



TUGAS AKHIR

**Studi *Blue Carbon* (Karbon Biru) pada Ekosistem Pesisir di
Gunungkidul sebagai upaya Mitigasi Perubahan Iklim
menggunakan Metode *Line Transect***

**Rifcha Ayu Dian Puspitasari
21513095**

**Dosen Pembimbing I:
Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., 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

Study of Blue Carbon on Coastal Ekosistem in Gunungkidul as an efforts to Mitigate Climate Change using the Transect Line Method

Rifcha Ayu Dian Puspitasari

21513095

Supervisor I:

Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., 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

**Studi *Blue Carbon* (Karbon Biru) Pada Ekosistem Pesisir di Gunungkidul
Sebagai Upaya Mitigasi Perubahan Iklim Menggunakan
Metode *Line Transect***

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.

Rifcha Ayu Dian Puspitasari

21513095

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 9 September 2025 dan disetujui oleh:



Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

(Pembimbing 1)



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

(Pembimbing 2)



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

(Penguji)

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana



Any Juliana, 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, 23 September 2023

Yang membuat pernyataan,



Rifcha Ayu Dian Puspitasari
21513095

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. atas rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis memiliki kesempatan untuk menyelesaikan penelitian tugas akhir yang berjudul “Studi *Blue Carbon* (Karbon Biru) pada Ekosistem Pesisir di Gunungkidul sebagai upaya Mitigasi Perubahan Iklim menggunakan Metode *Line Transect*” dengan baik.

Tugas akhir ini disusun dengan maksud dan tujuan agar pembaca dapat menerima pengetahuan mengenai jumlah total karbon yang tersimpan pada area pesisir yang berada di Daerah Istimewa Yogyakarta. Selain itu, Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat kelulusan dari Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Begitu banyak bimbingan, dukungan dan bantuan baik secara moral maupun material. Serta doa restu dari semua pihak yang telah penulis dapatkan selama penyelesaian Tugas Akhir. Maka dengan segala kerendahan hati, perkenankan penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada

1. Allah SWT yang senantiasa melimpahkan nikmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini;
2. Kepada kedua orang tua, Bapak Surharyanto dan Ibu Daeni Mulyani serta kakak dan adik penulis, Listya Ayu Sekar Wulandari dan Alfian Rifky Tri Baskoro, juga seluruh keluarga besar yang tiada henti memberikan doa, dukungan, motivasi, serta kasih sayang yang membuat penulis bisa sampai dititik ini;
3. Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I, dan Bapak Ikrom Mustofa, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II, serta Bapak Dhandhun Wacano, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran serta arahan dalam penyelesaian tugas akhir ini;

4. Orang-orang terdekat penulis, Berliana, Al Khaidar, Fida, Isti dan Sahrul yang selalu mendukung penulis dalam segala hal selama proses panjang penyusunan tugas akhir ini, dan juga Indah, Naila, Eka yang telah membantu dalam proses penelitian, serta Reza, Nazla dan Dyah yang telah menemani penulis selama masa perkuliahan sebelum penyusunan tugas akhir ini;
5. Dosen dan staff teknik lingkungan Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat terhadap penulis hingga penulis dapat sampai dititik terakhir dimasa perkuliahan;
6. Seluruh Laboran di Laboratorium Teknik Lingkungan yang banyak membantu penelitian di laboratorium;
7. Teman-teman Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia angkatan 2021 yang telah memberikan semangat dan dukungan dalam membantu penulis selama proses perkuliahan.

Penulis menyadari dalam penyusunan Tugas Akhir masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan penelitian. Semoga laporan Tugas Akhir yang telah disusun oleh penulis dapat bermanfaat bagi berbagai pihak.

Yogyakarta, 23 September 2025

Rifcha Ayu Dian Puspitasari

Studi *Blue Carbon* (Karbon Biru) Pada Ekosistem Pesisir di Gunungkidul Sebagai Upaya Mitigasi Perubahan Iklim Menggunakan Metode *Line Transect*

Mahasiswa : Rifcha Ayu Dian Puspitasari
NIM : 21513095
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing I : Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.
Pembimbing II : Ikrom Mustofa, S.Si., M.Sc.

Abstrak

Karbon biru (*blue carbon*) merupakan bentuk simpanan karbon di wilayah pesisir yang berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi simpanan *blue carbon* di wilayah pesisir Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Metode yang digunakan adalah transek garis (*line transect*) dengan pengambilan data biomassa vegetasi dan sampel tanah di sembilan titik pengamatan. Estimasi stok karbon vegetasi dihitung berdasarkan diameter batang setinggi dada (DBH) dan pendekatan biomassa ekspansi, sedangkan kandungan karbon organik tanah dianalisis melalui metode pembakaran kering. Hasil penelitian menunjukkan total simpanan karbon mencapai 960,6 ton yang terdiri dari karbon tanah dan karbon vegetasi. Nilai tertinggi ditemukan pada titik 2A sebesar 239,4 ton/ha untuk karbon tanah. Variasi nilai karbon dipengaruhi oleh jenis vegetasi, kondisi tanah, serta jarak dari garis pantai. Hasil ini menegaskan pentingnya wilayah pesisir sebagai penyimpan karbon yang efektif, serta relevan untuk mendukung upaya mitigasi perubahan iklim dan kebijakan konservasi yang berkelanjutan.

Kata kunci: Karbon biru, Transek garis, Stok karbon, Vegetasi, Karbon organik tanah

***Study of Blue Carbon on Coastal Ekosistem in Gunungkidul as
an Efforts to Mitigate Climate Change Using the Transect Line
Method***

Student : Rifcha Ayu Dian Puspitasari
Student Number : 21513095
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor I : Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.
Supervisor II : Ikrom Mustofa, S.Si., M.Sc.

Abstract

Blue carbon refers to carbon storage in coastal areas that plays a crucial role in climate change mitigation. This study aims to analyze the potential blue carbon storage along the coastal region of Gunungkidul Regency, Yogyakarta Special Region. The research employed the line transect method by collecting vegetation biomass and soil samples at nine observation points. Vegetation carbon stock was estimated using diameter at breast height (DBH) measurements and a biomass expansion approach, while soil organic carbon content was analyzed through dry combustion. The results showed that the total carbon stock reached 960,7 tons, consisting of soil carbon and vegetation carbon. The highest value was recorded at point 2A with 239,4 tons/ha of soil carbon. Carbon stock variation was influenced by vegetation types, soil conditions, and distance from the shoreline. These findings emphasize the significance of coastal areas as effective carbon sinks and highlight their relevance in supporting climate change mitigation efforts and sustainable conservation policies..

Key words: Blue carbon, Line transect, Carbon stock, Vegetation, Soil organic carbon

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
Abstrak	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup	4
1.6 Kerangka Berpikir	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Gambaran Umum Kabupaten Gunungkidul.....	6
2.2 Perubahan Iklim.....	7
2.3 Mitigasi.....	8
2.4 Karbon Biru (<i>Blue Carbon</i>).....	9
2.5 Perjanjian Paris (<i>Paris Agreement</i>)	10
2.6 Ekosistem Pesisir.....	11
2.7 Vegetasi Pesisir Pantai Sebagai Penyerap dan Penyimpanan <i>Blue Carbon</i>	12
2.8 Karbon Organik Tanah (<i>Soil Organic Carbon</i>).....	12
2.9 Metode Transek Garis (<i>Line Transect</i>).....	13
2.10 Penelitian Terdahulu.....	14
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1 Lokasi Penelitian	17
3.2 Prosedur Penelitian.....	20
3.3 Pengamatan dan Pengambilan Sampel Data Lokasi.....	21

3.2.1. Pengukuran Lokasi	22
3.2.2. Analisis Stok Karbon Organik pada Tanah	24
3.2.3 Analisis Stok Karbon pada Vegetasi	28
3.3 Analisis Data	30
3.3.1 Perhitungan Stok Karbon Tanah	30
3.3.2 Perhitungan Stok Karbon Vegetasi	31
3.3.3 Perhitungan Total Stok Karbon	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Identifikasi Vegetasi Pesisir	35
4.2 Stok Karbon yang Tersimpan	42
4.2.1 Karbon Vegetasi	42
4.2.2 Karbon Tanah	44
4.3 Jumlah Stok Karbon yang Tersimpan	46
4.4 Kontribusi <i>Blue Carbon</i> sebagai upaya Mitigasi Perubahan Iklim	50
4.5 Keterkaitan Sosial Kebijakan Lingkungan	51
4.6 Peran Metode Transek Garis untuk melihat Potensi <i>Blue Carbon</i>	52
4.7 Rekomendasi Teknis pada Kondisi Pesisir.....	53
BAB V PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	66
RIWAYAT HIDUP	1

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....	14
Tabel 4. 1 Indeks Nilai Penting Tertinggi	35
Tabel 4. 2 Indeks Keanekaragaman Vegetasi.....	37
Tabel 4. 3 Biomassa Pohon dan Akar.....	39
Tabel 4. 4 Biomassa Tumbuhan Herba	39
Tabel 4. 5 Biomassa Semai.....	40
Tabel 4. 6 Jumlah Vegetasi dan Karbon yang Tersimpan Setiap Plot.....	48
Tabel 4. 7 Cadangan Karbon dalam suatu Stratum	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir Penelitian	5
Gambar 2. 1 Peta Administrasi Kabupaten Gunungkidul	6
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian	17
Gambar 3. 2 Lokasi Titik 2.....	18
Gambar 3. 3 Lokasi Titik 4.....	19
Gambar 3. 4 Lokasi Titik 6.....	20
Gambar 3. 5 Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3. 6 Plot Pengambilan Sampel	24
Gambar 3. 7 Penentuan Titik DBH pada Vegetasi	28
Gambar 4. 1 Perbandingan Indeks Keanekaragaman Vegetasi	37
Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Biomassa Vegetasi	41
Gambar 4. 3 Karbon Vegetasi Pada Setiap Titik.....	43
Gambar 4. 4 Karbon Tanah Pada Setiap Titik.....	45
Gambar 4. 5 Grafik Total Karbon Pada Setiap Titik.....	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Jenis Vegetasi Pesisir Gunungkidul Pada Metode Transek Garis.....	66
Lampiran 2. Perhitungan Ketapatan Vegetasi Pesisir Gunungkidul Pada Metode Transek Garis.....	69
Lampiran 3. Perhitungan Biomasa dan Stok Karbon Biomassa Vegetasi Pesisir Gunungkidul	75
Lampiran 4. Perhitungan Jumlah Stok Karbon Vegetasi Pesisir Gunungkidul	81
Lampiran 5. Perhitungan Cadangan Karbon Per Hektar Pada Vegetasi	91
Lampiran 6. Perhitungan Cadangan Karbon dalam Plot	91
Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian	91

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara dengan keanekaragaman hayati terbesar di dunia, yang termasuk dalam kategori *megabiodiversity countries*. Keanekaragaman ini mencakup berbagai jenis flora dan fauna yang tersebar di seluruh penjuru nusantara. Secara khusus, Indonesia menempati peringkat keempat di dunia dalam hal keanekaragaman jenis tumbuhan, dengan jumlah spesies yang diperkirakan mencapai sekitar 38.000. Kekayaan flora ini tercermin dalam luasnya kawasan hutan yang membentang di berbagai wilayah Indonesia, mulai dari hutan hujan tropis di Sumatera dan Kalimantan hingga hutan pegunungan di Papua. Keberagaman tumbuhan ini tidak hanya menjadi aset ekologi yang berharga, tetapi juga berperan penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan serta mendukung kehidupan berbagai spesies lainnya (Hidayat, 2017).

Pemanasan global merupakan salah satu permasalahan lingkungan terbesar yang dihadapi dunia saat ini. Fenomena ini ditandai dengan meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi akibat peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Salah satu gas rumah kaca utama yang berkontribusi terhadap pemanasan global adalah karbon dioksida (CO_2), yang berperan besar dalam mempercepat perubahan iklim. Pemanasan global terjadi ketika suhu di atmosfer, lautan, dan daratan mengalami peningkatan secara signifikan dalam jangka waktu yang panjang. Para ilmuwan telah mengonfirmasi bahwa penyebab utama dari fenomena ini adalah aktivitas manusia (antropogenik), terutama yang berkaitan dengan pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Proses pembakaran ini melepaskan karbon dioksida (CO_2) serta gas-gas lain yang dikenal sebagai gas rumah kaca (GRK), yang kemudian terperangkap di atmosfer dan menyebabkan efek greenhouse, yaitu peningkatan suhu bumi secara bertahap. Dampak dari pemanasan global sangat luas, mulai dari perubahan pola cuaca ekstrem, naiknya permukaan air laut, hingga gangguan pada ekosistem dan keanekaragaman hayati (Azzahra dkk,2020).

Laut berperan sebagai penyerap karbon dioksida (CO₂) melalui proses fotosintesis yang dilakukan oleh komunitas plankton serta vegetasi pesisir, seperti padang lamun dan hutan mangrove. Mekanisme alami ini menjadi salah satu pendekatan utama dalam upaya mitigasi perubahan iklim, khususnya dalam mengurangi konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. (Dompak dkk 2024). Selain hutan mangrove yang telah dikenal sebagai penyerap karbon yang efektif, ekosistem lamun juga memiliki kapasitas signifikan dalam menyimpan karbon dalam sedimen lautnya. Karena kemampuannya dalam menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar, konsep ini dikenal dengan istilah *Blue Carbon* atau karbon biru. Di Indonesia, salah satu wilayah yang masih memiliki ekosistem lamun yang cukup baik adalah perairan Gunungkidul, Yogyakarta. Keberadaan padang lamun di wilayah ini menjadi aset ekologis yang berharga, tidak hanya sebagai penyerap karbon tetapi juga sebagai habitat penting bagi berbagai biota laut. Oleh karena itu, perlindungan dan pengelolaan berkelanjutan terhadap ekosistem lamun sangat diperlukan untuk menjaga keseimbangan ekosistem pesisir, mendukung keanekaragaman hayati, serta memperkuat kontribusi Indonesia dalam mitigasi perubahan iklim global (Septiani,2018).

Ekosistem seperti hutan mangrove, padang lamun, dan rawa asin memiliki potensi besar dalam menyerap karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer, yang dikenal sebagai blue carbon. Peningkatan kadar CO₂ di atmosfer menjadi faktor utama pemanasan global yang pada akhirnya memicu perubahan iklim (Azzahra dkk., 2020). Dalam upaya global untuk mengatasi krisis iklim melalui pencapaian netralitas karbon, konsep karbon biru semakin mendapat perhatian di tingkat internasional. Hal ini disebabkan oleh pendekatannya yang berbeda dibandingkan dengan strategi pengurangan karbon yang telah diterapkan sebelumnya. Meskipun karbon biru belum secara resmi diakui sebagai penyerap karbon dalam perjanjian internasional, keberadaannya semakin menarik perhatian sebagai mekanisme baru dalam mitigasi perubahan iklim. Keunggulan karbon biru terletak pada kemampuannya dalam menyerap dan menyimpan gas rumah kaca dengan kecepatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan ekosistem darat. Oleh karena itu, berbagai lembaga penelitian internasional dan organisasi lingkungan telah mengajukan usulan untuk mengkomersialkan karbon biru dalam Konferensi

Nasional UNFCCC. Jika diimplementasikan secara luas, karbon biru berpotensi menjadi elemen kunci dalam upaya global untuk mengurangi emisi karbon dan melindungi ekosistem pesisir yang memiliki peran penting dalam keseimbangan iklim dunia (Dompak dkk., 2024).

Penggabungan ekosistem Blue Carbon, termasuk hutan bakau, rawa asin, dan padang lamun yang menjadikan kebijakan Blue Carbon sebagai solusi komprehensif berbasis alam untuk mitigasi perubahan iklim. Strategi *Blue Carbon* sangat penting untuk mengurangi dampak perubahan iklim dengan secara khusus menargetkan kemampuan ekosistem laut dan pesisir dalam menyimpan karbon. Kebijakan-kebijakan ini memprioritaskan perlindungan, administrasi, dan rehabilitasi habitat *Blue Carbon* seperti hutan bakau, padang lamun, dan rawa asin, yang berfungsi sebagai reservoir karbon yang penting. Secara umum, pemanfaatan kebijakan *Blue Carbon* tidak hanya membantu penyimpanan karbon tetapi juga memberikan manfaat lain seperti pelestarian keanekaragaman hayati, peningkatan produksi pangan berkelanjutan, dan pemulihan wilayah pesisir (Dompak dkk., 2024).

Dengan memperhatikan kondisi tersebut, ditambah dengan isu pemanasan global yang semakin meningkat serta keterbatasan informasi mengenai cadangan karbon dalam ekosistem di kawasan pesisir, diperlukan upaya penelitian lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi ekosistem yang menyimpan *blue carbon*, mengidentifikasi jumlah cadangan karbon yang tersimpan baik dalam biomassa maupun tanah, serta mengukur kapasitas ekosistem dalam menyerap gas karbon dioksida (CO_2). Selain itu, penelitian ini juga akan mengevaluasi tingkat kerapatan vegetasi di wilayah pesisir guna memahami perannya dalam mitigasi perubahan iklim serta keberlanjutan ekosistem pesisir secara keseluruhan.

1.2 Perumusan Masalah

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

- 1) Bagaimana potensi penyimpanan *blue carbon* pada ekosistem pesisir di Gunungkidul

- 2) Bagaimana peran vegetasi di ekosistem pesisir Gunungkidul dalam menyerap dan menyimpan *blue carbon*
- 3) Bagaimana kondisi tanah (jenis, kandungan organik, dan kedalaman) mempengaruhi kemampuan ekosistem pesisir Gunungkidul dalam menyerap dan menyimpan *blue carbon*.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini direncanakan dengan tujuan sebagai berikut:

- 1) Analisis penyimpanan *blue carbon* di ekosistem Gunungkidul dengan metode garis
- 2) Identifikasi vegetasi dan tanah dalam menyerap dan menyimpan *blue carbon*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini yaitu sebagai berikut:

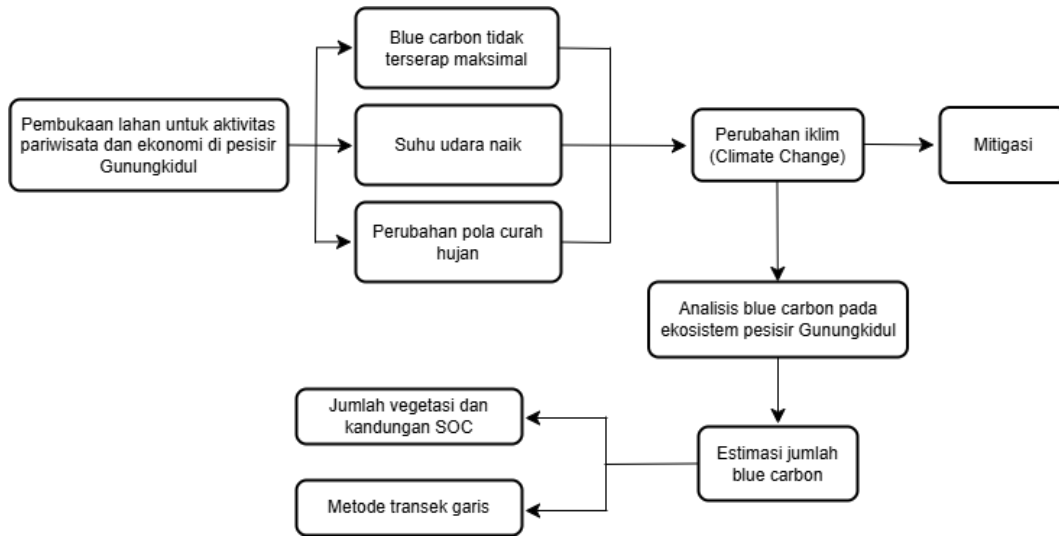
- 1) Mengestimasi jumlah *blue carbon* yang tersimpan di ekosistem pesisir Gunungkidul
- 2) Memberikan data dan pemahaman tentang *blue carbon* di ekosistem
- 3) Memberikan kontribusi terhadap upaya mitigasi perubahan iklim.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini meliputi:

- 1) Lokasi penelitian dilakukan di pesisir pantai Gunungkidul
- 2) Perhitungan *blue carbon* berdasarkan vegetasi dan tanah dengan metode garis
- 3) Perhitungan mengacu pada buku Coastal Blue Carbon
- 4) Objek akan diambil sampel berupa ialah jenis vegetasi dan sampel tanah yang akan di uji kandungan karbonnya
- 5) Waktu pengambilan sampel dilaksanakan pada tanggal 26 sampai 27 April 2025.

1.6 Kerangka Berpikir



Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir Penelitian

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Kabupaten Gunungkidul

Kabupaten Gunungkidul adalah salah satu kabupaten yang ada di Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan Ibukotanya Wonosari. Luas wilayah Kabupaten Gunungkidul 1.485,36 km² atau sekitar 46,63 % dari luas wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta. Kota Wonosari terletak di sebelah tenggara kota Yogyakarta (Ibukota Daerah Istimewa Yogyakarta), dengan jarak ± 39 km. Wilayah Kabupaten Gunungkidul dibagi menjadi 18 Kecamatan, 144 desa, dan 1.431 padukuhan (Jatnika dkk., 2014). Berikut ini adalah peta administrasi Kabupaten Gunungkidul yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Peta Administrasi Kabupaten Gunungkidul

Sumber: Peta Tematik Indonesia

Kabupaten Gunungkidul mempunyai beragam potensi perekonomian mulai dari pertanian, perikanan dan peternakan, hutan, flora dan fauna, industri, tambang

serta potensi pariwisata. Lokasi penelitian yang dipilih adalah pesisir Pantai Gunungkidul yang dimana vegetasinya memiliki potensi menyimpan *blue carbon*. Karbon ini tersimpan dalam bentuk sedimen, seperti yang tersimpan dalam mangroves trees, semak rawa pasang surut dan juga padang lamun (*seagrass*). Ekosistem wilayah pesisir yang terdapat hutan bakau (*mangroves*), rawa pasang surut dan padang lamun memberikan dampak dan manfaat terhadap mitigasi dan adaptasi perubahan iklim di sepanjang pantai secara global. Pesisir berfungsi untuk melindungi pantai dari abrasi, melindungi dari badai dan peningkatan muka air laut, mencegah banjir pasang laut, mengontrol kualitas air dan udara di pesisir, menyediakan habitat biodiversitas di pesisir, dan menyediakan sumber makanan bagi masyarakat pesisir (Trismadi dan Ras, 2021).

2.2 Perubahan Iklim

Perubahan iklim menjadi tantangan besar yang dihadapi bumi saat ini, dengan dampaknya yang dirasakan oleh manusia serta lingkungan. Peningkatan suhu global, perubahan pola hujan, dan naiknya permukaan laut merupakan beberapa akibat dari meningkatnya emisi gas rumah kaca (Azzahra, 2024). Salah satu faktor utama penyebab perubahan iklim adalah aktivitas manusia, khususnya penggunaan bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam untuk memenuhi kebutuhan energi sehari-hari. Pembakaran bahan bakar fosil ini melepaskan emisi gas rumah kaca, seperti karbon dioksida (CO₂) ke atmosfer (Ghaniyyu dan Husnita, 2021).

Peningkatan suhu global ini memicu efek umpan balik positif, seperti mencairnya es di kutub yang mengurangi kemampuan permukaan bumi untuk memantulkan cahaya, sehingga lebih banyak panas yang terserap. Selain itu, pemanasan juga melepaskan gas metana dari permafrost yang mencair, memperburuk pemanasan global. Perubahan suhu ini juga mengganggu pola cuaca dan sirkulasi atmosfer, memengaruhi distribusi curah hujan, dan dapat menyebabkan bencana alam seperti kekeringan atau banjir. Semua perubahan ini berdampak pada ekosistem dan keanekaragaman hayati, karena banyak spesies kesulitan beradaptasi dengan kondisi yang baru (Fauziyah, 2024).

Berdasarkan data dari *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)

pada tahun 2013, telah terjadi sejumlah perubahan signifikan dalam sistem iklim bumi. Data menunjukkan adanya peningkatan suhu yang konsisten tidak hanya di daratan, tetapi juga di lautan dan atmosfer. Selain itu, terjadi perubahan mencolok pada wilayah yang biasanya tertutup salju, termasuk pencairan es di wilayah kutub. Perubahan ini juga diiringi dengan peningkatan kadar uap air di atmosfer dan kenaikan permukaan laut secara global. Lebih lanjut, selama periode 132 tahun, dari tahun 1880 hingga 2012, suhu rata-rata permukaan bumi telah meningkat sebesar 0,85°C. Peningkatan suhu ini merupakan indikator nyata dari pemanasan global yang terus berlangsung dan memberikan dampak besar terhadap kestabilan iklim serta ekosistem di seluruh dunia (Ghaniyyu dan Husnita, 2021).

2.3 Mitigasi

Mitigasi diartikan sebagai langkah untuk mengurangi dan mencegah risiko terhadap kehilangan nyawa serta harta benda pada kelangsungan hidup. Mitigasi pada dasarnya perlu dilakukan untuk semua jenis bencana, baik yang disebabkan oleh alam maupun yang terjadi akibat aktivitas manusia (Wekke, 2021). Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana menjelaskan bahwa ketika terdapat potensi ancaman bencana, salah satu langkah dalam penanggulangan bencana adalah melalui upaya mitigasi. Berdasarkan beberapa penelitian, mitigasi non-struktural dinilai memiliki tingkat keberhasilan yang lebih tinggi serta nilai keberlanjutan yang lebih baik dibandingkan mitigasi struktural (Rahman dkk., 2022).

Pemerintah Indonesia menunjukkan komitmen nyata dalam menghadapi krisis iklim melalui kebijakan-kebijakan strategis yang berfokus pada dua pendekatan utama, yaitu adaptasi dan mitigasi. Langkah-langkah ini menjadi fondasi penting dalam menstabilkan kondisi iklim saat ini sekaligus mencegah terulangnya dampak buruk yang ditimbulkan oleh perubahan iklim di masa depan. Adaptasi merujuk pada berbagai strategi untuk menyesuaikan diri terhadap dampak perubahan iklim yang sudah terjadi atau yang berpotensi terjadi, misalnya melalui pengelolaan risiko bencana, peningkatan ketahanan pangan, serta perlindungan ekosistem. Sementara itu, mitigasi merupakan upaya untuk menekan laju perubahan iklim itu sendiri dengan cara mengurangi emisi gas rumah kaca, salah satunya

melalui penerapan gaya hidup rendah karbon dalam aktivitas sehari-hari seperti penggunaan energi terbarukan, efisiensi energi, serta pengurangan konsumsi bahan bakar fosil. Kedua pendekatan ini saling melengkapi dan menjadi dasar penting dalam menciptakan masa depan yang lebih berkelanjutan bagi generasi mendatang (Wahyudin dkk., 2020).

2.4 Karbon Biru (*Blue Carbon*)

Karbon biru di Indonesia memiliki kemampuan luar biasa dalam menyerap sejumlah besar karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer. Karbon yang terserap ini tersimpan di dalam tanah merupakan hasil pelapukan dari sisa-sisa makhluk hidup seperti tumbuhan, hewan, dan manusia, baik yang telah terurai sebagian maupun secara menyeluruh, sehingga menyatu dan menjadi komponen dari tanah itu sendiri (Novitasari, 2022). Penyerapan karbon yang berlangsung sejalan dengan siklus karbon alami mencakup peningkatan akumulasi karbon dalam materi organik seperti vegetasi serta penyimpanan karbon (*carbon burial*) di dalam sedimen dan tanah. Proses ini terjadi secara alami melalui mekanisme seperti fotosintesis, rantai makanan, penyerapan karbon oleh ekosistem perairan (*carbon sink*), dan penyimpanan jangka panjang dalam lapisan sedimen (Gyn, 2024). Dengan menurunkan kadar CO₂ di atmosfer, ekosistem karbon biru berkontribusi dalam mengurangi dampak pemanasan global serta mengatasi penyebab utama perubahan iklim. Selain itu, ekosistem ini juga memberikan manfaat signifikan bagi masyarakat pesisir, seperti melindungi dari gelombang badai dan erosi, serta mendukung mata pencaharian lokal melalui sektor perikanan, pariwisata, dan kegiatan ekonomi lainnya. Karbon biru (*Blue Carbon*) merujuk pada karbon yang diserap dan disimpan oleh ekosistem laut, yang mencakup berbagai elemen seperti tanaman pesisir, sedimen laut, serta ekosistem perairan dangkal, termasuk dataran lumpur, rawa-rawa asin, dan vegetasi khas daerah pesisir seperti tanaman garam. Namun, dalam pedoman terkini yang dikeluarkan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) mengenai emisi gas rumah kaca (GRK) dan mekanisme penyerapannya, hanya beberapa ekosistem yang secara resmi diakui sebagai penyerap karbon laut. Ekosistem tersebut meliputi rawa-rawa asin, hutan bakau, serta dataran garam, sementara jenis ekosistem pesisir lainnya, seperti dataran

lumpur dan vegetasi pesisir tertentu, belum mendapatkan pengakuan serupa (Jang dan Awiati, 2023).

Implementasi karbon biru tidak hanya menguntungkan lingkungan, tetapi juga berdampak positif pada komunitas lokal dan perekonomian global. Upaya konservasi dan pemulihan ekosistem karbon biru dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat pesisir dengan membuka peluang mata pencaharian, seperti melalui ekowisata dan perikanan yang berkelanjutan. Masyarakat pesisir dapat memperoleh manfaat langsung melalui peningkatan peluang mata pencaharian, termasuk dalam sektor ekowisata, perikanan berkelanjutan, dan budidaya hasil laut yang ramah lingkungan. Selain itu, ekosistem ini juga berperan dalam menjaga kualitas air, melindungi garis pantai dari abrasi, serta mendukung keseimbangan biodiversitas laut yang menjadi fondasi bagi industri kelautan yang berkelanjutan (Qoriyatun dkk, 2024).

Dalam hal ini, langkah-langkah mitigasi berperan penting dalam menekan dampak negatif perubahan iklim serta menjaga keseimbangan ekosistem. Salah satu pendekatan yang semakin mendapat perhatian adalah pemanfaatan karbon biru, yaitu karbon yang tersimpan dalam ekosistem pesisir dan laut seperti hutan mangrove, padang lamun, dan terumbu karang (Azzahra, 2024).

2.5 Perjanjian Paris (*Paris Agreement*)

UNFCCC adalah kerangka perjanjian internasional yang bersifat umum dan memberikan arahan secara garis besar tanpa mekanisme operasional yang spesifik, tujuan utama UNFCCC 1992 adalah menstabilkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer pada tingkat yang tidak membahayakan sistem iklim global. Sebagai tindak lanjut dari UNFCCC, beberapa instrumen penting telah disepakati dan diterapkan. Salah satunya adalah Protokol Kyoto 1997, yang menetapkan target pengurangan emisi gas rumah kaca bagi negara-negara maju. Kemudian, Amandemen Doha 2012 diperkenalkan sebagai perpanjangan dari Protokol Kyoto dengan target emisi yang diperbarui. Selanjutnya, Paris Agreement 2015 menjadi tonggak penting dalam kerja sama global, karena mengharuskan semua negara, termasuk negara berkembang, untuk berkontribusi dalam upaya pengurangan emisi

dan meningkatkan ketahanan terhadap dampak perubahan iklim (Pramudianto, 2016).

Pada Paris Agreement 2015 upaya untuk memperkuat penerapan konvensi dan meningkatkan respons global terhadap perubahan iklim dalam konteks pembangunan berkelanjutan dilakukan dengan menekan kenaikan suhu rata-rata global agar tidak melebihi 2°C serta berusaha membatasi peningkatannya hingga 1,5°C dibandingkan dengan era pra-industri (Pramudianto, 2016). Paris Agreement 2015 menyatakan bahwa setiap negara peserta harus mengambil langkah-langkah ambisius melalui kontribusi nasional yang ditentukan *Nationally Determined Contribution* (NDC) yaitu sebuah komitmen negara untuk ikut berpartisipasi dalam penurunan risiko perubahan iklim dan meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim. *Nationally Determined Contribution* meliputi tindakan-tindakan Parties untuk melakukan penurunan emisi secara nasional dan melakukan adaptasi untuk dampak merugikan perubahan iklim (Baroleh dkk, 2023).

Upaya pemerintah Indonesia dengan mengajukan pentingnya peran *Blue Carbon* dalam upaya penurunan emisi karbon pada konferensi perubahan iklim PBB (UNFCCC) tahun 2019 di Bonn, Jerman. Dalam hal ini Indonesia menunjukkan komitmen aktif untuk menurunkan emisi karbon sejalan dengan ketentuan dalam Perjanjian Paris. Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia yaitu Indonesia menunjukkan kepedulian dan keberpihakan terhadap isu perubahan iklim. Pada tahun 2020 Indonesia berencana memperjuangkan pengakuan terhadap kontribusi *Blue Carbon* dalam pengurangan emisi, sesuai dengan target Perjanjian Paris 2015 yang sebelumnya belum mencakup peran tersebut. Indonesia memiliki sekitar 25% dari total ekosistem mangrove dan padang lamun yang menjadikan kontribusi *Blue Carbon* dari Indonesia sangat signifikan dalam strategi mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim global. Untuk itu pengembangan potensi *Blue Carbon* di Indonesia masih perlu ditingkatkan, khususnya pada tiga ekosistem utama yaitu mangrove, rawa asin, dan lamun (Ade dan Faika, 2022).

2.6 Ekosistem Pesisir

Ekosistem dapat didefinisikan sebagai suatu sistem kompleks yang mencakup interaksi antara organisme dengan lingkungannya yang dimana keduanya saling

memengaruhi satu sama lain. Ekosistem merupakan suatu kesatuan yang mencakup berbagai unsur yang saling berinteraksi dalam lingkungan hidup baik unsur biotik dan abiotik (Yuliamalia, 2019). Komponen dalam ekosistem dibagi dua jenis, yaitu komponen biotik yang mencakup vegetasi, serta komponen abiotik yang terdiri dari unsur biotik seperti tanah.

2.7 Vegetasi Pesisir Pantai Sebagai Penyerap dan Penyimpanan *Blue Carbon*

Vegetasi pantai memiliki peran krusial dalam mendukung upaya mitigasi perubahan iklim melalui kemampuannya menyerap dan menyimpan karbon atmosfer yang dikenal sebagai blue carbon. Jenis vegetasi ini tumbuh di wilayah pesisir yang secara ekologis sangat dinamis, seperti daerah pasang surut, muara, dan sepanjang garis pantai. Melalui proses fotosintesis, vegetasi tersebut menyerap karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer dan mengubahnya menjadi biomassa dalam bentuk batang, daun, dan akar. Karbon yang diserap tidak hanya tersimpan dalam jaringan tanaman hidup, tetapi juga terakumulasi di dalam tanah atau sedimen yang berada di sekitarnya. Salah satu keunggulan vegetasi pantai dalam menyimpan karbon adalah kemampuannya menahan sedimen dan memperlambat aliran air, sehingga memungkinkan bahan organik yang terbawa air untuk mengendap dan terperangkap dalam tanah.

Vegetasi pantai yang utuh menjadi salah satu cadangan karbon terbesar dalam sistem ekosistem alami. Vegetasi pantai juga berkontribusi besar terhadap kestabilan tanah dan perlindungan pesisir dari abrasi dan gelombang ekstrem. Sistem perakaran yang kuat dan padat membantu mempertahankan struktur tanah dan memperkuat zona transisi antara daratan dan laut. Secara tidak langsung, hal ini juga memperkuat kapasitas penyimpanan karbon karena lapisan tanah tidak mudah tererosi atau terurai. Bahkan ketika tumbuhan tersebut mati, sisa-sisa organiknya dapat terdekomposisi perlahan dan menjadi bagian dari simpanan karbon dalam tanah pesisir.

2.8 Karbon Organik Tanah (*Soil Organic Carbon*)

Karbon Organik Tanah (*Soil Organic Carbon*) merupakan penyimpanan karbon terbesar di ekosistem darat dan memiliki peran penting dalam proses umpan balik

biosfer terhadap peningkatan kadar karbon dioksida di atmosfer yang berkontribusi terhadap pemanasan global. Tanah mengandung kurang lebih 2.344 Gt (1 Gigaton = 1 Milyar ton), secara global karbon organik tanah merupakan cadangan karbon terestrial terbesar. Bahkan perubahan kecil dalam stok karbon organik tanah dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap konsentrasi karbon di atmosfer (Edwin, 2016). Karbon yang tersimpan dalam tanah berfungsi sebagai indikator penting untuk menilai sejauh mana kemampuan tumbuhan, termasuk organisme tanah, dalam menyerap karbon dioksida (CO₂). Peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer sering kali disebabkan oleh praktik pengelolaan lahan yang tidak berkelanjutan (Anika&Rasyidin, 2024).

2.9 Metode Transek Garis (*Line Transect*)

Metode *Line Transect* yaitu, garis pengambilan sampel yang ditarik berbentuk garis yang panjang. Transek juga dapat dipakai dalam studi altituide dan mengetahui perubahan komunitas yang ada metode garis transek, sistem analisis melalui variable-variabel kerapatan, kerimbunan, dan frekuensi yang selanjutnya menentukan INP (Indeks Nilai Penting) yang akan digunakan untuk memberi nama sebuah vegetasi. Kerapatan dinyatakan sebagai jumlah individu sejenis yang terlewati oleh garis. Kerimbunan ditentukan berdasarkan panjang garis yang tertutup oleh individu tumbuhan, dan dapat merupakan presentase perbandingan panjang penutupan garis yang terlewati oleh individu tumbuhan terhadap garis yang dibuat (Hidayat dkk, 2018). Metode transek digunakan untuk mengamati dan menganalisis hubungan antara variasi vegetasi dengan perubahan kondisi lingkungan di suatu kawasan. Selain itu, metode ini juga bermanfaat untuk memperoleh informasi awal secara cepat mengenai komposisi dan jenis vegetasi yang mendominasi suatu area. Jika struktur vegetasi di lokasi penelitian tergolong sederhana atau homogen, maka panjang jalur transek dapat disesuaikan menjadi lebih pendek karena keragaman data yang diperoleh relatif terbatas. Transek sendiri merupakan jalur pengamatan yang sempit dan memanjang yang dirancang untuk melintasi area studi guna merekam pola sebaran vegetasi dan karakteristik lingkungan secara sistematis (Arista dkk., 2018)

2.10 Penelitian Terdahulu

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

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Penelitian, Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Adinda Thalia Salsabila Azzahra ¹ , Fara Aulia ² , Hana Olivia Silitoga ³ , Hilda Azkiya Ananda ⁴ , Michella Audrey ⁵ , Sophia Laurent Claudia Sinaga ⁶ , Yeni Nurlita ⁷ , Samadi Samadi ⁸ , 2024	Analisis Kerapatan Tutupan Lamun Dan Mangrove di Pulau Lancang Kepulauan Seribu Terhadap Penyimpanan Blue Carbon dalam Mitigasi Perubahan Iklim	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerapatan tutupan lamun dan mangrove di Pulau Lancang, Kepulauan Seribu, serta kontribusinya terhadap penyimpanan blue carbon sebagai bagian dari mitigasi perubahan iklim. Faktor-faktor yang dinilai meliputi kerapatan vegetasi, pola distribusi, dan kapasitas penyimpanan karbon. Lamun dapat menyimpan karbon hingga 6,59 ton per hektar per tahun, sedangkan mangrove memiliki potensi penyimpanan karbon yang lebih besar, mencapai 3,4 giga ton secara keseluruhan di Indonesia.
2	Muslich Hidayat ¹ , Laiyanah ² , Nanda Silvia ³ , Yenni Aulia	Analisis Vegetasi Tumbuhan Menggunakan	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keanekaragaman, mengidentifikasi dan

	Putri ⁴ , & Nurul Marhamah ⁵ , 2018	Metode Transek Garis (Line Transek) di Hutan Seulawah Agam Desa Pulo Kemukiman Lamteuba Kabupaten Aceh Besar	menganalisa komposisi jenis, tumbuhan, peranan, penyebaran, dan struktur pohon dari vegetasi hutan. Komposisi spesies tumbuhan yang terdapat di hutan Seulawah Agam terdiri dari 44 spesies dari 51 individu. Spesies tumbuhan yang memiliki Indeks Nilai Penting (INP) yang tinggi adalah cempaka (<i>Magnolia tripetala</i>) dengan nilai INP 33,4876 %. Sedangkan spesies tumbuhan yang memiliki Indeks Nilai Penting (INP) yang rendah adalah pinang (<i>Areca catechu</i>) dengan INP 3,0992 %. Berdasarkan kategori indeks, INP tumbuhan di kawasan hutan Seulawah Agam berada pada kategori rendah (INP < 21,96) dan kategori sedang (INP 21,96 – 42,66).
3	Erlania ¹ , Nyoman Radiarta ² , Joni Haryadi ³ , & Ofri Johan ⁴ , 2015	Kondisi Rumput Laut Alam di Perairan Pantai Ujung Genteng,	Kajian yang dilakukan pada dua lokasi yaitu Ujung Genteng dan Labuhanbua menunjukkan

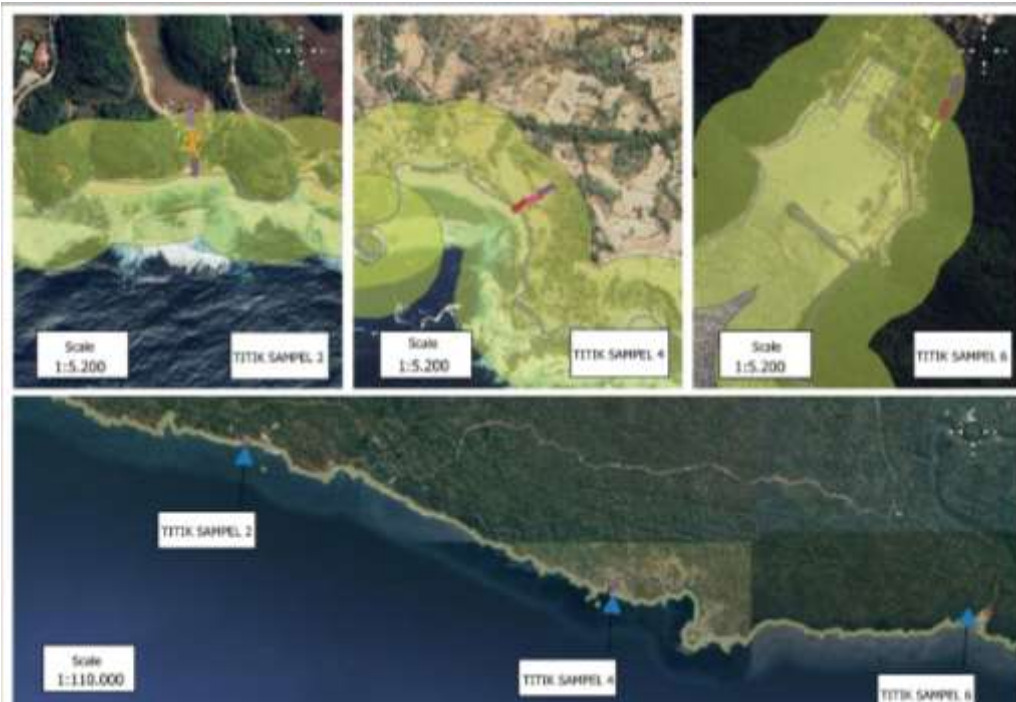
		<p>Sukabumi dan Labuhanbua, Sumbawa: Potensi Karbon Biru dan Pengembangan Budidaya</p>	<p>bahwa sumber daya rumput laut alam yang ada sangat bervariasi, yaitu 36 spesies di kawasan pantai Ujung Genteng dan 28 spesies di Labuhanbua. Berdasarkan kapasitas penyimpanan karbon maka jenis-jenis seperti: <i>Sargassum</i> sp., <i>Padina</i> sp., <i>Dictyota</i> <i>dichotoma</i>, <i>Hydroclathrus</i> <i>clatratus</i>, <i>Gracilaria</i> sp., <i>G. foliifera</i>, <i>G. salicornia</i>, <i>Gelidium</i> sp., dan <i>Turbinaria</i> sp., merupakan jenis-jenis yang memiliki tingkat serapan karbon yang tinggi, dan sangat potensial untuk dikembangkan melalui kegiatan budidaya. Dalam perspektif mitigasi perubahan iklim, langkah strategis yang perlu dilakukan terkait pengembangan budidaya dari jenis-jenis rumput laut.</p>
--	--	----------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi Pada penelitian ini dilakukan untuk mengamati berbagai jenis vegetasi yang terdapat di area pesisir pantai Gunungkidul serta pengambilan sampel tanah untuk melihat seberapa banyak jumlah blue carbon yang dapat tersimpan. Pesisir Gunungkidul, Yogyakarta memiliki ekosistem khas berupa cemara laut, pandan laut, dan padang lamun yang berbeda dengan mangrove sehingga kajian mengenai potensi penyimpanan karbon pada vegetasi non-mangrove masih terbatas. Hal ini menjadikan pesisir Gunungkidul strategis untuk diteliti. Selain itu, wilayah ini rentan terhadap abrasi, gelombang tinggi, dan kenaikan muka laut, sehingga penelitian blue carbon tidak hanya penting secara ekologis, tetapi juga strategis untuk mitigasi perubahan iklim berbasis ekosistem. Hasilnya diharapkan menjadi dasar ilmiah bagi perencanaan pengelolaan pesisir berkelanjutan sekaligus membuka peluang jasa lingkungan, seperti ekowisata dan perdagangan karbon, yang memberi manfaat ekonomi bagi masyarakat tanpa mengabaikan kelestarian lingkungan. Dapat dilihat lokasi penelitian pada Gambar 4.1.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

Transek garis ini ditarik melintasi area penelitian dari arah garis pantai menuju daratan. Sepanjang garis transek dipasang 3 unit plot yang berukuran $20 \times 20 \text{m}^2$. Plot ini menjadi satuan pengamatan utama untuk mengukur berbagai parameter ekosistem, seperti biomassa vegetasi, jenis dan kerapatan tumbuhan, serta pengambilan sampel tanah untuk analisis kandungan karbon organik. Jarak antar plot ditetapkan sejauh 20 meter untuk memastikan data yang dikumpulkan tidak saling berdekatan, sehingga menghindari kemiripan data dan memastikan cakupan pengamatan yang lebih representatif terhadap kondisi ekosistem yang bervariasi. Pola ini juga memungkinkan analisis yang lebih akurat terhadap perubahan karakteristik ekosistem secara bertahap dari pesisir ke daratan. Lokasi pengambilan sampel menggunakan metode transek garis pada titik 2, 4 dan 6 dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Lokasi Titik 2

Lokasi pengambilan sampel di titik 2 terletak pada area sekitar Pantai Sanglen, Kecamatan Tanjungsari. Dalam pelaksanaan di lapangan jarak antar plot sedikit mengalami pergeseran menyesuaikan dengan kondisi lapangan agar pengambilan data tetap efektif tanpa mengganggu keakuratan hasil pengukuran, yaitu jarak pengukuran dari titik 2 pada plot A menuju plot B tercatat sejauh 20,6 meter, sedangkan jarak dari plot B menuju plot C tercatat sejauh 20,4m, namun jarak pergeseran tersebut tidak terlalu jauh sehingga masih mewakili kondisi ekosistem yang sama. Dengan pola seperti ini, penyebaran plot dapat menunjukkan perubahan ekosistem secara perlahan dan alami dari satu titik ke titik lainnya.



Gambar 3. 3 Lokasi Titik 4

Lokasi pengambilan sampel di titik 4 yang terletak pada area Pantai Siung, Kecamatan Tepus. Ditemukan kendala dalam penentuan jarak antar plot akibat kondisi topografi yang cukup ekstrem. Medan di lokasi ini memiliki kemiringan lahan yang curam, elevasi yang bervariasi secara tajam, serta akses yang terbatas karena kontur tanah yang terjal dan tidak rata, kondisi tersebut menyulitkan proses penempatan plot dan pengambilan sampel secara ideal. Akibat keterbatasan tersebut, jarak antar plot harus disesuaikan dengan kondisi lapangan. Jarak pengukuran dari titik 4 pada plot A menuju plot B tercatat hanya sejauh 6 meter, sedangkan dari plot B ke plot C berjarak 5,5 meter. Meskipun jarak ini lebih pendek dari jarak standar yang ditetapkan, penyesuaian ini dilakukan dengan pertimbangan keselamatan, kelancaran pengambilan data, dan keterwakilan kondisi vegetasi di lokasi tersebut. Dengan demikian, meskipun jarak antar plot lebih dekat, data yang diperoleh masih dapat memberikan gambaran terhadap karakteristik ekosistem di wilayah topografi terjal seperti Pantai Siung.

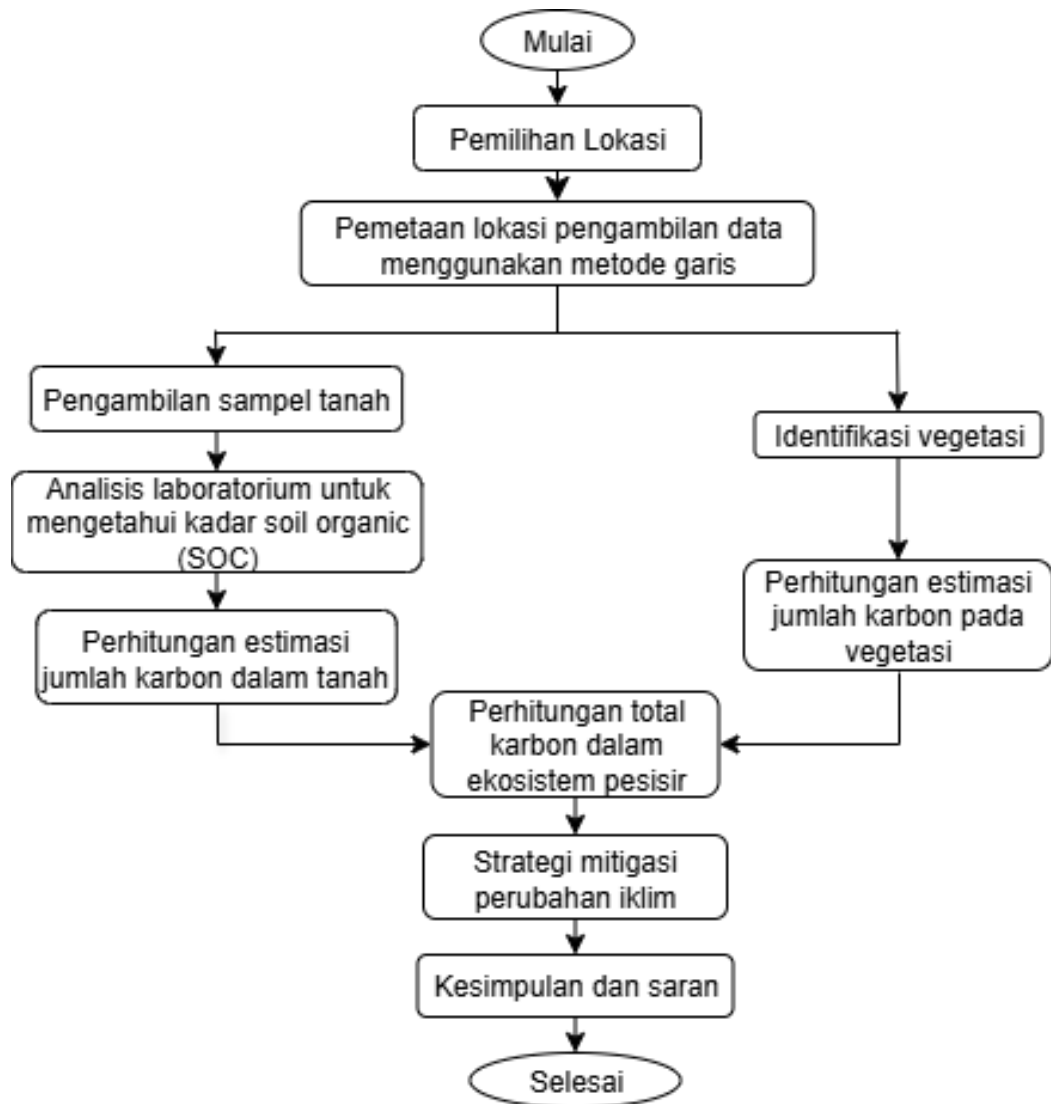


Gambar 3. 4 Lokasi Titik 6

Lokasi pengambilan sampel di titik 6 pada area Pantai Sadeng, Kecamatan Girisubo. Pada lokasi titik 6 ini kondisi lapangan tidak mengalami kendala sehingga proses pemasangan transek garis serta pengumpulan data dapat dilakukan dengan lancar dan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan. Jarak antar plot berhasil diterapkan hampir ideal yaitu jarak pengukuran dari titik 6 pada plot A menuju plot B sejauh 20,3 meter dan jarak dari plot B menuju plot C sejauh 20 meter. Hal ini didukung oleh akses menuju lokasi yang cukup terbuka, kontur medan yang relatif datar serta vegetasi yang tidak terlalu rapat. Kondisi tersebut sangat mendukung kelancaran dalam melakukan pengukuran dan pencatatan data di lapangan, dengan kondisi lapangan yang optimal data yang dikumpulkan dari titik ini dapat mewakili karakteristik ekosistem secara akurat sesuai dengan standar pengamatan transek garis.

3.2 Prosedur Penelitian

Berikut ini merupakan tahapan prosedur penelitian berdasarkan susunan rencana yang telah ditentukan dalam kerangka penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Diagram Alir Penelitian

3.3 Pengamatan dan Pengambilan Sampel Data Lokasi

Pada proses pengambilan sampel untuk data primer membutuhkan alat seperti meteran untuk mengukur luas area dan keliling pada pohon, tali rafia untuk menentukan luas plot, penanda seperti patok untuk tanda pembatas setiap petak, katong plastik untuk mengumpulkan hasil pengambilan sampel dari lapangan, buku catatan untuk mencatat serta mengidentifikasi sampel, alat tulis spidol untuk mendandakan sampel pada kantong sampel, serta timbangan untuk menimbang sampel tanah. Pada penelitian ini hasil data yang digunakan untuk mengetahui jumlah *blue carbon* yang tersimpan di pesisir pantai Gunungkidul dengan metode transek garis untuk menentukan ukuran lokasi, mengidentifikasi potensi

penyimpanan *blue carbon* pada vegetasi yang ada dilokasi serta melakukan pengambilan sampel tanah untuk mengetahui kadar karbon organik tanah (*Soil Organic Carbon*).

3.2.1. Pengukuran Lokasi

Pada pengukuran lapangan dapat dilakukan secara lebih terstruktur dan menghasilkan data yang valid untuk analisis lingkungan di pesisir Gunungkidul, diperlukan sejumlah langkah utama dalam tahap persiapan, yang disusun dan diterapkan secara sistematis, mencakup beberapa aspek penting berikut ini:

1. Pembatasan Cakupan Penelitian

Pembatasan cakupan mencakup area geografis pada wilayah pesisir berupa jenis ekosistem seperti vegetasi pantai atau tanah organik. Jika terjadi perubahan dalam cakupan, maka perlu dilakukan pencatatan dan penyesuaian terhadap data. Peta yang dihasilkan berfungsi sebagai alat verifikasi untuk menilai aksesibilitas lokasi melalui jalur darat. Untuk meningkatkan akurasi pemetaan berbagai sumber data dapat dimanfaatkan, seperti peta topografi, peta penggunaan lahan, peta tanah dan peta vegetasi.

2. Stratifikasi Area Penelitian

Stratifikasi merupakan metode yang digunakan untuk membagi suatu wilayah yang memiliki karakteristik beragam menjadi area-area yang lebih kecil dengan sifat yang lebih homogen (SNI 7724:2019). Dalam penelitian ini fokus utama adalah kandungan karbon, sehingga penentuan strata didasarkan pada faktor yang memengaruhi karbon biru, seperti jenis vegetasi, kondisi tanah, topografi, dan kondisi sosial. Selain itu hasil penelitian menjadi lebih mudah diperkirakan secara keseluruhan untuk menggambarkan kondisi ekosistem secara luas.

3. Penentuan Kandungan Karbon yang Akan Diukur

Pada area dengan tutupan lahan berupa vegetasi pantai, karbon yang tersimpan di biomassa lebih dominan dan karbon bawah tanah yang diukur memastikan bahwa estimasi stok karbon yang diperoleh benar-benar mencerminkan kondisi ekosistem secara lebih akurat. Untuk

mendapatkan hasil yang lebih akurat dan mewakili kondisi ekosistem secara menyeluruh, setiap jenis karbon diukur, setidaknya pada beberapa lokasi yang dianggap mewakili berbagai kondisi tutupan lahan.

4. Penentuan Jenis, Jumlah dan Lokasi Plot

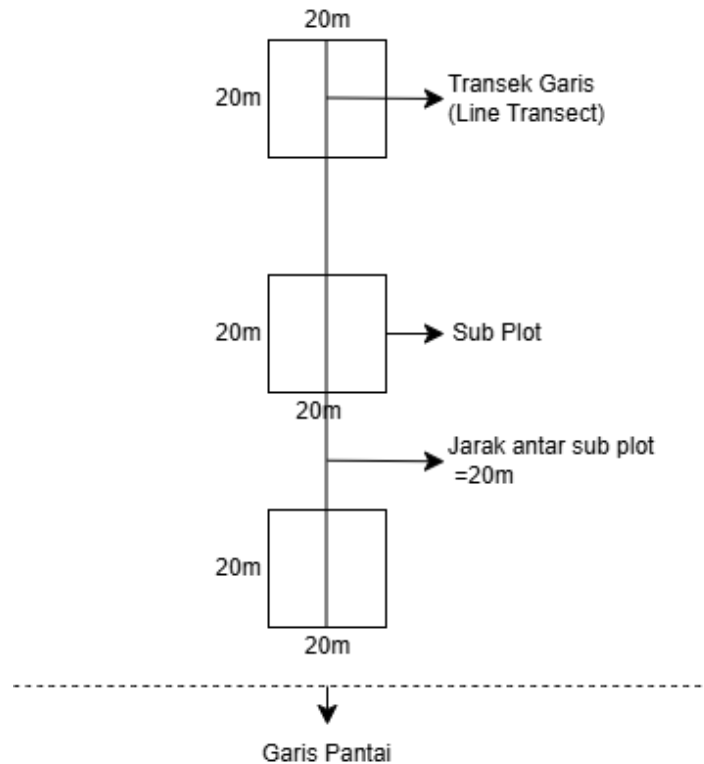
Penentuan jenis transek didasarkan pada morfologi lahan pada segi bentuk dan struktur permukaan bumi serta jenis tutupan lahannya. Pada transek garis dengan kondisi relatif seragam dan mudah diakses. Menetapkan jumlah plot menggunakan metode stratified random sampling dengan membagi ke dalam beberapa strata berdasarkan karakteristik, seperti jenis tutupan lahan, bentuk topografi, atau kondisi vegetasi. Lokasi plot dalam setiap strata kemudian dipilih secara acak agar data yang dihasilkan akan lebih mencerminkan kondisi ekosistem secara menyeluruh, meskipun wilayah penelitian memiliki keragaman yang tinggi.

5. Penentuan Frekuensi Pengukuran

Penentuan frekuensi pengukuran dalam penelitian stok karbon untuk melihat karakteristik ekosistem, serta jenis karbon yang diamati. Frekuensi ini tidak bisa disamaratakan karena setiap jenis ekosistem pesisir seperti semak pantai, pohon, atau vegetasi dataran rendah, memiliki tingkat pertumbuhan, perubahan biomassa, dan respon terhadap gangguan lingkungan yang berbeda-beda. Beberapa vegetasi mungkin mengalami perubahan musiman yang cepat akibat pasang surut, angin laut, atau aktivitas manusia, sementara yang lain lebih stabil dalam jangka waktu lama. Oleh karena itu, penentuan frekuensi pengukuran harus disesuaikan dengan karakteristik vegetasi di lokasi tersebut agar hasilnya akurat dan mencerminkan dinamika ekosistem pesisir secara nyata.

Pemasangan plot pada setiap lokasi pengambilan data dan sampel dilakukan dengan metode pemetaan yang disesuaikan dengan kondisi di lapangan. Ukuran plot transek garis dalam pengamatan yang digunakan adalah 20 x 20 m² dengan bentuk persegi pada sepanjang pantai untuk

masing-masing berupa 3 plot yang dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Plot Pengambilan Sampel

3.2.2. Analisis Stok Karbon Organik pada Tanah

Karbon yang terdapat dalam tanah dapat disebut sebagai karbon sedimen atau karbon tanah, yang sebagian besar berasal dari akar, rimpang, serta serasah daun, baik yang masih hidup maupun yang telah membusuk. Karbon ini merupakan bagian terbesar dalam ekosistem pesisir. Untuk mengukur kandungan karbon organik tanah (SOC), diperlukan beberapa parameter dalam setiap lokasi pengambilan sampel, yaitu kedalaman tanah, kepadatan massa kering, dan kandungan karbon organik.

Karbon organik dalam tanah merupakan elemen penting dalam siklus karbon global yang berperan dalam mendukung keberlanjutan ekosistem daratan, dan terbentuk melalui beberapa tahap dekomposisi bahan organik. Kandungan C-organik tanah sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal, seperti jenis tanah, curah hujan, suhu, suplai bahan organik dari biomassa permukaan, aktivitas antropogenik, praktik pengolahan tanah, serta konsentrasi

CO₂ di atmosfer (Wijaya, 2024). Karena kerapatan massa tanah dan persentase karbon organik (% Corg) dapat bervariasi tergantung kedalaman dan lokasi, distribusi kepadatan karbon tidak selalu menunjukkan pola yang konsisten seiring bertambahnya kedalaman. Oleh sebab itu, perhitungan kepadatan karbon dilakukan dengan memperhitungkan massa kering tanah dan % karbon organik pada tanah diantaranya:

1. Pengambilan Sampel Karbon Tanah Organik

Pengambilan sampel karbon tanah dilakukan secara sistematis menggunakan *mud auger* dengan panjang 22,5 cm pada setiap titik yang telah ditentukan. Tanah yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam kantong sampel yang telah diberi label sesuai lokasi penelitian. Proses ini dilakukan secara konsisten di seluruh titik pengambilan agar hasil yang diperoleh dapat mewakili kondisi sebenarnya di lapangan.

2. Sub-sampling Karbon Tanah Organik

Pada setiap pantai dilakukan dua jenis pengambilan sampel tanah untuk setiap plot, yaitu tanah timbang diambil sesuai kedalaman *mud auger* dan dicatat serta diberi label untuk mencerminkan masing-masing plot pada area tersebut kemudian dianalisis kerapatan massa kering (*dry bulk density*). Sementara itu untuk tanah komposit yang diperoleh dari penggabungan tiga sampel tanah dalam satu plot kemudian dicampur hingga homogen, lalu diambil sub-sampelnya untuk analisis kadar air dan kandungan karbon organik.

3. Pengarsipan Sampel Tanah

Pengarsipan sampel bertujuan untuk menyimpan sisa tanah dari hasil pengambilan di lapangan sebagai cadangan data fisik yang dapat digunakan kembali apabila dibutuhkan verifikasi, analisis ulang, atau untuk kepentingan penelitian lanjutan. Sampel tanah yang telah dianalisis sebagian, dan sisanya tidak digunakan, disimpan dalam wadah tertutup dan diberi label yang jelas, berisi informasi seperti kode plot, kedalaman, tanggal pengambilan, dan lokasi. Penyimpanan dilakukan di tempat yang kering, teduh, dan bebas kontaminasi agar karakteristik tanah tetap terjaga.

4. Analisis Laboratorium

Untuk memperoleh estimasi yang akurat mengenai kepadatan karbon tanah, diperlukan pengukuran terhadap beberapa parameter diantara lain sebagai berikut:

- a. Mengukur kepadatan massa tanah dalam kondisi kering (*Dry Bulk Density*)

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

Untuk menghitung volume awal penting untuk mengetahui jenis serta diameter internal alat pengumpul inti yang digunakan, serta ketebalan atau panjang sampel. Volume tanah dapat ditentukan menggunakan rumus seperti berikut:

- Volume awal sampel tanah = $\frac{\pi \times r^2}{h}$

Keterangan:

r: Jari-jari alat *mud auger*

h: Kedalaman *mud auger*

- b. Mengukur pH tanah

Pada pengukuran pH tanah dapat diambil sampel tanah yang telah dikeringkan lalu ditimbang sebanyak 10 gram kemudian dimasukkan ke dalam gelas beaker 250 ml dan ditambahkan 50 ml aquades untuk menguji pH awalnya, setelah itu dihomogenkan menggunakan magnetik stirer selama 15 menit lalu ukur pH menggunakan alat pH meter kemudian catat hasil pembacaan pada alat tersebut.

- c. Mengukur % kadar air pada tanah

Kadar air pada sampel tanah dinyatakan dalam persentase, untuk mengukur kadar air pada sampel tanah terlebih dahulu cawan porselin dipanaskan dengan oven pada suhu 110°C selama 1 jam, kemudian cawan porselin didinginkan ke dalam desikator selama 30 menit sampai 1 jam, setelah itu timbang cawan porselin kosong lalu

timbang sampel tanah sebanyak 50 gram dan diletakkan pada cawan poselin, masukkan kembali pada oven dan didinginkan pada desikator setelah itu timbang kembali sampel tanah setelah dipanaskan pada oven, kemudian catat dan masukan rumus Balai Penelitian Tanah (2005) tentang analisis kimia tanah, tanaman, air, dan pupuk, dengan rumus sebagai 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 (% C org)

Pengukuran kandungan karbon organik dalam tanah dapat dilakukan dengan metode pembakaran kering (*loss on ignition/LOI*) menggunakan furnace. Dalam metode ini sampel tanah yang telah dikeringkan terlebih dahulu kemudian dipanaskan dalam furnace pada suhu 800°C selama 1 jam. Pada suhu ini bahan organik dalam tanah akan terbakar dan menguap, sementara mineral anorganik tetap tinggal. Selisih berat sampel sebelum dan sesudah pembakaran mencerminkan jumlah karbon organik yang hilang sebagai gas, sehingga dapat dihitung persentase kandungan karbon organik tanah pada 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 % C tanah digunakan perhitungan untuk mengonversi dari % bahan organik menjadi % C organik pada tanah dengan rumus:

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

%C: Kandungan karbon bahan sedimen organik

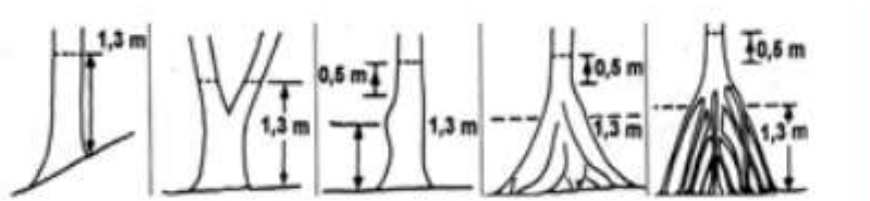
1,724: Konstanta untuk mengkonversi % bahan organik menjadi % C organik

3.2.3 Analisis Stok Karbon pada Vegetasi

Pengumpulan data sekunder untuk memperoleh nilai biomassa vegetasi dilakukan dengan metode diameter setinggi dada (DBH) yang mengacu pada SNI 7724 tahun 2019, yaitu pengukuran lingkaran batang pada ketinggian sekitar 1,3 meter dari permukaan tanah. Pengukuran diameter vegetasi dilakukan di dalam plot berukuran 20 x 20 m². Adapun tahapan untuk memperoleh hasil biomassa meliputi langkah-langkah berikut:

a. Pengambilan Data Vegetasi

1. Identifikasi jenis vegetasi pancang, tiang dan pohon dapat dilakukan melalui pengamatan terhadap morfologi daun, bentuk akar, serta ciri khas buah dan bunga. Identifikasi ini penting dilakukan karena setiap spesies vegetasi memiliki kemampuan yang berbeda dalam menyerap karbon.
2. Mengukur diameter setinggi dada, pada saat melakukan pengukuran diameter pohon penting untuk memperhatikan bentuk pertumbuhan pohonnya dan pengukuran diameter pohon dilakukan pada ketinggian DBH (diameter setinggi dada), yaitu sekitar 1,3 m di atas permukaan tanah yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 7 Penentuan Titik DBH pada Vegetasi
(Hairiah & Rahayu, 2007)

3. Mencatat nilai keliling pohon atau DBH yang telah diukur dan

catat setiap jenis spesies vegetasi yang telah ditemukan pada area tersebut.

b. Identifikasi Jenis Vegetasi

Parameter yang diamati meliputi jumlah dan jenis setiap vegetasi, diameter batang setinggi dada (DBH), tinggi tanaman bawah dan semai, serta tingkat dominansi. Menurut Sugianto (1994) untuk mengetahui Indeks Nilai Penting (INP) dapat dilihat rumus untuk masing-masing parameter tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kerapatan

Kerapatan masing-masing spesies pada setiap plot/petak dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Kerapatan Mutlak (KM)

$$KM = \frac{\text{Jumlah suatu spesies}}{\text{Luas petak contoh}}$$

Kerapatan Relatif (KR)

$$KR = \frac{\text{Kerapatan mutlak suatu spesies}}{\text{Jumlah kerapatan seluruh spesies}} \times 100\%$$

2. Frekuensi

Frekuensi pada spesies dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

Frekuensi mutlak (FM)

$$FM = \frac{\text{Jumlah petak contoh yang diduduki spesies 1}}{\text{Jumlah banyaknya petak contoh}}$$

Frekuensi Relatif (FR)

$$FR = \frac{\text{Frekuensi mutlak 1}}{\text{Jumlah frekuensi seluruh spesies}} \times 100\%$$

3. Dominansi

Dominansi pada jenis spesies dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

Dominansi Mutlak (DM)

$$DM = \frac{\text{Dimonansi mutlak spesies 1}}{\text{Jumlah total luas petak contoh}}$$

Dominansi Relatif (DR)

$$DR = \frac{\text{Dominansi mutlak spesies 1}}{\text{Jumlah dominansi seluruh spesies}} \times 100\%$$

4. Indeks Nilai Penting (INP)

Indek Nilai Penting ini menunjukkan jenis yang mendominasi di lokasi penelitian, untuk menghitung Indek Nilai Penting menggunakan rumus berikut:

$$INP = KR (\%) + FR (\%) + DR (\%)$$

5. Indeks Keanekaragaman

Indeks keanekaragaman pohon menurut Shannon (1948) dapat dihitung menggunakan rumus Shannon-Wiener, yaitu:

$$H' = - \sum P_i \times \ln p_i$$

Keterangan:

H' : indeks Shannon Wiener

p_i : Kelimpahan relatif

n_i :Jumlah spesies i,

N : jumlah total individu

Ln : Logaritma natural

3.3 Analisis Data

Analisis data karbon tanah dan vegetasi merupakan tahapan penting dalam mengukur besarnya simpanan karbon dalam suatu ekosistem terutama di kawasan pesisir. Melalui identifikasi jumlah karbon dari masing-masing komponen, total simpanan karbon per satuan luas dapat dihitung secara tepat, sehingga memberikan gambaran menyeluruh terhadap kondisi ekosistem. Perhitungan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

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

3.3.1 Perhitungan Stok Karbon Tanah

Adapun perhitungan yang digunakan dalam menganalisis data sebagai berikut (Howard et al.,2014 dalam Verisandria dkk, 2018):

$$Soil\ C\ Density = \% C\ Org \times BD$$

Keterangan:

Soil C Density : Densitas Karbon (g/cm²)

BD : Densitas tanah (cm)

% C Organik : Nilai persentase kandungan karbon tanah

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

Keterangan:

Soil C : Estimasi simpanan karbon (Mg/ha⁻¹)

BD : Densitas tanah (cm)

SDI : Interval kedalaman sampel (cm)

3.3.2 Perhitungan Stok Karbon Vegetasi

Perhitungan stok karbon vegetasi dilakukan untuk mengetahui jumlah karbon yang tersimpan dalam biomassa tumbuhan, baik di atas permukaan tanah maupun di bawah permukaan tanah. Pengukuran diameter pohon dilakukan dengan metode *diameter breast height* (DBH), yaitu sekitar 1,3 meter dari permukaan tanah, menggunakan alat ukur berupa meteran jahit.

a. Perhitungan Biomassa Vegetasi

1. Vegetasi Pohon Berkayu (Pohon) menggunakan persamaan alometrik (Ketterings, 2001):

$$Y = 0,11 \times \rho \times D^{2,62}$$

Keterangan:

Y : Biomassa (kg)

ρ : Berat jenis kayu (kg/m³)

D : Diameter (cm)

Perhitungan akar dengan menggunakan persamaan alometrik (Ketterings, 2001):

$$\text{BGB} = \text{AGB} \times \text{R}$$

Keterangan:

BGB : Biomassa bawah tanah/akar (kg)

AGB : Biomassa atas tanah (kg)

R : Rasio akar terhadap batang (0,24)

Setelah didapatkan biomassa per jenis vegetasi pada pohon kemudian rumus SNI 7724 tahun 2019 untuk mengonversi biomassa menjadi karbon organik yang terkandung pada vegetasi, berikut adalah

rumus yang digunakan:

$$C_v = B_{ov} \times \%C \text{ Organik}$$

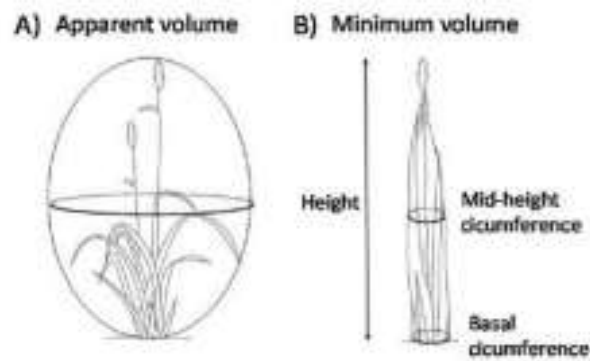
Keterangan:

C_v : Kandungan karbon dari biomassa (kg)

B_{ov} : Total biomassa vegetasi (kg)

$\%C \text{ Organik}$: Nilai persentase kandungan karbon (0,47)

2. Vegetasi Tumbuhan bawah dan Semai menggunakan persamaan alometrik (Pottier & Jabot, 2017):



Gambar 3. 8 Metode Pengukuran diameter berdasarkan hibitus

$$B = 0,11 \times H/6(A_{\text{basal}} + 2A_{\text{half}} + \sqrt{A_{\text{basal}}A_{\text{half}}})$$

Keterangan:

B : Biomassa/bahan organik tumbuhan bawah (kg)

H : Tinggi tanaman (m)

A_{basal} : Keliling bawah (m)

A_{half} : Keliling setengah tinggi (m)

Setelah didapatkan biomassa pada jenis vegetasi tumbuhan herba dan semai kemudian rumus SNI 7724 tahun 2019 untuk mengonversi biomasa menjadi karbon organik yang terkandung pada vegetasi, berikut adalah rumus yang digunakan:

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

Keterangan:

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

B : Total biomassa vegetasi (kg)

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

b. Perhitungan cadangan karbon mengacu pada SNI 7724 tahun 2019

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

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 (m²)

Pengukuran simpanan karbon dengan metode transek garis (*line transect*) merupakan pendekatan sistematis yang digunakan untuk mengestimasi jumlah karbon yang tersimpan dalam suatu ekosistem, khususnya pada vegetasi dan tanah. Metode ini melibatkan penempatan garis lurus (transek) dengan panjang dan orientasi tertentu melintasi area studi, yang kemudian digunakan sebagai dasar pengambilan data pada titik-titik atau plot sampling yang tersebar secara teratur di sepanjang garis tersebut.

3.3.3 Perhitungan Total Stok Karbon

a. Perhitungan cadangan karbon total dalam plot menggunakan persamaan dari SNI 7724 tahun 2019, dapat dilihat pada rumus berikut:

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

Keterangan:

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

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

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

b. Perhitungan cadangan karbon total dalam stratum menggunakan persamaan dari SNI 7724 tahun 2019, dapat dilihat pada rumus berikut:

$$C_{\text{stratum}} = \left[\frac{\sum C_{\text{plot}}}{n_{\text{plot}}} \right] \times \text{luas stratum}$$

Keterangan:

C_{stratum} : Total cadangan karbon dalam stratum (ton)

C_{plot} : Total kandungan per hektar pada plot dalam stratum

n_{plot} : Jumlah plot dalam stratum

Luas stratum: dinyatakan dalam (ha)

c. Perhitungan cadangan karbon total dalam satu areal menggunakan persamaan dari SNI 7724 tahun 2019, dapat dilihat rumus berikut:

$$C_{\text{total}} = \sum C_{\text{stratum}}$$

Keterangan:

C_{total} : Cadangan karbon dalam satu areal (ton)

C_{stratum} : Total cadangan karbon dalam stratum (ton)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Vegetasi Pesisir

4.1.1 Indeks Nilai Penting (INP)

Indeks Nilai Penting (INP) suatu spesies tumbuhan dalam sebuah komunitas menjadi indikator yang mencerminkan peranannya di dalam komunitas tersebut. Keberadaan suatu spesies tumbuhan pada wilayah pesisir Gunungkidul menandakan kemampuan adaptasi terhadap habitatnya serta tingkat toleransi yang luas terhadap berbagai kondisi lingkungan. Semakin tinggi nilai INP suatu spesies, maka semakin besar pula dominasinya dalam komunitas, begitu pula sebaliknya. Dominasi suatu spesies dalam komunitas terjadi apabila spesies tersebut mampu memanfaatkan sebagian besar sumber daya yang tersedia dibandingkan dengan spesies lainnya (Hidayat, 2017). Dapat dilihat indeks nilai penting vegetasi pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Indeks Nilai Penting Tertinggi

Jenis Vegetasi	Nama Vegetasi	KR (%)	FR (%)	DR (%)	INP (%)
Pohon	Waru Laut	17,6	23	18	59
Tumbuhan Herba	<i>Rottboellia cochinchinensis</i>	21,2	6	3	30
Semai	Singkong	69,5	38	25	132

Kerapatan adalah banyaknya individu dari suatu jenis yang terdapat dalam setiap satuan luas atau satuan volume. Dari data analisis diketahui bahwa kerapatan spesies pohon yang tergolong tinggi adalah waru laut dengan nilai 17,6% termasuk pada kategori rendah, kerapatan spesies tumbuhan herba yang tergolong tinggi adalah *Rottboellia cochinchinensis* dengan nilai 21,2% yang termasuk pada kategori sedang, serta kerapatan spesies semai yang tergolong tinggi adalah singkong dengan nilai 69,5% dan termasuk pada kategori tinggi. Kategori rendah ditetapkan pada nilai 12–50%, kategori sedang pada nilai 51–100%, sedangkan kategori baik berada pada nilai lebih dari 201% (Fandeli, 1992).

Frekuensi merupakan banyaknya keberadaan suatu spesies pada plot sampling yang ditemukannya suatu spesies dari jumlah seluruh plot sampling yang diamati secara keseluruhan. Dari data analisis diketahui bahwa frekuensi spesies pohon yang tergolong tinggi adalah waru laut dengan nilai 23% termasuk pada kategori rendah, spesies tumbuhan herba yang tergolong tinggi adalah *Rottboellia cochinchinensis* dengan nilai 6% termasuk pada kategori sangat rendah, serta spesies semai yang tergolong tinggi adalah singkong dengan nilai 38% termasuk pada kategori sedang. Penggolongan frekuensi dibagi menjadi lima kelas, yaitu kelas A (1–20%) sangat rendah, kelas B (21–40%) rendah, kelas C (41–60%) sedang, kelas D (61–80%) tinggi, dan kelas E (81–100%) sangat tinggi (Indriyanto, 2006).

Dominansi vegetasi pada setiap tingkat pertumbuhan menunjukkan variasi yang cukup jelas, dimana pada strata pohon didominasi oleh Waru Laut, pada tingkat tumbuhan herba oleh *Rottboellia cochinchinensis*, sedangkan pada tingkat semai oleh Singkong. Jenis vegetasi yang mendominasi umumnya memiliki kisaran toleransi lingkungan yang lebih luas dibandingkan jenis lainnya, sehingga kemampuan adaptasi tersebut memungkinkan penyebaran yang lebih luas di berbagai kondisi lingkungan (Junaedi, 2024).

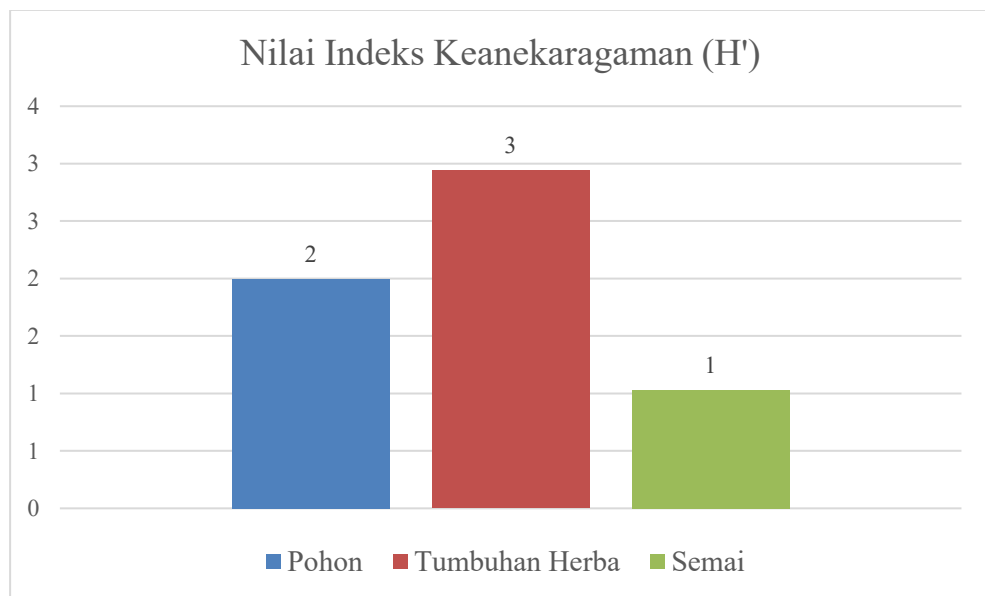
Indeks Nilai Penting (INP) digunakan untuk menggambarkan peran suatu jenis tumbuhan dalam komunitas. Berdasarkan indeks nilai penting yang tinggi menunjukkan bahwa spesies tersebut memiliki pengaruh besar terhadap komunitas tumbuhan. Dari data analisis diketahui bahwa indeks nilai penting spesies pohon yang tergolong tinggi adalah waru laut dengan nilai 59% termasuk pada kategori rendah, indeks nilai penting spesies tumbuhan herba yang tergolong tinggi adalah *Rottboellia cochinchinensis* dengan nilai 30% yang termasuk pada kategori sedang, serta indeks nilai penting spesies semai yang tergolong tinggi adalah singkong dengan nilai 132% dan termasuk pada kategori tinggi. Dengan kategori tinggi sebesar >42,66%, sedang dengan nilai 21,96-42,66%, dan kategori rendah itu <21,96% (Fakhrul, 2007).

4.1.2. Indeks Keanekaragaman

Keanekaragaman jenis tumbuhan merupakan salah satu indikator penting dalam menilai stabilitas dan kualitas suatu ekosistem. Salah satu metode yang sering digunakan untuk menilai keanekaragaman komunitas adalah indeks Shannon-Wiener (H'). Keanekaragaman jenis vegetasi ditentukan oleh jumlah individu pada setiap jenis. Apabila jumlah individu pada setiap jenis relatif sedikit, maka tingkat keanekaragaman akan semakin tinggi. Indeks Keanekaragaman dengan nilai <1 menunjukkan keanekaragaman rendah, nilai $1-3$ menunjukkan keanekaragaman sedang, dan nilai >3 menandakan keanekaragaman tinggi (Arista dkk, 2018). Dapat dilihat indeks keanekaragaman vegetasi pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Indeks Keanekaragaman Vegetasi

Jenis Vegetasi	Jumlah Individu	Nilai Indeks Keanekaragaman (H')	Kategori
Pohon	119	2	Sedang
Tumbuhan Herba	1841	3	Sedang
Semai	187	1	Rendah



Gambar 4. 1 Perbandingan Indeks Keanekaragaman Vegetasi

Berdasarkan hasil identifikasi dapat dilihat dari Gambar 4.1 tingkat pohon dengan 119 individu memiliki nilai H' sebesar 2 yang termasuk kategori sedang, pada tingkat tumbuhan herba, jumlah individu mencapai

1.841 dengan nilai H' sebesar 3 yang tergolong sedang. Kondisi ini menunjukkan variasi jenis yang melimpah serta distribusi individu yang relatif merata. Tingkat keanekaragaman pohon dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti kelembaban, pH, dan intensitas cahaya, yang membentuk pola kehidupan serta kompetisi antar tumbuhan dalam menguasai ruang tumbuh (Setiayu dkk., 2020). Komposisi dan struktur vegetasi pada suatu lokasi merupakan hasil interaksi berbagai faktor, termasuk flora, kondisi habitat (iklim, tanah, dan lain-lain), waktu, serta peluang. Oleh karena itu, vegetasi tidak hanya mencerminkan kondisi lingkungan saat ini, tetapi juga dapat menjadi indikator sejarah perkembangan suatu habitat (Arista dkk, 2018).

Nilai indeks keanekaragaman yang rendah menunjukkan bahwa lokasi penelitian memiliki kondisi yang relatif homogen. Sebaliknya, semakin heterogen dan kompleks suatu lingkungan secara fisik, maka tingkat keanekaragaman jenis akan cenderung lebih tinggi. Faktor biotik maupun abiotik juga berperan dalam menentukan variasi spesies, di mana keanekaragaman sering berkorelasi erat dengan kandungan bahan organik tanah. Rendahnya nilai indeks keanekaragaman pada lokasi ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh kondisi lingkungan abiotik (Nurrohman dkk., 2018). Berkurangnya jenis tumbuhan akibat kondisi tanah yang lebih kering dan tekanan aktivitas manusia membuat hanya sedikit spesies yang mampu bertahan, sehingga dominansi meningkat dan indeks keanekaragaman menurun (Fatikhin & Tamar, 2025).

4.1.3. Biomassa Vegetasi

Biomassa vegetasi merujuk pada seluruh massa kering organisme tumbuhan hidup, hal ini mencakup bagian-bagian tanaman seperti batang, cabang, daun, dan akar, baik yang berada di atas permukaan tanah maupun yang berada di bawah tanah. Biomassa yang dapat dilakukan secara langsung dengan menimbang pohon atau secara tidak langsung menggunakan persamaan alometrik yang memanfaatkan diameter pangkal pohon (DBH) dan tinggi pohon (Ketterings et al., 2001).

Tabel 4. 3 Biomassa Pohon dan Akar

No	Jenis Vegetasi	AGB (Biomassa atas tanah) (Kg C)	BGB (Biomassa bawah tanah/Akar) (Kg C)
1	Pohon Cemara Laut	1,96	0,47
2	Pandan Duri	0,87	0,21
3	Waru Laut	5,58	1,34
4	Penaga Laut	7,98	1,91
5	Maackia amurensis	0,07	0,02
6	Bauhinia pauletia Pers	0,69	0,17
7	Ketapang Biola	0,78	0,19
8	Kelapa	9,65	2,32
9	Kersen	0,41	0,10
10	Ketapang	0,91	0,22

Hasil estimasi biomassa pada pohon dan akar dapat dilihat pada tabel 4.3 menunjukan nilai biomassa suatu pohon tidak hanya dipengaruhi oleh kerapatan pohon, tetapi juga oleh ukuran diameter batangnya. Semakin besar diameter pohon, semakin tinggi pula nilai biomassa yang dihasilkan (Mandari dkk., 2016). Biomassa akar, meski lebih sulit diukur karena berada di bawah tanah, berperan dalam menyerap air, nutrien, dan menstabilkan tanah. Estimasi biomassa akar biasanya dilakukan sebagai persentase dari biomassa di atas tanah, berkisar 20–30% (Cairns et al., 1997).

Tabel 4. 4 Biomassa Tumbuhan Herba

No	Jenis Vegetasi	Karbon vegetasi (Kg C)	No	Jenis Vegetasi	Karbon vegetasi (Kg C)
1	Thuarea Involuta	0,004	18	Dichanthelium clandestinum	0,004
2	Katang-Katang	0,013	19	Verbena urticifolia	0,003
3	Rumput Minjangan	0,004	20	Bhothrichloa ischaemum	0,008
4	Kate Mas	0,020	21	Acalypha rhomboidea	0,003
5	Putri Malu	0,003	22	Chloris virgata	0,004
6	Gletang	0,009	23	Maman Lanang	0,003
7	Rumput Gagak Mesir	0,005	24	Achyranthes aspera L	0,002
8	Ruku-Ruku/Kemangi Suci	0,005	25	Rottboellia cochinchinensis	0,017
9	Watheria Indica	0,012	26	Peltandra virginica	0,020
10	Tahi ayam	0,003	27	Mollugo verticillata	0,0002

No	Jenis Vegetasi	Karbon vegetasi (Kg C)	No	Jenis Vegetasi	Karbon vegetasi (Kg C)
11	Macropitulum Atropurpureum	0,002	28	Sirih Gading Emas	0,009
12	Alocasia Brisbaneensis	0,038	29	Sawi Langit	0,007
13	Jotang Kuda	0,001	30	Ketipes	0,006
14	Bandotan/Wedusan	0,009	31	Hibiscus vitifolius L	0,007
15	Bakung Putih	0,007	32	Leptopetalum biflorum	0,011
16	Rumput Gajah	0,022	33	Jagung	0,015
17	Commelina Diiffusa	0,001	34	Rumput Keranjang	0,009
			35	Talas	0,025

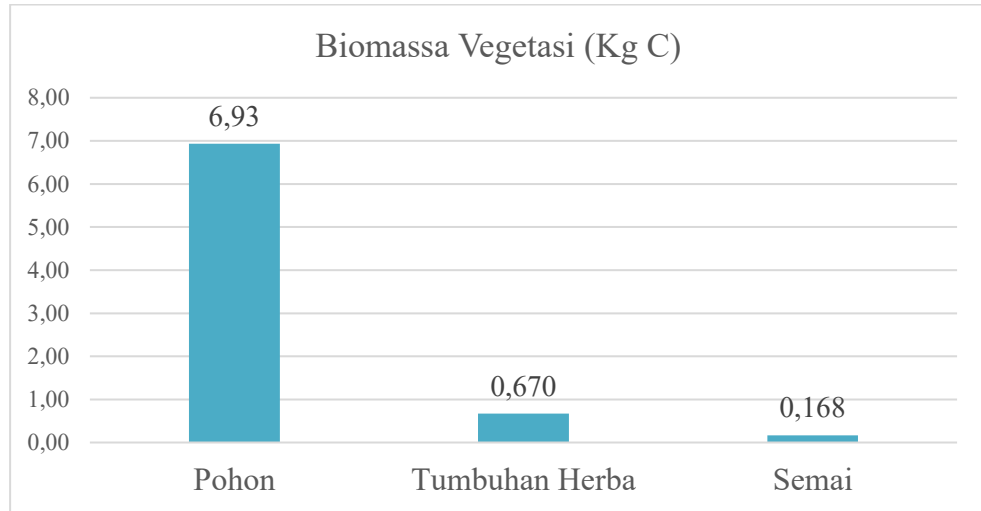
Pada tabel 4.4 dilakukan dengan menggunakan metode non-destruktif untuk estimasi biomassa individu tumbuhan herba menggunakan persamaan alometrik berbasis volume minimum tanaman (Pottier dan Jabot, 2017). Metode ini memungkinkan pengukuran biomassa tanpa merusak tanaman, dengan menggunakan parameter yang mudah diukur seperti volume minimum tanaman. Hal ini sangat berguna dalam studi ekosistem, terutama untuk vegetasi yang sulit diakses atau dilindungi. Dengan demikian, estimasi biomassa dapat dilakukan dengan mengukur volume minimum tanaman tanpa perlu menebang atau merusak tanaman tersebut. Metode ini telah diuji di berbagai lingkungan dan menunjukkan hasil yang konsisten, menjadikannya alat yang berguna untuk penelitian ekosistem secara luas.

Tabel 4. 5 Biomassa Semai

No	Jenis Vegetasi	Karbon vegetasi (Kg C)
1	Lamtoro	0,019
2	Singkong	0,006
3	Pisang	0,027
4	Beckmannia syzigachne	0,012
5	Pepaya	0,014

Dari data tabel 4.5 menggunakan pendekatan serupa yang diterapkan pada tumbuhan semai (*seedling*), di mana volume minimum semai diukur untuk memperoleh estimasi biomassa tanpa merusak individu tanaman. Metode ini terbukti efektif untuk memantau pertumbuhan herba maupun semai di berbagai kondisi lingkungan. Perhitungan biomassa pada vegetasi

dalam mengestimasi cadangan karbon di suatu ekosistem mengacu pada alometrik dan Standar Nasional Indonesia (SNI 7724:2019). Dapat dilihat grafik perbandingan biomassa pada setiap jenis vegetasi pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan Biomassa Vegetasi

Dari grafik pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa biomassa vegetasi berbanding lurus dengan ukuran dan umur tanaman. Pohon dewasa menyimpan karbon paling banyak, diikuti oleh herba, dan semai yang masih muda. Data ini menunjukkan pentingnya pohon dalam penyimpanan karbon di ekosistem, sementara herba dan semai berkontribusi lebih kecil namun tetap penting untuk siklus karbon dan regenerasi vegetasi.

Keragaman jenis yang dipengaruhi oleh kerapatan tegakan diduga berperan terhadap produksi biomassa tumbuhan bawah. Tingkat kerapatan tegakan menentukan jumlah cahaya matahari yang mencapai lantai hutan; semakin rapat tegakan, semakin sedikit cahaya yang menembus karena terhalang tajuk, sehingga pertumbuhan tumbuhan bawah menjadi terhambat (Aulia dkk., 2020). Tinggi rendahnya biomassa dan karbon pada tingkat pohon dipengaruhi oleh kondisi tempat tumbuh dan diameter batang sebagai faktor utama penentu (Tuah dkk., 2017). Biomassa dan karbon tingkat tiang tercatat paling tinggi pada pohon. Secara umum biomassa pohon lebih besar dibandingkan dengan tingkat tumbuhan herba dan semai, sedangkan biomassa pohon menunjukkan nilai yang relatif lebih tinggi daripada strata lainnya.

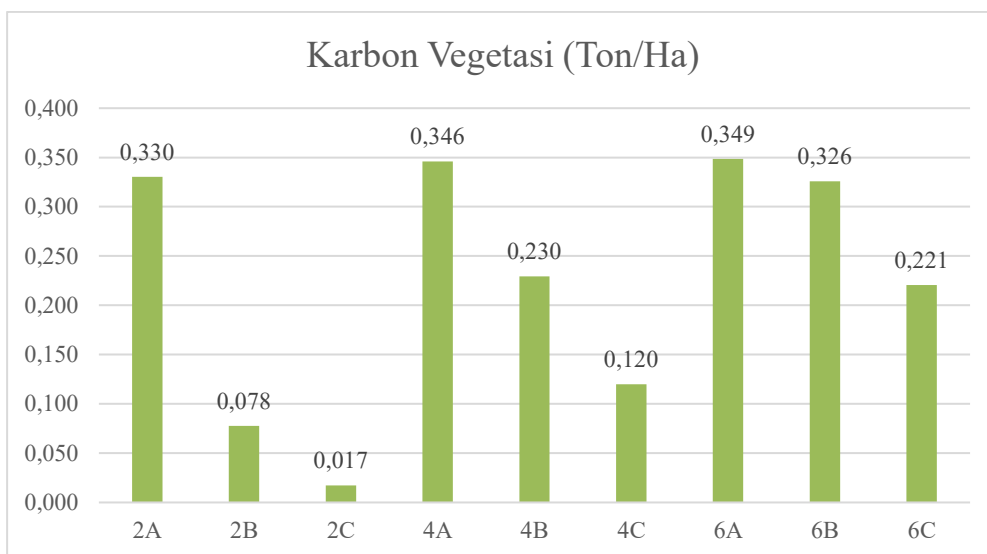
Estimasi biomassa diperlukan untuk memantau perubahan cadangan karbon, estimasi biomassa di atas permukaan tanah berperan penting dalam menilai simpanan karbon serta dampak deforestasi terhadap keseimbangan karbon global. Pada setiap tahun karbon berpindah dari atmosfer ke ekosistem muda, seperti hutan tanaman atau hutan sekunder yang tumbuh setelah penebangan, kebakaran, maupun gangguan lainnya. Sehingga kemampuan ekosistem menyimpan karbon sangat dipengaruhi oleh pengelolaannya, termasuk upaya mengatasi potensi gangguan. Selain itu, kapasitas ekosistem dalam menyerap karbon ditentukan oleh tipe dan kondisi ekosistem, meliputi komposisi spesies, struktur vegetasi, serta distribusi umur pohon pada hutan (Purwitasari, 2011).

4.2 Stok Karbon yang Tersimpan

Sebagai salah satu komponen ekosistem, vegetasi memiliki peran dan fungsi penting, terutama dalam menjaga kestabilan iklim global. Dalam konteks tersebut, hutan atau vegetasi dapat berperan ganda, yakni sebagai sumber emisi karbon (*source*) sekaligus sebagai penyerap dan penyimpan karbon (*sink*) (Aswanda dkk, 2023). Karbon yang hilang dapat dikendalikan melalui penerapan sistem pengelolaan lahan yang mampu meningkatkan penyerapan karbon (*carbon sequestration*) (Zakiah dkk., 2018).

4.2.1 Karbon Vegetasi

Vegetasi berperan penting dalam siklus karbon global melalui fotosintesis, yakni penyerapan CO₂ dari atmosfer yang diubah menjadi bahan organik dan disimpan pada daun, batang, cabang, serta akar (Novitasari, 2022). Proses akumulasi biomassa ini menjadikan vegetasi sebagai penyimpan karbon jangka menengah hingga panjang, dengan peran berbeda pada setiap fase pertumbuhan pancang sebagai regenerasi awal, tiang pada fase pertumbuhan menengah, dan pohon dewasa sebagai penyumbang biomassa terbesar. Hasil karbon vegetasi keseluruhan yang tersebar pada setiap titik yang dapat dilihat Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Karbon Vegetasi Pada Setiap Titik

Pada perhitungan kandungan karbon, estimasi tidak dilakukan secara langsung dari massa tanaman keseluruhan, melainkan melalui konversi dari nilai biomassa kering, hal ini disebabkan karena tidak seluruh bagian biomassa tersusun dari unsur karbon. Oleh karena itu, digunakan faktor konversi untuk menentukan proporsi karbon yang terkandung dalam total biomassa tersebut. Berdasarkan SNI 7724:2019, nilai konversi yang digunakan adalah 0,47 yang berarti sekitar 47% dari biomassa kering tanaman dianggap sebagai kandungan karbon. Penyerapan karbon oleh vegetasi dan akar tumbuhan juga sangat bergantung pada jenis tanaman, umur tumbuhan, kepadatan populasi, dan kondisi lingkungan, faktor-faktor ini menentukan seberapa besar kemampuan suatu vegetasi dalam berkontribusi terhadap total simpanan karbon di suatu ekosistem.

Di dekat garis pantai pada vegetasi pesisir umumnya memiliki struktur tegakan yang rapat, biomassa besar, dan sistem akar yang kompleks. Kondisi lingkungan dengan pasokan nutrisi dari pasang surut serta sedimen yang kaya bahan organik mendukung pertumbuhan vegetasi sehingga akumulasi karbon dalam biomassa relatif tinggi (Paena dkk., 2017). Namun, semakin menjauh ke arah daratan, kerapatan dan keragaman vegetasi cenderung menurun. Hal ini dipengaruhi oleh berkurangnya suplai nutrisi dari laut, menurunnya kelembapan tanah, serta meningkatnya tekanan antropogenik seperti pembukaan lahan dan aktivitas pertanian. Vegetasi di daratan umumnya lebih

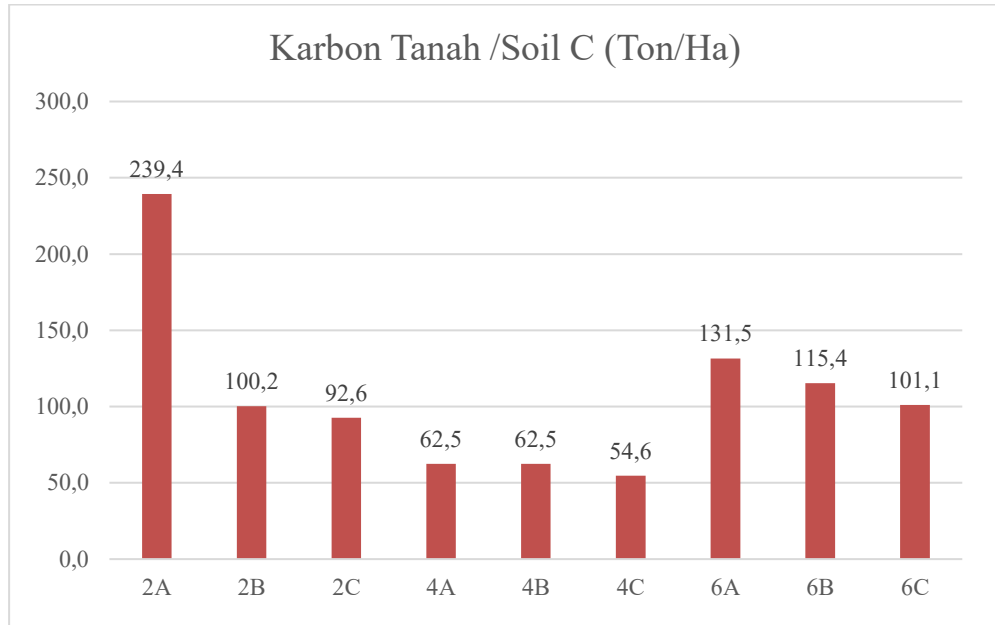
jarang, ukuran pohon lebih kecil, dan produktivitas biomassa lebih rendah, sehingga kemampuan menyimpan karbon juga berkurang (Endriani & Sunarti, 2019).

Pada ekosistem pesisir dengan kondisi lahan kering dan berpasir salah satunya, pengelolaan umumnya dilakukan melalui penanaman hutan cemara laut (*Casuarina equisetifolia*). Jenis ini dikenal sebagai vegetasi adaptif karena mampu tumbuh baik pada tapak marginal yang miskin unsur hara, serta memiliki toleransi tinggi terhadap salinitas dan kekeringan yang sering menjadi kendala utama di kawasan pesisir. Sistem perakarannya yang dalam tidak hanya membantu tanaman memperoleh air di lapisan tanah lebih bawah, tetapi juga berperan dalam menjaga stabilitas tanah dan mencegah erosi pantai. Selain itu, pertumbuhannya yang relatif cepat memungkinkan cemara laut menyerap dan mengakumulasi karbon dalam jumlah besar. Selain itu, cemara laut merupakan jenis pionir yang kerap digunakan dalam rehabilitasi kawasan pantai. Fungsinya sangat penting, antara lain meningkatkan kelembaban tanah, berperan sebagai pemecah angin (*wind break*), menurunkan kadar garam udara serta meningkatkan kesuburan tanah. Dengan pertumbuhan yang relatif cepat, cemara laut juga mampu menyerap dan mengakumulasi karbon dalam jumlah besar, sehingga tidak hanya berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim, tetapi juga memperkuat fungsi ekologis kawasan pesisir (Budiadi, 2020).

4.2.2 Karbon Tanah

Karakteristik tanah yang berhubungan dengan cadangan karbon diantaranya adalah pH, C-organik, bahan organik (BO). Hubungan ini dapat diamati melalui nilai korelasi dan signifikansi. pH tanah berpengaruh terhadap karbon tersimpan secara tidak langsung, karena variasi pH memengaruhi ketersediaan unsur hara yang menentukan proses fisiologis tumbuhan, termasuk fotosintesis sebagai mekanisme utama penyerapan karbon. Dengan demikian, pH pada kisaran tertentu mampu mendukung ketersediaan unsur hara dan meningkatkan simpanan karbon vegetasi. C-organik dan bahan organik juga berperan penting karena merupakan salah satu tempat utama penyimpanan karbon adalah bahan organik. Namun, jumlah karbon yang tersimpan di dalamnya relatif kecil dibandingkan total karbon hutan, karena

bahan organik masih berada pada tahap pelapukan aktif dan terus berubah akibat aktivitas mikroorganisme, sehingga sifatnya tidak stabil. Dapat dilihat karbon tanah yang tersimpan di setiap titik sampel pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Karbon Tanah Pada Setiap Titik

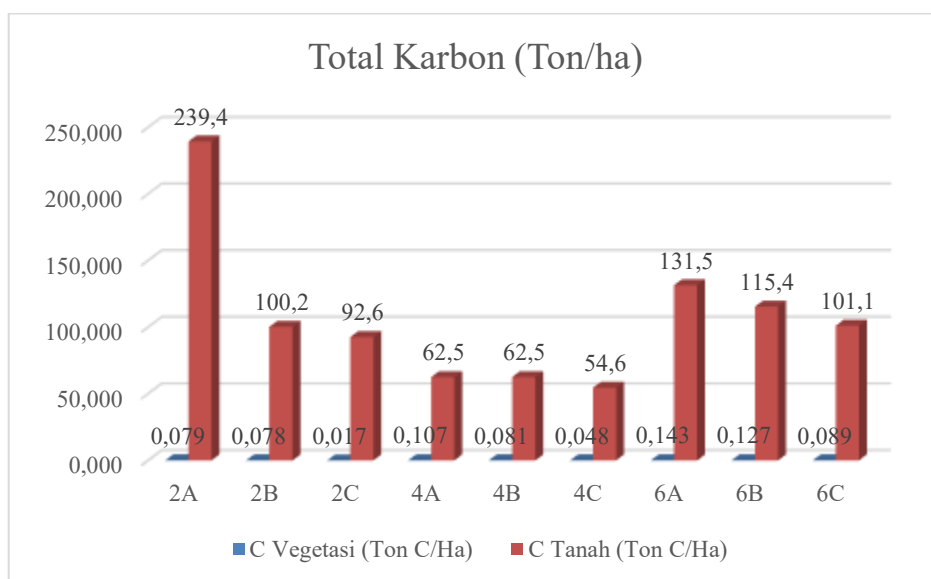
Berdasarkan grafik transek garis pada titik 2, 4, dan 6 menunjukkan pola penurunan kandungan karbon organik dari arah garis pantai menuju daratan. Semakin jauh dari garis pantai, kandungan karbon organik tanah cenderung menurun. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya proses sedimentasi yang membawa bahan organik ke dalam tanah, serta perubahan jenis dan kerapatan vegetasi yang memengaruhi akumulasi karbon. Selain itu, kondisi tanah di daratan yang lebih kering dan terbuka mempercepat proses dekomposisi bahan organik, sehingga karbon lebih mudah terlepas ke atmosfer (Putri dkk, 2024). Kombinasi dari faktor-faktor ini menyebabkan tanah di wilayah daratan menyimpan karbon dalam jumlah yang lebih rendah dibandingkan area pesisir yang lebih basah dan kaya bahan organik.

Di kawasan pesisir dekat garis pantai, kondisi tanah cenderung lembap, jenuh air, dan kaya bahan organik yang terakumulasi dari serasah vegetasi serta endapan sedimen halus akibat pasang surut. Lingkungan yang jenuh air ini bersifat anaerob, sehingga proses dekomposisi bahan organik berlangsung lebih lambat dan memungkinkan karbon tetap tersimpan lebih lama dalam

tanah. Namun, semakin jauh dari pantai menuju daratan, kelembapan tanah biasanya berkurang dan kondisi tanah menjadi lebih aerob. Hal ini mempercepat proses dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme, sehingga karbon lebih cepat terlepas sebagai CO₂ ke atmosfer. Selain itu, di daratan biasanya terdapat tekanan aktivitas manusia lebih tinggi yang ikut menurunkan akumulasi karbon tanah. Lapisan tanah bagian dalam pada ekosistem vegetasi mengandung bahan organik yang tinggi akibat terbatasnya proses dekomposisi secara aerobik, sehingga sebagian besar cadangan karbon (C) di vegetasi tersimpan di bawah permukaan tanah (Budiadi, 2020).

4.3 Jumlah Stok Karbon yang Tersimpan

Perbedaan kandungan karbon organik secara vertikal dipengaruhi oleh proses dekomposisi dan akumulasi melalui sedimentasi. Selama dekomposisi, bahan organik diuraikan menjadi unsur hara dengan bantuan bakteri yang memerlukan oksigen. Ketersediaan oksigen yang terbatas dalam sedimen dapat menghambat aktivitas bakteri, sehingga proses penguraian melambat. Seiring bertambahnya kedalaman, kadar oksigen semakin berkurang dan menyebabkan kandungan karbon organik di lapisan bawah menjadi lebih rendah (Rusdiana & Lubis, 2012). Berikut ini terdapat perbedaan jumlah kandungan karbon setiap plot yang tersimpan pada tanah di pesisir Gunungkidul dengan metode transek garis yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 5 Grafik Total Karbon Pada Setiap Titik

Hasil total karbon per plot (Cplot) dari sembilan titik pengamatan menunjukkan variasi yang terlihat antar lokasi sesuai kondisi ekosistem. Nilai tertinggi terdapat pada titik 2A sebesar 239,4 ton/ha, terutama dari kandungan karbon tanah yang tinggi, menandakan kondisi vegetasi dan tanah yang sangat mendukung penyimpanan karbon. Pada titik 2B dan 2C nilainya menurun menjadi 100,3 ton/ha dan 92,6 ton/ha, seiring semakin jauhnya lokasi dari garis pantai. Pola penurunan ini mencerminkan kecenderungan bahwa semakin jauh dari garis pantai, potensi simpanan karbon cenderung menurun, baik dari vegetasi maupun tanah. Hal ini mungkin disebabkan oleh menurunnya kelembapan tanah, berkurangnya tutupan vegetasi, serta meningkatnya pengaruh aktivitas manusia di daratan.

Titik 4A dan 4B masing-masing menyimpan 62,6 ton/ha, sementara 4C terendah dengan 54,7 ton/ha. Nilai-nilai ini menunjukkan karakteristik pada titik 4 yang kurang mendukung akumulasi karbon. Lahan di lokasi ini memiliki kemiringan yang cukup curam, sehingga menyulitkan pertumbuhan vegetasi secara optimal dan meningkatkan risiko erosi. Selain itu, tutupan vegetasi di area ini terbilang minim dengan hanya sedikit jenis tumbuhan berkayu yang tersebar tidak merata. Kombinasi antara topografi yang ekstrem dan keterbatasan vegetasi ini turut memengaruhi rendahnya simpanan karbon, baik dari sisi biomassa vegetasi maupun kandungan karbon organik tanah.

Sebaliknya, titik 6A, 6B, dan 6C memiliki simpanan lebih tinggi yaitu 131,6 ton/ha, 115,5 ton/ha, dan 101,2 ton/ha. Kondisi topografi yang datar, minim erosi, serta akses cahaya dan kelembapan yang merata mendukung akumulasi karbon dari vegetasi maupun tanah. Pada titik 6 memiliki medan yang datar cenderung lebih stabil dan minim erosi, sehingga memungkinkan tanah menyimpan lebih banyak bahan organik. Akses yang terbuka juga mendukung pertumbuhan vegetasi secara optimal karena cahaya dan kelembapan dapat tersebar merata. Dengan demikian kombinasi dari kondisi lingkungan yang mendukung dan vegetasi yang sehat akan meningkatkan kemampuan suatu wilayah dalam menyimpan karbon baik dari sisi vegetasi maupun tanah. Dapat dilihat pada tabel 4.6 jumlah vegetasi dan karbon yang tersimpan pada setiap plot.

Tabel 4. 6 Jumlah Vegetasi dan Karbon yang Tersimpan Setiap Plot

Titik 2A		Titik 2B		Titik 2C	
Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)
59	3,179	458	3,105	129	0,689

Titik 4A		Titik 4B		Titik 4C	
Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)
141	4,276	203	3,234	201	1,932

Titik 6A		Titik 6B		Titik 6C	
Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)
380	5,725	255	5,081	226	3,577

Dari keseluruhan data yang diperoleh terlihat bahwa karbon tanah menyumbang porsi terbesar dari total simpanan karbon ekosistem. Hal ini sangat relevan dengan konsep *blue carbon*, di mana sebagian besar cadangan karbon disimpan dalam tanah di wilayah pesisir. Namun, keberadaan vegetasi dan sistem perakaran tidak dapat diabaikan, karena komponen ini berfungsi sebagai penangkap karbon aktif melalui fotosintesis serta penyumbang bahan organik ke dalam tanah. Titik-titik dengan nilai karbon vegetasi tinggi cenderung mendukung akumulasi karbon tanah yang lebih besar, karena vegetasi yang sehat berperan dalam mempertahankan kondisi tanah yang stabil dan kaya organik. Total karbon dalam suatu stratum dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Cadangan Karbon dalam suatu Stratum

Total Karbon (Ton C/Ha) (Cplot)	Jumlah Plot Garis	Luas Stratum (Ha)	Karbon Total (Ton)
960,661	9	0,36	38,43

Berdasarkan hasil analisis data pada salah satu stratum, diperoleh bahwa nilai rata-rata total karbon yang tersimpan adalah sebesar 960,661 ton karbon per hektar. Total karbon ini mencakup seluruh komponen penyimpanan karbon yang meliputi karbon biomassa di atas permukaan tanah (pohon, tumbuhan herba, dan semai), biomassa bawah tanah (akar), serta karbon organik tanah yang dimana pada

pengumpulan data dilakukan pada 9 plot garis yang tersebar di dalam stratum, jumlah plot ini cukup untuk memberikan gambaran yang representatif terhadap kondisi aktual di lokasi tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan dari seluruh plot tersebut, diketahui bahwa luas stratum yang diamati adalah 0,36 hektar. Dengan mengalikan rata-rata karbon per hektar dengan luas stratum, diperoleh nilai total karbon sebesar 38,43 C/ton.

Nilai simpanan karbon pada penelitian di pesisir Gunungkidul dengan menghitung total karbon dari simpanan vegetasi pesisir dan tanah sebesar 38,43 C/ton. Nilai ini lebih kecil dibandingkan oleh hasil penelitian pada *mangrove* yang menunjukkan bahwa total simpanan karbon pada kawasan hutan *mangrove* Bandar Bakau Dumai adalah sekitar 57,91 ton karbon per hektar (ton C/ha) (Mandari dkk., 2016). Perbedaan ini disebabkan *mangrove* memiliki batang besar dan padat, akar yang luas, tutupan vegetasi rapat, serta biomassa yang lebih stabil terhadap erosi dan pasang surut (Novitasari, 2022), sehingga kontribusinya terhadap *blue carbon* lebih tinggi dibanding vegetasi pesisir yang umumnya memiliki batang kecil, akar dangkal, dan tutupan lebih tipis (Elsani dkk., 2023).

Pada nilai total simpanan karbon pesisir Gunungkidul tersebut lebih kecil dibandingkan dengan ekosistem di kawasan Pantai Sanur, Kota Denpasar, total simpanan karbon padang lamun diperkirakan sekitar 66,60 C/ton (Graha dkk., 2016). Hal ini disebabkan oleh tutupan lamun yang lebih rapat, biomassa bagian bawah substrat (akar dan rhizoma) yang lebih besar, serta kondisi ekologis yang mendukung akumulasi karbon lebih tinggi serta kemampuan lamun dalam menangkap bahan organik tersuspensi, yang meningkat seiring kerapatan tunasnya, memperkuat perannya sebagai penyimpan karbon (Istiqomah, 2023), sehingga ekosistem padang lamun di Sanur memiliki kontribusi *blue carbon* yang lebih besar dibandingkan vegetasi pesisir Gunungkidul.

Hasil penelitian di pesisir Gunungkidul menunjukkan bahwa total simpanan karbon vegetasi pesisir dan tanah mencapai 38,43 C/ton dan dapat dikatakan lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian pada rawa asin pasang surut di Pulau Bintan dengan menekankan peran *mangrove* dalam penyimpanan karbon organik di sedimen. Di Desa Kawal yang didominasi oleh *Rhizophora apiculata*, simpanan karbon sedimen tercatat 13,90 ton C/ha, sedangkan di Desa Lagoi, dengan dominasi

Ceriops tagal, simpanan karbonnya 7,64 ton C/ha (Zakiah dkk., 2018). Perbedaan ini dipengaruhi oleh karakteristik sedimen dan pola pasang surut seperti sedimen halus dengan arus lebih tenang cenderung menahan lebih banyak bahan organik, sehingga meningkatkan kapasitas simpanan karbon pada rawa asin tersebut (Fadhil, 2024). Periode pasang surut merujuk pada selang waktu dari puncak air pasang tinggi satu ke puncak air pasang tinggi berikutnya, atau dari kondisi air surut satu ke kondisi air surut berikutnya. Lamanya periode pasang surut dapat berbeda-beda antara satu lokasi dengan lokasi lainnya, dan variasi ini dikenal sebagai tipe pasang surut (Zakiah dkk., 2018).

4.4 Kontribusi *Blue Carbon* sebagai upaya Mitigasi Perubahan Iklim

Perubahan iklim merupakan tantangan global yang disebabkan oleh peningkatan emisi gas rumah kaca terutama karbon dioksida (CO₂) ke atmosfer. Salah satu pendekatan efektif yang saat ini banyak dikembangkan adalah solusi berbasis alam, salah satunya melalui pemanfaatan potensi *blue carbon* atau karbon biru. Ekosistem *blue carbon* memiliki peran penting dalam siklus karbon global karena mampu menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar, baik di atas permukaan (biomassa vegetasi) maupun di bawah permukaan (sedimen). Jika dibandingkan dengan cadangan karbon vegetasi, sedimen menyimpan karbon dalam jumlah tertinggi. Sedimen berfungsi sebagai media tumbuh sekaligus tempat akumulasi berbagai komponen, termasuk karbon, dengan kontribusi penyimpanan di ekosistem pesisir yang diperkirakan melebihi 50% (Press, 2023).

Kontribusi *blue carbon* terhadap mitigasi perubahan iklim tidak hanya terbatas pada penyerapan karbon. Ekosistem ini juga berperan dalam meningkatkan ketahanan pesisir terhadap dampak perubahan iklim, seperti kenaikan muka air laut, abrasi, dan badai. Indonesia sendiri telah mulai menjalankan program mitigasi perubahan iklim, salah satunya melalui Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2021 tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan (UU HPP). Sebagai wujud komitmen terhadap Paris Agreement, pemerintah mengatur mekanisme pajak karbon dalam Pasal 13 UU HPP, yang menetapkan pungutan atas emisi karbon karena menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Penerapan UU HPP bertujuan

sebagai langkah strategis Indonesia dalam mendorong transisi menuju ekonomi hijau (Siagian, 2023).

Oleh karena itu, pelestarian ekosistem *blue carbon* merupakan langkah strategis dalam upaya mitigasi perubahan iklim yang tidak hanya berbasis ilmiah tetapi juga membawa manfaat sosial dan ekonomi bagi masyarakat lokal. Dengan pendekatan yang tepat, *blue carbon* dapat menjadi pilar penting dalam pembangunan berkelanjutan dan pengendalian perubahan iklim secara global.

4.5 Keterkaitan Sosial Kebijakan Lingkungan

Berdasarkan observasi lapangan dan wawancara informal dengan masyarakat di wilayah pesisir pantai selatan Gunungkidul, ditemukan adanya dinamika sosial yang mencerminkan ketegangan antara rencana pembangunan oleh pihak swasta dengan kepentingan serta hak-hak masyarakat lokal. Salah satu contohnya terjadi di kawasan pantai yang relatif sepi dan terdapat bangunan besi yang belum dimanfaatkan. Di lokasi ini direncanakan pembangunan villa oleh pihak investor, namun menuai penolakan dari masyarakat sekitar. Penolakan ini disebabkan oleh tidak adanya keterlibatan warga dalam proses perizinan serta ketiadaan kesepakatan bersama antara pihak pengembang dan masyarakat. Kondisi ini menunjukkan lemahnya aspek partisipatif dan transparansi dalam pengambilan keputusan yang berdampak langsung pada kehidupan masyarakat pesisir.

Fenomena ini tidak dapat dipisahkan dari isu perubahan iklim. Masyarakat pesisir merupakan kelompok paling rentan terhadap dampak kenaikan muka air laut, abrasi, maupun perubahan pola cuaca. Jika pembangunan pesisir dilakukan tanpa memperhatikan hak-hak sosial dan kearifan lokal, maka kerentanan iklim masyarakat justru semakin tinggi (Arifin, 2011). Penolakan warga terhadap investor tidak hanya sekadar konflik lahan, tetapi juga bentuk perlindungan atas ruang hidup yang selama ini menjadi bagian dari sistem adaptasi mereka terhadap perubahan iklim. Selain itu, konteks hukum tanah di Daerah Istimewa Yogyakarta memperkuat kompleksitas masalah. Berdasarkan Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 1 Tahun 2017 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah, sebagian besar tanah pesisir adalah Tanah Sultan Ground (SG) atau Pakualaman Ground (PG). Secara formal dimiliki Kraton, tetapi telah dikelola secara turun-temurun oleh

masyarakat. Kondisi ini menimbulkan ketidaksesuaian antara hukum formal dan hak kelola berbasis adat, sehingga berpotensi melahirkan konflik sosial-ekologis (Fauzi, 2010).

Isu sosial ini berkaitan erat dengan perubahan iklim, mengingat masyarakat pesisir merupakan kelompok yang paling rentan terhadap dampak peningkatan suhu, kenaikan muka air laut, dan abrasi pantai (IPCC, 2022). Dalam perspektif pembangunan berkelanjutan dan keadilan iklim, pengambilan kebijakan di wilayah pesisir tidak dapat hanya berlandaskan kepemilikan legal formal. Diperlukan pendekatan partisipatif, transparan, serta pengakuan atas hak kelola masyarakat lokal sebagai aktor utama dalam strategi adaptasi perubahan iklim. Tanpa partisipasi masyarakat dan komunikasi yang terbuka, pembangunan justru berisiko menimbulkan konflik, memperbesar ketimpangan sosial, serta mengabaikan pengetahuan lokal dan hak-hak masyarakat yang pada akhirnya dapat merusak ekosistem. Karena seringkali kebijakan yang diterapkan tidak sesuai dengan kondisi sosial maupun ekologis setempat. Masyarakat pesisir sebenarnya memiliki kearifan lokal dalam menjaga keseimbangan lingkungan, misalnya melalui praktik tradisional dalam menangkap ikan atau mengelola lahan yang sudah teruji secara turun-temurun. Namun, ketika pembangunan dilakukan tanpa memperhatikan pengetahuan lokal tersebut, pola pemanfaatan sumber daya cenderung lebih eksploitatif.

Jika masyarakat yang merasa tersisih dari proses pengambilan keputusan cenderung kehilangan kepedulian untuk menjaga lingkungan, bahkan berbalik mengeksploitasi sumber daya secara berlebihan karena tidak mendapatkan manfaat yang adil. Hilangnya partisipasi ini sekaligus melemahkan kontrol sosial yang biasanya berperan sebagai pengawas alami terhadap aktivitas merusak. Akibatnya, kerusakan ekosistem semakin sulit dikendalikan. Dengan demikian, keterlibatan masyarakat lokal bukan hanya penting dari sisi sosial, tetapi juga krusial untuk memastikan keberlanjutan ekosistem. Jika aspek sosial diabaikan, maka pembangunan justru berpotensi melahirkan degradasi lingkungan yang lebih parah.

4.6 Peran Metode Transek Garis untuk melihat Potensi *Blue Carbon*

Metode transek garis memiliki peran penting dalam penelitian ekosistem

pesisir, khususnya dalam mengidentifikasi potensi *blue carbon*. Melalui pendekatan ini dapat memperoleh gambaran spasial mengenai distribusi vegetasi pesisir serta keterkaitannya dengan karakteristik tanah yang berperan dalam penyimpanan karbon. Penarikan transek garis dari garis pantai menuju daratan dilakukan untuk menangkap pola zonasi vegetasi yang berkembang secara bertahap di wilayah pesisir. Vegetasi pantai umumnya dimulai dari formasi rumput dan perdu pantai, lalu berlanjut ke semak hingga hutan pantai yang lebih rapat. Pola ini mencerminkan perubahan kondisi lingkungan, seperti salinitas, kelembapan tanah, dan pengaruh pasang surut, yang memengaruhi komposisi vegetasi. Berdasarkan Keputusan Presiden No.51 Tahun 2016 tentang batas sempadan pantai ditetapkan dengan lebar paling sedikit 100 meter, diukur dari titik pasang tertinggi menuju arah daratan (Indonesia, 2016).

Pemerintah menetapkan bahwa daerah sempadan pantai yang berfungsi sebagai kawasan lindung harus memiliki batas minimal 100 meter, dihitung mulai dari garis pasang tertinggi air laut hingga ke arah daratan. Aturan ini penting untuk menjaga fungsi ekologis pantai, termasuk perlindungan dari abrasi, habitat vegetasi pesisir, serta peranannya dalam penyimpanan karbon. Vegetasi pantai dan tanah di zona transisi darat dan laut berperan menyerap karbon organik dan menyimpannya dalam biomassa maupun sedimen, sehingga kawasan lindung ini juga berfungsi sebagai penyerap karbon biru (*blue carbon*) maupun karbon terestrial (Kusumaningtyas et al., 2019). Dengan metode ini dapat menilai variasi struktur vegetasi serta distribusi biomassa pada setiap zona. Hal tersebut penting karena simpanan karbon tidak hanya terkonsentrasi di ekosistem perairan, tetapi juga berlanjut ke tanah mineral dan vegetasi daratan yang berada di bawah pengaruh pesisir. Oleh karena itu, transek ke arah daratan memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai potensi penyimpanan karbon pesisir hingga daratan (Howard et al., 2014).

4.7 Rekomendasi Teknis pada Kondisi Pesisir

Berdasarkan hasil penelitian di wilayah pesisir selatan Gunungkidul, potensi simpanan karbon terdiri dari vegetasi daratan pesisir seperti cemara laut (*Casuarina equisetifolia*) serta jenis-jenis rumput pesisir. Vegetasi tersebut terbukti mampu

beradaptasi pada lahan berpasir kering dan memberikan kontribusi signifikan terhadap cadangan karbon, baik melalui biomassa di atas permukaan maupun melalui peningkatan kandungan karbon organik tanah. Temuan ini menegaskan pentingnya pendekatan pengelolaan *blue carbon* di Gunungkidul, memperhatikan vegetasi daratan pesisir yang tumbuh pada tanah. Kawasan karst di Gunungkidul memiliki tanah yang tipis, miskin unsur hara, dan sangat dipengaruhi oleh batuan kapur (Prihatanto dkk., 2022).

Wilayah karst menghadapi berbagai persoalan yang berpotensi menyebabkan karbon yang tersimpan di dalamnya terlepas atau hilang. Salah satu permasalahan umum adalah kerusakan perbukitan karst akibat aktivitas penambangan kapur ilegal, di mana penebangan vegetasi permukaan dilakukan untuk mengambil batu kapur (Kinasih, 2020). Kondisi ini menimbulkan ancaman berupa degradasi keanekaragaman hayati, perubahan bentang alam, berkurangnya ketersediaan air tanah, serta menurunnya kualitas sabuk hijau (Yusuf dkk., 2023). Oleh karena itu, upaya pelestarian kawasan karst melalui langkah-langkah seperti restorasi tanah dan revegetasi menjadi sangat penting dan bertujuan memperbaiki kondisi struktur tanah agar dapat meningkatkan kesuburan dan produktivitasnya (Kinasih, 2020).

Desertifikasi bebatuan karst (*Karst Rocky Desertification*) merupakan tahap akhir degradasi tanah di kawasan karst. Wilayah kering yang kekurangan air untuk pertanian maupun peternakan sering mengalami rendahnya pendapatan usahatani dan tingginya tingkat kemiskinan (Khotimah dkk., 2019). Faktor utama penyebabnya adalah eksploitasi berlebihan dari aktivitas ini dapat mempercepat degradasi lahan, meningkatkan erosi tanah, dan menyebabkan kerusakan lingkungan yang serius, sehingga restorasi tanaman menjadi langkah paling efektif untuk pencegahannya. Penanganan lahan kering karst dapat dilakukan melalui penggunaan bahan pembenah tanah seperti kapur, abu, dan pupuk kandang yang mudah diperoleh serta berkelanjutan (Farandi, 2020).

Arang aktif (*biochar*) dihasilkan melalui proses pembakaran dengan oksigen terbatas, yang dikenal juga sebagai pirolisis. Jenis bahan baku arang aktif memengaruhi luas permukaan, porositas, dan jumlah gugus fungsionalnya. Penggunaan arang aktif sebagai bahan pembenah tanah dapat meningkatkan kandungan karbon tanah karena arang aktif memiliki kandungan karbon tinggi,

sehingga secara langsung meningkatkan bahan organik tanah. Arang aktif diketahui memiliki masa tinggal rata-rata di dalam tanah sekitar 10.000 tahun (Aggangan dkk., 2019). Selain itu, arang aktif memiliki kapasitas menahan air yang tinggi, sehingga penerapannya pada tanah dapat meningkatkan kemampuan tanah menahan air sekaligus meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman (Kinasih, 2020).

Pupuk organik berasal dari tumbuhan mati, kotoran hewan, bagian hewan, atau limbah organik lain yang telah diolah menjadi padat atau cair, dan dapat diperkaya dengan mineral atau mikroba untuk meningkatkan kandungan hara, bahan organik, serta memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologis tanah (Hartatik dkk., 2015). Menurut Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 70/Permentan/SR.140/10/2011 pupuk organik adalah pupuk yang berasal dari tumbuhan mati, kotoran hewan, bagian hewan dan limbah organik lainnya yang telah melalui proses rekayasa, berbentuk padat atau cair, dapat diperkaya dengan bahan mineral dan mikroba yang bermanfaat untuk meningkatkan kandungan hara dan bahan organik tanah serta memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Pemberian pupuk kandang dapat menurunkan berat volume tanah (*bulk density*), meningkatkan kadar air, memperluas total ruang pori, memperbaiki agregat dan meningkatkan kandungan karbon organik tanah karena pelepasan C-organik tanah dari pupuk (Kinasih, 2020).

Tanaman *Melaleuca leucadendron* atau kayu putih, merupakan perdu dengan batang kecil dan banyak cabang yang menjuntai ke bawah. Tanaman ini memiliki keunggulan karena mampu bertahan di berbagai kondisi, mulai dari lahan kering, tanah basah, hingga daerah yang sering terkena angin atau percikan air laut (Zainuddin, 2023). Akar *Melaleuca leucadendron* menyebar dengan baik dan dapat menembus lapisan tanah yang tipis, sehingga membantu tanaman menyerap air dan nutrisi secara efisien. Tanaman ini biasanya tumbuh liar di daerah bersuhu panas dan tidak membutuhkan kondisi pertumbuhan khusus. Tingginya bisa mencapai sekitar 13–14 meter (45 kaki), dan tanaman ini mampu hidup pada ketinggian 5 hingga 450 meter di atas permukaan laut, menunjukkan toleransi yang luas terhadap lingkungan (Lutony dan Rahmayati, 1994). Tanaman ini juga dapat berkembang meskipun lapisan tanah suburnya tipis, sehingga kondisi lahan di lapangan biasanya sudah memadai untuk mendukung pertumbuhannya (Farandi, 2020).

Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) merupakan hubungan saling menguntungkan antara jamur (myces) dan akar (rhiza) pada tanaman tingkat tinggi. Dalam simbiosis ini, jamur memperoleh karbohidrat berupa glukosa dan karbon dari tanaman, sedangkan tanaman mendapatkan air, fosfat, mineral, dan nutrisi lainnya yang disalurkan oleh cendawan, sehingga kapasitas akar dalam menyerap nutrisi meningkat (Farandi, 2020).

Rekomendasi teknis yang dapat diterapkan dalam restorasi karst, yaitu pembibitan *Melaleuca leucadendron* sebaiknya dilakukan dengan media tanam yang diperkaya pupuk kandang dan biochar, serta diinokulasi CMA sebelum ditanam di lapangan. Dengan cara ini, bibit akan lebih adaptif menghadapi kondisi tanah karst yang miskin hara dan berlapis tipis, memiliki daya tumbuh lebih tinggi, serta memberikan kontribusi lebih besar terhadap serapan dan penyimpanan karbon. Rekomendasi teknis ini menunjukkan bahwa keberhasilan restorasi lahan karst tidak hanya bergantung pada jenis vegetasi yang dipilih, tetapi juga pada dukungan input organik dan mikroba simbiotik yang dapat memperbaiki kualitas tanah sekaligus meningkatkan daya dukung ekosistem karst.

Manfaat praktisnya bukan hanya untuk mendukung keberhasilan program restorasi, tetapi juga untuk masyarakat yang bergantung pada lahan karst. Penanaman *Melaleuca leucadendron* dengan perlakuan media dan *mikoriza* dapat mendukung program perhutanan sosial dengan hasil berupa minyak kayu putih yang bernilai ekonomi. Di sisi lain, peningkatan cadangan karbon dari vegetasi dan tanah mendukung upaya mitigasi perubahan iklim, sementara perbaikan kualitas tanah membantu fungsi ekologis kawasan karst dalam menjaga ketersediaan air dan mencegah degradasi lebih lanjut. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya bermanfaat secara akademis, tetapi juga memberi arah kebijakan dan strategi nyata bagi pemerintah daerah, pengelola kawasan, maupun kelompok masyarakat dalam mengelola dan merestorasi ekosistem karst secara berkelanjutan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Stok karbon biru pada ekosistem pesisir Gunungkidul menunjukkan perbedaan di setiap titik pengamatan, hasil penelitian menunjukkan bahwa total simpanan karbon di titik 2A mencatat nilai tertinggi sebesar 239,4 ton/ha, didominasi oleh karbon organik tanah dan biomassa vegetasi yang melimpah. Nilai ini menurun pada 2B sebesar 100,3 ton/ha dan 2C sebanyak 92,6 ton/ha, seiring bertambahnya jarak dari garis pantai, menunjukkan berkurangnya tutupan vegetasi dan kondisi tanah yang kurang optimal. Nilai total karbon di titik 4A memiliki hasil 62,6 ton/ha, sedangkan di titik 4B sebesar 62,6 ton/ha, dan di titik 4C sebesar 54,7 ton/ha. Hal ini dikarenakan kondisi lapangan yang kurang mendukung ditandai dengan kemiringan lahan yang curam, vegetasi yang minim, dan medan yang sulit diakses menyebabkan terbatasnya akumulasi biomassa sehingga berdampak pada rendahnya simpanan karbon di lokasi tersebut. Sementara itu titik 6A menunjukkan simpanan karbon sebesar 131,6 ton/ha, di 6B memiliki nilai simpanan karbon 115,5 ton/ha, dan di titik 6C sebesar 101,2 ton/ha. Titik ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan yang datar, terbuka, dan ditumbuhi vegetasi rapat mendukung akumulasi karbon karena mengurangi erosi, mempercepat pertumbuhan tanaman, dan meningkatkan bahan organik dalam tanah, sehingga memperbesar simpanan karbon vegetasi maupun tanah. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa stok karbon terbesar berada di titik yang dekat dengan garis pantai, dan menurun secara bertahap menuju daratan.
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa vegetasi dan tanah berperan penting dalam menyerap dan menyimpan *blue carbon* di ekosistem pesisir. Sebagian besar karbon tersimpan dalam tanah, sementara vegetasi terutama pohon dan akarnya berkontribusi melalui proses fotosintesis dan

pembentukan bahan organik tanah. Vegetasi yang rapat terbukti berkorelasi dengan tingginya karbon tanah sehingga menunjukkan keterkaitan antara keduanya. Faktor lingkungan seperti jarak dari pantai dan aktivitas manusia juga memengaruhi kapasitas penyimpanan karbon.

5.2 Saran

1. Berdasarkan hasil penelitian, konservasi dan rehabilitasi ekosistem pesisir perlu menjadi fokus utama, terutama pada area yang masih memiliki tutupan vegetasi alami dan cadangan karbon yang tinggi. Upaya ini sangat penting dalam mendukung strategi mitigasi perubahan iklim, karena vegetasi dan tanah di kawasan pesisir berperan besar dalam menyerap serta menyimpan karbon biru. Selain itu, menjaga kelestarian vegetasi juga membantu mempertahankan fungsi ekologis seperti stabilisasi tanah, penahan abrasi, serta pelestarian keanekaragaman hayati.
2. Restorasi lahan karst dengan *Melaleuca leucadendron* lebih efektif jika menggunakan pupuk kandang, biochar, dan inokulasi CMA untuk meningkatkan pertumbuhan, cadangan karbon, serta efisiensi perakaran dan penyerapan hara. Pendekatan ini sekaligus mendukung restorasi ekologis, mitigasi perubahan iklim, manfaat ekonomi, dan fungsi ekologis kawasan karst.
3. Penguatan pada aspek partisipatif dalam pengambilan kebijakan karena berdasarkan hasil wawancara lapangan, terlihat bahwa minimnya partisipasi masyarakat dalam proses pembangunan di pesisir telah memicu konflik dan ketidakpercayaan terhadap pihak eksternal. Oleh karena itu, proses penyusunan dan pelaksanaan kebijakan pembangunan di wilayah pesisir harus melibatkan masyarakat lokal secara aktif dan setara. Pendekatan yang partisipatif dan transparan akan menjamin penerimaan masyarakat, menghindari konflik, serta mendukung keberlanjutan sosial dan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ade, Y., & Faika Dewi, M. (2022). Penanganan Perubahan Iklim Bagi Keberlanjutan Pembangunan di Indonesia. *Working Pappers*.
- Aggangan, N. S., Cortes, A. D., & Reaño, C. E. (2019). Growth response of cacao (*Theobroma cacao* L.) plant as affected by bamboo biochar and arbuscular mycorrhizal fungi in sterilized and unsterilized soil. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 22, 101347.
- Anika, E., & Rasyidin, A. (2024). Karbon Organik Tanah Pada Beberapa Penggunaan Lahan Di Kelurahan Limau Manis Kota Padang. *Journal Arunasita*, 1(1), 33-50.
- Arista, C. D. N., HT, I. S. W., Rahma, K., & Mulyadi, M. (2018, April). Analisis Vegetasi Tumbuhan Menggunakan Metode Transek Garis (*Line Transect*) di Kawasan Hutan Lindung Lueng Angen Desa Iboih Kecamatan Sukakarya Kota Sabang. In *Prosiding Seminar Nasional Biologi, Teknologi dan Kependidikan* (Vol. 5, No. 1).
- Aswanda, V. S., Kusmoro, J., Ilmi, F., Rahmawati, D., Zahra, E., Rahmah, L. A., ... & Hidayati, U. R. A. (2023). Estimasi Simpanan Karbon Pada Vegetasi Pohon di Beberapa Tipe Penggunaan Lahan Arboretum Universitas Padjadjaran. *Biotika Jurnal Ilmiah Biologi*, 21(2), 59-67.
- Azzahra, A. T. S., Aulia, F., Silitonga, H. O., Azkiya, H., Ananda, M. A., Sinaga, S. L. C., ... & Samadi, S. (2024). Analisis Kerapatan Tutupan Lamun Dan Mangrove di Pulau Lancang Kepulauan Seribu Terhadap Penyimpanan Blue Carbon Dalam Mitigasi Perubahan Iklim.
- Azzahra, F. S., Suryanti, S., & Febrianto, S. (2020). Estimasi Serapan Karbon Pada Hutan Mangrove Desa Bedono, Demak, Jawa Tengah. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 4(2), 308-315.
- Baroleh, S. E., Massie, C. D., & Lengkong, N. L. (2023). Implementasi Konvensi Internasional Paris Agreement Tentang Mitigasi Perubahan Iklim Di Indonesia. *Lex Privatum*, 11(5).
- Budiadi, B. (2020). Pendugaan Simpanan Karbon pada Kawasan Rehabilitasi Pesisir Selatan Pulau Jawa. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 14(1), 71-83.

- Cahyadi, A.; Nucifera, F.; Marfai, M.A.; Rahmadana, A.D.W. 2012a. Perencanaan Penggunaan Lahan di Kawasan Karst Berbasis Analisis kemampuan Lahan dan Pemetaan Kawasan Lindung Sumberdaya Air (Studi Kasus di Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, D.I. Yogyakarta). Prosiding Seminar Nasional Science, Engineering and Technology, 23-24 Februari 2012. Program Magister dan Doktor Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Cairns, M. A., Brown, S., Helmer, E. H., & Baumgardner, G. A. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia*, 111, 1–11.
- Cahyadi, A., Yananto, A., & Hidayat, F. N. (2017). Tipologi Pesisir Kawasan Karst Kabupaten Wonogiri. *Buletin Geografi Lingkungan*, 1(1), 1-12.
- Dompok, T., Harefa, E., & Salsabila, L. (2024, September). Analisis Komparatif Kebijakan Blue Carbon Di Indonesia Dan Meksiko. In *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Sosial dan Teknologi (Snistek)* (Vol. 6, pp. 126-135).
- Edwin, M. (2016). Penilaian stok karbon tanah organik pada beberapa tipe penggunaan lahan di Kutai Timur, Kalimantan Timur. *Agrifor*, 15(2), 279-288.
- Elsani, W., Niati, W., Ayu, I. W., Oklima, A. M., Kusumawardani, W., & Lestari, N. D. (2023). Identifikasi Spesies Tumbuhan Penyusun Ekosistem Pesisir Pantai Dusun Patedong, Desa Sebotok, Pulau Moyo, Sumbawa. *Jurnal Agroteknologi*, 3(2), 55-65.
- Endriani, E., & Sunarti, S. (2019). Sekuestrasi Karbon Beberapa Jenis Vegetasi Sebagai Basis Pengembangan Hutan Kota Jambi. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, 3(2), 113-125.
- Erlania, E., Radiarta, I. N., Haryadi, J., & Johan, O. (2015). Kondisi rumput laut alam di perairan pantai Ujung Genteng, Sukabumi dan Labuhanbua, Sumbawa: potensi karbon biru dan pengembangan budidaya. *Jurnal Riset Akuakultur*, 10(2), 293-304.
- Fadhil, M. (2024). Keterkaitan Sedimen Dengan Kerapatan Lamun di Pulau Salissingan, Kabupaten Mamuju: Relationship between Sediment and Seagrass Density in Salissingan Island, Mamuju Regency (Doctoral dissertation, Universitas Hasqanuddin).

- Fatikhin, K., & Tamar, I. M. (2025). Panduan program keanekaragaman hayati bagi perusahaan. Greenbook Publisher.
- Farandi, Z. (2020). Potensi Cendawan Mikoriza Arbuskular untuk Restorasi Kawasan Karst: Studi kasus di persemaian Bukit Plencing.
- Febrianto, S., & SURYANTI, S. (2019). Buku Ajar Ekosistem *Mangrove Coastal Blue Carbon*.
- Gyn, F. Upaya Pemerintah Untuk Mencapai Nationally Determined Contribution Dalam Kerangka Kebijakan Karbon Biru Indonesia. *Belli Ac Pacis (Jurnal Hukum Internasional)*, 10(1), 1-19.
- Hairiah, K., & Rahayu, S. (2007). Pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan. *World agroforestry centre*. Bogor, 77.
- Hidayat, M. (2017). Analisis vegetasi dan keanekaragaman tumbuhan di kawasan manifestasi geotermal ie suum Kecamatan Mesjid Raya Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Biotik*, 5(2), 114-124.
- Hidayat, M., Laiyanah, L., Silvia, N., Putri, Y. A., & Marhamah, N. (2018, April). Analisis vegetasi tumbuhan menggunakan metode transek garis (line transek) di hutan Seulawah Agam Desa Pulo Kemukiman Lamteuba Kabupaten Aceh Besar. In *Prosiding Seminar Nasional Biologi, Teknologi dan Kependidikan (Vol. 5, No. 1)*.
- 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.
- Indonesia, P. R., & Indonesia, P. R. (1990). Keputusan Presiden No. 32 Tahun 1990 Tentang: Pengelolaan Kawasan Lindung. Jakarta: Sekretaris Negara Republik Indonesia.
- Irman, M. (2024). Estimasi Stok Karbon Lamun *Thalassodendron Ciliatum* di Pantai Mandala Ria, Desa Ara, Kecamatan Bontobahari, Kabupaten Bulukumba (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Istiqamah, A. A. (2023). Estimasi Biomassa dan Simpanan Karbon pada Padang Lamun di Pulau Pajenekang, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan=

- Estimation of Biomass and Carbon Storage in Seagrass Beds in Pajenekang Island, Pangkajene and Kepulauan Regency (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Jang, J., & Awiati, W. (2023). Karbon Biru Di Indonesia: Memahami Pentingnya Konservasi Dan Restorasi Untuk Mencapai Netralitas Karbon. *Jurnal Hukum dan Bisnis (Selisik)*, 9(1), 18-36.
- Jatnika, D., Sumantadinata, K., & Pandjaitan, N. H. (2014). Pengembangan Usaha budidaya ikan lele (*Clarias sp.*) di lahan kering di kabupaten Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Manajemen IKM: Jurnal Manajemen Pengembangan Industri Kecil Menengah*, 9(1), 96-105.
- Junaedi, A., Aruan, J., Yosep, Y., Penyang, P., Surasana, I. N., & Rizal, M. (2024). Komposisi Jenis, Serapan Karbon Dioksida dan Produksi Oksigen Vegetasi Berkayu di Hutan Kemasyarakatan Batu Bulan Kabupaten Gunung Mas Kalimantan Tengah: Species Composition, Carbon Dioxide Uptake and Oxygen Production of Woody Vegetation in The Batu Bulan Community Forest Gunung Mas District, Central Kalimantan. *Hutan Tropika*, 19(1), 19-26.
- Karyati, I. D., Zeny, A., Zulkifli, D., & Irawan, H. (2021). Estimasi Karbon pada Mangrove di Kabupaten Belitung Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. *Buletin Jalanidhitah Sarva Jivitam*, 3(1), 43-51.
- Ketterings, Q. M., Coe, R., van Noordwijk, M., Ambagau, Y., & Palm, C. A. (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground biomass in tropical forests. *Forest Ecology and Management*, 146, 199–209.
- Khotimah, Y. K., Supardi, S., & Antriyandarti, E. (2019). Pemanfaatan Sumber Daya Pertanian Lahan Kering di Pegunungan Karst Gunungkidul. In *Prosiding Seminar Nasional Fakultas Pertanian UNS (Vol. 3, No. 1, pp. 50-57)*.
- Kinasih, A. P. (2020). Peran Bahan Pembenh Tanah sebagai Upaya Restorasi Lahan Karst: Studi Kasus di Persemaian Bukit Pelncing.
- Kusumaningtyas, M. A., Hutahaean, A. A., Fischer, H. W., Pérez-Mayo, M., Ransby, D., & Jennerjahn, T. C. (2019). Variability in the organic carbon

- stocks, sources, and accumulation rates of Indonesian mangrove ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 218, 310-323.
- Lutony, T. L., & Rahmayati, Y. (1994). Produksi dan perdagangan minyak atsiri. *Penebar Swadaya, Jakarta*, 148.
- Mandari, D. Z., Gunawan, H., & Isda, M. N. (2016). Penaksiran biomassa dan karbon tersimpan pada ekosistem hutan mangrove di Kawasan Bandar Bakau Dumai. *Jurnal Riau Biologia*, 1(1), 17-23.
- Menteri Pertanian, P. (2011). Peraturan Menteri Pertanian Nomor 70/Permentan/SR. 140/10/2011 Tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati Dan Pembenh Tanah.
- Muazzasari, F., Japa, L., & Suyantri, E. (2025). Sediment Organic Carbon Stock at the Muara Gembong Mangrove Area of Bekasi, West Jawa. *Jurnal Biologi Tropis*, 25(1), 725-732.
- Novitasari, A. A. (2022). Estimasi Biomassa Dan Stok Karbon Pada Vegetasi Mangrove Di Desa Bonto Bahari, Kecamatan Bontoa, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan Mangrove Biomass and Carbon Stock Estimation in Bonto Bahari Village, Bontoa Sub-district, Maros, South Sulawesi (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Paena, M., Suhaimi, R. A., & Undu, M. C. (2017). Sediment Characteristics Of Coastal Waters Around Intensive Shrimp Ponds During Wet Season In Punduh Bay, Pesawaran District Of Lampung Province. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1), 221-234.
- Permana, O. S. (2017). Potensi Wisata Minat Khusus Surfing di Pantai Wediombo, Gunung Kidul, Yogyakarta.
- Pottier, J., & Jabot, F. (2017). Non-destructive biomass estimation of herbaceous plant individuals: A transferable method between contrasted environments. *Ecological Indicators*, 73, 1–9.
- Pramesti, R., Subagiyo, S., Setyati, W. A., & Buana, T. (2021). Potensi Padang Lamun (*Thalassia hemprichii*) Sebagai Penyimpan dan Penyerap Karbon di Pantai Krakal, Gunungkidul, Yogyakarta.

- Pramudianto, A. (2016). Dari Kyoto Protocol 1997 Ke Paris Agreement 2015: Dinamika Diplomasi Perubahan Iklim Global Dan Asean Menuju 2020. *Global: Jurnal Politik Internasional*, 18(1), 76-94.
- Press, U. G. M. (2023). *Menyerap Karbon: Layanan Ekosistem Pesisir untuk Mitigasi Perubahan Iklim*. UGM PRESS.
- Purwitasari, H. (2011). Model persamaan alometrik biomassa dan massa karbon pohon Akasia mangium (*Acacia mangium Willd.*): studi kasus pada HTI Akasia mangium di BKPH Parung Panjang, KPH Bogor, Perum Perhutani Unit III Jawa Barat dan Banten.
- Putri, K. A., Ulumuddin, Y. I., Maslukah, L., & Wulandari, S. Y. (2024). Stok Karbon Organik Sedimen Mangrove di Laguna Segara Anakan. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(2), 279-290.
- Qodriyatun, S. N., Suryani, A. S., & Prasetyawan, T. Tantangan Penerapan Blue Carbon Dalam Perdagangan Karbon. *Parliamentary*, 131.
- Rahman, A., Ardiansyah, N. F., Pasaribu, H. A., & Saputra, R. (2022). Mitigasi Bencana Kepariwisata. *Jurnal Ilmiah Administrasi Pemerintahan Daerah*, 14(2), 180-197.
- Rangkuti, Ahmad Muhtadi, et al. *Ekosistem pesisir & laut Indonesia*. Bumi Aksara, 2022.
- Rusdiana, O., & Lubis, R. S. (2012). Pendugaan korelasi antara karakteristik tanah terhadap cadangan karbon (carbon stock) pada hutan sekunder. *Journal of Tropical Silviculture*, 3(1).
- Septiani, E. F., Ghofar, A., & Febrianto, S. (2018). Pemetaan Karbon Di Padang Lamun Pantai Prawean Bandengan Jepara. *Majalah Ilmiah Globe*, 20(2), 117-124.
- Setiayu, D. P., Wibowo, D. N., & Yani, E. (2020). Keanekaragaman tumbuhan bawah pada berbagai umur tegakan jati (*Tectona grandis L.*) di KPH Banyumas Timur. *BioEksakta: Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*, 2(1), 79-85.
- Siagian, A. W., & Arifin, A. H. (2023). Perlindungan Hutan Mangrove Melalui Valuasi Ekonomi Jasa Karbon Sebagai Upaya Pertambahan Pendapatan Negara. *Kajian*, 27(2), 111-125.

- Sofyan, M., Mulyadi, A., & Elizal, E. (2016). Analysis of Biomass and Carbon Stock on Mangrove Forest Ecosystem in North Coastal Area of Rupa Island Riau Province (Doctoral dissertation, Riau University).
- Trismadi, K. R., & 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.
- Wahyudin, W., Sampara, S., & Baharuddin, H. (2020). Kebijakan hukum lingkungan terhadap penanggulangan krisis iklim di Indonesia. *Kalabirang Law Journal*, 2(2), 91-100.
- Wijaya, E. (2024). Analisis Karbon Organik Tanah Pada Sistem Agroforestri Berbasis Kopi (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin Makassar).
- Wekke, I. S. (2021). Mitigasi Bencana. Penerbit Adab.
- Yuliamalia, L. (2019). Tradisi larung saji sebagai upaya menjaga ekosistem di Wisata Telaga Ngebel Ponorogo (studi literatur). *Agastya: Jurnal Sejarah Dan Pembelajarannya*, 9(2), 135-145.
- Yusuf, W. A., Susilawati, H. L., Wihardjaka, A., Harsanti, E. S., Adriany, T. A., Dewi, T., & Husaini, M. (2023). Kerusakan dan pencemaran lingkungan pertanian: karakteristik dan penanggulangannya. UGM PRESS.
- Zainuddin, A. A. (2023). Analisis Kadar Unsur Hara Nitrogen Dan Bahan Organik Tegakan Kayu Putih (*Melaleuca leucadendron* Linn) Dan Cengkeh (*Syzygium aromaticum* L) di Kecamatan Tombolo Pao, Kabupaten Gowa (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Zakiah, S. N., Wakhid, N., & Nursyamsi, D. (2018). Stratifikasi simpanan karbon diatas permukaan tanah pada lahan gambut pasang surut dan lebak. *Berita Biologi*, 16(3), 289-296.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Jenis Vegetasi Pesisir Gunungkidul Pada Metode Transek Garis

a. Jenis Vegetasi Pada Titik 2 dalam Sebuah Plot

TITIK 2A

No	Nama Jenis			Jumlah Individu
	Lokal	Ilmiah	Famili	
1	Pohon Cemara Laut	Casuarina Equisetifolia	Casuarinaceae	3
2		Thuarea Involuta	Poaceae	9
3	Pandan Duri	Pandanus Tectorius	Pandanaceae	3
4	Waru Laut	Hibiscus Tiliaceus L	Malvaceae	3
5	Katang-Katang	Ipomea Pes-caprae L	Convolvulaceae	15
6	Rumput Minjangan	Chromolaena Odorata	Asteraceae	26

TITIK 2B

No	Nama Jenis			Jumlah Individu
	Lokal	Ilmiah	Famili	
1	Kate Mas	Euphorbia Haterophylla	Euphorbiaceae L. Agaloma angustifolia Raf.	27
2	Putri Malu	Mimosa Pudica L	Fabaceae	22
3	Gletang	Tridax Procumbens L	Asteraceae	24
4	Rumput Minjangan	Chromolaena Odorata	Asteraceae	59
5	Rumput Gagak Mesir	Dactyloctenium aegyptium L	Poaceae	232
6	Ruku-Ruku/Kemangi Suci	Ocium Tenuiflorum	Lamiaceae	24
7	Katang-Katang	Ipomea Pes-caprae L	Convolvulaceae	36
8		Watheria Indica	Malvaceae	18
9	Jagung	Zea Mays	Poaceae	9
10	Rumput Keranjang	Oplismenus hirtellus	Poaceae	7

TITIK 2C

No	Nama Jenis			Jumlah Individu
	Lokal	Ilmiah	Famili	
1	Tahi ayam	Lantanaa Cemara	Verbanaceae	25
2		Macroptilum Atropurpureum	Fabaceae	28
3	Katang-Katang	Ipomea Pes-caprae L	Convolvulaceae	17
4	Rumput Minjangan	Chromolaena Odorata	Asteraceae	47
5		Waltheria indica	Malvaceae	12

b. Jenis Vegetasi Pada Titik 4 dalam Sebuah Plot

TITIK 4A

No	Nama Jenis			Jumlah Individu
	Lokal	Ilmiah	Famili	
1	Waru Laut	Hibiscus Tiliaceus L	Malvaceae	3
2		Alocasia Brisbaneensis	Araceae	16
3	Lamtoro	Leucaena leucocephala	Fabaceae	19
4	Jotang Kuda	Synedrella Nodiflora	Asteraceae	38
5	Bandotan/Wedusan	Ageratum Conyzoides	Asteraceae	28
6	Singkong	Manihot Esculenta	Euphorbiaceae	34
7		Maackia amurensis	Fabaceae	2
8	Penaga Laut	Calophyllum inophyllum	Fabaceae	1

TITIK 4B

No	Nama Jenis			Jumlah Individu
	Lokal	Ilmiah	Famili	
1	Singkong	Manihot Esculenta	Euphorbiaceae	39
2	Bakung Putih	Crinum Asiaticum	Amaryllidaceae	8
3	Katang-Katang	Ipomea Pes-caprae L	Convolvulaceae	23
4	Pandan Duri	Pandanus Tectorius	Pandanaceae	14
5	Rumput Gajah	Cenchrus Purpureus	Poaceae	31
6	Gletang	Tridax Procumbens L	Asteraceae	36
7		Commelina Diiffusa	Commelinaceae	27
8	Bandotan/Wedusan	Ageratum Conyzoides	Asteraceae	25

TITIK 4C

No	Nama Jenis			Jumlah Individu
	Lokal	Ilmiah	Famili	
1		Dichanthelium clandestinum	Poaceae	87
2	Singkong	Manihot esculenta	Euphorbiaceae	57
3	Waru Laut	Hibiscus tiliaceus L	Malvaceae	3
4		Verbena urticifolia	Verbenaceae	23
5	Rumput Gajah	Cenchrus purpureus	Poaceae	23
6		Bauhinia pauletia Pers	Fabaceae	8

c. Jenis Vegetasi Pada Titik 6 dalam Sebuah Plot

TITIK 6A

No	Nama Jenis			Jumlah Individu
	Lokal	Ilmiah	Famili	
1	Rumput Minjangan	Chromolaena Odorata	Asteraceae	43
2		Bhothrichloa ischaemum	Poaceae	27
3		Acalypha rhomboidea	Euphorbiaceae	38
4	Rumput Gajah	Cenchrus Purpureus	Poaceae	29

5	Ketapang Biola	Ficus Lyrata	Moraceae	21
6		Chloris virgata	Poaceae	37
7	Maman Lanang	Cleome rutidosperma	Cleomaceae	14
8		Achyranthes aspera L	Amaranthaceae	33
9		Rottboellia cochinchinensis	Poaceae	112
10		Peltandra virginica	Araceae	26

TITIK 6B

No	Nama Jenis			Jumlah Individu
	Lokal	Ilmiah	Famili	
1		Rottboellia cochinchinensis	Poaceae	115
2	Kelapa	Cocos nucifera	Areaceae	1
3	Kersen	Muntingia	Muntingiaceae	17
4		Mollugo verticillata	Molluginaceae	32
5	Pisang	Musa paradisiaca L	Musaceae	5
6		Chloris virgata	Poaceae	29
7		Beckmannia syzigachne	Poaceae	13
8	Talas	Colocasia esculenta	Araceae	3

TITIK 6C

No	Nama Jenis			Jumlah Individu
	Lokal	Ilmiah	Famili	
1	Pepaya	Carica papaya	Caricaceae	16
2	Pisang	Musa paradisiaca L	Musaceae	4
3		Chloris virgata	Poaceae	33
4	Ketapang	Terminalia catappa L	Combretaceae	12
5	Sirih Gading Emas	Epipremnum aureum	Araceae	17
6	Sawi Langit	Cyanthillium cinereum	Asteraceae	45
7		Rottboellia cochinchinensis	Poaceae	66
8	Ketipes	Cardiospermum halicacabum	Sapindaceae	14
9		Hibiscus vitifolius L	Malvaceae	19

Lampiran 2. Perhitungan Ketapatan Vegetasi Pesisir Gunungkidul Pada Metode Transek Garis

a. Kerapatan Vegetasi Pesisir Gunungkidul Pada Pohon

POHON

No	Nama Jenis		Jumlah Individu	Diameter Batang Pohon (cm)	Diameter Batang Pohon (m)	LBDS (Luas Bidang Dasar) (m)	Jumlah Satuan Petak yang diduduki Vegetasi	Jumlah Petak	Kerapatan	KR (%)	Frekuensi	FR (%)	Dominansi	DR (%)	INP (%)	Kategori
	Lokal	Ilmiah														
1	Pohon Cemara Laut	Casuarina Equisetifolia	3	24	0,24	0,045	1	9	15	2,5	0,11	8	0,07	7	18	Rendah
2	Pandan Duri	Pandanus Tectorius	29	25	0,25	0,049	2	9	145	24,4	0,22	15	0,08	8	48	Tinggi
3	Waru Laut	Hibiscus Tiliaceus L	21	38	0,38	0,113	3	9	105	17,6	0,33	23	0,18	18	59	Tinggi
4	Penaga Laut	Calophyllum inophyllum	3	40	0,4	0,126	1	9	15	2,5	0,11	8	0,20	20	30	Sedang
5		Maackia amurensis	2	7	0,07	0,004	1	9	10	1,7	0,11	8	0,01	1	10	Rendah

6		Bauhinia pauletia Pers	8	17	0,17	0,023	1	9	40	6,7	0,11	8	0,04	4	18	Rendah
7	Ketapan g Biola	Ficus Lyrata	21	19	0,19	0,028	1	9	105	17,6	0,11	8	0,05	5	30	Sedang
8	Kelapa	Cocos nucifera	3	48	0,48	0,181	1	9	15	2,5	0,11	8	0,29	29	39	Sedang
9	Kersen	Muntingia	17	16	0,16	0,020	1	9	85	14,3	0,11	8	0,03	3	25	Sedang
10	Ketapan g	Terminalia catappa L	12	20	0,2	0,031	1	9	60	10,1	0,11	8	0,05	5	23	Sedang
Jumlah			119			0,620			595	100	1,44	100	1,00	100	300	

b. Kerapatan Vegetasi Pesisir Gunungkidul Pada Tumbuhan Herba

TUMBUHAN HERBA

No	Nama Jenis		Jumlah Individu	Panjang Batang Tumbuhan (cm)	Panjang Batang Pohon (m)	LBDS (Luas Bidang Dasar) (m)	Jumlah Satuan Petak yang diduduki Vegetasi	Jumlah Petak	Kerapatan	KR (%)	Frekuensi	FR (%)	Dominansi	DR (%)	INP (%)	Kategori
	Lokal	Ilmiah														
1		Thuarea Involuta	9	30	0,3	0,07	1	9	45	0,5	0,11	2	0,003	0,3	3	Rendah
2	Katang-Katang	Ipomea Pes-caprae L	91	90	0,9	0,64	4	9	455	4,9	0,44	8	0,029	2,9	16	Rendah

3	Rumput Minjan gan	Chromolaena Odorata	175	55	0,55	0,24	4	9	875	9,5	0,44	8	0,011	1,1	19	Rendah
4	Kate Mas	Euphorbia Haterophylla	27	200	2	3,14	1	9	135	1,5	0,11	2	0,145	14,5	18	Rendah
5	Putri Malu	Mimosa Pudica L	22	60	0,6	0,28	1	9	110	1,2	0,11	2	0,013	1,3	5	Rendah
6	Gletang	Tridax Procumbens L	60	96	0,96	0,72	2	9	300	3,3	0,22	4	0,034	3,4	11	Rendah
7	Rumput Gagak Mesir	Dactyloctenium aegyptium L	232	100	1	0,79	1	9	1160	12,6	0,11	2	0,036	3,6	18	Rendah
8	Ruku-Ruku/ Keman gi Suci	Ocimum Tenuiflorum	24	67	0,67	0,35	1	9	120	1,3	0,11	2	0,016	1,6	5	Rendah
9		Watheria Indica	30	54	0,54	0,23	2	9	150	1,6	0,22	4	0,011	1,1	7	Rendah
10	Tahi ayam	Lantanaa Cemara	25	78	0,78	0,48	1	9	125	1,4	0,11	2	0,022	2,2	6	Rendah
11		Macroptilium Atropurpureum	28	64	0,64	0,32	1	9	140	1,5	0,11	2	0,015	1,5	5	Rendah
12		Alocasia Brisbaneensis	16	105	1,05	0,87	1	9	80	0,9	0,11	2	0,040	4,0	7	Rendah
13	Jotang Kuda	Synedrella Nodiflora	44	73	0,73	0,42	1	9	220	2,4	0,11	2	0,019	1,9	6	Rendah

14	Bandotan/Wedusan	Ageratum Conyzoides	53	101	1,01	0,80	2	9	265	2,9	0,22	4	0,037	3,7	11	Rendah
15	Bakung Putih	Crinum Asiaticum	8	82	0,82	0,53	1	9	40	0,4	0,11	2	0,024	2,4	5	Rendah
16	Rumput Gajah	Cenchrus Purpureus	83	120	1,2	1,13	3	9	415	4,5	0,33	6	0,052	5,2	16	Rendah
17		Commelina Diiffusa	27	53	0,53	0,22	1	9	135	1,5	0,11	2	0,010	1,0	4	Rendah
18		Dichantheium clandestinum	87	81	0,81	0,52	1	9	435	4,7	0,11	2	0,024	2,4	9	Rendah
19		Verbena urticifolia	23	68	0,68	0,36	1	9	115	1,2	0,11	2	0,017	1,7	5	Rendah
20		Bhothrichloa ischaemum	27	93	0,93	0,68	1	9	135	1,5	0,11	2	0,031	3,1	7	Rendah
21		Acalypha rhomboidea	38	88	0,88	0,61	1	9	190	2,1	0,11	2	0,028	2,8	7	Rendah
22		Chloris virgata	99	85	0,85	0,57	3	9	495	5,4	0,33	6	0,026	2,6	14	Rendah
23	Maman Lanang	Cleome rutidosperma	14	76	0,76	0,45	1	9	70	0,8	0,11	2	0,021	2,1	5	Rendah
24		Achyranthes aspera L	33	65	0,65	0,33	1	9	165	1,8	0,11	2	0,015	1,5	5	Rendah
25		Rottboellia cochinchinensis	391	87	0,87	0,59	3	9	1955	21,2	0,33	6	0,028	2,8	30	Sedang

26		<i>Peltandra virginica</i>	26	86	0,86	0,58	1	9	130	1,4	0,11	2	0,027	2,7	6	Rendah
27		<i>Mollugo verticillata</i>	32	40	0,4	0,13	1	9	160	1,7	0,11	2	0,006	0,6	4	Rendah
28	Sirih Gading Emas	<i>Epipremnum aureum</i>	17	104	1,04	0,85	1	9	85	0,9	0,11	2	0,039	3,9	7	Rendah
29	Sawi Langit	<i>Cyanthillium cinereum</i>	45	60	0,6	0,28	1	9	225	2,4	0,11	2	0,013	1,3	6	Rendah
30	Ketipes	<i>Cardiospermum halicacabum</i>	14	67	0,67	0,35	1	9	70	0,8	0,11	2	0,016	1,6	4	Rendah
31		<i>Hibiscus vitifolius L</i>	19	100	1	0,79	1	9	95	1,0	0,11	2	0,036	3,6	7	Rendah
32		<i>Leptopetalum biflorum</i>	3	60	0,6	0,28	1	9	15	0,2	0,11	2	0,013	1,3	3	Rendah
33	Jagung	<i>Zea Mays</i>	9	145	1,45	1,65	1	9	45	0,5	0,11	2	0,076	7,6	10	Rendah
34	Rumput Keranjang	<i>Oplismenus hirtellus</i>	7	95	0,95	0,71	1	9	35	0,4	0,11	2	0,033	3,3	6	Rendah
35	Talas	<i>Colocasia esculenta</i>	3	90	0,9	0,64	1	9	15	0,2	0,11	2	0,029	2,9	5	Rendah
Jumlah			1841			21,58			9205	100	5,56	100	1	100	300	

c. Kerapatan Vegetasi Pesisir Gunungkidul pada Semai
SEMAI

No	Nama Jenis		Jumlah Individu	Panjang Batang Tumbuhan (cm)	Diameter Batang Pohon (m)	LBDS (Luas Bidang Dasar)	Jumlah Satuan Petak yang diduduki Vegetasi	Jumlah Petak	Kerapatan	KR (%)	Frekuensi	FR (%)	Dominansi	DR (%)	INP (%)	Kategori
	Lokal	Ilmiah														
1	Lamtoro	Leucaena leucocephala	19	102	1,02	0,82	1	9	95	10,2	0,11	13	0,155	15,5	38	Tinggi
2	Singkong	Manihot Esculenta	130	130	1,3	1,33	3	9	650	69,5	0,33	38	0,253	25,3	132	Tinggi
3	Pisang	Musa paradisiaca L	9	150	1,5	1,77	2	9	45	4,8	0,22	25	0,336	33,6	63	Tinggi
4		Beckmannia syzigachne	13	95	0,95	0,71	1	9	65	7,0	0,11	13	0,135	13,5	33	Tinggi
5	Pepaya	Carica papaya	16	90	0,9	0,64	1	9	80	8,6	0,11	13	0,121	12,1	33	Tinggi
Jumlah			187			5,254			935	100	0,89	100	1,00	100	300	

Lampiran 3. Perhitungan Biomasa dan Stok Karbon Biomassa Vegetasi Pesisir Gunungkidul

a. Indeks Keanekaragaman Jenis Pohon

Kategori	Jenis Vegetasi	Jumlah Individu	Pi	Ln Pi	Pi x Ln Pi
Pohon	Pohon Cemara Laut	3	0,025	-3,681	-0,093
	Pandan Duri	29	0,244	-1,412	-0,344
	Waru Laut	21	0,176	-1,735	-0,306
	Penaga Laut	3	0,025	-3,681	-0,093
	Maackia amurensis	2	0,017	-4,086	-0,069
	Bauhinia pauletia Pers	8	0,067	-2,700	-0,181
	Ketapang Biola	21	0,176	-1,735	-0,306
	Kelapa	3	0,025	-3,681	-0,093
	Kersen	17	0,143	-1,946	-0,278
	Ketapang	12	0,101	-2,294	-0,231
N		119	Indeks keanekaragaman pada vegetasi jenis pohon termasuk dalam kategori sedang		
H'		2			

b. Indeks Keanekaragaman Jenis Tumbuhan Herba

Kategori	Jenis Vegetasi	Jumlah Individu	Pi	Ln Pi	Pi x Ln Pi
Tumbuhan Herba	Thuaera Involuta	9	0,005	-5,321	-0,026
	Katang-Katang	91	0,049	-3,007	-0,149
	Rumput Minjangan	175	0,095	-2,353	-0,224
	Kate Mas	27	0,015	-4,222	-0,062
	Putri Malu	22	0,012	-4,427	-0,053
	Gletang	60	0,033	-3,424	-0,112

Rumput Gagak Mesir	232	0,126	-2,071	-0,261
Ruku-Ruku/Kemangi Suci	24	0,013	-4,340	-0,057
Watheria Indica	30	0,016	-4,117	-0,067
Tahi ayam	25	0,014	-4,299	-0,058
Macroptilum Atropurpureum	28	0,015	-4,186	-0,064
Alocasia Brisbaneensis	16	0,009	-4,745	-0,041
Jotang Kuda	44	0,024	-3,734	-0,089
Bandotan/Wedusan	53	0,029	-3,548	-0,102
Bakung Putih	8	0,004	-5,439	-0,024
Rumput Gajah	83	0,045	-3,099	-0,140
Commelina Diiffusa	27	0,015	-4,222	-0,062
Dichanthelium clandestinum	87	0,047	-3,052	-0,144
Verbena urticifolia	23	0,012	-4,383	-0,055
Bhothrichloa ischaemum	27	0,015	-4,222	-0,062
Acalypha rhomboidea	38	0,021	-3,880	-0,080
Chloris virgata	99	0,054	-2,923	-0,157
Maman Lanang	14	0,008	-4,879	-0,037
Achyranthes aspera L	33	0,018	-4,022	-0,072
Rottboellia cochinchinensis	391	0,212	-1,549	-0,329
Peltandra virginica	26	0,014	-4,260	-0,060
Mollugo verticillata	32	0,017	-4,052	-0,070
Sirih Gading Emas	17	0,009	-4,685	-0,043
Sawi Langit	45	0,024	-3,711	-0,091
Ketipes	14	0,008	-4,879	-0,037
Hibiscus vitifolius L	19	0,010	-4,574	-0,047

	Leptopetalum biflorum	3	0,002	-6,419	-0,010
	Jagung	9	0,005	-5,321	-0,026
	Rumput Keranjang	7	0,004	-5,572	-0,021
	Talas	3	0,002	-6,419	-0,010
N		1841	Indeks keanekaragaman pada vegetasi jenis timbunan herba termasuk dalam kategori tinggi		
H'		3			

c. Indeks Keanekaragaman Jenis Semai

Kategori	Jenis Vegetasi	Jumlah Individu	Pi	Ln Pi	Pi x Ln Pi
Semai	Lamtoro	19	0,102	-2,287	-0,232
	Singkong	130	0,695	-0,364	-0,253
	Pisang	9	0,048	-3,034	-0,146
	Beckmannia syzigachne	13	0,070	-2,666	-0,185
	Pepaya	16	0,086	-2,459	-0,210
N		187	Indeks keanekaragaman pada vegetasi jenis semai termasuk dalam kategori rendah		
H'		1			

Lampiran 4. Perhitungan Biomasa Vegetasi Pesisir Gunungkidul

a. Biomassa Pohon

No	Jenis Vegetasi	Diameter (m)	Berat Jenis (kg/m ³)		Biomassa Pohon/ Atas Permukaan (AGB) (Kg)
1	Pohon Cemara Laut	0,24	750	Hutasoit, H. P. A., Delvian, D., & Hartini, K. S. (2015). Cadangan Karbon Tersimpan Pada Tegakan Cemara Laut (Casuarina Equisetifolia L). Peronema Forestry Science Journal, 4(2), 201-207.	1,96
2	Pandan Duri	0,25	300	Literatur botani Pandanaceae, sifat kayu ringan:	0,87

3	Waru Laut	0,38	640	Daftar berat jenis kayu indonesia	5,58
4	Penaga Laut	0,4	800	Jurnal penelitian hasil hutan	7,98
5	Maackia amurensis	0,07	700	Data sifat kayu Fabaceae Asia Timur (Liu et al., 2010 – Wood properties of Fabaceae species (ResearchGate))	0,07
6	Bauhinia pauletia Pers	0,17	650	Agroforestry Database: Bauhinia spp. kayu sedang	0,69
7	Ketapang Biola	0,19	550	Atlas Kayu Indonesia	0,78
8	Kelapa	0,48	600	Penelitian sifat fisik kayu kelapa	9,65
9	Kersen	0,16	450	Agroforestry Database: sifat kayu ringan	0,41
10	Ketapang	0,2	560	Atlas Kayu Indonesia	0,91

b. Biomassa Akar pada Pohon

No	Jenis Vegetasi	R (Rasio akar terhadap batang)	AGB (Biomassa atas tanah) per pohon dalam (kg)	BGB (Biomassa bawah tanah/Akar) dalam kg
1	Pohon Cemara Laut	0,24	1,96	0,47
2	Pandan Duri	0,24	0,87	0,21
3	Waru Laut	0,24	5,58	1,34
4	Penaga Laut	0,24	7,98	1,91
5	Maackia amurensis	0,24	0,07	0,02
6	Bauhinia pauletia Pers	0,24	0,69	0,17
7	Ketapang Biola	0,24	0,78	0,19
8	Kelapa	0,24	9,65	2,32
9	Kersen	0,24	0,41	0,10
10	Ketapang	0,24	0,91	0,22

c. Biomassa Tumbuhan Herba

No	Jenis Vegetasi	Tinggi (m)	Abasal (m)	Ahalf (m)	$\sqrt{\text{AbasalAhalf}}$	Biomassa (kg)	Karbon vegetasi (Kg C)
1	Thuaera Involuta	0,3	0,3	0,5	0,39	0,01	0,004
2	Katang-Katang	0,9	0,15	0,6	0,30	0,03	0,013
3	Rumput Minjangan	0,55	0,3	0,15	0,21	0,01	0,004
4	Kate Mas	2	0,2	0,35	0,26	0,04	0,020
5	Putri Malu	0,6	0,4	0,05	0,14	0,01	0,003
6	Gletang	0,96	0,15	0,35	0,23	0,02	0,009
7	Rumput Gagak Mesir	1	0,1	0,15	0,12	0,01	0,005
8	Ruku-Ruku/Kemangi Suci	0,67	0,4	0,15	0,24	0,01	0,005
9	Watheria Indica	0,54	0,45	0,8	0,60	0,03	0,012
10	Tahi ayam	0,78	0,05	0,15	0,09	0,01	0,003
11	Macropitulum Atropurpureum	0,64	0,1	0,12	0,11	0,01	0,002
12	Alocasia Brisbaneensis	1,05	0,8	1,2	0,98	0,08	0,038
13	Jotang Kuda	0,73	0,03	0,05	0,04	0,002	0,001
14	Bandotan/Wedusan	1,01	0,2	0,3	0,24	0,02	0,009
15	Bakung Putih	0,82	0,2	0,3	0,24	0,02	0,007
16	Rumput Gajah	1,2	0,4	0,6	0,49	0,05	0,022
17	Commelina Diiffusa	0,53	0,06	0,08	0,07	0,003	0,001
18	Dichanthelium clandestinum	0,81	0,12	0,18	0,15	0,01	0,004
19	Verbena urticifolia	0,68	0,1	0,15	0,12	0,01	0,003
20	Bhothrichloa ischaemum	0,93	0,2	0,3	0,24	0,02	0,008
21	Acalypha rhomboidea	0,88	0,07	0,1	0,08	0,01	0,003
22	Chloris virgata	0,85	0,1	0,18	0,13	0,01	0,004
23	Maman Lanang	0,76	0,07	0,12	0,09	0,01	0,003

24	<i>Achyranthes aspera</i> L	0,65	0,08	0,12	0,10	0,005	0,002
25	<i>Rottboellia cochinchinensis</i>	0,87	0,4	0,7	0,53	0,04	0,017
26	<i>Peltandra virginica</i>	0,86	0,5	0,8	0,63	0,04	0,020
27	<i>Mollugo verticillata</i>	0,4	0,01	0,015	0,01	0,0004	0,0002
28	Sirih Gading Emas	1,04	0,2	0,3	0,24	0,02	0,009
29	Sawi Langit	0,6	0,3	0,4	0,35	0,02	0,007
30	Ketipes	0,67	0,2	0,3	0,24	0,01	0,006
31	<i>Hibiscus vitifolius</i> L	1	0,15	0,25	0,19	0,02	0,007
32	<i>Leptopetalum biflorum</i>	0,6	0,25	0,75	0,43	0,02	0,011
33	Jagung	1,45	0,2	0,35	0,26	0,03	0,015
34	Rumput Keranjang	0,95	0,2	0,3	0,24	0,02	0,009
35	Talas	0,9	0,85	0,8	0,82	0,05	0,025

d. Biomassa Semai

No	Jenis Vegetasi	Tinggi (m)	Abasal (m)	Ahalf (m)	$\sqrt{\text{AbasalAhalf}}$	Biomassa (kg)	Karbon vegetasi (Kg C)
1	Lamtoro	1,02	0,35	0,65	0,48	0,04	0,019
2	Singkong	1,3	0,18	0,12	0,15	0,01	0,006
3	Pisang	1,5	0,63	0,47	0,54	0,06	0,027
4	<i>Beckmannia syzigachne</i>	0,95	0,2	0,5	0,32	0,03	0,012
5	Pepaya	0,9	0,3	0,55	0,41	0,03	0,014

Lampiran 4. Perhitungan Jumlah Stok Karbon Vegetasi Pesisir Gunungkidul

a. Jumlah Stok Karbon Pada Titik 2

TITIK 2A

No	Nama Jenis		Jumlah Individu	Karbon Vegetasi (Kg C)
	Lokal	Ilmiah		
1	Pohon Cemara Laut	Casuarina Equisetifolia	3	0,6638
2		Thuarea Involuta	9	0,0393
3	Pandan Duri	Pandanus Tectorius	3	0,2955
4	Waru Laut	Hibiscus Tiliaceus L	3	1,8881
5	Katang-Katang	Ipomea Pes-caprae L	15	0,1919
6	Rumput Minjangan	Chromolaena Odorata	26	0,1001
Total Karbon Vegetasi (Kg C)				3,1787
Rata-Rata Karbon Vegetasi (Kg C)				0,5298

TITIK 2B

No	Nama Jenis		Jumlah Individu	Karbon Vegetasi (Kg C)
	Lokal	Ilmiah		
1	Kate Mas	Euphorbia Haterophylla	27	0,5419
2	Putri Malu	Mimosa Pudica L	22	0,0730
3	Gletang	Tridax Procumbens L	24	0,2142
4	Rumput Minjangan	Chromolaena Odorata	59	0,2271
5	Rumput Gagak Mesir	Dactyloctenium aegyptium L	232	1,0445
6	Ruku-Ruku/Kemangi Suci	Ocium Tenuiflorum	24	0,1309
7	Katang-Katang	Ipomea Pes-caprae L	36	0,4606
8		Watheria Indica	18	0,2219

9	Jagung	Zea Mays	9	0,1310
10	Rumput Keranjang	Oplismenus hirtellus	7	0,0599
Total Karbon Vegetasi (Kg C)				3,1050
Rata-Rata Karbon Vegetasi (Kg C)				0,3105

TITIK 2C

No	Nama Jenis		Jumlah Individu	Karbon Vegetasi (Kg C)
	Lokal	Ilmiah		
1	Tahi ayam	Lantanaa Cemara	25	0,0734
2		Macroptilum Atropurpureum	28	0,0694
3	Katang-Katang	Ipomea Pes-caprae L	17	0,2175
4	Rumput Minjangan	Chromolaena Odorata	47	0,1809
6		Waltheria indica	12	0,1480
Total Karbon Vegetasi (Kg C)				0,6892
Rata-Rata Karbon Vegetasi (Kg C)				0,1378

b. Jumlah Stok Karbon Vegetasi Pada Titik 4

TITIK 4A

No	Nama Jenis		Jumlah Individu	Karbon Vegetasi (Kg C)
	Lokal	Ilmiah		
1	Waru Laut	Hibiscus Tiliaceus L	3	1,8881
2		Alocasia Brisbaneensis	16	0,6051
3	Lamtoro	Leucaena leucocephala	19	0,3552
4	Jotang Kuda	Synedrella Nodiflora	38	0,0403
5	Bandotan/Wedusan	Ageratum Conyzoides	28	0,2546

6	Singkong	Manihot Esculenta	34	0,2159
7		Maackia amurensis	2	0,0164
8	Penaga Laut	Calophyllum inophyllum	1	0,8999
Total Karbon Vegetasi (Kg C)				4,2756
Rata-Rata Karbon Vegetasi (Kg C)				0,5344

TITIK 4B

No	Nama Jenis		Jumlah Individu	Karbon Vegetasi (Kg C)
	Lokal	Ilmiah		
1	Singkong	Manihot Esculenta	39	0,2477
2	Bakung Putih	Crinum Asiaticum	8	0,0591
3	Katang-Katang	Ipomea Pes-caprae L	23	0,2943
4	Pandan Duri	Pandanus Tectorius	14	1,3790
5	Rumput Gajah	Cenchrus Purpureus	31	0,6699
6	Gletang	Tridax Procumbens L	36	0,3214
7		Commelina Diiffusa	27	0,0357
8	Bandotan/Wedusan	Ageratum Conyzoides	25	0,2274
Total Karbon Vegetasi (Kg C)				3,2343
Rata-Rata Karbon Vegetasi (Kg C)				0,4043

TITIK 4C

No	Nama Jenis		Jumlah Individu	Karbon Vegetasi (Kg C)
	Lokal	Ilmiah		
1		Dichanthelium clandestinum	87	0,3807
2	Singkong	Manihot esculenta	57	0,3620

3	Waru Laut	Hibiscus tiliaceus L	3	0,0000
4		Verbena urticifolia	23	0,0704
5	Rumput Gajah	Cenchrus purpureus	23	0,4970
6		Bauhinia pauletia Pers	8	0,6216
Total Karbon Vegetasi (Kg C)				1,9317
Rata-Rata Karbon Vegetasi (Kg C)				0,3220

c. Jumlah Stok Karbon Vegetasi Pada Titik 6

TITIK 6A

No	Nama Jenis		Jumlah Individu	Karbon Vegetasi (Kg C)
	Lokal	Ilmiah		
1	Rumput Minjangan	Chromolaena Odorata	43	0,1655
2		Bhothrichloa ischaemum	27	0,2261
3		Acalypha rhomboidea	38	0,1019
4	Rumput Gajah	Cenchrus Purpureus	29	0,6267
5	Ketapang Biola	Ficus Lyrata	21	1,8476
6		Chloris virgata	37	0,1610
7	Maman Lanang	Cleome rutidosperma	14	0,0368
8		Achyranthes aspera L	33	0,0773
9		Rottboellia cochinchinensis	112	1,9556
10		Peltandra virginica	26	0,5265
Total Karbon Vegetasi (Kg C)				5,7249
Rata-Rata Karbon Vegetasi (Kg C)				0,5725

TITIK 6B

No	Nama Jenis		Jumlah Individu	Karbon Vegetasi (Kg C)
	Lokal	Ilmiah		
1		Rottboellia cochinchinensis	155	2,7064
2	Kelapa	Cocos nucifera	1	1,0882
3	Kersen	Muntingia	17	0,7801
4		Mollugo verticillata	32	0,0058
5	Pisang	Musa paradisiaca L	5	0,1366
6		Chloris virgata	29	0,1262
7		Beckmannia syzigachne	13	0,1614
8	Talas	Colocasia esculenta	3	0,0762
Total Karbon Vegetasi (Kg C)				5,0808
Rata-Rata Karbon Vegetasi (Kg C)				0,6351

TITIK 6C

No	Nama Jenis		Jumlah Individu	Karbon Vegetasi (Kg C)
	Lokal	Ilmiah		
1	Pepaya	Carica papaya	16	0,2241
2	Pisang	Musa paradisiaca L	4	0,1093
3		Chloris virgata	33	0,1436
4	Ketapang	Terminalia catappa L	12	1,2296
5	Sirih Gading Emas	Epipremnum aureum	17	0,1592
6	Sawi Langit	Cyanthillium cinereum	45	0,3365
7		Rottboellia cochinchinensis	66	1,1524
8	Ketipes	Cardiospermum halicacabum	14	0,0845

9	Hibiscus vitifolius L	19	0,1381
Total Karbon Vegetasi (Kg C)			3,5773
Rata-Rata Karbon Vegetasi (Kg C)			0,3975

No	Sampel	Total Karbon (Kg C)
1	2A	3,1787
2	2B	3,1050
3	2C	0,6892
4	4A	4,2756
5	4B	3,2343
6	4C	1,9317
7	6A	5,7249
8	6B	5,0808
9	6C	3,5773

Lampiran 6. Perhitungan pH pada Tanah

Aquadest

No	Nama Sampel	Berat Tanah (gram)	pH
1	1A	10,0495	8,04
2	1B	10,0759	8
3	1C	10,0218	8,08
4	2A	10,0693	7,88
5	2B	10,0301	7,98
6	2C	10,0415	7,95
7	3A	10,0583	8,45
8	3B	10,0344	8,78
9	3C	10,0194	7,88
10	4A	10,0211	7,86
11	4B	10,0146	8,46
12	4C	10,0087	8,5
13	5A	10,0053	8,04
14	5B	10,0070	8,15
15	5C	10,0036	8,17
16	6A	10,0047	8,12
17	6B	10,0081	8,19
18	6C	10,0116	7,83

KCl

Nama Sampel	Berat Tanah (gram)	pH
5C	10,0052	6,75
6C	10,0028	6,81

Lampiran 7. Perhitungan % Kadar Air Pada Tanah dan % C Organik Transek Garis

a. Perhitungan % Kadar Air Pada Tanah

No	Cawan	Berat Cawan Kosong (W1) (gr)	Berat Sampel (gr)	Berat Sampel+Berat Cawan Sebelum Pemanasan(W2)	Berat Cawan+Sampel Setelah di Oven (W3)	%Kadar Air
1	2A	78,9	50	128,9	126,9	4%
	2B	78,3	50	128,3	121,7	13,2%
	2C	76,3	50	126,3	119,1	14,4%
2	4A	44,5	50	94,5	89,2	10,6%
	4B	57	50	107	99,3	15,4%
	4C	40,1	50	90,1	82,6	15%
3	6A	44,9	50	94,9	89,6	10,6%
	6B	45,2	50	95,2	89,7	11%
	6C	83	50	133	126,4	13,2%

b. Perhitungan % C Organik

No	Sampel	Berat Cawan (gr)	Berat Sampel (gr)	Berat Sampel+Cawan Sebelum di Furnance (gr)	Berat Sampel Setelah di Furnance+ Cawan (gr)	Berat Sampel Setelah di Furnance (gr)	%BO (%)	% Karbon Organik (%)
1	2A	78,9	48	126,9	106,3	27,4	42,9	24,9
	2B	78,3	43,4	121,7	110,6	32,3	25,6	14,8
	2C	76,3	42,8	119,1	108,9	32,6	23,8	13,8
2	4A	44,5	44,7	89,2	82,2	37,7	15,7	9,1
	4B	57	42,3	99,3	93,6	36,6	13,5	7,8

	4C	40,1	42,5	82,6	78,1	38	10,6	6,1
3	6A	44,9	44,7	89,6	78,1	33,2	25,7	14,9
	6B	45,2	44,5	89,7	76,5	31,3	29,7	17,2
	6C	83	43,4	126,4	114,8	31,8	26,7	15,5

Lampiran 8. Perhitungan Kepadatan Karbon Pada Tanah Transek Garis

a. Perhitungan *Soil Bulk Density*

No	Plot Garis	Kedalaman (cm)	Berat Loyang (g)	Volume Awal (cm ³)	Berat Basah (g)	Berat Kering (g)	Berat Kering-Berat Loyang (g)	Soil Bulk Density (g/cm ³)
1	2A	22,5	180	793	816	942,4	762,4	0,962
2	2B	22,5	100	793	683,4	635,5	535,5	0,675
3	2C	22,5	110	793	652,8	641,2	531,2	0,670
4	4A	22,5	100	793	695,9	645,9	545,9	0,689
5	4B	22,5	100	793	807,5	734,4	634,4	0,800
6	4C	22,5	105	793	875,1	810	705	0,889
7	6A	22,5	105	793	857,8	803,7	698,7	0,881
8	6B	22,5	105	793	694,6	636,7	531,7	0,671
9	6C	22,5	117,2	793	645,9	634,4	517,2	0,652

b. Perhitungan Karbon tanah / Soil C

No	Plot Garis	Kedalaman (cm)	Soil Deep Interval 20-30 (cm)	% C (Kandungan Karbon) (%)	Soil Bulk Density (g/cm ³)	Soil C density/Kepadatan karbon tanah (g C/cm ³)	C Tanah /Soil C (Ton/Ha)
1	2A	22,5	10	24,9	0,962	23,9	239,4
2	2B	22,5	10	14,8	0,675	10,0	100,2

3	2C	22,5	10	13,8	0,670	9,3	92,6
4	4A	22,5	10	9,1	0,689	6,3	62,5
5	4B	22,5	10	7,8	0,800	6,3	62,5
6	4C	22,5	10	6,1	0,889	5,5	54,6
7	6A	22,5	10	14,9	0,881	13,2	131,5
8	6B	22,5	10	17,2	0,671	11,5	115,4
9	6C	22,5	10	15,5	0,652	10,1	101,1

No	Plot Garis	C Tanah /Soil C (Ton/Ha)
1	2A	239,4
2	2B	100,2
3	2C	92,6
4	4A	62,5
5	4B	62,5
6	4C	54,6
7	6A	131,5
8	6B	115,4
9	6C	101,1

Lampiran 5. Perhitungan Cadangan Karbon Per Hektar Pada Vegetasi

No	Sampel	Cx (kg C)	Luas plot Kuadrat (m ²)	Cn (Ton/ha)
1	2A	3,2	400	0,0795
2	2B	3,1	400	0,0776
3	2C	0,7	400	0,0172
4	4A	4,3	400	0,1069
5	4B	3,2	400	0,0809
6	4C	1,9	400	0,0483
7	6A	5,7	400	0,1431
8	6B	5,1	400	0,1270
9	6C	3,6	400	0,0894

Lampiran 6. Perhitungan Cadangan Karbon dalam Plot

No	Sampel	C Vegetasi (Ton C/Ha)	C Tanah (Ton C/Ha)	Cplot (Ton C/ha)
1	2A	0,079	239,4	239,4
2	2B	0,078	100,2	100,3
3	2C	0,017	92,6	92,6
4	4A	0,107	62,5	62,6
5	4B	0,081	62,5	62,6
6	4C	0,048	54,6	54,7
7	6A	0,143	131,5	131,6
8	6B	0,127	115,4	115,5
9	6C	0,089	101,1	101,2
Total (Ton C/Ha)		0,8	959,9	960,7

Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian



Kondisi Pantai Sanglen, Kecamatan Tanjungsari



Kondisi Pantai Siung, Kecamatan Tepus



Penyimpanan sampel tanah



Wawancara warga sekitar



Pengambilan sampel tanah menggunakan *mud auger*



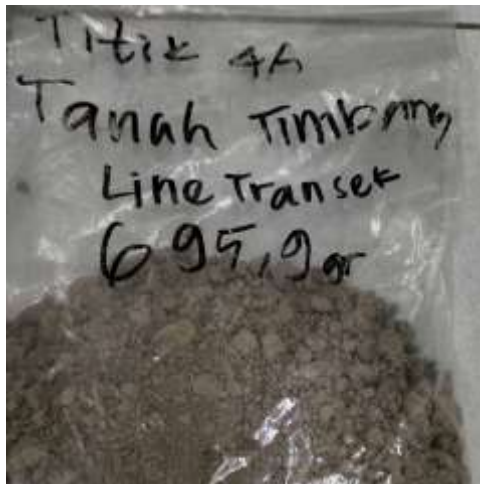
Sampel tanah titik 2A



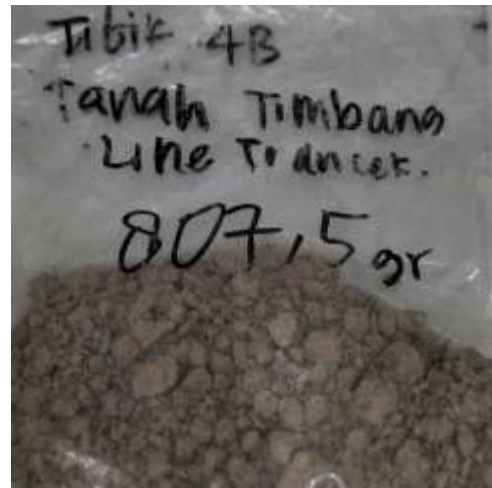
Sampel tanah titik 2B



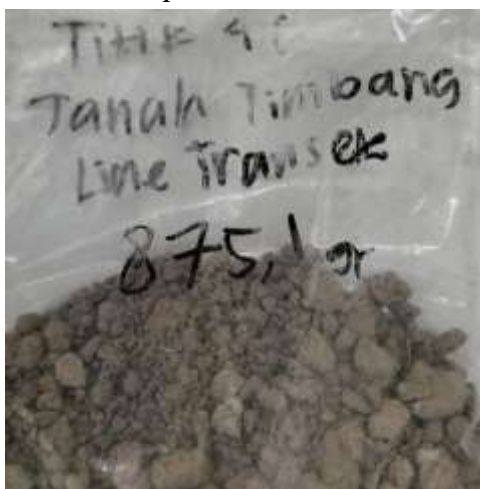
Sampel tanah titik 2C



Sampel tanah titik 4A



Sampel tanah titik 4B



Sampel tanah titik 4C



Sampel tanah titik 6A



Sampel tanah titik 6B



Sampel tanah titik 6C



Sampel tanah setelah dioven



Sampel tanah dimasukkan dalam desikator



Sampel tanah ditimbang



Sampel tanah setelah di furnance



Pohon Cemara Laut



Pandan Duri



Waru Laut



Penaga Laut



Maackia amurensis



Bauhinia pauletia Pers



Ketapang Biola



Kelapa



Kersen



Ketapang



Thuarea involuta



Katang-katang



Rumput minjangan



Kate mas



Putri malu



Gletang



Rumput gagal mesir



Ruku-ruku/kemangi suci



Watheria Indica



Tahi ayam (Lantanaa Cemara)



Macroptilium Atropurpureum



Alocasia Brisbaneensis



Lamtoro



Jotang Kuda



Bandotan/Wedusan



Bakung Putih



Rumput Gajah



Commelina Diiffusa



Dichanthelium clandestinum



Verbena urticifolia



Bothriochloa ischaemum



Acalypha rhomboidea



Chloris virgata



Maman Lanang



Achyranthes aspera L



Rottboellia cochinchinensis



Peltandra virginica



Mollugo verticillata



Sirih Gading Emas



Sawi Langit



Ketipes



Hibiscus vitifolius L



Leptopetalum biflorum



Jagung



Rumput Keranjang



Singkong



Pisang



Beckmannia syzigachne



Talas



Pepaya

Lampiran 12. Wawancara pada Warga Sekitar

No	Wawancara pada warga sekitar
1	Bagaimana perubahan fungsi lahan dalam kurun waktu 1–5 tahun terakhir memengaruhi kondisi lingkungan dan sosial masyarakat?
2	Bagaimana dampak perubahan fungsi lahan tersebut terhadap keberlanjutan ekosistem dan aktivitas masyarakat?
3	Bagaimana respon masyarakat terhadap aturan pemerintah yang berkaitan dengan tata guna lahan?
4	Sejauh mana masyarakat berperan dalam mendukung atau menolak aturan pemerintah terkait pemanfaatan lahan?
5	Apakah masyarakat mengetahui aturan pemerintah terkait lingkungan, dan sejauh mana kepatuhan mereka?

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kabupaten Bekasi, 08 September 2001. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara, putri dari pasangan Suharyanto dan Daeni Mulyani. Penulis menempuh pendidikan di SDN 02/03 Danau Indah pada tahun 2007 - 2013, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Cikarang Barat pada tahun 2013 – 2016 di Kabupaten Bekasi dan menempuh pendidikan di SMAN 1 Cikarang Barat dengan jurusan Ilmu Pengetahuan Alam pada tahun 2016 – 2019. Penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi di Universitas Islam Indonesia Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan pada tahun 2021. Penulis melakukan beberapa kegiatan organisasi dan kepanitiaan seperti *zero waste* dan *dusun binaan*. Penulis melaksanakan kerja praktik pada bulan Februari sampai dengan Maret 2024 di PT. Megalopolis Manunggal Industrial Development di Kawasan Industri MM2100 Kabupaten Bekasi, Jawa Barat. Penulis melakukan penelitian terkait studi *blue carbon* (karbon biru) pada ekosistem pesisir di Gunungkidul sebagai upaya mitigasi perubahan iklim menggunakan metode *line transect* untuk menyelesaikan studi di Program Studi Teknik Lingkungan.