesisir yang paling terancam di dunia, dengan laju kehilangan habitat yang semakin meningkat dalam beberapa dekade terakhir. Sebelum tahun 1940, rata-rata kehilangan padang lamun tercatat sekitar 0,9% per tahun. Namun, sejak pertengahan abad ke-20, angka ini melonjak drastis hingga mencapai 7% per tahun, menunjukkan tekanan yang semakin besar terhadap ekosistem ini. Secara global, penyebab utama degradasi dan hilangnya padang lamun adalah penurunan kualitas air akibat berbagai faktor seperti eutrofikasi-proses peningkatan kadar nutrisi di perairan yang menyebabkan pertumbuhan alga berlebih dan berkurangnya kadar oksigen. Selain itu, aktivitas manusia seperti pengerukan dasar laut dan penimbunan lahan pesisir juga berkontribusi besar terhadap kerusakan habitat lamun. Padang lamun memiliki peran ekologis dan ekonomi yang sangat penting.

Ekosistem ini menjadi habitat bagi berbagai spesies laut, termasuk yang memiliki nilai ekonomi tinggi dalam sektor perikanan. Selain itu, padang lamun dikenal sebagai salah satu ekosistem dengan tingkat produksi primer yang tinggi, yang mendukung rantai makanan laut serta meningkatkan produktivitas perikanan. Selain sebagai tempat tinggal bagi banyak organisme, padang lamun juga berperan dalam menjaga keseimbangan lingkungan pesisir. Ekosistem ini membantu dalam daur

ulang nutrisi, stabilisasi sedimen, serta peredaman energi gelombang badai, yang dapat mengurangi dampak erosi pantai. Lebih jauh lagi, lamun memiliki kontribusi besar dalam siklus karbon, karena kemampuannya dalam menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar, menjadikannya salah satu ekosistem kunci dalam mitigasi perubahan iklim.

Tabel 2.3 Biomassa Rumput Laut dan Organik Tanah

| Wilayah | Biomassa Rumput Laut Hidup (Mg C/ha) | | Biomassa Organik Tanah (Mg C/ha) | |
|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|
| | n | Rata-rata ± 95% CI | n | Rata-rata ± 95% CI |
| Pasifik Timur Laut | 5 | 0,97 ± 1,02 | 1 | 64,4 |
| Pasifik Tenggara | - | ND | - | ND |
| Atlantik Utara | 50 | 0,85 ± 0,19 | 24 | 48,7 ± 14,5 |
| Atlantik Barat Tropis | 44 | 0,84 ± 0,17 | 13 | 150,9 ± 26,3 |
| Mediterrania | 57 | 7,29 ± 1,52 | 29 | 372,4 ± 56,8 |
| Atlantik Selatan | 5 | 1,06 ± 0,51 | 5 | 137,0 ± 56,8 |
| Indo-Pasifik | 47 | 0,61 ± 0,26 | 8 | 23,6 ± 8,3 |
| Pasifik Barat | - | ND | - | ND |
| Australia Selatan | 40 | 2,32 ± 0,63 | 9 | 268,3 ± 101,7 |
| *ND = No Data (Tidak Ada Data) | | | | |

3. Rawa Asin

Ekosistem pasang surut Rawa Asin terletak di garis pantai yang terlindung dan memiliki kapasitas tinggi untuk menyerap "Blue Carbon" dalam tanahnya, meskipun luasnya relatif kecil. Beberapa faktor yang mendukung kemampuan penyerapan karbon yang baik di ekosistem ini antara lain produksi yang tinggi, pengendapan sedimen yang berkelanjutan, penguburan vegetasi asli (seperti serasah dan akar), serta tingkat dekomposisi yang rendah. Proses akresi sedimen vertikal sebagai respons terhadap kenaikan permukaan laut berkontribusi pada peningkatan stok karbon dan tingkat akumulasi seiring waktu. Air laut mengandung ion sulfat yang mengalami proses reduksi sulfat,

yang menghambat metanogenesis di tanah dan membatasi produksi metana. Oleh sebab itu, rawa asin dapat berfungsi sebagai penyerap karbon bersih, yang berpotensi membantu mengurangi dampak perubahan iklim (Gailis dkk., 2021).



Gambar 2.6 Serasah Rawa Asin

Sumber : Howard dkk. (2014)

Berikut ini terdapat estimasi biomassa pada rawa asin yang memiliki potensi *blue carbon* diantaranya:

a. Rumput tebing dan tumbuhan

Alang-alang merupakan jenis tumbuhan yang tumbuh dengan rapat, memiliki batang tinggi dan tegak, serta menjadi vegetasi utama di ekosistem rawa-rawa garam pasang surut. Tanaman ini sering membentuk hamparan luas yang mendominasi lanskap pesisir dan memiliki peran penting dalam kestabilan ekosistem serta siklus karbon. Salah satu metode yang umum digunakan untuk memperkirakan biomassa di atas permukaan tanah dalam ekosistem ini adalah metode kuadrat. Metode ini digunakan untuk menentukan area pengambilan sampel dalam plot penelitian, sehingga memungkinkan perhitungan biomassa yang lebih akurat.

b. Semak

Untuk memperoleh data yang akurat mengenai kandungan karbon di ekosistem semak, beberapa pengukuran penting perlu dilakukan. Setiap semak yang berada di dalam area petak harus diukur, termasuk diameter tajuk, lebar tajuk, volume tajuk, serta diameter batang utama pada ketinggian 30 cm di atas permukaan tanah. Pengukuran ini penting untuk

memahami dimensi dan struktur semak, yang berhubungan langsung dengan kapasitasnya untuk menyimpan karbon. Untuk memastikan perhitungan yang representatif, setidaknya 15 hingga 25 semak dari setiap spesies yang ada harus diambil sampelnya. Sampel tersebut harus mencakup berbagai ukuran yang ditemukan di lapangan, termasuk yang terletak di luar petak permanen yang mungkin dibangun, guna memastikan keragaman spesies dan ukuran yang lebih luas tercakup. Dengan mengumpulkan sampel dari rentang ukuran yang bervariasi, hasil pengukuran akan lebih mencerminkan kondisi ekosistem semak secara keseluruhan.

c. Serasah

Serasah daun merujuk pada bahan organik mati yang tidak mengandung kayu dan baru saja jatuh ke permukaan tanah. Material ini dapat mencakup berbagai jenis vegetasi, seperti tumbuhan rawa asin, lamun, atau alga laut yang terakumulasi di lingkungan pesisir. Meskipun serasah ini memiliki peran penting dalam ekosistem, di banyak rawa asin, biomassa dari komponen ini relatif kecil. Hal ini disebabkan oleh proses dekomposisi yang cepat serta penghilangan material oleh herbivora atau gerakan pasang surut yang membawa serasah ke laut.

d. Kayu Mati dan Tumbuhan

Kayu mati dan tumbuhan meskipun tidak sering menjadi elemen dominan dalam biomassa di permukaan tanah rawa asin pasang surut, tetap memiliki peran penting dalam stok karbon ekosistem ini. Hal ini dikarenakan kayu mati dan tumbang dapat dianggap sebagai material alokton, yakni material yang berasal dari luar ekosistem tersebut. Dalam hal ini, jika ditemukan adanya kayu mati dan tumbang dalam plot penelitian, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah mengambil sampel kayu tersebut menggunakan teknik garis potong. Metode ini memungkinkan pengukuran yang lebih tepat tentang jumlah dan distribusi kayu mati di area yang diteliti. Untuk menghitung biomassa kayu mati dan tumbang dalam satuan kilogram per hektar (kg/ha), perhitungan dilakukan dengan mengalikan volume kayu yang ditemukan dengan kepadatan rata-rata kayu di area tersebut. Pengukuran volume kayu dapat dilakukan dengan berbagai metode,

termasuk teknik pengukuran fisik atau menggunakan perhitungan berdasarkan dimensi batang

2.5 Jenis Tanah dan Batuan di Pesisir Gunungkidul

Bagian Pesisir Gunungkidul yang termasuk dalam zona Selatan di Kabupaten Gunungkidul dikenal sebagai daerah pengembangan Pegunungan Seribu (Duizon gebergton atau Zuider gebergton), yang terletak pada ketinggian antara 0 hingga 300 meter di atas permukaan laut. Wilayah ini memiliki formasi geologi yang didominasi oleh batu gamping/ batu kapur dengan ciri khas perbukitan kerucut (Conical limestone), serta merupakan bagian dari kawasan karst yang unik. Keberadaan batuan gamping ini juga memungkinkan terbentuknya banyak sungai bawah tanah yang tersembunyi di bawah permukaan. Jenis tanah didominasi kompleks latosol dan mediteran merah yang juga terbentuk dari batuan induk batu gamping yang kaya akan kalsium karbonat (CaCO_3). Area Zona Selatan ini meliputi beberapa kecamatan yaitu Kecamatan Purwosari, Kecamatan Panggang, Kecamatan Saptosari, Kecamatan Tanjungsari, Kecamatan Tepus dan Kecamatan Girisubo (Misbahuddin., 2021).

2.6 Pemetaan Potensi Penyimpanan *Blue Carbon*

Sejak akhir tahun 1950-an, citra penginderaan jauh telah dimanfaatkan secara luas untuk keperluan pemetaan dan pemantauan, memberikan kemampuan untuk memantau lokasi secara tidak langsung. Teknologi ini telah berkembang pesat dan kini menjadi alat yang sangat penting dalam berbagai bidang, termasuk pemantauan lingkungan dan perubahan iklim (Kamal, 2024). Pemetaan blue carbon memiliki berbagai keuntungan, antara lain kemampuan untuk memetakan area yang sangat luas, ketersediaan data secara temporal, serta memberikan konteks spasial yang penting. Selain itu, teknologi ini dapat diterapkan pada berbagai skala pemetaan, mengurangi ketergantungan pada survei lapangan, dan memiliki keunggulan dalam hal kecepatan, biaya yang lebih rendah, serta tingkat keamanan yang lebih tinggi. Penginderaan jauh juga memungkinkan pemantauan yang lebih rutin dan berkelanjutan, menjadikannya alat yang sangat efisien dalam pengelolaan ekosistem blue carbon (Wicaksono, 2024).

2.6.1 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sistem yang berfokus pada aspek geografis, di mana istilah geografis merupakan bagian dari konsep spasial (keruangan) yang berkaitan dengan permukaan bumi dalam dua atau tiga dimensi. Informasi geografis mencakup data mengenai lokasi-lokasi di permukaan bumi serta atribut-atribut yang terkait dengan posisi tersebut. SIG merupakan sistem berbasis komputer yang memiliki empat fungsi utama dalam mengelola data berreferensi geografis, yaitu: (a) input data, (b) output data, (c) manajemen data yang mencakup penyimpanan dan pengambilan kembali data, serta (d) analisis dan manipulasi data. Sistem ini dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan, memproses, dan menyajikan informasi spasial, yaitu data yang memiliki keterkaitan geometris sehingga dapat diukur, dihitung, dan direpresentasikan dalam sistem koordinat. Data yang digunakan dalam SIG berbentuk digital, terdiri dari data posisi (spasial) dan data atribut yang menjelaskan informasi tambahan mengenai objek tersebut. SIG berperan dalam pengelolaan dan analisis objek dengan lokasi geografis sebagai karakteristik utama yang memerlukan evaluasi kritis. Oleh karena itu, data dalam SIG berupa peta (spasial) yang terhubung langsung dengan data tabular yang mendeskripsikan bentuk geometri dari data spasial tersebut. Sebagai contoh, ketika membuat suatu tema atau layer dalam SIG, secara otomatis layer tersebut akan memiliki data tabular yang berisi informasi mengenai karakteristik bentuknya (Agnestia dkk., 2023)

2.6.2 *Quantum Geographic Information System (QGIS)*

QGIS sebagai perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) bersifat *open-source* memungkinkan pengguna untuk tidak hanya memvisualisasikan informasi geografis, tetapi juga melakukan pengeditan data serta analisis spasial secara mendalam (Rosas dkk., 2022). QGIS dapat dimanfaatkan tidak hanya sebagai platform untuk menampilkan data spasial, tetapi juga sebagai alat pendukung geospasial yang kuat dalam proses pemetaan potensi *blue carbon*. Pemanfaatan QGIS diarahkan untuk mengembangkan model spasial yang mampu mengidentifikasi dan

menganalisis potensi ekosistem pesisir sebagai penyerap karbon, sehingga mendukung perencanaan konservasi berbasis data yang lebih akurat. Dengan demikian, kegiatan observasi langsung menjadi lebih terarah dalam meninjau kondisi nyata ekosistem di lapangan.

2.6.3 *Research and Development (R&D)*

Research and Development (R&D) didefinisikan sebagai suatu metode penelitian yang dilakukan dengan sengaja, sistematis, dan terarah untuk menemukan, merumuskan, memperbaiki, mengembangkan, menghasilkan, serta menguji efektivitas suatu produk, model, metode, strategi, atau prosedur tertentu yang lebih unggul, baru, efektif, efisien, produktif, dan bermakna. Definisi lain tentang R&D adalah penelitian yang bertujuan untuk menghasilkan suatu hal dan menguji keefektifan produk tersebut (Rosia dkk., 2022). Dalam pemetaan, R&D menjadi tahapan dalam mengembangkan peta atau memaksimalkan peta yang sudah ada dengan dasar pertanggung jawaban yang jelas.

2.6.4 Buffer

Buffer dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) merujuk pada zona yang digambar di sekitar titik, garis, atau poligon apapun, yang mencakup seluruh area dalam jarak tertentu dari fitur tersebut dan digambarkan oleh SIG sebagai poligon baru. Poligon dapat digunakan untuk menentukan jarak ke dalam dari batas fitur area dengan istilah "buffer negatif." Model data raster dan vektor dapat menggunakan buffer. Zona buffer adalah area yang dibentuk di sekitar objek peta, seperti titik, garis, atau poligon. Pembuatan buffer membentuk area cakupan yang melindungi fitur spasial pada peta (objek dalam area buffer) dengan jarak tertentu. Akibatnya, area buffer ini digunakan untuk mengukur jarak antara objek peta dan objek lain di sekitarnya (Agestia dkk., 2023)

2.6.5 Validasi

Validasi dilakukan untuk menilai kecocokan antara data spasial yang dihasilkan dari pengolahan citra dengan data lapangan yang diperoleh melalui survei langsung atau groundcheck. Tujuan dari proses ini adalah untuk mengukur tingkat akurasi data yang digunakan dalam interpretasi citra satelit, sehingga dapat meningkatkan keandalan hasil analisis. Dalam uji validasi, analisis mencakup aspek yang akan dilihat secara langsung kondisi eksisting dilapangan. Data yang diperoleh tersebut kemudian akan dibandingkan untuk menilai ketepatan klasifikasi dalam pemetaan berbasis citra satelit, yang selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan untuk pengelolaan dan konservasi wilayah pesisir (Hanan dkk., 2020).

2.7 Penelitian Terdahulu

Berikut ini merupakan daftar penelitian terkait yang sudah dilakukan, dan dapat dilihat pada tabel 2.1.

| No. | Nama Penelitian, Tahun | Judul Penelitian | Hasil Penelitian |
|-----|---|---|---|
| 1 | Afid Nurkholis ¹ , Galih Dwi Jayanto ² , Nuringtyas Yogi Jurnawan ³ , 2016 | Analisis Bentuklahan Sebagai Landasan Terwujudnya Sustainable Coastal Area di Indonesia | Penelitian menunjukkan bahwa setiap tipe morfologi pesisir memiliki potensi dan risiko yang berbeda. Pesisir karst unggul dalam sektor pariwisata, namun rawan kekeringan, longsor, dan erosi. Pesisir marine deposition berpotensi untuk pertanian, pariwisata, tambak, dan permukiman, tetapi rentan terhadap tsunami, erosi, dan pencemaran. Pesisir subaerial deposition mendukung tambak, pelabuhan, dan konservasi mangrove, namun menghadapi banjir rob, subsiden, sedimentasi, dan pencemaran. Untuk mendukung keberlanjutan, |

| | | | |
|---|---|---|--|
| | | | dilakukan zonasi berdasarkan karakteristik lahan dengan mempertimbangkan aspek ekonomi, lingkungan, dan budaya. |
| 2 | Fatimah Putri Utami ¹ , Yudo Prasetyo ² , Abdi Sukmono ³ , 2016 | Analisis Spasial Perubahan Luasan Mangrove Akibat Pengaruh Limpasan Sedimentasi Tersuspensi dengan Metode Penginderaan Jauh | Penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi Total Suspended Solid (TSS) di Segara Anakan meningkat dan cenderung tinggi di tengah laguna karena menjadi muara sedimentasi sungai besar. Analisis spasial menunjukkan perubahan luasan hutan mangrove, dengan penambahan akibat munculnya tanah timbul dan penurunan di area permukiman yang berubah fungsi. Selama 1994–2015 terjadi pengurangan mangrove 3.643 Ha, penambahan 1.484 Ha, dan area tetap 4.312 Ha. Terdapat korelasi positif antara TSS dan mangrove dengan signifikansi 2,3%. Pemrosesan citra satelit menggunakan algoritma Parwati menunjukkan hubungan signifikan dengan data lapangan, dengan akurasi 86,5% dan RMSE 1,425. |
| 3 | Mirlin Alisani ¹ , Lusiana Ingrid Lette ² , Sumarni Koroy ³ , 2022 | Karakteristik Morfologi Pohon Cemara Laut (<i>Casuarina equisetifolia</i>) | Hasil penelitian menunjukkan bahwa pohon Cemara Laut (<i>Casuarina equisetifolia</i>) memiliki peran penting dalam mitigasi bencana di kawasan pesisir. Sebagai tumbuhan yang mampu bertahan terhadap gelombang dan abrasi, cemara laut efektif mengurangi dampak |

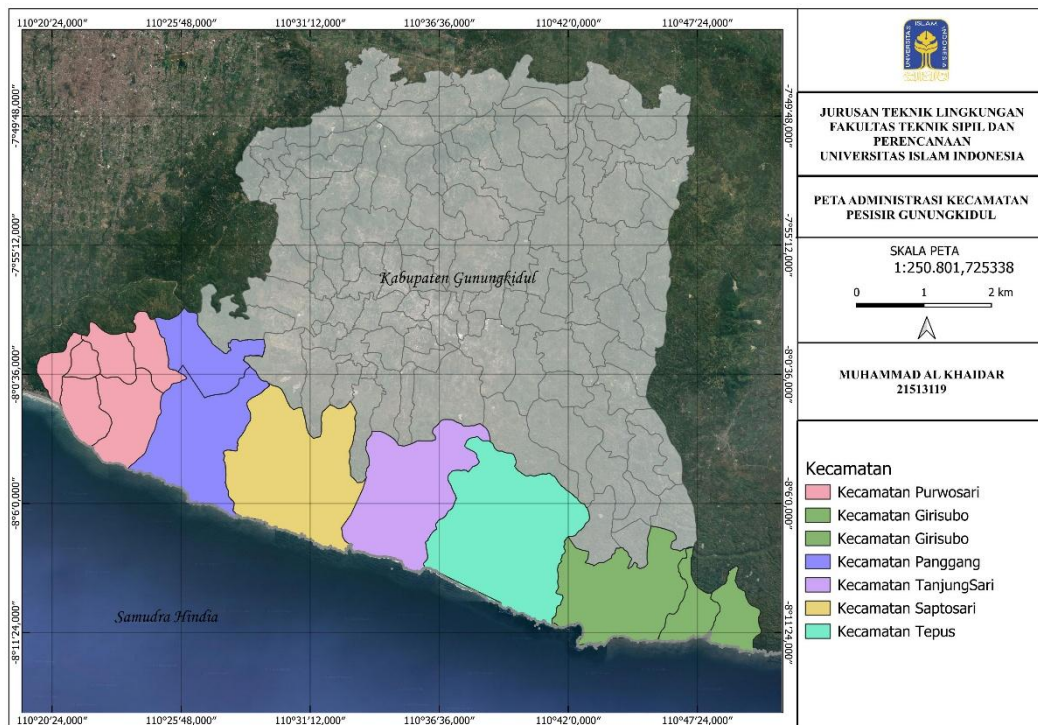
| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | <p>kerusakan pantai. Penanaman jenis ini tidak hanya berfungsi sebagai pelindung alami dari bencana pesisir, tetapi juga sebagai bentuk konservasi lahan pasir. Keberadaannya membantu menahan gelombang, mengurangi abrasi, dan menjaga stabilitas ekosistem pesisir. Oleh karena itu, pelestarian dan perawatan pohon cemara laut sangat penting untuk mendukung upaya mitigasi bencana sekaligus menjaga keindahan lingkungan pantai.</p> |
|--|--|--|--|

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

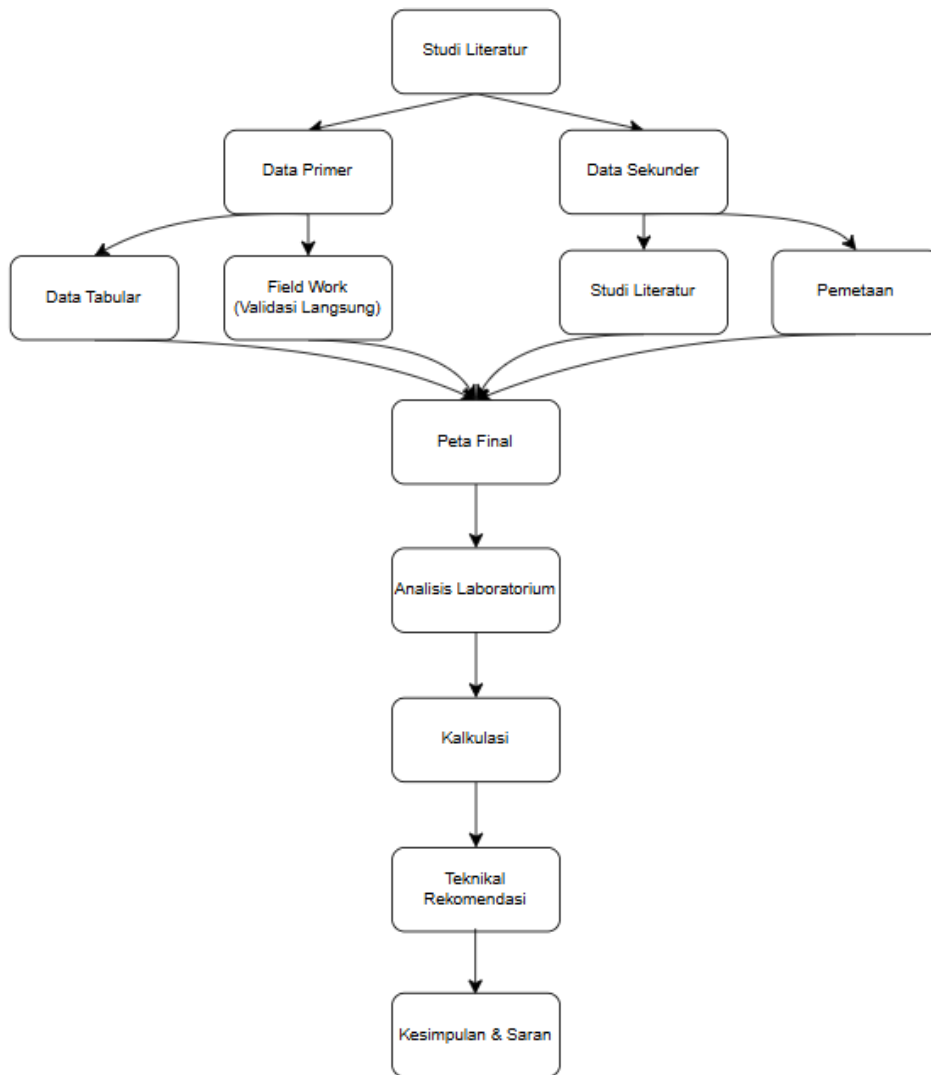
Penelitian ini dilaksanakan di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, tepatnya di Kabupaten Gunungkidul, yang memiliki luas wilayah sekitar 148.536 hektar. Fokus penelitian diarahkan pada seluruh zona pesisir di wilayah tersebut, dengan tujuan utama untuk mengidentifikasi dan memetakan kawasan yang memiliki potensi dalam penyimpanan karbon biru (blue carbon) sebagai bagian dari strategi mitigasi perubahan iklim berbasis ekosistem pesisir. Pemilihan lokasi di Gunungkidul juga didasari oleh keberadaan greenbelt yang merupakan program Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta di pesisir selatan Pulau Jawa. Greenbelt ini berfungsi sebagai zona penyangga yang dapat menahan dampak bencana pesisir sekaligus mendukung fungsi ekosistem, termasuk dalam penyimpanan karbon. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kontribusi ekosistem pesisir yang berada dalam atau sekitar greenbelt terhadap cadangan karbon biru, sekaligus memberikan dasar ilmiah bagi pengelolaan dan pengembangan program greenbelt di wilayah tersebut.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian Berdasarkan Kecamatan yang Berada Pada Wilayah Pesisir

Adapun wilayah kecamatan yang termasuk dalam cakupan lokasi penelitian mencakup enam kecamatan pesisir, yaitu Kecamatan Purwosari, Kecamatan Panggang, Kecamatan Saptosari, Kecamatan Tanjungsari, Kecamatan Tepus, dan Kecamatan Girisubo. Setiap kecamatan tersebut memiliki karakteristik bentang alam dan penggunaan lahan yang beragam, yang dinilai berkontribusi terhadap potensi cadangan karbon ekosistem pesisir.

3.2 Prosedur Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.3 Pengumpulan dan Pengambilan Sampel

Penelitian ini dilaksanakan dengan pendekatan pemetaan spasial (mapping area) menggunakan perangkat lunak Quantum GIS (QGIS) sebagai alat bantu utama dalam proses identifikasi dan penentuan titik-titik pengambilan sampel. Setelah ditentukan titik sampel maka dilanjutkan dengan validasi secara langsung dilapangan.

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah QGIS dan Gmaps untuk melihat estimasi awal sebelum melakukan sampling, *Mug Auger* untuk mengukur dan mengambil sampel, kantong sample untuk menyimpan sampel, handphone untuk dokumentasi hasil lapangan, *Roll Meter* untuk mengukur

keliling lapangan dan mengukur plot, tali rafia untuk menarik panjang plot sampling, patok untuk batas setiap plot, spidol untuk menandakan sampel pada kantong sampel, timbangan untuk menimbang sampel tanah yang diambil sedalam 50 cm. Penelitian ini terbagi beberapa pengumpulan dan pengambilan sampel untuk menentukan potensi *blue carbon* di antaranya sebagai berikut.

3.3.1 Pemetaan Batas Wilayah Potensi *Blue Carbon* di Gunungkidul

Penelitian ini menerapkan pendekatan *Research and Development* (R&D) untuk menghasilkan peta potensi ekosistem *blue carbon* di wilayah pesisir Kabupaten Gunungkidul, mencakup vegetasi seperti mangrove, padang lamun, dan rawa asin. Tahap awal penelitian difokuskan pada pemanfaatan data sekunder sebagai dasar penentuan batas pesisir dan titik-titik pengambilan sampel. Data sekunder yang digunakan berasal dari berbagai sumber, seperti citra satelit resolusi menengah hingga tinggi, sumber yang berasal dari LapakGIS, dan Indonesia Geospasial. Tahapan awal mencakup penentuan wilayah studi dan klasifikasi penggunaan lahan. Berdasarkan data tersebut, dilakukan pemetaan awal menggunakan teknik *buffer* sejauh 100 meter dari garis pantai ke arah daratan. Penentuan jarak ini mengacu pada Peraturan Presiden Nomor 51 Tahun 2016 tentang Batas Sempadan Pantai. Proses analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak QGIS versi 3.40.2, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam proses pemilihan sampel. Penentuan jumlah sampel dilakukan dengan metode *proportionate stratified random sampling* dengan Rumus Slovin ($n = \frac{Z^2 p q}{e^2 N}$), dimana pengambilan sampel dilakukan secara acak berdasarkan proporsi dari masing-masing strata atau kelas penggunaan lahan yang telah ditentukan, guna memastikan keterwakilan setiap kategori dalam populasi. Untuk penentuan lokasi titik sampel di lapangan, digunakan *tools random points in polygon* yang tersedia di dalam QGIS, yang memungkinkan pemilihan titik secara acak di dalam batas-batas poligon masing-masing kelas penggunaan lahan. Dalam pelaksanaannya, pemilihan titik-titik tersebut juga mempertimbangkan faktor aksesibilitas, khususnya ketersediaan jalur atau akses jalan menuju lokasi yang memungkinkan untuk dilakukan pengambilan sampel secara langsung di lapangan. Dari hasil analisis awal ini, diperoleh peta indikatif persebaran

vegetasi *blue carbon* sebagai acuan untuk tahapan selanjutnya, yaitu validasi lapangan.

$$\text{Rumus Slovin: } n = \frac{N}{1 + N e^2}$$

Keterangan : n = Jumlah Sampel

N = Total Populasi

e = *Margin Error*

Sumber : Merahwan dkk. (2025)

3.3.2 Pengukuran Lokasi Potensi *Blue Carbon*

1. Pembatasan Cakupan Wilayah Potensi *Blue Carbon*

Penetapan batas area penelitian mencakup ekosistem alami, terdegradasi, atau telah dikonversi. Setelah ditetapkan, batas wilayah dilakukan pemetaan area secara menyeluruh untuk mengevaluasi aksesibilitas dan lokasi pengambilan sampel. Peta yang akurat memungkinkan ekstrapolasi data dan menjadi dasar pembandingan perubahan stok karbon dan layanan ekosistem. Data pendukung seperti peta topografi, penggunaan lahan, tanah, dan vegetasi dari estimasi sebelumnya untuk membantu meningkatkan akurasi batas wilayah penelitian

2. Stratifikasi Area

Stratifikasi adalah metode untuk membagi wilayah yang beragam menjadi area lebih homogen guna mempermudah pengelolaan dan pengukuran. Teknik ini sangat berguna di lapangan yang kompleks dengan keterbatasan logistik dan sumber daya, karena meningkatkan efisiensi dan akurasi data. Kriteria stratifikasi harus relevan dengan variabel yang diukur.

3. Jenis Tutupan Lahan

Pengukuran lokasi penelitian dengan membedakan jenis tutupan lahan dilakukan untuk memahami variasi kondisi lingkungan berdasarkan tipe penggunaan lahan. Secara singkat, proses ini dimulai dengan pemetaan wilayah menggunakan citra satelit, foto udara, atau data GIS untuk mengidentifikasi jenis tutupan lahan seperti hutan, semak, pertanian, permukiman, atau badan air. Setelah itu, lokasi-lokasi

perwakilan dari masing-masing jenis tutupan lahan ditentukan sebagai titik pengambilan data lapangan. Dengan membedakan jenis tutupan lahan, data yang dikumpulkan akan lebih akurat dan mewakili kondisi biofisik yang beragam di wilayah penelitian.

4. Penentuan Lokasi Plot

Penentuan lokasi plot dilakukan untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan mewakili kondisi lahan secara akurat dan sistematis. Secara singkat, proses ini dimulai dengan menentukan batas wilayah penelitian, lalu membagi area tersebut berdasarkan kriteria tertentu, seperti jenis tutupan lahan, kemiringan lereng, atau penggunaan lahan. Setelah itu, plot-plot pengamatan ditentukan secara acak atau sistematis dalam setiap kategori, dengan ukuran dan bentuk plot yang disesuaikan dengan tujuan penelitian. Koordinat setiap plot dicatat menggunakan GPS agar dapat diidentifikasi kembali, serta memudahkan pemetaan dan analisis data.

3.3.3 Pengumpulan Sampel Tanah

Untuk menghitung total stok karbon dalam ekosistem vegetasi, diperlukan pendekatan komprehensif dengan menjumlahkan kandungan karbon dari setiap komponen vegetasi yang ada di wilayah tersebut. Komponen ini mencakup berbagai jenis vegetasi, termasuk pohon, serasah, rerumputan, semak belukar, serta material organik lainnya yang berkontribusi terhadap penyimpanan karbon di ekosistem tersebut. Setiap jenis vegetasi memiliki kapasitas yang berbeda dalam menyimpan karbon, sehingga pengukuran yang akurat terhadap setiap komponen menjadi langkah penting dalam melakukan inventarisasi karbon.

1. Pengambilan Sampel tanah

Standar Nasional Indonesia (SNI) 7724:2019 memberikan pedoman teknis yang terstandarisasi guna menjamin bahwa sampel tanah yang dikumpulkan dapat mewakili kondisi lapangan secara akurat dan dapat diandalkan untuk tujuan analisis. Setiap sampel yang telah diambil harus

diberi label secara lengkap, mencakup informasi seperti kode sampel, tanggal pengambilan, kedalaman, jenis sampel, serta koordinat lokasi.

2. Penyimpanan Sampel Tanah

Untuk menjaga kualitas sampel, terutama yang mengandung kelembaban tinggi atau ditujukan untuk analisis mikrobiologi, penyimpanan dilakukan dalam kondisi sejuk dan terlindung dari cahaya langsung. Transportasi ke laboratorium dilakukan sesegera mungkin untuk mencegah terjadinya perubahan sifat tanah.

3. Analisis Laboratorium

a. Mengukur pH tanah

Pengukuran pH tanah dilakukan untuk mengetahui tingkat keasaman atau kebasaan tanah, yang sangat memengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Secara singkat, proses ini dilakukan dengan mencampurkan sampel tanah dengan air atau larutan KCl dalam perbandingan tertentu, kemudian diaduk dan didiamkan sejenak. Setelah itu, campuran diukur menggunakan pH meter. Hasil pengukuran akan menunjukkan nilai pH tanah, yang biasanya berkisar antara 4 hingga 9, tergantung kondisi tanah.

b. Mengukur kepadatan massa tanah (*Dry Bulk Density*)

Pengukuran kepadatan massa jenis tanah kering (*dry bulk density*) dilakukan untuk mengetahui massa tanah kering per satuan volume, yang penting untuk menilai porositas dan kapasitas simpan air tanah. Secara singkat, tanah diambil dengan volume tertentu, lalu dikeringkan di oven pada suhu 110°C hingga beratnya konstan. Setelah kering, massa tanah ditimbang dan dibagi dengan volume silinder. Dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Dry bulk density (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Massa tanah kering (gr)}}{\text{Volume awal sampel tanah yang di ambil (cm}^3\text{)}}$$

c. Mengukur % kadar air sampel tanah

Pengukuran persentase kadar air tanah dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak air yang terkandung dalam tanah. Secara singkat, sampel tanah basah ditimbang terlebih dahulu, kemudian

dikeringkan di oven pada suhu 105°C hingga beratnya konstan. Setelah itu, tanah ditimbang kembali untuk mendapatkan berat keringnya. Selisih antara berat basah dan berat kering merupakan berat air, yang kemudian dihitung sebagai persentase dari berat tanah kering, yang dapat dilihat pada rumus berikut:

$$\% \text{ Kadar Air Tanah} = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100\%$$

Keterangan:

W_1 : Berat cawan kosong (gram)

W_2 : Berat cawan + sampel sebelum pemanasan (gram)

W_3 : Berat cawan + sampel setelah pemanasan (gram)

d. Mengukur kandungan karbon organik tanah

Kandungan karbon organik tanah dapat dianalisis melalui metode pembakaran kering atau loss on ignition (LOI) dengan memanfaatkan furnace. Sampel tanah yang sebelumnya telah dikeringkan dipanaskan pada suhu 800°C selama satu jam. Pada tahap ini, material organik akan terbakar dan berubah menjadi gas, sedangkan komponen anorganik tetap tertinggal. Selisih massa sampel sebelum dan sesudah pembakaran digunakan untuk menentukan besarnya kehilangan karbon organik, yang kemudian dihitung dalam bentuk persentase melalui rumus berikut:

$$\% \text{BO} = \frac{W_o - W_t}{W_o} \times 100\%$$

Keterangan:

%BO: Persentase organik (%)

W_o : Berat awal (gram)

W_t : Berat akhir setelah pembakaran (gram)

Untuk mengetahui % karbon pada tanah digunakan perhitungan untuk mengonversi dari % bahan organik menjadi % karbon organik (% C organik) pada tanah dengan rumus:

$$\% \text{C} = \frac{1}{1,724} \times \% \text{BO}$$

%C: Kandungan karbon bahan sedimen organik

1,724: Konstanta untuk mengkonversi % bahan organik menjadi % C organik

3.3.4 Pengumpulan Data Vegetasi

1. Pengambilan Data Vegetasi

Pengambilan sampel vegetasi merupakan bagian penting dalam kajian ekologi, analisis biomassa, dan perhitungan cadangan karbon. Tujuannya adalah untuk memperoleh data yang representatif mengenai jenis, jumlah, dimensi, dan distribusi vegetasi pada suatu kawasan. Pengambilan sampel vegetasi dilakukan melalui pembuatan petak ukur (plot) di lokasi penelitian. Ukuran dan jumlah plot disesuaikan dengan jenis vegetasi dan tujuan penelitian. Misalnya, untuk hutan sekunder dapat digunakan plot berukuran 20 m × 20 m serta mengukur diameter pohon pada ketinggian 130 cm dari permukaan tanah DBH (*Diameter at Breast Height*).

2. Identifikasi Jenis Vegetasi

Identifikasi jenis vegetasi dilakukan dengan cara mengamati spesies tumbuhan dominan yang berada di sekitar titik pengambilan sampel. Pengamatan ini mencakup Jenis tumbuhan pada pohon, semak, herba, atau rerumputan, tingkat kerapatan dan penutupan lahan, nama lokal atau ilmiah tumbuhan. Informasi vegetasi tersebut kemudian dicatat dalam lembar deskripsi lokasi, bersamaan dengan data topografi, penggunaan lahan, dan sifat permukaan tanah. Hal ini bertujuan untuk memberikan gambaran menyeluruh tentang lingkungan tempat sampel tanah diambil.

3.3.5 Validasi Data Lapangan

Tahap validasi lapangan bertujuan untuk memastikan keakuratan dan konsistensi informasi yang diperoleh dari analisis data sekunder serta pemetaan awal. Validasi di lapangan akan mengumpulkan data primer secara langsung dari lokasi penelitian. Metode ini penting untuk memverifikasi keakuratan data yang telah dikumpulkan sebelumnya melalui observasi spasial. Pengumpulan data primer dilakukan melalui serangkaian metode, mulai dari pengamatan langsung, pengukuran parameter ekosistem, wawancara dengan masyarakat

atau pihak terkait, serta pengambilan sampel vegetasi atau sedimen di lokasi ekosistem mangrove, padang lamun, dan rawa asin. Validasi ini juga mencakup pencatatan titik koordinat dan identifikasi jenis vegetasi yang ditemukan di lapangan. Setelah data primer terkumpul, dilakukan perbandingan antara data sekunder dan data primer guna mengevaluasi kesesuaian informasi dan memperbarui peta awal. Proses ini memastikan bahwa peta akhir yang dihasilkan telah melalui proses konfirmasi di lapangan dan mencerminkan kondisi aktual di wilayah pesisir.

3.4 Analisis Potensi Karbon Biru

Analisis data dalam penelitian ini difokuskan pada pengolahan dan perhitungan data primer yang diperoleh dari kegiatan validasi lapangan yang berkaitan dengan karakteristik vegetasi dan tanah pada ekosistem *blue carbon*. Data primer meliputi informasi mengenai jenis dan kerapatan vegetasi, serta parameter fisik tanah. Analisis terhadap data vegetasi dilakukan untuk mengetahui luas tutupan vegetasi serta identifikasi jenis-jenis tanaman yang berperan dalam penyimpanan karbon, seperti mangrove, lamun, dan rawa asin. Sementara itu, analisis tanah digunakan untuk memahami potensi simpanan karbon di dalam sedimen.

3.4.1 Perhitungan Stok Karbon Tanah Organik

1. Pada perhitungan untuk mencari data densitas karbon pada tanah digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Soil C Density} = \% \text{ C Org} \times \text{BD}$$

Keterangan:

Soil C Density : Densitas Karbon (g/cm^2)

BD : Densitas tanah (cm)

% C Organik : Nilai persentase kandungan karbon tanah

2. Setelah hasil densitas karbon pada tanah (*soil C density*), dapat dihitung estimasi simpanan karbon yang terkandung didalam tanah dengan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

Soil C : Estimasi simpanan karbon (Mg/ha^{-1})

BD : Densitas tanah (cm)

SDI : Interval kedalaman sampel (cm)

3.4.2 Perhitungan Stok Karbon Vegetasi

1. Perhitungan kandungan karbon yang tersimpan pada vegetasi dengan mencari biomassa pada setiap jenis vegetasi seperti pohon, pancang, tumbuhan bawah dan semai, yang mengacu rumus alometrik dan juga Standar Nasional Indonesia (SNI) 7724 tahun 2019 yang kemudian dikonversi hasil biomassa untuk dijadikan hasil karbon yang tersimpan, dengan rumus sebagai berikut:

$$C_{tb} = B \times \%C \text{ Organik}$$

Keterangan:

C_{tb} : Kandungan karbon bahan organik tumbuhan (kg)

B : Total biomassa vegetasi (kg)

%C Organik : Nilai persentase kandungan karbon (0,47)

2. Perhitungan cadangan karbon yang tersimpan pada vegetasi untuk setiap plot yang ditentukan sebelumnya, dengan menggunakan rumus berikut:

$$C_n = \frac{C_x}{1000} \times \frac{10000}{l_{plot}}$$

Keterangan:

C_n : Kandungan karbon per hektar pada masing masing carbon pool (ton/ha)

C_x : Kandungan karbon pada masing masing carbon pool pada tiap plot (kg)

l_{plot} : Luas plot pada masing masing pool (m^2)

3.4.3 Perhitungan Total Stok Karbon

Perhitungan cadangan karbon total dalam plot yang berasal dari hasil kandungan karbon pada vegetasi dan karbon kandungan tanah yang di hitung menggunakan rumus SNI 7724 tahun 2019 yang dilihat sebagai berikut:

$$C_{plot} = C_{vegetasi} + C_{tanah}$$

Keterangan:

C_{plot} : Total kandungan karbon pada plot (ton /ha)

C_{vegetasi} : Total kandungan karbon vegetasi (ton/ha)

C_{tanah} : Total kandungan karbon tanah (ton/ha)

3.4.4 Perhitungan Kandungan Logam Berat (Na, Ca)

Penentuan kadar logam berat Ca dan Na pada sedimen dapat dilakukan dengan persamaan dibawah ini yang mengacu pada BPSI Tanah dan Pupuk Tahun 2023.

Kadar Ca dan Na (%)

$$= \text{ppm kurva} \times \text{ml ekstrak} / 1.000 \text{ ml} \times 100 / \text{mg contoh} \times \text{fp} \times \text{fk}$$

$$= \text{ppm kurva} \times 25 / 1.000 \times 100 / 500 \times 10 \times \text{fk}$$

$$= \text{ppm kurva} \times 0,05 \times \text{fk}$$

Keterangan:

ppm kurva 100 fk fp = kadar contoh yang didapat dari kurva hubungan antara kadar deret standar dengan pembacaannya setelah dikoreksi blanko.

100 = konversi ke % (pada satuan %)

fk = faktor koreksi kadar air = $100 / (100 - \% \text{ kadar air})$

fp = faktor pengenceran

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Lokasi Penelitian

Dalam penelitian ini, penggunaan lahan diklasifikasikan ke dalam empat kategori utama, yaitu Vegetasi Alami Non Pertanian, Pertanian Lahan Basah, Pertanian Lahan Kering, dan Pertanian Lahan Perkebunan, dengan total luas keseluruhan mencapai 851 hektar. Luasan tersebut merepresentasikan wilayah kajian yang digunakan dalam analisis tutupan lahan, estimasi simpanan karbon, sekaligus menjadi dasar penentuan lokasi pengambilan sampel atau plot penelitian. Plot penelitian dibagi ke dalam empat strata sesuai kategori penggunaan lahan tersebut. Setiap kategori memiliki karakteristik fungsi dan aktivitas utama yang berbeda. Vegetasi Alami Non Pertanian mengacu pada area yang didominasi vegetasi liar atau semak tanpa pemanfaatan pertanian secara aktif, sering kali berupa hutan primer tanpa pernah dipengaruhi dari manusia dan lahan terlantar atau dalam masa transisi. Pertanian Lahan Basah merujuk pada lahan yang dikelola khusus untuk padi dengan sistem irigasi serta kondisi tergenang secara periodik. Pertanian Lahan Kering yang ditanami tanaman musiman, seperti jagung atau kedelai, tanpa sistem pengairan intensif. Sementara itu, Pertanian Lahan Perkebunan merupakan lahan yang digunakan untuk tanaman tahunan, seperti kelapa sawit, karet, kopi, atau teh, dengan pengelolaan jangka panjang yang lebih intensif. Dari total luasan tersebut, kategori Vegetasi Alami Non Pertanian mendominasi dengan luas 589 hektar, atau sekitar 69,2% dari keseluruhan area, yang menunjukkan keberadaan vegetasi alami maupun semi-alami yang belum dimanfaatkan secara intensif untuk pertanian. Dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Total Luas Area Pesisir Gunungkidul

| Penggunaan Lahan | Total Luas Area |
|------------------------------|------------------------|
| Vegetasi Alami Non Pertanian | 589 |
| Pertanian Lahan Basah | 62 |
| Pertanian Lahan Kering | 172 |
| Pertanian Lahan Perkebunan | 29 |

| | |
|-------|-----|
| Total | 851 |
|-------|-----|

Oleh karena itu kawasan tersebut penting untuk dianalisis Vegetasi Alami Non Pertanian dapat menjadi indikator proses regenerasi vegetasi atau lahan yang sebelumnya telah dialihfungsikan dan kemudian ditinggalkan. Sementara itu Pertanian Lahan Basah memiliki luas 62 hektar atau sekitar 7,3% dari total area. Kategori selanjutnya adalah Pertanian Lahan Kering dengan luas 172 hektar atau sekitar 20,2%. Kemudian Pertanian Lahan Perkebunan mencakup luas 29 hektar, atau sekitar 3,4% dari total lahan. Kebun mencerminkan lahan budidaya dengan tanaman tahunan seperti buah-buahan, kelapa, atau tanaman keras lainnya, yang memiliki masa panen lebih panjang dan potensi simpanan karbon yang lebih stabil dibandingkan ladang atau sawah.

Dengan memahami sebaran dan proporsi tiap jenis penggunaan lahan tersebut, maka dilakukan estimasi awal untuk penempatan plot pengambilan sampel dalam penelitian, terutama yang berkaitan dengan pengukuran biomassa vegetasi dan karbon tanah. Pemilihan lokasi plot dilakukan secara representatif berdasarkan luas masing-masing tutupan lahan, dengan mempertimbangkan keragaman vegetasi, kemiringan lahan, dan aksesibilitas lokasi. Penempatan plot dilakukan secara sistematis dengan mempertimbangkan interval antar plot yaitu 20 meter dan menggunakan ukuran standar plot pengukuran 20x20 meter. Rencana jumlah pengambilan plot dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Estimasi Jumlah Plot Pengambilan Sampel

| Penggunaan Lahan | Estimasi plot | <i>Rounding</i> |
|------------------------------|---------------|-----------------|
| Vegetasi Alami Non Pertanian | 16,79 | 17 |
| Pertanian Lahan Basah | 1,75 | 1 |
| Pertanian Lahan Kering | 4,91 | 5 |
| Pertanian Lahan Perkebunan | 0,81 | 1 |
| total | | 24 |

Penentuan jumlah plot dalam penelitian ini dilakukan secara *proportionate stratified random sampling* dengan menggunakan Rumus Slovin. Dari total luas 851 hektar, diperoleh estimasi 24 plot yang tersebar di empat kategori tutupan lahan. Kategori Vegetasi Alami Non Pertanian yang memiliki luas terbesar, yaitu 589 hektar sehingga mendapatkan alokasi 17 plot. Kemudian Pertanian Lahan Basah

seluas 62 hektar ditetapkan 1 plot, Pertanian Lahan Kering seluas 172 hektar mendapat 5 plot, dan Pertanian Lahan Perkebunan dengan luas 29 hektar dialokasikan 1 plot. Pembagian ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap jenis penggunaan lahan terwakili dalam pengambilan data lapangan secara seimbang, sehingga hasil estimasi karbon dari vegetasi dan tanah dapat mencerminkan kondisi aktual pada masing-masing jenis lahan.

Dikarenakan dalam pelaksanaannya terdapat sejumlah kendala teknis di lapangan dengan keterbatasan akses jalan, keterbatasan waktu, dan kondisi topografi yang sulit menyebabkan tidak semua estimasi plot dapat direalisasikan secara penuh, sebagai penyesuaian jumlah plot yang seharusnya diambil pada masing-masing jenis penggunaan lahan yaitu untuk Vegetasi Alami Non Pertanian direalisasikan sebanyak 6 plot, Pertanian Lahan Kering sebanyak 3 plot, Pertanian Lahan Basah hanya 6 plot, dan Pertanian Lahan Perkebunan juga 3 plot, sehingga total plot yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 18 plot. Jumlah plot pengambilan sampel pada saat di lapangan dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perbandingan Rencana Plot dan Plot Lapangan

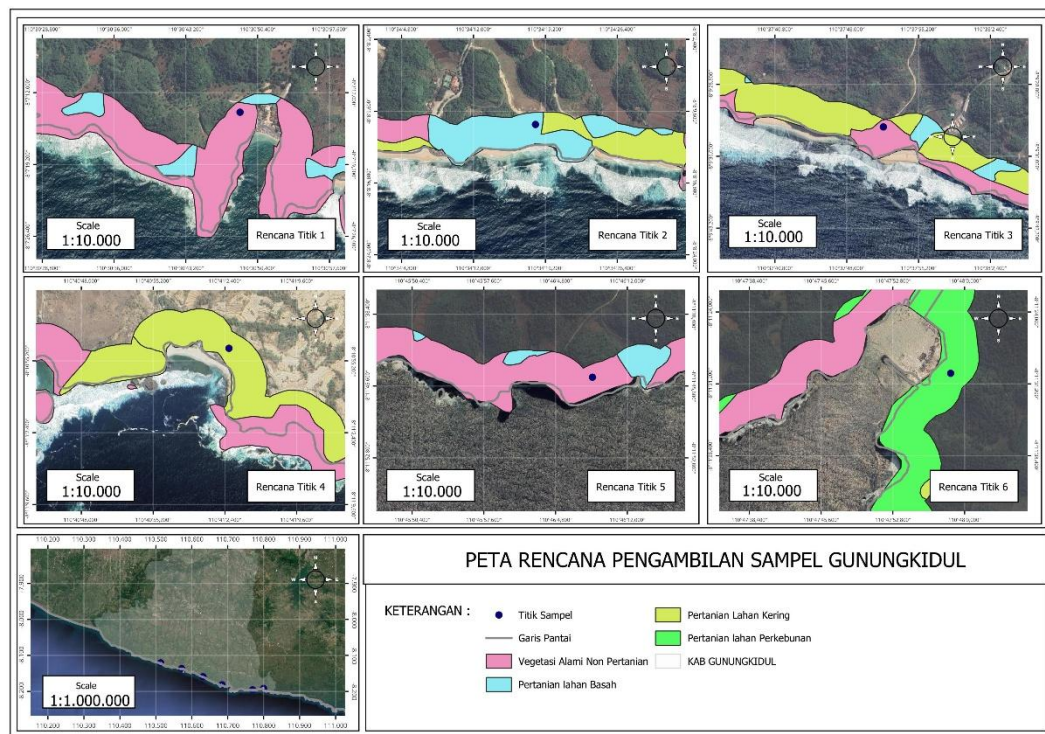
| Penggunaan Lahan | Peta | Lapangan |
|------------------------------|-------------|-----------------|
| Vegetasi Alami Non Pertanian | 17 | 6 |
| Pertanian Lahan Basah | 1 | 6 |
| Pertanian Lahan Kering | 5 | 3 |
| Pertanian Lahan Perkebunan | 1 | 3 |
| Total | 24 | 18 |

4.2 Pemetaan Stok Karbon Biru Pesisir Gunungkidul

Pemetaan stok karbon biru di pesisir Gunungkidul dilakukan sebagai upaya untuk mengetahui potensi simpanan karbon dari ekosistem pesisir, seperti padang lamun dan mangrove. Proses ini dimulai dengan identifikasi jenis tutupan lahan menggunakan data GIS untuk membedakan antara wilayah bervegetasi, pasir, dan perairan. Setelah itu, wilayah diklasifikasikan menjadi beberapa zona berdasarkan jenis ekosistem. Di setiap zona, ditentukan lokasi plot pengamatan secara sistematis atau acak. Plot ini menjadi titik pengambilan sampel biomassa dan sedimen. Sampel sedimen diambil menggunakan *Mud Auger* hingga kedalaman 50 cm untuk mengetahui kandungan karbon organik di dalam tanah. Selain itu, biomassa tanaman seperti lamun atau mangrove juga diukur untuk menghitung kandungan

karbon di bagian atas tanah.

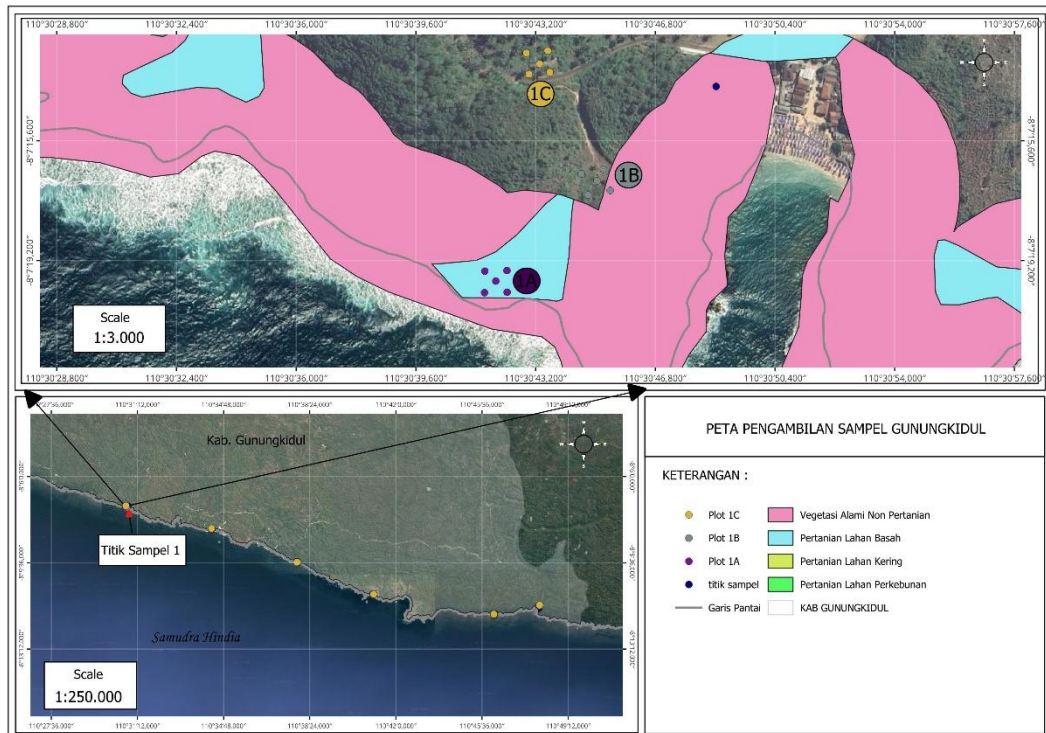
Pada penelitian ini dilakukan estimasi awal dengan menggunakan pemetaan dengan membagi beberapa tutupan lahan ke dalam kategori berdasarkan karakteristik vegetasi dan penggunaannya. Pembagian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perbedaan stok karbon yang tersimpan pada setiap jenis tutupan lahan, seperti Vegetasi Alami Non Pertanian, Pertanian Lahan Basah, Pertanian Lahan Kering dan Pertanian Lahan Perkebunan.



Gambar 4.1 Peta Rencana Pengambilan Sampel

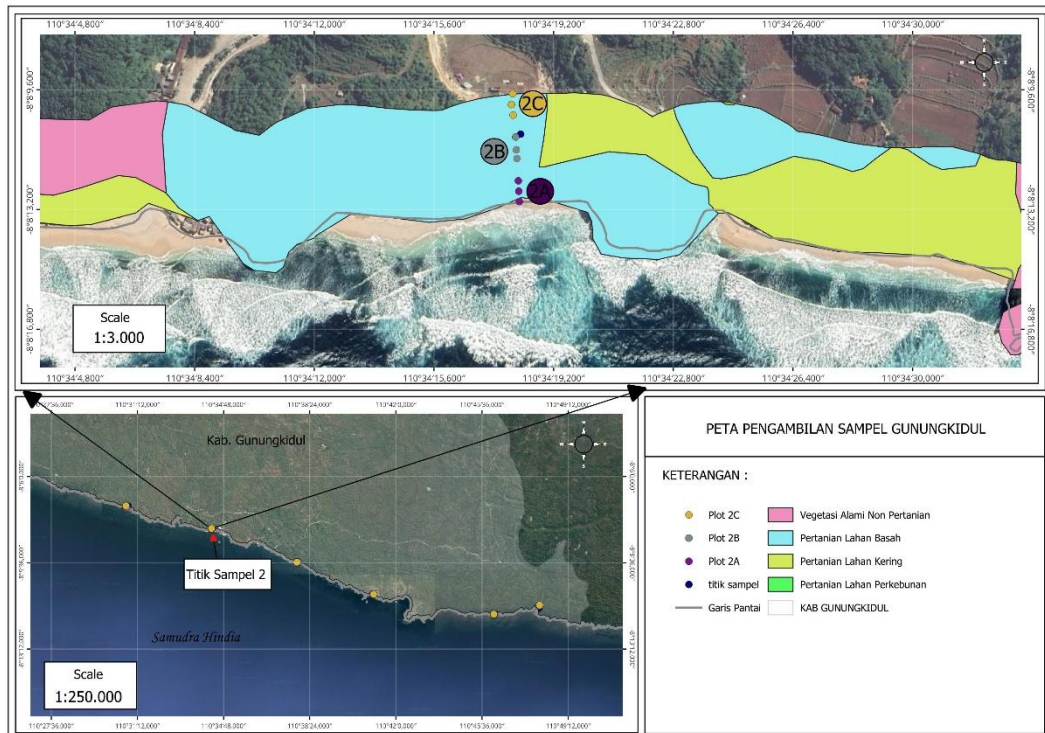
Melalui pendekatan ini, setiap unit lahan dapat dianalisis kontribusinya terhadap total simpanan karbon di wilayah pesisir. Pemetaan dilakukan secara spasial untuk mengetahui distribusi tutupan lahan secara lebih akurat, sehingga hasil estimasi karbon yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar perencanaan pengelolaan lingkungan dan mitigasi perubahan iklim berbasis ekosistem.

Lokasi pengambilan sampel pada titik 1 terletak pada koordinat $08^{\circ}07'14,00''\text{LS}$ dan $110^{\circ}30'48,50''\text{BT}$. didekat pantai Ngrenahan Kecamatan Saptosari. Titik pertama ini didominasi oleh tutupan lahan Vegetasi Alami Non Pertanian dan Pertanian Lahan Basah dengan metode pengambilan transek kuadrat. Titik pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 4.2.



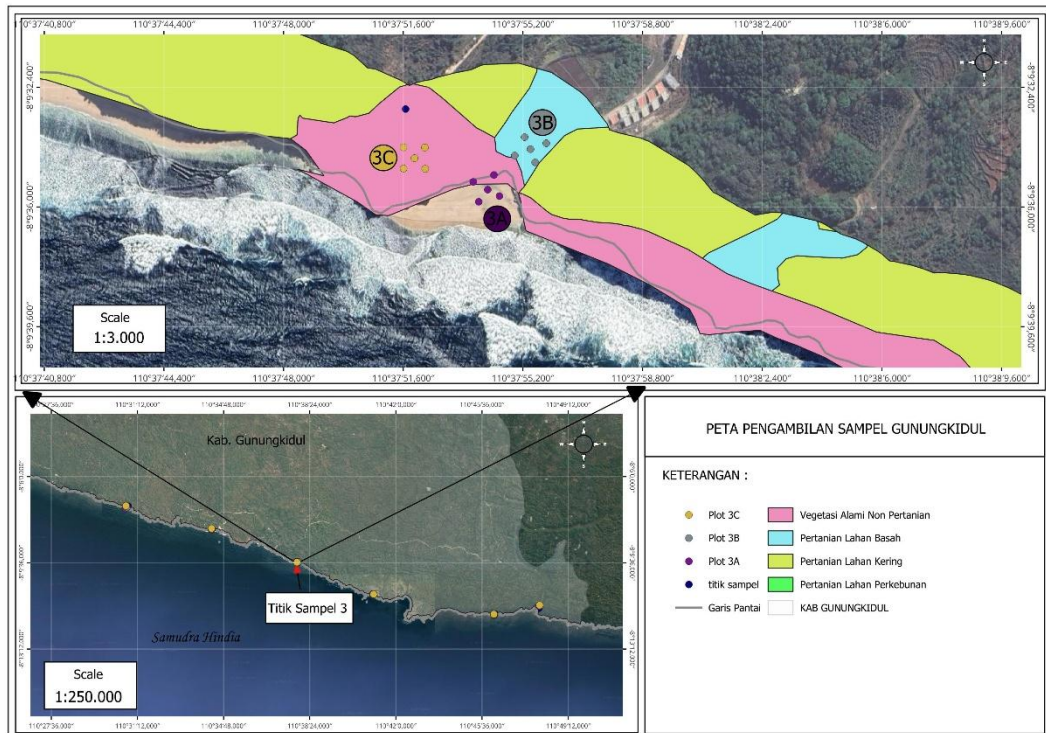
Gambar 4.2 Lokasi Pengambilan Sampel Titik 1

Selanjutnya pada lokasi pengambilan sampel titik 2 yang berlokasi di pantai Sanglen, Kecamatan Tanjungsari pada koordinat $08^{\circ}08'10,90''\text{LS}$ dan $110^{\circ}34'18,20''\text{BT}$. Pada pemetaan awal lokasi pengambilan dengan tutupan lahan Pertanian Lahan Basah dan menggunakan metode transek garis yang dapat dilihat pada Gambar 4.3.



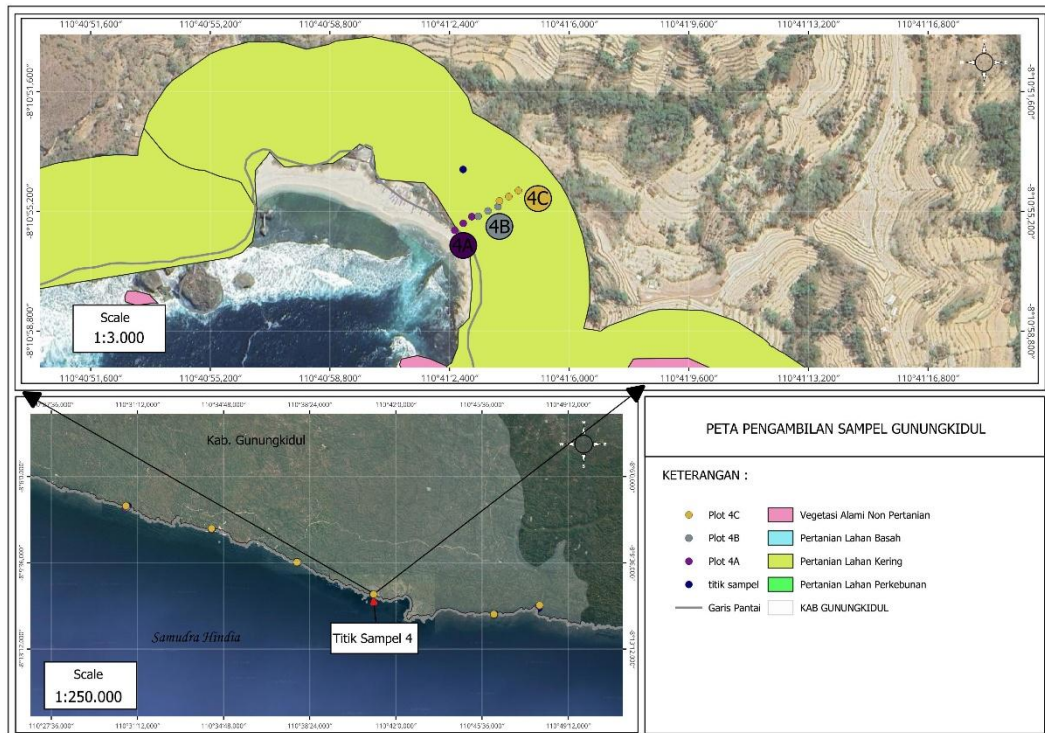
Gambar 4.2 Lokasi Pengambilan Sampel Titik 2

Pengambilan selanjutnya pada titik 3 yang berlokasi di dekat pantai Seruni, Kecamatan Tepus dengan koordinat $08^{\circ}09'31,80''$ LS dan $110^{\circ}37'47,40''$ BT. Titik ini menggunakan metode transek kuadrat dengan dominasi lahan Vegetasi Alami Non Pertanian dan Pertanian Lahan Basah. Pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 4.4.



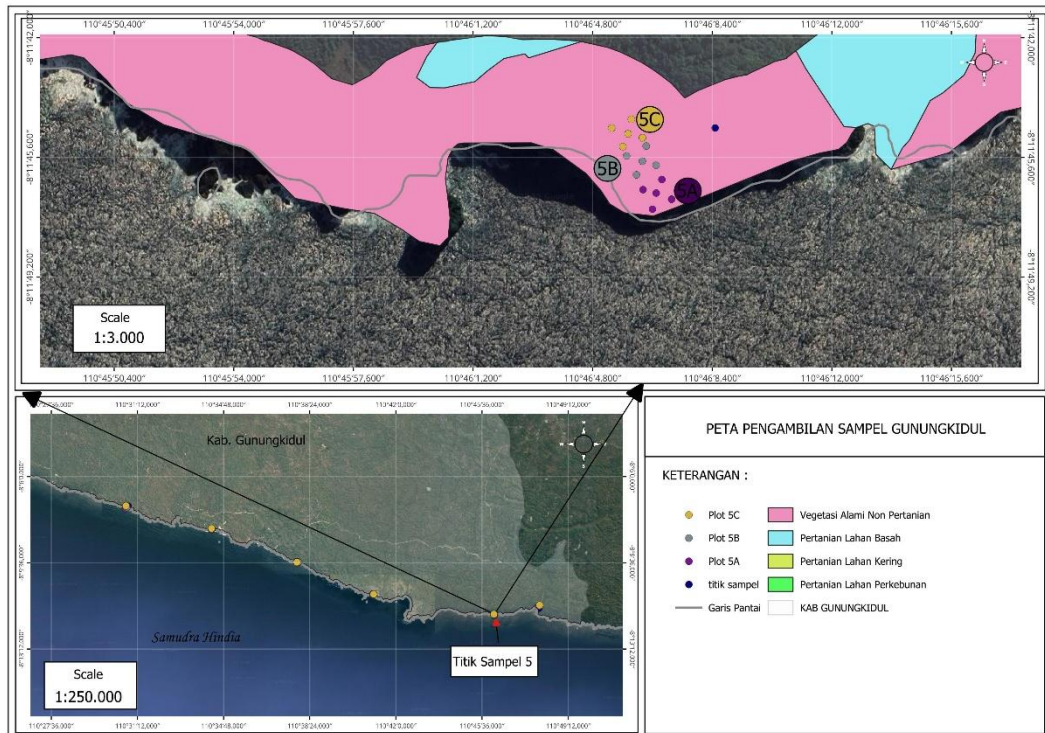
Gambar 4.3 Lokasi Pengambilan Sampel Titik 3

Di lokasi pengambilan sampel titik 4 yaitu di Pantai Siung, Kecamatan Tepus pada koordinat $08^{\circ}10'53,94''\text{LS}$ dan $110^{\circ}41'02,84''\text{BT}$ dengan tutupan lahan Pertanian Lahan Kering. Titik ini menggunakan metode transek garis dapat dilihat pada Gambar 4.5.



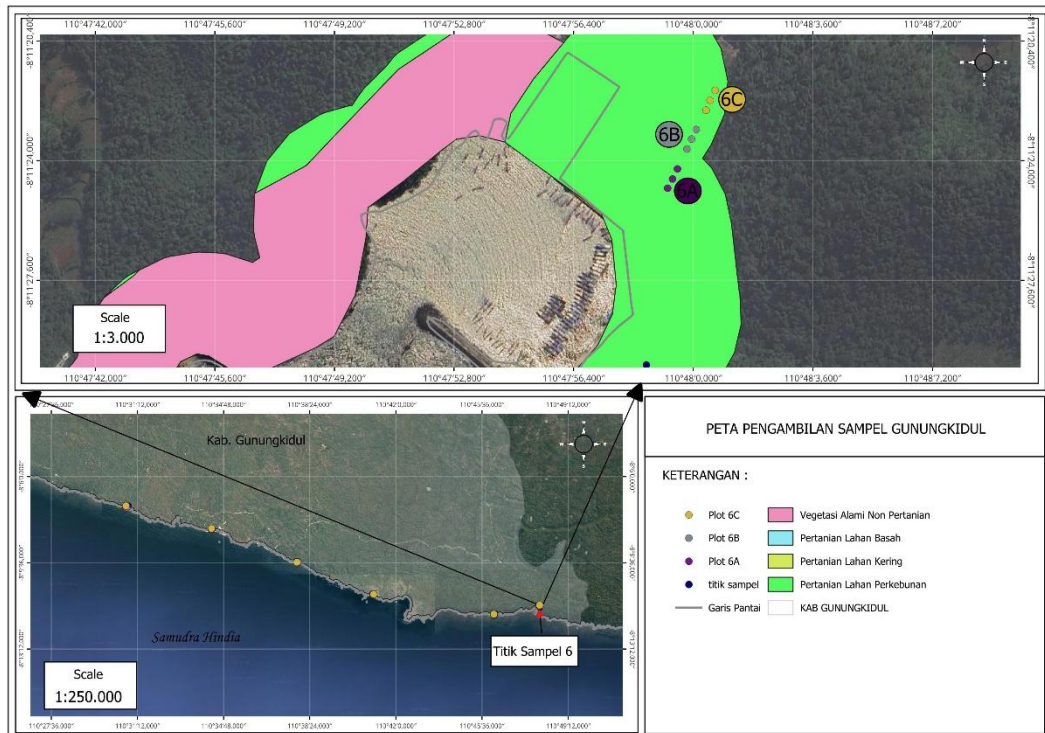
Gambar 4.4 Lokasi Pengambilan Sampel Titik 4

Lokasi pengambilan sampel titik 5 dilakukan di Pantai Ngungap, Kecamatan Girisubo dengan koordinat $08^{\circ}11'44,73''\text{LS}$ dan $110^{\circ}46'08,53''\text{BT}$. Semua pengambilan sampel diatas tutupan lahan Vegetasi Alami Non Pertanian yang menggunakan metode transek kuadrat dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Lokasi Pengambilan Sampel Titik 5

Selanjutnya untuk lokasi pengambilan sampel 6 dilakukan di Pantai Sadeng, Kecamatan Girisubo dengan koordinat $08^{\circ}11'30,3''\text{LS}$ dan $110^{\circ}47'58,74''\text{BT}$. Titik ini didominasi oleh tutupan lahan Pertanian Lahan Perkebunan dan menggunakan metode transek garis dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.6 Lokasi Pengambilan Sampel Titik 6

Lahan Vegetasi Alami Non Pertanian bukan sekedar area tak tergarap, tetapi memiliki potensi besar dalam penyimpanan karbon karena ditumbuhi vegetasi alami seperti semak, perdu, dan pohon tanpa pengelolaan manusia. Pertanian Lahan Kering adalah lahan pertanian kering untuk tanaman semusim seperti jagung dan kedelai, dengan tutupan vegetasi yang rendah dan bersifat musiman. Pertanian Lahan Basah digunakan untuk budidaya padi dengan pengolahan intensif dan pola tanam teratur. Sementara itu, Pertanian Lahan Perkebunan merupakan lahan pertanian dengan tanaman tahunan seperti kelapa, kakao, atau kopi yang memiliki vegetasi lebih rapat dan cenderung permanen, sehingga berkontribusi lebih stabil terhadap cadangan karbon.

Akan tetapi, tutupan lahan pada pemetaan belum terlalu akurat karena masih terbatas pada pengamatan visual dan interpretasi citra tanpa dilengkapi dengan data verifikasi lapangan secara menyeluruh. Ketidaktepatan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain resolusi spasial citra yang terbatas, kesamaan spektrum warna antar jenis vegetasi, serta perubahan tutupan lahan yang bersifat musiman, khususnya pada lahan pertanian seperti Pertanian Lahan Basah dan Pertanian Lahan Kering. Dapat diambil contoh pada lahan yang pada saat pengambilan citra tampak

kosong atau tidak tertutup vegetasi dapat keliru diklasifikasikan sebagai lahan terbuka, padahal sebenarnya merupakan lahan pertanian aktif yang sedang dalam masa jeda tanam.

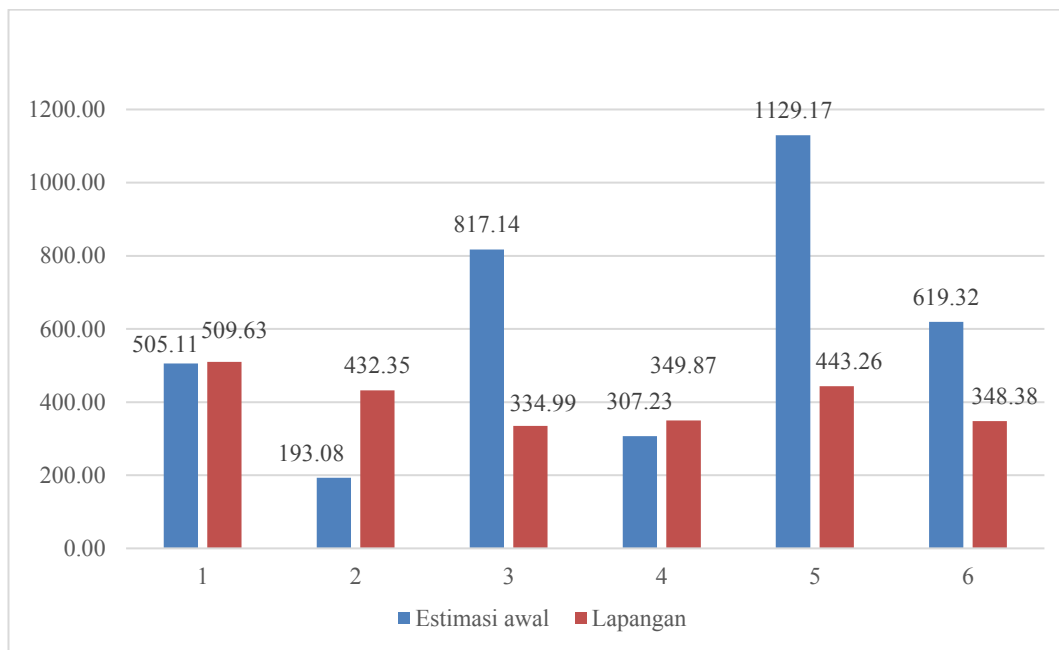
Selain itu sebagian kategori tutupan lahan seperti Pertanian Lahan Basah dan Pertanian Lahan Kering memiliki kemiripan tekstur dan warna jika dilihat dari citra satelit atau peta, sehingga rawan terjadi kekeliruan dalam pengelompokan kelas tutupan lahan. Hasil dari validasi lapangan sendiri menunjukkan setiap pengambilan sampel pada tutupan lahan, banyak keberagaman vegetasi yang tidak sesuai dengan tutupan lahan, vegetasi yang harusnya masuk kedalam tutupan lahan tertentu, dapat berada pada tutupan lahan yang lain. Pada semua titik pengambilan tidak ditemukan padi sama sekali padahal banyak pengambilan sampel yang dilakukan diatas tutupan lahan Pertanian Lahan Basah.

Tanpa validasi langsung di lapangan atau penggabungan dengan data atribut tambahan, seperti jenis tanaman dominan atau riwayat penggunaan lahan, maka hasil pemetaan masih memiliki tingkat ketidakpastian yang cukup tinggi. Hal ini tentu berdampak pada ketepatan estimasi nilai cadangan karbon di masing-masing tutupan lahan, karena setiap jenis tutupan memiliki potensi simpanan karbon yang berbeda tergantung struktur vegetasi, jenis tanaman, dan tingkat gangguan antropogenik.

4.3 Total Simpanan Karbon Pesisir Gunungkidul

Total stok karbon di wilayah pesisir Gunungkidul terdiri atas dua komponen utama, yaitu karbon yang tersimpan dalam vegetasi dan dalam tanah. Karbon vegetasi mencerminkan jumlah karbon yang terdapat pada biomassa hidup, seperti batang, cabang, daun, dan akar tanaman, yang mampu menyerap karbon dari atmosfer melalui fotosintesis dan menyimpannya dalam bentuk biomassa. Jumlah karbon ini sangat dipengaruhi oleh jenis ekosistem, tipe vegetasi, umur tanaman, kepadatan tegakan, serta kondisi lingkungan. Untuk memperolehnya secara kuantitatif, dilakukan pengukuran diameter batang, tinggi pohon, dan kerapatan vegetasi, yang kemudian dimasukkan ke dalam rumus alometrik. Biomassa yang dihasilkan dikalikan dengan faktor konversi karbon, biasanya sebesar 0,47 dari bobot kering, untuk memperoleh estimasi stok karbon.

Sementara itu, karbon dalam tanah organik merupakan indikator penting dalam memahami peran tanah sebagai penyimpan karbon ekosistem. Kandungannya berasal dari hasil dekomposisi bahan organik seperti daun, akar, dan organisme tanah lainnya. Besarnya stok karbon ini dipengaruhi oleh jenis tutupan lahan, kedalaman pengambilan sampel, tekstur tanah, serta penggunaan dan pengelolaan lahan. Terdapat grafik perbandingan antara estimasi awal total simpanan karbon dan hasil dari total simpanan karbon setelah dilakukan langsung ke lokasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Perbandingan Total Karbon (ton.ha)

Hasil perbandingan antara estimasi awal dan hasil pengukuran di lapangan menunjukkan adanya perbedaan yang cukup signifikan pada total stok karbon di lokasi penelitian. Berdasarkan estimasi awal pada rata-rata total karbon dari enam titik sampel mencapai 595,18 ton/ha, sedangkan hasil pengukuran langsung di lapangan menunjukkan total karbon sebesar 403,08 ton/ha. Selisih antara hasil estimasi awal dan pengukuran lapangan mengindikasikan bahwa data lapangan memberikan gambaran stok karbon yang lebih rendah yang disebabkan oleh perbedaan pendekatan yang digunakan. Estimasi awal bersumber dari analisis citra satelit tutupan lahan yang bersifat umum, sehingga hanya merepresentasikan keberadaan vegetasi tanpa mempertimbangkan karakteristik spesifik vegetasi pesisir maupun kondisi tanah aktual. Pendekatan ini didasarkan pada konsep *green*

carbon, yang berfokus pada karbon yang tersimpan dalam biomassa vegetasi daratan, seperti pepohonan dan semak, tanpa menghitung kandungan karbon dalam tanah, khususnya tanah pesisir yang umumnya memiliki kadar bahan organik tinggi dan berperan besar dalam penyimpanan karbon.

Sebaliknya pengukuran langsung di lapangan menggunakan pendekatan *blue carbon*, yaitu pendekatan yang mencakup karbon yang tersimpan tidak hanya dalam vegetasi pesisir, tetapi juga pada tanah dan sedimen, dengan mempertimbangkan fungsi tanah sebagai penyerap dan penyimpan karbon dominan dalam ekosistem pantai. Dalam proses validasi dan interpretasi, data estimasi *green carbon* juga dibandingkan dengan referensi nilai stok karbon dari ekosistem *blue carbon* primer, seperti *mangrove*, padang lamun, dan rawa asin, yang secara alami memiliki kapasitas penyimpanan karbon sangat tinggi, baik dalam biomassa maupun dalam sedimen jenuh air. Namun demikian, hasil validasi di lapangan menunjukkan pada kawasan penelitian bukanlah bagian dari ekosistem *blue carbon* primer, melainkan terdiri atas vegetasi pesisir *non-mangrove* seperti Penaga laut, Waru laut, Cemara laut, dan jenis tumbuhan pantai lainnya yang meskipun menyimpan karbon dalam biomassa, namun tidak memiliki kemampuan penyimpanan karbon dalam sedimen sebesar ekosistem primer seperti mangrove.

Mangrove memiliki kemampuan khusus dalam menyesuaikan diri dengan lingkungan yang ekstrem, seperti tanah yang selalu tergenang, kadar garam yang tinggi, dan kondisi tanah yang tidak stabil (Utami dkk., 2016). Kemampuan ini menjadikan mangrove sebagai tumbuhan yang sangat penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem pesisir dan menyimpan cadangan karbon dalam jumlah besar sehingga mangrove dapat beradaptasi dan memiliki fungsi lingkungan yang sangat penting terutama di wilayah pesisir. Namun pada pesisir Pantai Gunungkidul tidak terdapat kondisi tersebut, hal ini karena bentuk morfologi yang curam, sehingga air laut tidak bisa tergenang lama. Akibatnya, lingkungan di lokasi tersebut tidak cocok untuk pertumbuhan *mangrove* secara alami.

Penelitian ini menggunakan dua metode sampling untuk mengestimasi stok karbon di pesisir Gunungkidul, yaitu transek kuadrat pada titik 1, 3, dan 5, serta transek garis pada Titik 2, 4, dan 6. Metode transek kuadrat diterapkan di area dengan vegetasi rapat dan merata sehingga memungkinkan pengukuran yang lebih

detail dalam plot tetap. Hasilnya menunjukkan stok karbon sebesar 509,63 ton/ha di titik 1, pada titik 3 sebesar 334,99 ton/ha dan di titik 5 sebesar 443,26 ton/ha yang mencerminkan biomassa tinggi dan tanah yang mampu menyimpan karbon organik. Sementara itu untuk transek garis digunakan di area dengan vegetasi yang tersebar tidak merata namun meluas secara horizontal, efektif untuk menjangkau variasi vegetasi sepanjang garis transek dengan hasil stok karbon tercatat sebesar 432,35 ton/ha di titik 349,87 ton/ha di titik 4, dan 348,38 ton/ha di titik 6, yang menunjukkan variasi nilai tergantung pada kepadatan, ukuran, bentuk vegetasi, serta kondisi tanah setempat.

4.4 Pengaruh Ion Na terhadap Ca Pada Tanah Pesisir Gunungkidul

Penilaian kadar Ca dan Na dilakukan dengan mengacu pada pedoman dari Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk Tahun 2023 guna mengidentifikasi tingkat konsentrasi mulai dari sangat rendah, rendah, sedang, tinggi atau sangat tinggi.

| Sampel | Plot | Konsentrasi Na (meq/100 gr) | Rerata Konsentrasi Na (meq/100g) | Kategori | Konsentrasi Ca (meq/100 gr) | Rerata Konsentrasi Ca (meq/100g) | Kategori |
|--------|------|-----------------------------|----------------------------------|---------------|-----------------------------|----------------------------------|----------|
| 1 | A | 1.31 | 1.44 | Sangat Tinggi | 11.52 | 15.82 | Tinggi |
| | B | 1.66 | | | 22.10 | | |
| | C | 1.35 | | | 13.83 | | |
| 2 | A | 1.46 | 1.55 | Sangat Tinggi | 19.94 | 16.19 | Tinggi |
| | B | 1.46 | | | 23.32 | | |
| | C | 1.72 | | | 5.30 | | |
| 3 | A | 1.49 | 1.20 | Sangat Tinggi | 12.08 | 8.34 | Sedang |
| | B | 1.43 | | | 9.57 | | |
| | C | 0.68 | | | 3.37 | | |
| 4 | A | 1.76 | 1.73 | Sangat Tinggi | 10.10 | 7.05 | Sedang |
| | B | 2.12 | | | 5.71 | | |
| | C | 1.29 | | | 5.33 | | |
| 5 | A | 2.52 | 2.32 | Sangat Tinggi | 4.65 | 9.56 | Sedang |
| | B | 2.01 | | | 3.39 | | |
| | C | 2.43 | | | 20.65 | | |
| 6 | A | 1.67 | 2.20 | Sangat Tinggi | 15.06 | 10.64 | Tinggi |
| | B | 3.44 | | | 16.86 | | |
| | C | 1.49 | | | 0.00 | | |

*) Kriteria: Balai pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk Tahun 2023

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 4.4, hasil analisis laboratorium mengungkapkan bahwa kadar Natrium (Na) di seluruh titik sampel menunjukkan nilai yang sangat tinggi, dengan rentang konsentrasi antara 1.44 hingga 2.32 meq/100g. Angka ini jelas melampaui batas ambang normal yang ditetapkan, yaitu lebih dari 1 meq/100g, sehingga menunjukkan adanya indikasi awal potensi sodisitas pada tanah. Di sisi lain, apabila ditinjau dari konsentrasi Kalsium (Ca), sebagian besar nilai rata-rata berada dalam kategori sedang hingga tinggi. Rentang nilai Ca berkisar antara 7.05 hingga 16.19 meq/100g.

Konsentrasi natrium (Na^+) dalam tanah umumnya diukur melalui parameter sodisitas, yang merupakan bagian dari total kation terlarut dan seringkali dikaitkan dengan salinitas. Apabila salinitas maupun sodisitas berada pada tingkat tinggi, keduanya dapat memberikan efek negatif terhadap pertumbuhan tanaman, baik secara sendiri-sendiri maupun secara bersamaan. Tingginya tingkat sodisitas dapat menyebabkan akumulasi ion natrium (Na^+), serta unsur lain seperti boron dan molibdenum, yang berpotensi meracuni tanaman. Selain itu, dampak tidak langsung dari kondisi ini adalah meningkatnya pH tanah, sehingga ketersediaan unsur hara penting seperti kalsium (Ca^{2+}) menjadi terbatas. Konsentrasi Na^+ yang berlebihan dalam tanah juga berdampak pada penurunan kualitas sifat fisika tanah. Hal ini memicu dispersi partikel lempung (clay dispersion), yang pada akhirnya dapat menyebabkan tersumbatnya pori-pori tanah dan terbentuknya lapisan kerak di permukaan, mengakibatkan berkurangnya permeabilitas tanah (djuwansah., 2013).

Kalsium sendiri berperan penting dalam menyeimbangkan efek negatif natrium, karena ion Ca^{2+} memiliki kemampuan memperbaiki struktur tanah dengan meningkatkan flokulasi partikel lempung. Namun, jika dominasi Na^+ lebih besar dibanding Ca^{2+} , maka Ca tidak cukup efektif mencegah degradasi tanah.

Meskipun dari data tersebut terlihat jika kandungan Na^+ sangat tinggi, penilaian terhadap tingkat kerusakan tanah belum dapat ditentukan secara pasti, karena salah satu parameter penting yaitu Magnesium (Mg) tidak tersedia. Tanpa data Mg, perhitungan Sodium Adsorption Ratio (SAR) indikator utama yang menilai potensi sodisitas tanah tidak dapat dilakukan secara lengkap. SAR mencerminkan keseimbangan antara Na^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+} dalam larutan tanah, dan

merupakan dasar penilaian seberapa besar risiko degradasi tanah akibat akumulasi natrium.

4.5 Dampak Keberadaan Ion Na dan Ca terhadap Simpanan Karbon

Pengaruh ion Na terhadap total simpanan karbon di dalam ekosistem sangat erat kaitannya dengan keseimbangan unsur hara pada tanah. Konsentrasi natrium yang tinggi dapat mengganggu ketersediaan kalsium, karena adanya kompetisi antar ion dalam tanah. Menurut Sowers dkk. (2018), kadar kalsium yang tinggi berbanding lurus dengan kandungan karbon organik, yang berarti semakin baik ketersediaan kalsium maka semakin besar pula kemampuan tanah dan vegetasi dalam menyimpan karbon. Kalsium merupakan unsur hara esensial yang berperan penting dalam proses fotosintesis. Mekanisme penyimpanan karbon biru sendiri berawal dari proses fotosintesis, sehingga keberadaan kalsium yang cukup menjadi faktor penentu dalam meningkatkan kapasitas penyimpanan karbon. Sebaliknya, apabila kadar natrium terlalu tinggi, maka akan menimbulkan stres fisiologis pada tanaman yang dapat merusak jaringan, menurunkan efisiensi fotosintesis, dan pada akhirnya mengurangi akumulasi biomassa (Adji, 2008). Kondisi ini secara langsung berdampak pada menurunnya simpanan karbon dalam vegetasi maupun tanah. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa tingginya konsentrasi natrium bukan hanya berimplikasi pada penurunan kualitas tanah, tetapi juga berkontribusi terhadap berkurangnya potensi penyimpanan karbon di wilayah pesisir yang seharusnya berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim.

4.6 Upaya Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim

Perubahan iklim merupakan fenomena global yang ditandai oleh meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi akibat tingginya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, terutama karbon dioksida (CO₂). Emisi CO₂ ini sebagian besar berasal dari aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan perubahan penggunaan lahan (IPCC, 2021). Dampaknya sangat luas, mulai dari naiknya permukaan air laut, perubahan pola curah hujan, peningkatan suhu ekstrem. Dalam menghadapi tantangan ini, diperlukan upaya

nyata baik dalam bentuk mitigasi untuk menekan emisi gas rumah kaca, maupun adaptasi untuk meningkatkan ketahanan wilayah terhadap dampaknya.

Hasil pengukuran rata-rata total simpanan karbon di kawasan pesisir Gunungkidul yang mencapai 1.171,14 ton/ha menunjukkan bahwa estimasi stok karbon pada Pantai Gunungkidul lebih kecil dibandingkan dengan hasil yang diperoleh (Zulhalifah dkk., 2021) yaitu total biomasa 1.388,79 ton/ha. Diduga karena kerapatan dan luas area *mangrove* lebih besar apabila dibandingkan dengan non-*mangrove*. Hasil estimasi stok karbon yang diperoleh pada penelitian ini belum dapat diketahui memiliki potensi penyimpanan nilai karbon yang tinggi atau rendah. Hal ini dikarenakan belum adanya acuan atau baku mutu nilai yang menunjukkan berapa nilai yang di kategorikan berpotensi tinggi atau rendahnya dalam menyerap dan menyimpan karbon oleh ekosistem. Semakin tinggi nilai estimasi karbon yang di peroleh di ekosistem maka akan semakin baik, dikarenakan dapat memberikan kontribusi dalam upaya mitigasi perubahan iklim terhadap pemanasan global yang terus terjadi.

4.7 Aspek Sosial dalam Pengelolaan Lingkungan

Pengelolaan lingkungan di wilayah pesisir tidak hanya berkaitan dengan aspek ekologi dan ekonomi tetapi juga sangat dipengaruhi oleh kondisi sosial masyarakat setempat. Hasil wawancara oleh warga sekitar pesisir Gunungkidul menunjukkan bahwa interaksi antara masyarakat lokal, pemerintah, dan pihak swasta dalam memanfaatkan atau mengelola wilayah pesisir kerap kali memunculkan dinamika sosial yang kompleks, terutama ketika komunikasi dan pelibatan masyarakat tidak dilakukan secara transparan dan partisipatif. Di wilayah studi, ditemukan situasi sosial yang mencerminkan adanya ketegangan antara rencana pembangunan dengan penerimaan masyarakat. Lokasi pertama terletak di kawasan pantai yang relatif sepi dan belum terlalu berkembang, di area tersebut terdapat struktur bangunan rangka besi yang diketahui merupakan bagian dari rencana pembangunan sebuah vila, informasi yang diperoleh di lapangan menyebutkan bahwa pembangunan tersebut diduga berafiliasi dengan pihak swasta yang terhubung dengan pengelola wisata komersial. Namun pembangunan ini menimbulkan penolakan dari warga sekitar karena proses perizinan dilakukan tanpa

melibatkan masyarakat lokal secara langsung. Tidak adanya forum musyawarah atau sosialisasi membuat masyarakat merasa diabaikan sehingga memicu resistensi, hal ini menunjukkan bahwa pembangunan yang mengabaikan aspek sosial dan tidak melalui proses persetujuan bersama dapat menimbulkan konflik sosial dan merusak kepercayaan masyarakat terhadap pihak luar.

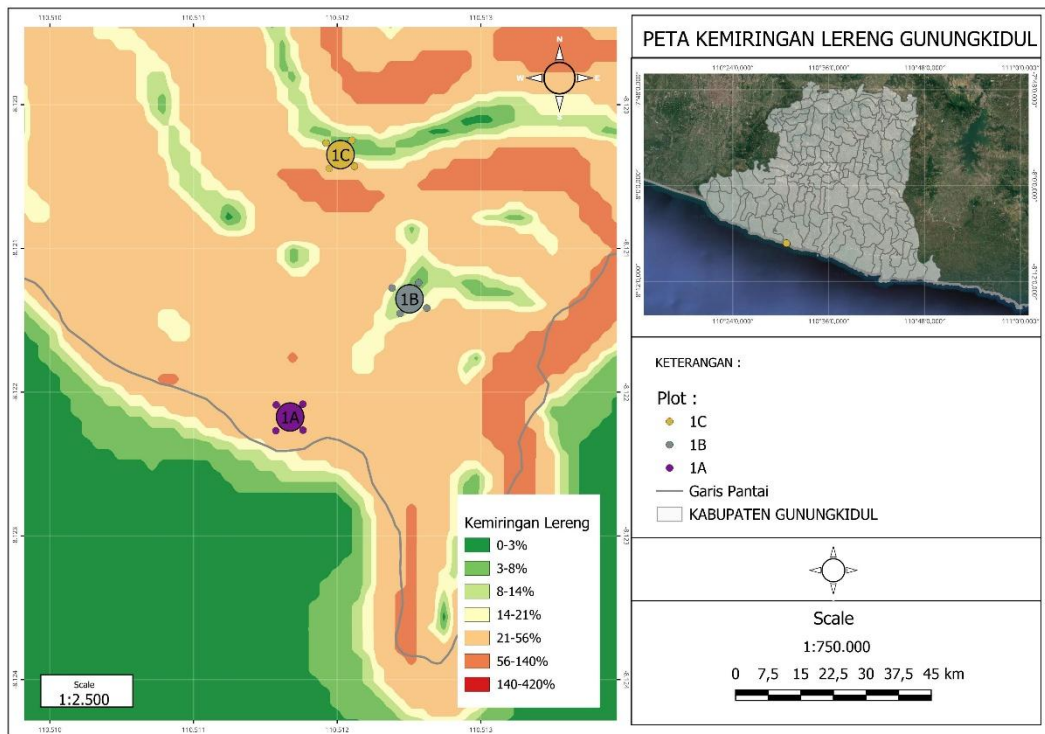
Contoh situasi sosial lainnya terjadi di lokasi pantai yang lebih ramai dikunjungi wisatawan, pada pantai tersebut mengindikasikan adanya trauma sosial yang dialami masyarakat terhadap kehadiran pihak luar, hal tersebut mencerminkan ketakutan yang dapat merugikan masyarakat tanpa adanya kompensasi yang layak. Kedua situasi sosial tersebut menggambarkan bahwa aspek sosial dalam pengelolaan lingkungan memiliki peran yang sangat penting. Keterlibatan masyarakat lokal dalam proses perencanaan, pengambilan keputusan, hingga pelaksanaan kebijakan lingkungan menjadi kunci utama agar pembangunan dapat diterima secara adil dan berkelanjutan. Tanpa adanya keterlibatan aktif masyarakat dan komunikasi yang transparan, pembangunan justru berisiko menimbulkan konflik, ketimpangan sosial, kerusakan ekosistem akibat pengabaian terhadap pengetahuan lokal dan hak-hak masyarakat yang akan meningkatkan efektivitas pengelolaan lingkungan sekaligus menjaga stabilitas sosial di kawasan pesisir. Dengan demikian, integrasi aspek sosial dalam pengelolaan wilayah pesisir bukan hanya menjadi pelengkap, melainkan fondasi utama dalam mewujudkan pembangunan yang adil, partisipatif, dan berkelanjutan.

4.8 Rekomendasi Teknis

Wilayah pesisir Gunungkidul memiliki karakteristik morfologi yang khas, yaitu didominasi oleh bentang alam berbukit, lereng-lereng curam, serta tebing-tebing batuan kapur yang terbentuk dari proses pelarutan karstik. Struktur geomorfologi seperti ini menyebabkan keterbatasan dalam pengembangan ekosistem *blue carbon* primer, seperti mangrove, lamun, dan rawa asin. Vegetasi tersebut umumnya membutuhkan lingkungan pesisir yang datar, tergenang air, dan memiliki pasokan air yang stabil. Sementara itu, kondisi pesisir Gunungkidul tidak menyediakan substrat yang luas dan datar yang mendukung pertumbuhan jenis vegetasi tersebut.

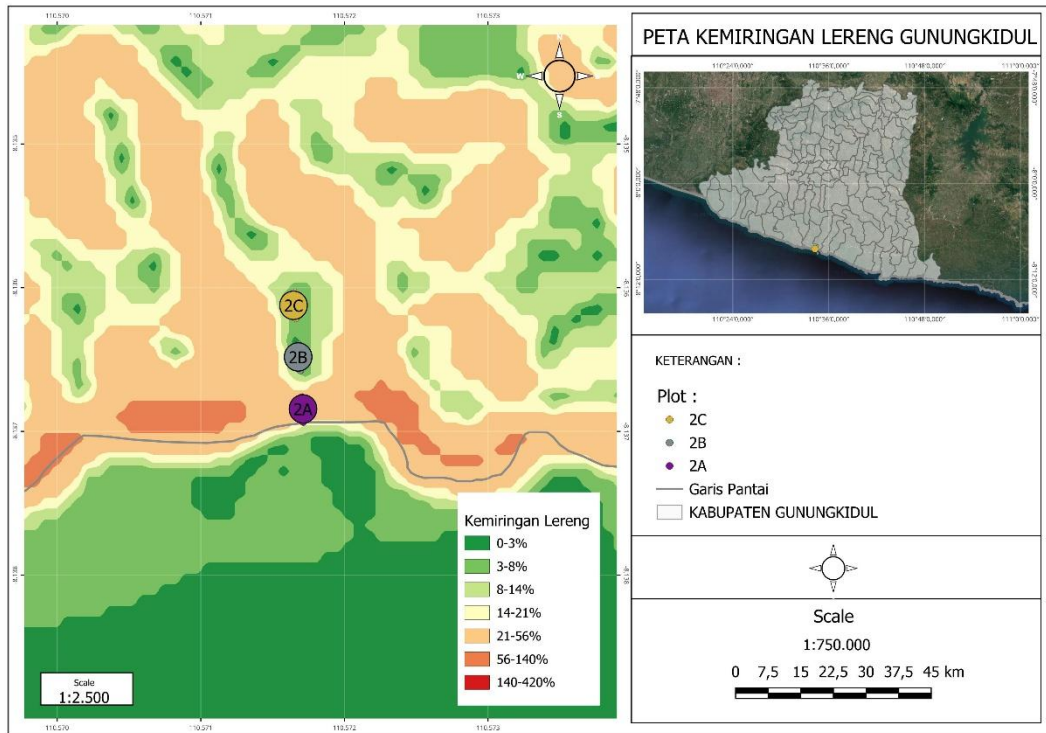
Kemiringan lereng di wilayah Gunungkidul menunjukkan variasi yang cukup

kompleks karena kondisi topografi yang beragam, mulai dari dataran pantai, perbukitan karst, hingga tebing curam. Oleh karena itu, analisis kemiringan lereng sebaiknya tidak hanya mengandalkan data sekunder, tetapi juga dilakukan melalui pengukuran langsung di lapangan untuk memperoleh hasil yang lebih akurat. Data sekunder yang diperoleh dari Indonesia Geospasial yang dapat berfungsi sebagai acuan awal dalam pemetaan, namun tetap memerlukan validasi lapangan mengingat adanya perbedaan resolusi dan detail topografi yang mungkin tidak sepenuhnya terwakili dalam peta.



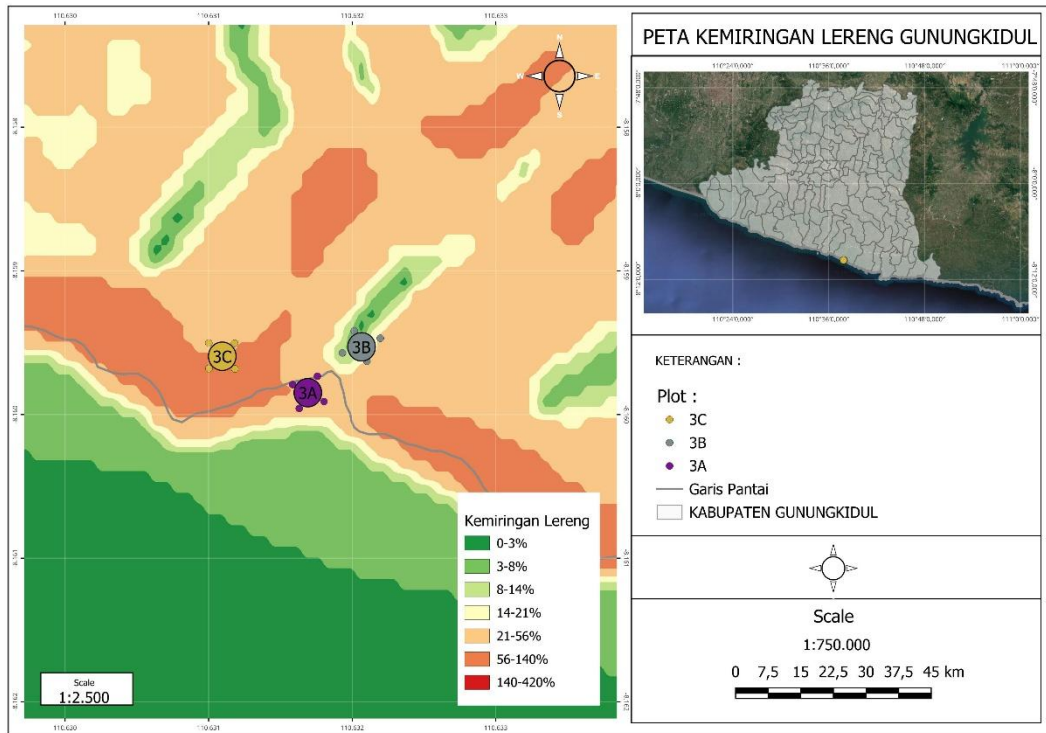
Gambar 4.8 Peta Kemiringan Lereng Lokasi Sampling ke-1

Pada titik pengambilan sampel pertama Plot 1A, data peta memperlihatkan kondisi lereng yang dikategorikan curam. Namun, hasil validasi lapangan menunjukkan kenyataan yang berbeda, di mana kemiringan di lokasi tersebut cenderung lebih rendah dari yang tertera pada peta. Hal ini menandakan adanya ketidaksesuaian antara data spasial dan kondisi sebenarnya di lapangan. Sementara itu, pada Plot 1B dan 1C, hasil pengamatan lapangan relatif sesuai dengan informasi yang ditampilkan pada peta, sehingga tingkat kesesuaian lebih tinggi dibandingkan dengan Plot 1A.



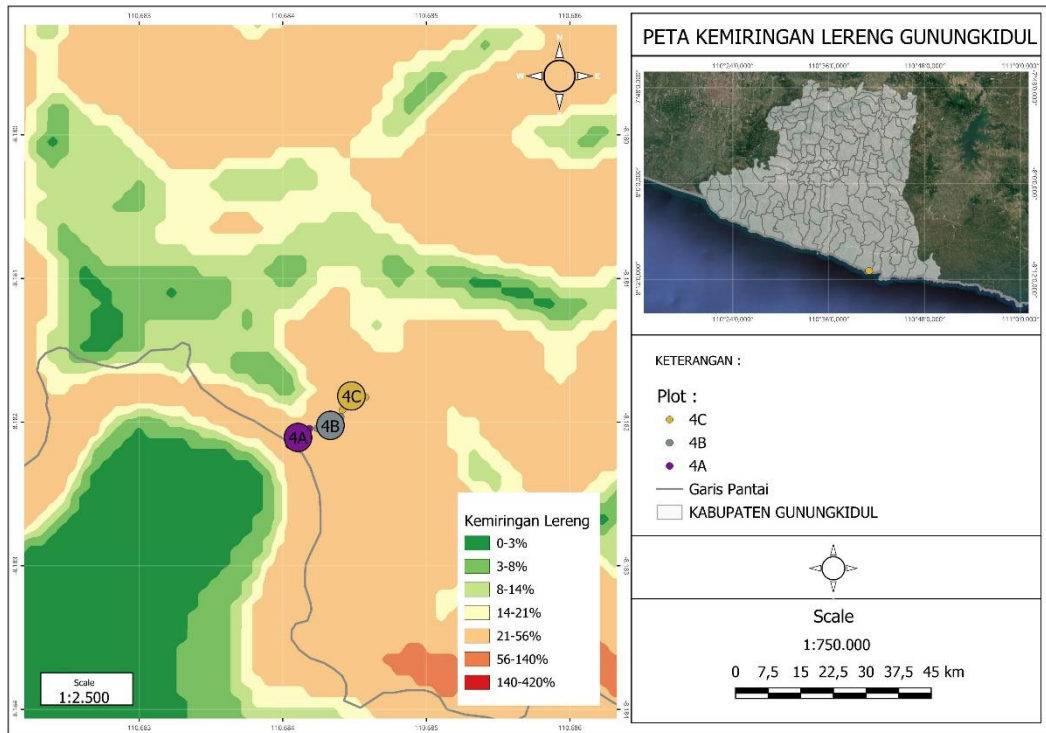
Gambar 4.9 Peta Kemiringan Lereng Lokasi Sampling ke-2

Pada lokasi pengambilan sampel kedua Plot 2A, peta kembali menunjukkan adanya lereng yang curam. Akan tetapi, observasi di lapangan memperlihatkan kondisi yang lebih landai dibandingkan dengan klasifikasi pada peta. Dengan kata lain, terdapat selisih interpretasi antara data peta dan kondisi aktual. Berbeda dengan itu, untuk Plot 2B dan 2C, kondisi di lapangan terkonfirmasi sesuai dengan data peta, sehingga dapat dikatakan tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada kedua titik tersebut



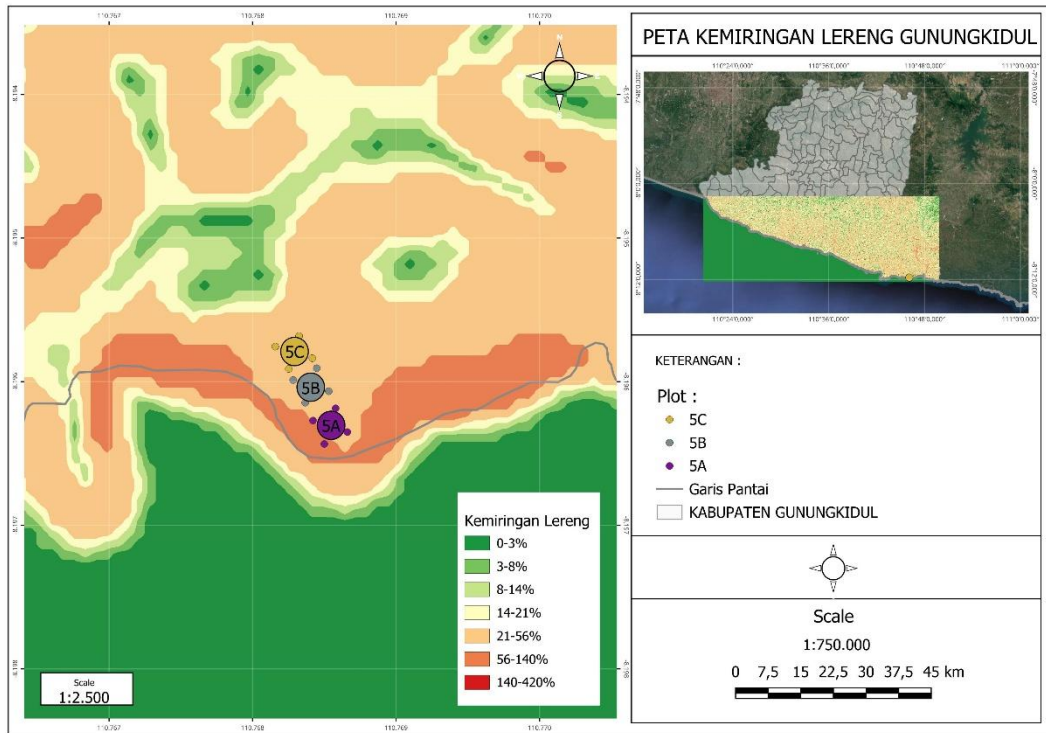
Gambar 4.10 Peta Kemiringan Lereng Lokasi Sampling ke-3

Lokasi pengambilan sampel ketiga Plot 3A menurut data peta dikategorikan memiliki kemiringan lereng yang miring. Namun, hasil validasi di lapangan justru menunjukkan kondisi yang lebih landai, sehingga tidak sesuai dengan klasifikasi peta. Perbedaan ini bisa disebabkan oleh keterbatasan resolusi peta dalam menangkap variasi kecil pada topografi. Sebaliknya, kondisi pada Plot 3B dan 3C sesuai dengan hasil validasi lapangan, sehingga interpretasi peta pada kedua titik ini dapat dianggap akurat.



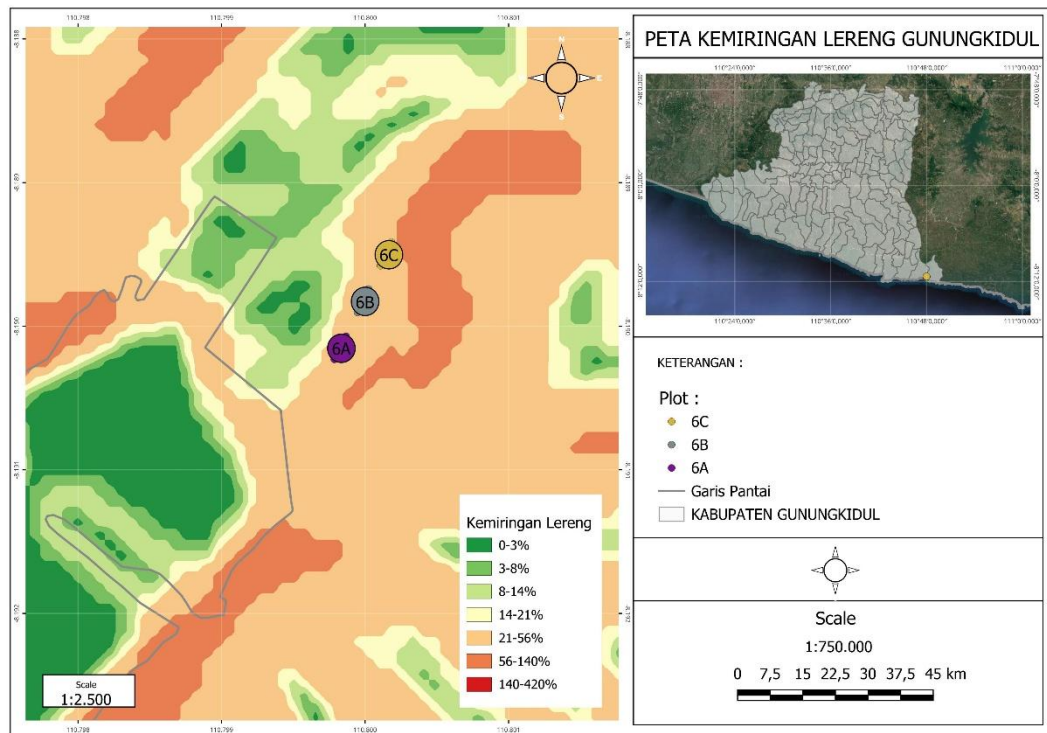
Gambar 4.11 Peta Kemiringan Lereng Lokasi Sampling ke-4

Pada titik pengambilan sampel keempat, baik di Plot 4A, 4B, maupun 4C, data peta menunjukkan indikasi lereng yang curam. Namun, ketika dilakukan validasi di lapangan, kondisi sebenarnya justru ditemukan berada pada area yang relatif landai. Perbedaan ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh adanya terasering di sekitar lokasi pengambilan sampel, sehingga bentuk topografi di peta tampak lebih curam daripada kondisi lapangannya. Hal ini menegaskan pentingnya validasi lapangan untuk mengklarifikasi interpretasi dari data spasial.



Gambar 4.12 Peta Kemiringan Lereng Lokasi Sampling ke-5

Pengambilan sampel kelima memperlihatkan variasi hasil. Pada Plot 5A dan 5B, data peta mengindikasikan keberadaan lereng curam. Akan tetapi, kondisi aktual di lapangan menunjukkan bahwa kedua titik tersebut lebih tepat dikategorikan sebagai lereng miring, bukan curam. Hal ini mengindikasikan adanya ketidaksesuaian klasifikasi pada sebagian titik. Sementara itu, pada Plot 5C, hasil validasi lapangan menunjukkan kondisi yang landai, sehingga dapat dikatakan sesuai dengan klasifikasi yang lebih ringan dibandingkan hasil interpretasi pada peta.



Gambar 4.13 Peta Kemiringan Lereng Lokasi Sampling ke-6

Lokasi keenam yang terdiri dari Plot 6A, 6B, dan 6C, menurut data peta diklasifikasikan sebagai lereng curam. Namun, hasil observasi langsung di lapangan menunjukkan bahwa ketiga titik tersebut justru berada pada area yang datar. Hal ini memperlihatkan adanya perbedaan yang cukup signifikan antara data peta dan kondisi aktual, yang mungkin dipengaruhi oleh resolusi data peta atau metode pengklasifikasian lereng yang digunakan.

Validasi lapangan yang dilakukan pada penelitian ini masih memiliki keterbatasan, karena proses pengkategorian tingkat kemiringan lereng hanya didasarkan pada asumsi visual tanpa melalui pengukuran langsung. Kondisi tersebut tentu berpotensi menimbulkan perbedaan interpretasi antara data spasial dari peta dengan kondisi aktual di lapangan, mengingat penilaian berbasis pengamatan subjektif seringkali tidak mampu menangkap variasi kecil pada kontur lereng.

Oleh karena itu, untuk meningkatkan akurasi dan reliabilitas data, penggunaan instrumen pengukuran yang lebih presisi seperti theodolite atau klinometer sangat direkomendasikan. Instrumen-instrumen tersebut memungkinkan diperolehnya data kuantitatif yang detail mengenai sudut

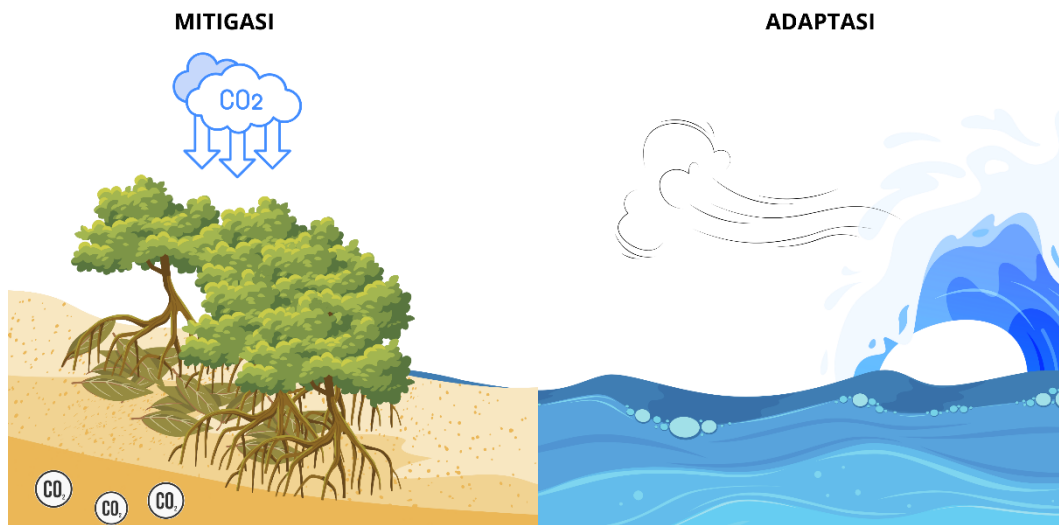
kemiringan lereng, sehingga dapat mengurangi bias interpretasi. Dengan adanya pengukuran langsung, data yang dihasilkan tidak hanya lebih akurat, tetapi juga lebih sesuai untuk mendukung kebutuhan analisis spasial dalam penelitian, khususnya yang berkaitan dengan klasifikasi lereng, pemetaan tutupan lahan, serta evaluasi potensi lingkungan pada wilayah penelitian.

Meskipun demikian, pemanfaatan lahan di wilayah pesisir masih memungkinkan dilakukan dengan cara menyesuaikan jenis tanaman yang dibudidayakan dengan karakteristik lingkungan setempat. Pada area pesisir yang memiliki bentang pasir dan tanah yang relatif dangkal, beberapa jenis vegetasi seperti cemara laut, pandan duri, waru laut, serta jenis tumbuhan non-mangrove lainnya yang secara alami ditemukan saat validasi lapangan menunjukkan kemampuan tumbuh yang baik. Vegetasi-vegetasi tersebut berperan sebagai pelindung pantai dari terpaan angin dan abrasi pantai.

Selain itu, pada bagian tebing dan lereng yang lebih tinggi dan kering, tanaman seperti jati menjadi alternatif vegetasi yang mampu beradaptasi dengan kondisi tanah berkapur dan curam. Jati dikenal sebagai jenis tanaman keras yang tahan terhadap kekeringan dan memiliki nilai ekonomis tinggi sebagai bahan bangunan maupun kayu pertukangan. Dengan pemilihan vegetasi yang tepat sesuai dengan morfologi lahan, pengelolaan lingkungan pesisir Gunungkidul tetap dapat memberikan manfaat ekologis dan ekonomi meskipun tidak dapat mengembangkan ekosistem *blue carbon* secara maksimal seperti di wilayah dataran pesisir lainnya (Nurkholis dkk., 2016).

Wilayah ini memiliki potensi besar dalam mendukung upaya mitigasi perubahan iklim. Karbon yang tersimpan dalam vegetasi dan tanah pesisir berperan sebagai carbon sink alami yang dapat mengurangi konsentrasi CO₂ di atmosfer melalui proses fotosintesis dan penyimpanan jangka panjang dalam sedimen. Tidak hanya berfungsi dalam mitigasi, ekosistem pesisir yang kaya akan karbon juga memainkan peran penting dalam adaptasi perubahan iklim. Keberadaan vegetasi pantai membantu menjaga kestabilan tanah, dan mendukung keseimbangan ekohidrologi. Dengan demikian, nilai simpanan karbon yang tinggi di wilayah pesisir ini bukan hanya mencerminkan kontribusi terhadap penurunan emisi, tetapi

juga memperkuat ketahanan lingkungan pesisir dalam menghadapi tekanan iklim yang terus meningkat.



Gambar 4.14 Ilustrasi Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim

Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun morfologi pesisir Gunungkidul tidak mendukung terbentuknya ekosistem *blue carbon* primer seperti mangrove, rawa asin, maupun padang lamun, ekosistem pesisir non-mangrove tetap memiliki serapan karbon yang signifikan. Dari sisi mitigasi, vegetasi lokal seperti penaga laut, cemara laut, pandan duri, dan jati terbukti mampu meningkatkan simpanan karbon melalui biomassa batang, cabang, dan akar yang berumur panjang. Daun gugur (serasah) yang dihasilkan juga memperkaya kandungan karbon organik dalam tanah, sehingga stok karbon tersimpan lebih stabil. Dengan demikian, keberadaan vegetasi pesisir ini mendukung pengurangan konsentrasi CO₂ atmosfer, sekaligus memperkuat peran kawasan pesisir sebagai penyerap karbon alami.

Sementara itu, dari sisi adaptasi, konsep greenbelt atau sabuk hijau pesisir menjadi sangat relevan untuk diterapkan. Penanaman berlapis dengan pandan duri di zona pasir depan, cemara laut sebagai penahan angin, serta penaga laut dan jati di bagian belakang dapat menciptakan benteng alami yang melindungi daratan dari abrasi, angin kencang, dan pergerakan pasir. Greenbelt ini juga memperkuat kestabilan tanah di lahan miring serta mempertahankan struktur terasering yang rawan erosi saat hujan deras. Selain itu, greenbelt memberikan eco-benefit tambahan berupa moderasi iklim mikro, peningkatan infiltrasi air, serta diversifikasi manfaat ekonomi seperti bahan kerajinan dari pandan, minyak biji

penaga, hingga kayu jati. Dengan kata lain, penerapan greenbelt berbasis vegetasi lokal tidak hanya meningkatkan daya adaptif ekosistem dan masyarakat pesisir terhadap dampak iklim, tetapi juga memberikan manfaat ekologi dan sosial-ekonomi yang berkelanjutan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dari data penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Jenis ekosistem pesisir yang berpotensi sebagai *blue carbon* di Gunungkidul terdiri dari vegetasi non-mangrove seperti Penaga laut, Waru laut, Cemara laut, dan vegetasi lainnya yang tumbuh alami di area Vegetasi Alami Non Pertanian, Pertanian Lahan Kering, Pertanian Lahan Basah, dan Pertanian Lahan Perkebunan. Meskipun wilayah ini tidak mendukung tumbuhnya vegetasi *blue carbon* primer seperti mangrove karena morfologi karst dan topografi curam, vegetasi non-primer tersebut tetap memiliki kontribusi terhadap simpanan karbon.
2. Potensi penyerapan karbon oleh ekosistem pesisir Gunungkidul tergolong signifikan. Pengukuran langsung di lapangan menunjukkan rata-rata total simpanan karbon mencapai 403,08 ton/ha, lebih rendah dibanding estimasi awal. Nilai ini mencakup karbon pada vegetasi dan karbon organik tanah, dengan variasi antar titik sampling tergantung pada jenis tutupan lahan dan kepadatan vegetasi.
3. Kandungan ion Natrium (Na^+) dan Kalsium (Ca^{2+}) dalam tanah menunjukkan bahwa seluruh titik sampel memiliki konsentrasi Na^+ sangat tinggi, sedangkan Ca^{2+} berkisar dari sedang hingga tinggi. Tingginya kadar Na^+ berpotensi menimbulkan sodisitas dan menurunkan kualitas fisik tanah, meskipun keberadaan Ca^{2+} masih membantu menyeimbangkan efek negatif tersebut, Natrium juga dapat berpotensi menurunkan serapan karbon karena fotosintesis yang menjadi mekanisme dari *blue carbon* terganggu.
4. Perubahan infrastruktur dan aktivitas manusia, terutama pembangunan vila dan perluasan wisata tanpa pelibatan masyarakat, berdampak pada potensi simpanan karbon di wilayah pesisir. Konflik sosial muncul akibat kurangnya transparansi, serta adanya ketidaktahuan masyarakat terhadap

eksploitasi wilayah. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan wilayah pesisir harus mempertimbangkan aspek sosial secara partisipatif agar tidak mengganggu stabilitas lingkungan dan potensi penyerapan karbon.

5.2 Saran

1. Pertimbangan Kondisi Topografi

Perlu adanya integrasi analisis terhadap jenis tanah, kemiringan lereng, dan kedalaman tanah untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai kesesuaian lahan di wilayah penelitian.

2. Perlunya Kolaborasi Pemerintah dan Masyarakat Dalam Pengelolaan Wilayah Pesisir

Untuk mendukung keberlanjutan pengelolaan lahan dan mengurangi potensi konflik sosial yang terjadi antara berbagai pemangku kepentingan, diperlukan koordinasi yang kuat antara pemerintah daerah dan masyarakat lokal. Partisipasi aktif warga dalam perencanaan dan pelaksanaan penataan wilayah pesisir sangat penting agar program restorasi lingkungan tidak menimbulkan ketegangan sosial dan dapat diterima secara kolektif.

3. Pengujian Parameter Magnesium (Mg) dan Salinitas

Penelitian lanjutan sebaiknya mencakup pengujian kandungan Magnesium (Mg) sebagai salah satu unsur penting dalam menghitung nilai Sodium Adsorption Ratio (SAR) secara lengkap. Tanpa adanya data Mg, status sodik tanah tidak dapat dipastikan secara ilmiah. Selain itu, uji salinitas atau pengukuran daya hantar listrik (DHL) juga perlu dilakukan untuk menentukan apakah tanah tidak hanya bersifat sodik tetapi juga mengalami akumulasi garam (salin), yang akan sangat mempengaruhi daya dukung tanah terhadap vegetasi dan aktivitas pertanian di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, S. S. (2008). PENGARUH PENCUCIAN PADA TANAH TERCEMAR NATRIUM. *Jurnal Matematika Sains dan Teknologi* 9.1 21-30.
- Agnestia, Alviana , K., Lumbantobing, L., Irsyad, A., & Ibrahim, M. R. (2023). Analisis Buffer Dalam Sistem Informasi Geografis Untuk Pemilihan Jarak Terdekat Pom Bensin Dari Jangkauan Gedung Fakultas Teknik Universitas Mulawarman. *Kreatif Teknologi dan Sistem Informasi (KRETISI)*, 1(2), 40-45.
- Ainurrohmah, S., & Sudarti. (2022). Analisis perubahan iklim dan global warming yang terjadi sebagai fase kritis. *Phi: Jurnal Pendidikan Fisika dan Terapan*, 8(1), 1-10.
- Alviana, D., Anggraini, R., Hidayati, J. R., Karlina, I., Lestari, F., Apdillah, D., . . . Sihite, D. (2023). Estimasi Cadangan Karbon Pada Ekosistem Mangrove Di Desa. *Jurnal Kelautan Tropis*.
- Driptufany, D. M., Fajrin, Kusuma, A., & Guvil, Q. (2022). Pemetaan Sebaran Lahan Terbangun di Kawasan Sempadan Pantai Kota Padang Menggunakan Citra Resolusi Tinggi. *EL-JUGHRAFIYAH*, 2(2), 87-92. *EL-JUGHRAFIYAH*, 2(2), 87-92.
- Gailis, M., Kohfeld, K. E., Pellat, M., & Carlson, D. (2021). Quantifying blue carbon for the largest salt marsh in southern British Columbia: implications for regional coastal management. *Coastal Engineering Journal*, 63(3), 275-309.
- Ganefiani, A., Suryanti, & Latifah, N. (2019). Potensi Padang Lamun sebagai Penyerap Karbon di Perairan Pulau Karimunjawa, Taman Nasional Karimunjawa (Ability of Seagrass Beds as Carbon Sink in The Waters of Karimunjawa Island, Karimunjawa National Park). *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 14(2), 115-122.
- Graha, Y. I., Arthana, I. W., & Karang, G. A. (2016). Simpanan karbon padang lamun di kawasan pantai sanur, kota Denpasar. *Ecotrophic*, 10(1), 46-53.

- Hanan, A. F., Pratikto, I., & Soenardjo, N. (2020). Analisa distribusi spasial vegetasi mangrove di desa Pantai Mekar Kecamatan Muara Gembong. *Journal of Marine Research*, 9(3), 271-280.
- Harmoni, A. (2005). DAMPAK SOSIAL EKONOMI PERUBAHAN IKLIM. *DAMPAK SOSIAL EKONOMI PERUBAHAN IKLIM E*, 65.
- Hilmi, N., Chami, R., Sutherland, M. D., Hall-Spencer, J. M., Lebleu, L., Benitez, M. B., & Levin, L. A. (2021). The Role of Blue Carbon in Climate Change Mitigation and Carbon Stock Conservation. *Frontiers in Climate*, 3, 710546.
- Howard, J., Hyot, S., Isensee, K., Pidgeon, E., Telszewski, M., & (eds). (2014). *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses*. Arlington, Virginia, USA: Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature.
- Kalay, D. E., Lopulissa, V. F., & Noya, Y. A. (2018). ANALISIS KEMIRINGAN LERENG PANTAI DAN DISTRIBUSI SEDIMEN. *Jurnal TRITON Volume 14, Nomor 1*.
- Karolinoerita, V., & Yusuf, W. A. (2020). Salinisasi Lahan dan Permasalahannya di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan Vol. 14 No. 2*.
- Lovelock, C. E., & Duarte, C. (2019). Dimensions of Blue Carbon and emerging. *Biology letters*, 15(3), 20180781.
- Mazor, T., Watemayer, K., Costa, M., & et al. (2023). Mapping Victoria's Blue Carbon. *The State of Victoria, Department of energy, Environment and Climate Action (DEECA)*.
- Merahwan, C., Yanti, S., & Mulyadi, E. (2025). Hubungan Kualitas Pengawasan Dan Disiplin Kerja Dengan Produktivitas Kerja Pegawai Kecamatan Karawaci Kota Tangerang. *Journal Of Business, Economics, And Finance Volume 3 Nomor 2 Tahun 2025 Page 2429-2437*.
- Misbahuddin, A. (2021). Clean water crisis and climate change: Study of clean water resource management in Gunung Kidul. *Jurnal Studi Sosial dan Politik*, 5(1), 117-132.

- Nurkholis, A., Cahyadi, A., & Purnama, S. (2016). Evolusi Hidrogeokimia pada Mata Air di Sistem Goa Pindul, Karangmojo, Kabupaten Gunungkidul. *Dalam Suprayogi, S.*
- Prof. Dr. Pramaditya Wicaksono, S. M. (2024). P. MODEL PENGINDERAAN JAUH UNTUK PEMETAAN BIODIVERSITAS EKOSISTEM KARBON BIRU PADANG LAMUN.
- Prof. Muhammad Kamal, S. M. (2024). KONTRIBUSI PENGINDERAAN JAUH DALAM PENGELOLAAN EKOSISTEM MANGROVE DI ERA PERUBAHAN IKLIM.
- Qodriyatun, S. N., Suryani, A. S., & Prasetyawan, T. (2024). TANTANGAN PENERAPAN BLUE CARBON DALAM PERDAGANGAN KARBON. *PARLIAMENTARY.*
- Raynaldo, A., Saputra, R., & Zibar, Z. (2024). Pemetaan Potensi Karbon Biru pada Kawasan Mangrove di Kabupaten. *Jurnal Kelautan Tropis.*
- Rizki, A. S., Hadi, A. P., Cerminand, N. I., Rizali, M., Farista, B., & Virgota, A. (2024). Analisis Sebaran Spasial Kontribusi Ekosistem Mangrove Sebagai Blue Carbon Dalam Implementasi FOLU Net Sink Di Pulau Lombok. *Bioindikator: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi.*
- Rizki, A. S., Hadi, A. P., Cerminand, N. I., Rizali, M., Farista, B., & Virgota, A. (2024). Analisis Spasial Kontribusi Jasa Ekosistem Mangrove. *Bioindikator: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi.*
- ROSAS, M., GALLARDO, J. L., LÓPEZ, P. M., ALCÁNTARA, P. C., & LEÓN, A. K. (2022). QGIS A CONSTANTLY GROWING FREE AND OPEN-SOURCE. *Cuadernos de Investigación Geográfica, 48(1), 197-213.*
- Rosia, I., Derta, S., Efriyanti, L., & Okra, R. (2022). Penerapan Aplikasi Arcgis Dalam Pembuatan Peta Topografi Pada Pendidikan Navigasi Darat Mpa Jamarsingsia Iain Bukittinggi. *KOLONI, 1(3), 862-871.*
- Rosyada, K., trismadi, & Ras, A. R. (2021). Potensi Blue Carbon dalam Penanganan Perubahan Iklim Guna Menunjang Keamanan Maritim Indonesia. *Jurnal Maritim Indonesia (Indonesian Maritime Journal), 9(3), 299-311.*

- Sowers, T. D., Stuckey, J. W., & Sparks, D. L. (2018). The synergistic effect of calcium on organic carbon sequestration to ferrihydrite. *Geochemical Transactions* 19:4.
- Suwatno, D. S. (2022). Ratifikasi terhadap Traktat Persetujuan Paris (Paris Agreement) sebagai Wujud Implementasi Komitmen Indonesia dalam Upaya Mitigasi dan Adaptasi Perubahan Iklim. *Jurnal Pendidikan Kewarganegaraan Undiksha*, 10(2), 328-340.
- Utami, F. P., Prasetyo, Y., & Sukmono, A. (2016). NALISIS SPASIAL PERUBAHAN LUASAN MANGROVE AKIBAT PENGARUH LIMPASAN SEDIMENTASI TERSUSPENSI DENGAN METODE PENGINDERAAN JAUH (Studi Kasus : Segara Anakan Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*.
- Wardani, W. K., Sahfitra, A. A., Siregar, T. E., & Gusmeizal. (2024). Karakteristik Kimia Tanah Lahan Sawah Pesisir di Kecamatan Pantai Cermin kabupaten Serdang Bedagai. *Jurnal Agro Nusantara*, 4(2), 155-165.
- Zeng, Y., Friess, D., Sarira, T. V., Siman, K., & Koh, L. P. (2021). Global potential and limits of mangrove blue carbon for climate change mitigation. *Current Biology*, 31(8), 1737-1743.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Estimasi vegetasi pada tutupan lahan lokasi penelitian

| NO | Vegetasi | Komponen |
|----|------------------------------|--|
| 1 | Vegetasi Alami Non Pertanian | Lantana Cemara (Tahi Ayam), Pandanus Tectorius (Pandan Duri), Casuarina equisetifolia (Cemara Laut), Rhizophora mucronata (bakau kurap), Pandanus utilis (pandan pantai), Scaevola taccada (Kayu Gabus), Thespesia populnea (Waru Laut), Pemphis acidula (pohon stigi), Rhizophora (Bakau), Rhizophora apiculata (Bakau Minyak), Terminalia catappa (Ketapang), Rhizophora stylosa (Bakau kecil), Calotropis gigantea (Widuri), Pinus maritim (Pinus pinaster), Avicennia (Apiapi), Bolboschoenus maritimus (Sea clubrush), Acacia oraria (Akasia) |
| 2 | Pertanian Lahan Basah | Padi (Oryza Sativa) |
| 3 | Pertanian Lahan Kering | Zea Mays (Jagung), Manihot Esculenta (Singkong), Kacang tanah (Arachis hypogaea), Ubi jalar (Ipomoea batatas), Bambusa (Bambu), Arachis hypogaea (Kacang Tanah), Glycine max (Kedelai), Morinda citrifolia (Mengkudu), Leucaena leucocephala (Lamtoro) |
| 4 | Pertanian Lahan Perkebunan | Areca catechu (Pinang), Karet (Hevea brasiliensis), Kopi (Coffea spp.), Kakao (Theobroma cacao), Teh (Camellia sinensis), Musa paradisiaca L (Pohon pisang), Cocos nucifera (Kelapa), Anacardium occidentale (Jambu mete), Carica papaya (Pepaya), Artocarpus heterophyllus (Nangka), Artocarpus altilis (Sukun), Capsicum spp. (Cabai), Solanum lycopersicum (Tomat), Solanum melongena (Terung) |

Lampiran 2 Estimasi karbon pada setiap tutupan lahan

| Jenis Lahan | Cadangan Karbon (Ton/ha) |
|---------------------|--------------------------|
| Hutan Primer | 214,23 |
| Hutan Sekunder | 109,54 |
| Perkebunan Campuran | 75,91 |
| Perkebunan | 37,09 |
| Semak Belukar | 4,35 |

| | |
|--|--------|
| Semak | 24 |
| Lahan Perkebunan | 10,3 |
| Hutan Primer | 187,59 |
| Hutan Sekunder | 100,48 |
| Semak Belukar | 32,59 |
| Pertanian Lahan Kering | 31,41 |
| Hutan Sekunder | 157,08 |
| Hutan Primer | 150,5 |
| Semak | 52,5 |
| Kebun Campuran | 50,44 |
| Kebun Jagung | 71 |
| Lahan Hortikultura (Kubis, tomat, sawi, cabai) | 43 |
| Hutan Primer | 269,4 |
| Hutan Sekunder | 203,3 |
| Agrisawah | 64,36 |

Lampiran 3 Estimasi total karbon setiap titik pengambilan sampel

| No | Titik | Jenis Penggunaan Lahan | Karbon Total (Ton/ha) |
|----|-------|------------------------------|-----------------------|
| 1 | 1A | Pertanian Lahan Basah | 64,36 |
| 2 | 1B | Vegetasi Alami Non Pertanian | 116,60 |
| 3 | 1C | Pertanian Lahan Basah | 64,36 |
| 4 | 2A | Pertanian Lahan Basah | 64,36 |
| 5 | 2B | Pertanian Lahan Basah | 64,36 |
| 6 | 2C | Pertanian Lahan Basah | 64,36 |
| 7 | 3A | Vegetasi Alami Non Pertanian | 116,60 |
| 8 | 3B | Pertanian Lahan Basah | 64,36 |
| 9 | 3C | Vegetasi Alami Non Pertanian | 116,60 |
| 10 | 4A | Pertanian Lahan Kering | 51,21 |
| 11 | 4B | Pertanian Lahan Kering | 51,21 |
| 12 | 4C | Pertanian Lahan Kering | 51,21 |
| 13 | 5A | Vegetasi Alami Non Pertanian | 116,60 |
| 14 | 5B | Vegetasi Alami Non Pertanian | 116,60 |
| 15 | 5C | Vegetasi Alami Non Pertanian | 116,60 |
| 16 | 6A | Pertanian Lahan Perkebunan | 51,61 |
| 17 | 6B | Pertanian Lahan Perkebunan | 51,61 |
| 18 | 6C | Pertanian Lahan Perkebunan | 51,61 |

Lampiran 4 Total Karbon dari validasi lapangan pada titik sampel

| Sampel | Karbon Vegetasi | Karbon Tanah | Total Karbon (Ton/ha) | Total Karbon (Ton/ha) |
|--------|-----------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| 1A | 4,81 | 140,45 | 145,26 | 509,63 |
| 1B | 0,27 | 154,80 | 155,08 | |
| 1C | 1,11 | 208,17 | 209,29 | |
| 2A | 0,08 | 239,37 | 239,45 | 432,35 |
| 2B | 0,08 | 100,20 | 100,27 | |
| 2C | 0,02 | 92,61 | 92,63 | |
| 3A | 0,87 | 175,43 | 62,65 | 334,99 |
| 3B | 2,85 | 117,92 | 62,62 | |
| 3C | 4,23 | 205,49 | 209,72 | |
| 4A | 0,11 | 62,54 | 152,69 | 349,87 |
| 4B | 0,08 | 62,54 | 142,52 | |
| 4C | 0,05 | 54,61 | 54,66 | |
| 5A | 3,97 | 148,72 | 131,65 | 443,26 |
| 5B | 0,11 | 142,42 | 142,52 | |
| 5C | 0,12 | 168,97 | 169,09 | |
| 6A | 0,14 | 131,50 | 131,65 | 348,38 |
| 6B | 0,13 | 115,38 | 115,51 | |
| 6C | 0,09 | 101,13 | 101,22 | |

Lampiran 5 Perbandingan total karbon estimasi awal dengan validasi lapangan

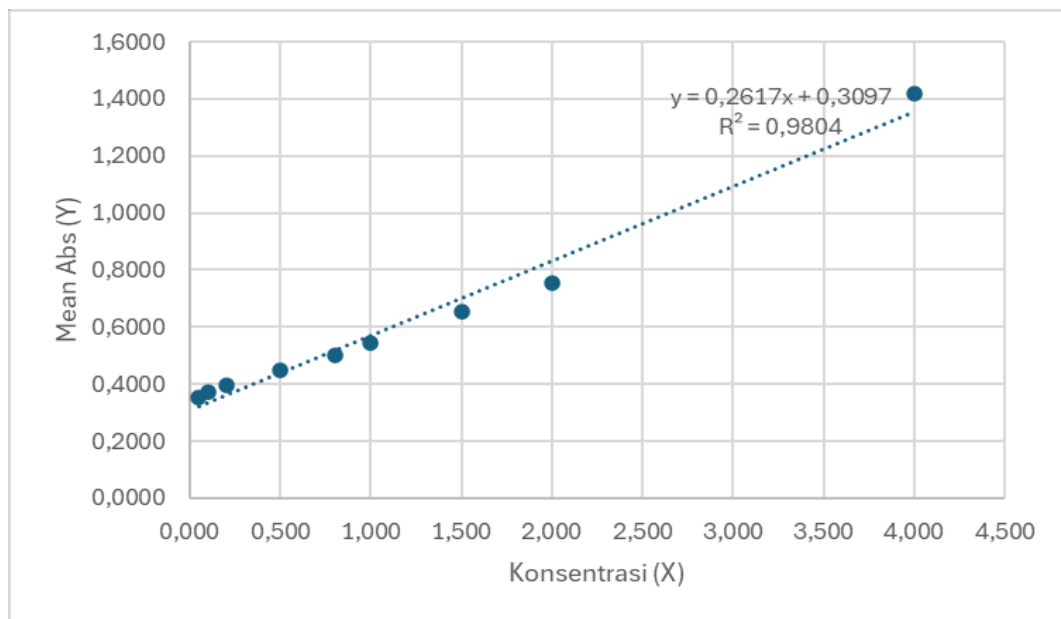
| Titik Sampel | Estimasi awal | Lapangan |
|------------------------------------|---------------|---------------|
| 1 | 505,11 | 509,63 |
| 2 | 193,08 | 432,35 |
| 3 | 817,14 | 334,99 |
| 4 | 307,23 | 349,87 |
| 5 | 1129,17 | 443,26 |
| 6 | 619,32 | 348,38 |
| Total rata-rata stok karbon | 595,18 | 403,08 |

Lampiran 6 Kurva standar logam Na

| Nama Sampel | Konsentrasi (mg/L) (X) | Mean Abs (Y) | Y' | y-y' | (y-y') ² |
|-------------|------------------------|--------------|--------------|--------|---------------------|
| Standar 1 | 0.050 | 0.3550 | -0.33961808 | 0.6946 | 0.482494 |
| Standar 2 | 0.100 | 0.3700 | -0.329677339 | 0.6997 | 0.489548 |
| Standar 3 | 0.200 | 0.3950 | -0.309795855 | 0.7048 | 0.496737 |

| | | | | | |
|-----------|-------|--------|----------------|---------------|-----------------|
| Standar 4 | 0.500 | 0.4490 | -0.250151404 | 0.6992 | 0.488813 |
| Standar 5 | 0.800 | 0.5020 | -0.190506952 | 0.6925 | 0.479566 |
| Standar 6 | 1.000 | 0.5450 | -0.150743985 | 0.6957 | 0.484060 |
| Standar 7 | 1.500 | 0.6540 | -0.051336566 | 0.7053 | 0.497500 |
| Standar 8 | 2.000 | 0.7520 | 0.048070853 | 0.7039 | 0.495516 |
| Standar 9 | 4.000 | 1.142 | 0.445700527 | 0.6963 | 0.484833 |
| | | | -1.1281 | 6.2921 | 4.399067 |

- a. (Y -intercept) : 0.349558822
b. Slope : 0.198814837



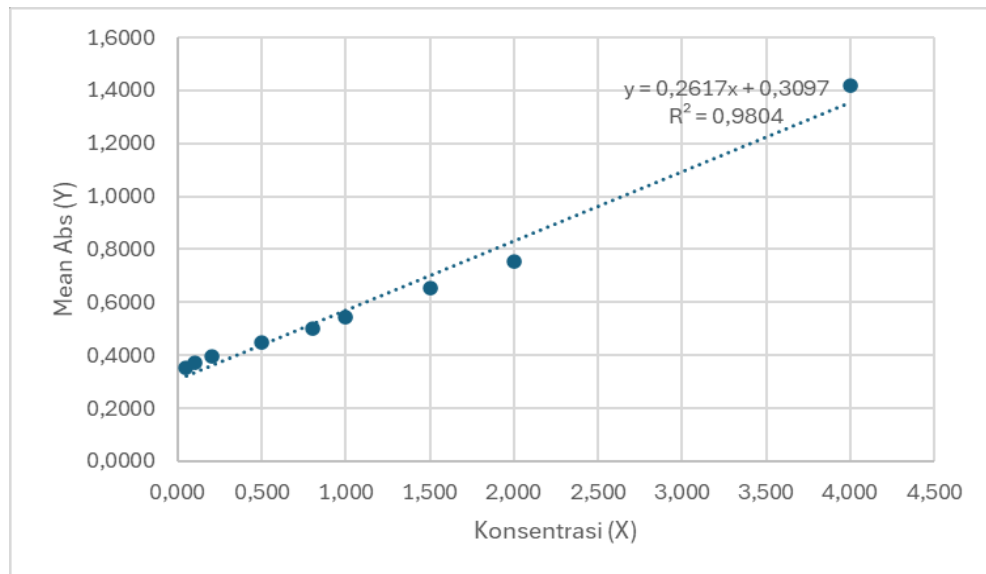
Lampiran 7 Hasil Perhitungan konsentrasi logam Na

| Nama Sampel | Konsentrasi (mg/L) (X) | Mean Abs (Y) | Berat tanah (gram) | Faktor Pengenceran | Kadar air tanah (%) | fk | ppm kurva | Konsentrasi Na (mg/kg) | Konsentrasi Na (meq/L) | Konsentrasi Na (meq/100 gr) | Kategori |
|-------------|------------------------|--------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------|-----------|------------------------|------------------------|-----------------------------|---------------|
| 1A | 3.044 | 0.9547 | 0.5049 | 2 | 16% | 1.0016 | 3.04 | 301.90 | 13.13 | 1.31 | Sangat Tinggi |
| 1B | 3.933 | 1.1315 | 0.5171 | 2 | 12% | 1.0012 | 3.93 | 380.75 | 16.56 | 1.66 | Sangat Tinggi |
| 1C | 3.109 | 0.9676 | 0.503 | 2 | 9% | 1.0009 | 3.11 | 309.29 | 13.45 | 1.35 | Sangat Tinggi |
| 2A | 3.378 | 1.0212 | 0.5018 | 2 | 4% | 1.0004 | 3.38 | 336.75 | 14.65 | 1.46 | Sangat Tinggi |
| 2B | 3.372 | 1.0200 | 0.5041 | 2 | 3% | 1.0003 | 3.37 | 334.58 | 14.55 | 1.46 | Sangat Tinggi |
| 2C | 3.989 | 1.1426 | 0.5040 | 2 | 14% | 1.0014 | 3.99 | 396.27 | 17.24 | 1.72 | Sangat Tinggi |
| 3A | 3.434 | 1.0322 | 0.5017 | 2 | 4% | 1.0004 | 3.43 | 342.33 | 14.89 | 1.49 | Sangat Tinggi |
| 3B | 3.331 | 1.0118 | 0.5088 | 2 | 13% | 1.0013 | 3.33 | 327.76 | 14.26 | 1.43 | Sangat Tinggi |
| 3C | 1.590 | 0.6656 | 0.5064 | 2 | 14% | 1.0014 | 1.59 | 157.17 | 6.84 | 0.68 | Sedang |
| 4A | 2.028 | 0.7528 | 0.5013 | 4 | 11% | 1.0011 | 2.03 | 405.04 | 17.62 | 1.76 | Sangat Tinggi |
| 4B | 4.915 | 1.3267 | 0.5045 | 2 | 15% | 1.0015 | 4.91 | 487.83 | 21.22 | 2.12 | Sangat Tinggi |
| 4C | 3.008 | 0.9475 | 0.5069 | 2 | 15% | 1.0015 | 3.01 | 297.10 | 12.92 | 1.29 | Sangat Tinggi |
| 5A | 3.860 | 1.1170 | 0.5011 | 3 | 12% | 1.0012 | 3.86 | 578.44 | 25.16 | 2.52 | Sangat Tinggi |
| 5B | 3.080 | 0.9620 | 0.5007 | 3 | 13% | 1.0013 | 3.08 | 462.02 | 20.10 | 2.01 | Sangat Tinggi |
| 5C | 3.737 | 1.0925 | 0.5028 | 3 | 12% | 1.0012 | 3.74 | 558.08 | 24.27 | 2.43 | Sangat Tinggi |
| 6A | 2.602 | 0.8669 | 0.5077 | 3 | 11% | 1.0011 | 2.60 | 384.82 | 16.74 | 1.67 | Sangat Tinggi |
| 6B | 3.990 | 1.1428 | 0.5055 | 4 | 11% | 1.0011 | 3.99 | 790.16 | 34.37 | 3.44 | Sangat Tinggi |
| 6C | 2.287 | 0.8042 | 0.5018 | 3 | 13% | 1.0013 | 2.29 | 342.23 | 14.89 | 1.49 | Sangat Tinggi |

Lampiran 8 Kurva standar logam Ca

| Nama Sampel | Konsentrasi (mg/L) (X) | Mean Abs (Y) | Y' | y-y' | (y-y') ² |
|-------------|------------------------|--------------|----------------|---------------|---------------------|
| Standar 1 | 0.050 | 0.3550 | -0.33961808 | 0.6946 | 0.482494 |
| Standar 2 | 0.100 | 0.3700 | -0.329677339 | 0.6997 | 0.489548 |
| Standar 3 | 0.200 | 0.3950 | -0.309795855 | 0.7048 | 0.496737 |
| Standar 4 | 0.500 | 0.4490 | -0.250151404 | 0.6992 | 0.488813 |
| Standar 5 | 0.800 | 0.5020 | -0.190506952 | 0.6925 | 0.479566 |
| Standar 6 | 1.000 | 0.5450 | -0.150743985 | 0.6957 | 0.484060 |
| Standar 7 | 1.500 | 0.6540 | -0.051336566 | 0.7053 | 0.497500 |
| Standar 8 | 2.000 | 0.7520 | 0.048070853 | 0.7039 | 0.495516 |
| Standar 9 | 4.000 | 1.142 | 0.445700527 | 0.6963 | 0.484833 |
| | | | -1.1281 | 6.2921 | 4.399067 |

- a. (Y -intercept) : 0.349558822
 b. Slope : 0.198814837



Lampiran 9 Hasil perhitungan logam Ca

| Nama Sampel | Konsentrasi (mg/L) (X) | Mean Abs (Y) | Berat tanah (gram) | Faktor Pengenceran | Kadar air tanah (%) | fk | ppm kurva | Konsentrasi Ca (mg/Kg) | Konsentrasi Ca meq/L | Konsentrasi Ca Tanah (meq/100 gr) | Kategori |
|-------------|------------------------|--------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------|-----------|------------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------|
| 1A | 46.5551 | 0.3370 | 0.5049 | 1 | 16% | 1.0016 | 46.56 | 2308.859 | 115.2182737 | 11.52 | Tinggi |
| 1B | 91.5086 | 0.6579 | 0.5171 | 1 | 12% | 1.0012 | 91.51 | 4429.44 | 221.0409876 | 22.10 | Sangat tinggi |
| 1C | 27.8537 | 0.2035 | 0.503 | 2 | 9% | 1.0009 | 27.85 | 2771.249 | 138.2927629 | 13.83 | Tinggi |
| 2A | 40.0832 | 0.2908 | 0.5018 | 2 | 4% | 1.0004 | 40.08 | 3995.535 | 199.3879471 | 19.94 | Tinggi |
| 2B | 94.2123 | 0.6772 | 0.5041 | 1 | 3% | 1.0003 | 94.21 | 4673.702 | 233.2303023 | 23.32 | Sangat tinggi |
| 2C | 21.3817 | 0.1573 | 0.5040 | 1 | 14% | 1.0014 | 21.38 | 1062.088 | 53.00103519 | 5.30 | Rendah |
| 3A | 24.2815 | 0.1780 | 0.5017 | 2 | 4% | 1.0004 | 24.28 | 2420.889 | 120.8088842 | 12.08 | Tinggi |
| 3B | 19.4906 | 0.1438 | 0.5088 | 2 | 13% | 1.0013 | 19.49 | 1917.839 | 95.70530977 | 9.57 | Sedang |
| 3C | 13.6490 | 0.1021 | 0.5064 | 1 | 14% | 1.0014 | 13.65 | 674.7689 | 33.6727825 | 3.37 | Rendah |
| 4A | 20.2750 | 0.1494 | 0.5013 | 2 | 11% | 1.0011 | 20.28 | 2024.473 | 101.0266307 | 10.10 | Sedang |
| 4B | 23.0627 | 0.1693 | 0.5045 | 1 | 15% | 1.0015 | 23.06 | 1144.568 | 57.11703296 | 5.71 | Rendah |
| 4C | 21.6199 | 0.1590 | 0.5069 | 1 | 15% | 1.0015 | 21.62 | 1067.88 | 53.29008884 | 5.33 | Rendah |
| 5A | 18.6500 | 0.1378 | 0.5011 | 1 | 12% | 1.0012 | 18.65 | 931.573 | 46.48799741 | 4.65 | Rendah |
| 5B | 13.6070 | 0.1018 | 0.5007 | 1 | 13% | 1.0013 | 13.61 | 680.2811 | 33.94785603 | 3.39 | Rendah |
| 5C | 83.1175 | 0.5980 | 0.5028 | 1 | 12% | 1.0012 | 83.12 | 4137.695 | 206.4821321 | 20.65 | Sangat tinggi |
| 6A | 30.6134 | 0.2232 | 0.5077 | 2 | 11% | 1.0011 | 30.61 | 3018.226 | 150.6176133 | 15.06 | Tinggi |
| 6B | 68.2544 | 0.4919 | 0.5055 | 1 | 11% | 1.0011 | 68.25 | 3379.305 | 168.636397 | 16.86 | Tinggi |
| 6C | 9.9927 | 0.0760 | 0.5018 | 1 | 13% | 1.0013 | 9.99 | 498.4932 | 24.87614919 | 2.49 | Rendah |

Lampiran 10 Dokumentasi penelitian



Pengambilan sampel (1)



Pengambilan sampel (2)



Pengambilan sampel (3)



Pengambilan sampel (4)



Penyimpanan sampel tanah



Analisis laboratorium



Pengovenan sampel tanah



Penghalusan tanah



Sampel tanah yang telah dihaluskan



Pembacaan logam Natrium dan Kalsium menggunakan AAS

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Muhammad Al Khaidar, yang akrab dipanggil Al. Lahir di Jambi pada tanggal 21 Mei 2002, penulis merupakan anak bungsu dari empat bersaudara, putra dari pasangan Bapak Idham Majid dan Ibu Nurminah. Riwayat pendidikan dimulai dari jenjang Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Kota Jambi pada tahun 2014 hingga 2017, kemudian melanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 3 Kota Jambi dari tahun 2017 sampai 2020. Pada tahun 2021, penulis melanjutkan pendidikan tinggi jenjang strata satu (S1) di Universitas Islam Indonesia, dengan memilih Program Studi Teknik Lingkungan di bawah naungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.