

TA/TL/2025/2019



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Studi Blue Carbon (Karbon Biru) Pada Ekosistem Pesisir Di Gunungkidul Sebagai Upaya Mitigasi Perubahan Iklim Menggunakan Metode Kuadrat

Nur Indah Islami

21513067

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 Ecosystem in Gunungkidul as an Efforts to Mitigate Climate Change Using the Squared Method

Nur Indah Islami

21513067

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 Kuadrat**

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.

**Nur Indah Islami
21513067**

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 17 September 2025 dan disetujui oleh:



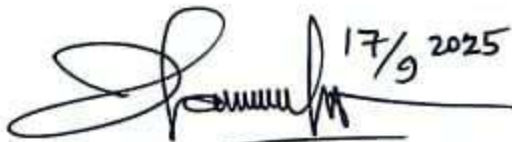
Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D

(Pembimbing 1)



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

(Pembimbing 1)



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

(Penguji)

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana



Any Guliarti, 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, 16 September 2025

Yang membuat pernyataan,



Nur Indah Islami

21513067

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya serta shalawat kepada Nabi Muhammad SAW sehingga tugas akhir yang berjudul “Studi *Blue Carbon* (Karbon Biru) Pada Ekosistem Pesisir di Gunungkidul Sebagai Upaya Mitigasi Perubahan Iklim Menggunakan Metode Kuadrat” ini telah berhasil diselesaikan.

Dalam kesempatan kali ini, selama penyusunan tugas akhir penulis banyak mendapatkan dukungan, semangat, dorongan, dan bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya, yakni kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa melimpahkan nikmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini
2. Ayah (alm) dan Ibu penulis beserta Kakak dan keluarga yang senantiasa memberikan dukungan, kepercayaan dan memanjatkan doa-doa terbaik serta kasih sayang kepada penulis.
3. Ibu Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D. selaku dosen pembimbing 1 dan Bapak Ikrom Mustofa, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing 2 yang telah membimbing dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen, staf akademik, dan karyawan Program Studi Teknik Lingkungan UII yang telah memberikan ilmu serta bantuannya selama masa perkuliahan.
5. Teman terbaik Febbyola Sintya Dewi yang selalu mendukung, membantu, dan menemani semasa perkuliahan hingga masa penyelesaian tugas akhir ini. Terima kasih sudah menemani dari awal masa kuliah, bertukar cerita, dan juga selalu mau membantu dalam hal apa pun.
6. Teman-teman Tim Bola Basket UII, *Coach* Risdi dan *Coach* Taqin serta staf *official* Mas Suryadi yang selalu memberikan semangat, kekompakan, dan motivasi, baik di dalam lapangan maupun di luar lapangan. Terima kasih telah berjuang bersama-sama dalam meraih prestasi.

7. Teman-teman “wacana” (Puti, Tsabita, Alsa, Kendra) yang selalu mendukung, membantu, dan menemani semasa perkuliahan hingga masa penyelesaian tugas akhir. Terima kasih telah menemani makan, jalan-jalan, bertukar cerita, mendengar keluh kesal dan juga memberikan banyak bantuan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diperlukan agar dapat menjadikan laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembacanya.

Yogyakarta, 16 September 2025



Nur Indah Islami

Studi *Blue Carbon* (Karbon Biru) Pada Ekosistem Pesisir Di Gunungkidul Sebagai Upaya Mitigasi Perubahan Iklim Menggunakan Metode Kuadrat

Mahasiswa : Nur Indah Islami
NIM : 21513067
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing : Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

Abstrak

Perubahan iklim global akibat meningkatnya emisi gas rumah kaca menuntut adanya strategi mitigasi yang berbasis ekosistem. Ekosistem pesisir berpotensi besar dalam menyerap dan menyimpan karbon, baik melalui vegetasi maupun sedimen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi simpanan karbon pada ekosistem pesisir Gunungkidul dengan pendekatan metode kuadrat. Pengambilan data dilakukan pada sembilan plot berukuran 20 x 20 m² di tiga lokasi pesisir dengan identifikasi vegetasi serta pengambilan sampel tanah lapisan 0–30 cm sesuai IPCC 2006. Analisis karbon organik tanah dilakukan menggunakan metode *Loss on Ignition (LOI)*, sedangkan estimasi biomassa vegetasi dihitung berdasarkan persamaan alometrik sesuai SNI 7724:2019. Temuan ini menunjukkan estimasi cadangan karbon organik tanah pada lokasi penelitian berkisar antara 117,917-208,174 Ton C/ha dengan rata-rata 162,485 Ton C/ha. Sementara itu, estimasi cadangan karbon vegetasi diperoleh sebesar 15,16 Ton C/ha. Variasi simpanan karbon dipengaruhi oleh jenis vegetasi dominan seperti *Pandanus tectorius* (pandan duri) dan *Casuarina equisetifolia* (cemara laut), kondisi fisik tanah, serta faktor lingkungan pesisir. Analisis keanekaragaman vegetasi menunjukkan kategori herba dan semai memiliki keanekaragaman sedang hingga tinggi, yang mendukung keberlanjutan ekosistem, sedangkan kategori pohon dan tiang cenderung didominasi oleh satu jenis tertentu.

Kata kunci: *Blue carbon*, ekosistem pesisir, Gunungkidul, *soil organic carbon*, metode kuadrat, mitigasi perubahan iklim

Study of Blue Carbon on Coastal Ecosystem in Gunungkidul as an Efforts to Mitigate Climate Change Using the Squared

Student : Nur Indah Islami
Student Number : 21513067
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor : Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

Abstract

*Global climate change caused by the increase in greenhouse gas emissions requires ecosystem-based mitigation strategies. Coastal ecosystems have great potential in capturing and storing carbon, both through vegetation and sediment. This study aims to analyze the potential of carbon storage in the coastal ecosystem of Gunungkidul using the quadrat method. Data collection was conducted in nine plots measuring 20 × 20 m² across three coastal locations, including vegetation identification and soil sampling at a depth of 0–30 cm in accordance with IPCC 2006 guidelines. Soil organic carbon (SOC) was analyzed using the Loss on Ignition (LOI) method, while vegetation biomass was estimated based on allometric equations following SNI 7724:2019. The findings revealed that soil organic carbon in the study area ranged from 4.57 to 8.08 ton C/ha, with an average of 6.30 ton C/ha. Meanwhile, the estimated carbon stock from vegetation was 15.16 ton C/ha. Variations in carbon storage were influenced by dominant vegetation species such as *Pandanus tectorius* (screw pine) and *Casuarina equisetifolia* (beach she-oak), soil physical properties, and coastal environmental factors. Vegetation diversity analysis indicated that herbaceous and seedling categories exhibited moderate to high diversity, supporting ecosystem sustainability, while tree and pole categories tended to be dominated by a single species.*

Key words: Blue carbon, coastal ecosystem, Gunungkidul, soil organic carbon, squared plot method, climate change mitigation

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	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Perubahan Iklim	5
2.2 Wilayah Pesisir	5
2.3 Ekosistem Pesisir	6
2.4 Vegetasi Pesisir Sebagai Penyerap dan Penyimpan Karbon	6
2.5 Karbon Organik Tanah (Soil Organic Carbon / SOC)	7
2.6 Mitigasi Perubahan Iklim	8
2.7 <i>Blue Carbon</i>	8
2.8 Metode Kuadrat	10
2.9 Penelitian Terdahulu	10
BAB III METODE PENELITIAN	13
3.1 Diagram Alir Penelitian	13
3.2 Pengumpulan Data	14
3.3 Analisis Data	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Keanekaragaman Vegetasi	30
4.2 Hasil Karbon yang Tersimpan Pada Tanah	31

4.3	Hasil Karbon yang Tersimpan Pada Vegetasi	34
4.4	Kontribusi Ekosistem Pesisir Sebagai Upaya Mitigasi Perubahan Iklim	43
4.5	Keterkaitan Isu Sosial dan Kebijakan Lingkungan	46
4.6	Peran Metode Kuadrat Dalam Perhitungan Karbon	49
4.7	Rekomendasi Teknis Pengelolaan Karbon dan Implikasi pada Alih Fungsi Lahan	50
BAB V PENUTUP		53
5.1	Kesimpulan	53
5.2	Saran	54
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN		63
RIWAYAT HIDUP		97

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	11
Tabel 4. 1 Jenis Vegetasi Setiap Kuadrat	30
Tabel 4. 2 Cadangan Karbon Organik Tanah	32
Tabel 4. 3 Susunan Vegetasi	34
Tabel 4. 4 Hasil Indeks Keanekaragaman Vegetasi	35
Tabel 4. 5 Biomassa dan Karbon Vegetasi Kategori Tiang dan Pohon	37
Tabel 4. 6 Biomassa dan Karbon Akar	38
Tabel 4. 7 Biomassa dan Karbon Vegetasi Kategori Semai	39
Tabel 4. 8 Biomassa dan Karbon Vegetasi Ketegori Tumbuhan Herba	40
Tabel 4. 9 Jumlah Karbon Pada Vegetasi di Lokasi 1	41
Tabel 4. 10 Jumlah Karbon Pada Vegetasi di Lokasi 3	41
Tabel 4. 11 Jumlah Karbon Pada Vegetasi di Lokasi 5	42
Tabel 4. 12 Cadangan Karbon Total dalam Stratum	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proyeksi Kenaikan Suhu Global dari Tahun 1990 sampai 2100	5
Gambar 2. 2 Peta Ekosistem <i>Blue Carbon</i>	10
Gambar 3. 1 Diagram Alir Prosedur Penelitian	13
Gambar 3. 2 Pemetaan Lokasi dengan Metode Kuadrat	16
Gambar 3. 3 Metode Pengukuran Diameter Semai dan Tumbuhan Herba	22
Gambar 4. 1 Diagram Total Karbon Organik Tanah Tiap Kuadrat (Ton C/Ha)	32
Gambar 4. 2 Jumlah Karbon Pada Vegetasi di Setiap Kuadrat	42
Gambar 4. 3 Cadangan Karbon Dalam Kuadrat	44
Gambar 4. 4 Contoh Mangrove	52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Daftar Sampel Tanah Timbang untuk Kepadatan Massa Tanah Kering (Dry Bulk Density)	63
Lampiran 1. 2 Daftar Vegetasi yang didapatkan	65
Lampiran 1. 3 Indeks Ekologi Kategori Tiang (diameter batang 10-20 cm)	81
Lampiran 1. 4 Indeks Ekologi Kategori Pohon (diamter batang > 20)	81
Lampiran 1. 5 Indeks Ekologi Kategori Semai (diameter 2 cm, tinggi < 1,5 m)	81
Lampiran 1. 6 Indeks Ekologi Ketegori Tumbuhan Herba (tidak berkayu)	82
Lampiran 1. 7 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Kategori Tiang (persamaan Shannon-Wiener)	85
Lampiran 1. 8 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Kategori Pohon (persamaan Shannon-Wiener)	85
Lampiran 1. 9 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Kategori Semai (persamaan Shannon-Wiener)	85
Lampiran 1. 10 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Kategori Tumbuhan Herba (persamaan Shannon-Wiener)	86
Lampiran 1. 11 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Tiang (persamaan Simpson)	87
Lampiran 1. 12 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Pohon (persamaan Simpson)	87
Lampiran 1. 13 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Semai (persamaan Simpson)	87
Lampiran 1. 14 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Tumbuhan Herba (persamaan Simpson)	88
Lampiran 1. 15 Pertanyaan Wawancara Kepada Masyarakat Sekitar Pesisir Gunungkidul	89
Lampiran 1. 16 Karbon Pada Vegetasi Atas Permukaan di Lokasi 1	91
Lampiran 1. 17 Karbon Pada Vegetasi Atas Permukaan di Lokasi 3	92
Lampiran 1. 18 Karbon Pada Vegetasi Atas Permukaan di Lokasi 5	93
Lampiran 1. 19 Karbon Pada Vegetasi Bawah Permukaan di Lokasi 1	94
Lampiran 1. 20 Karbon Pada Vegetasi Bawah Permukaan di Lokasi 3	94
Lampiran 1. 21 Karbon Pada Vegetasi Bawah Permukaan di Lokasi 5	95
Lampiran 1. 22 Perhitungan Kepadatan Massa Tanah Kering (Dry Bulk Density)	95

Lampiran 1. 23 Perhitungan Estimasi Cadangan Karbon Organik
Tanah

95

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim yang telah terjadi sudah lama menjadi permasalahan yang harus diatasi. Kehadiran gas rumah kaca (CO_2 , CH_4 , dan N_2O) yang terakumulasi di atmosfer merupakan faktor signifikan yang berkontribusi terhadap perubahan iklim yang ekstrem dan menjadi dampak dari aktivitas kegiatan manusia di dunia (Wismar et al., 2021). Pada tahun 2011 Indonesia menjadi urutan keenam terbesar penghasil gas rumah kaca sebesar 4% dari total emisi dunia, kemudian di tahun 2018 menjadi urutan kedelapan dengan kontribusi sebesar 2,03% dari total emisi dunia (Putri, 2022). Pengalihan fungsi lahan di daerah pesisir menjadi salah satu penyebab hilangnya kapasitas penyerapan karbon dan memperburuk iklim akumulasi gas rumah kaca di atmosfer (Mardhiyah et al., 2024).

Daerah pesisir merupakan daerah di mana tempat bertemunya antara daratan dan lautan (Susilawati & Rahmah, 2023). Ekosistem pesisir berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim dengan aktif menyerap dan menyimpan karbon dalam bentuk biomassa dan sedimen. Pesisir didominasi oleh ekosistem mangrove, lamun, dan terumbu karang yang mampu menyerap karbon, di mana sekitar 50% dari total simpanannya berada pada lapisan sedimen. Daerah pesisir, khususnya mangrove, menyimpan lebih banyak karbon dibandingkan hutan terestrial dari luas yang sama sehingga menjadi salah satu upaya dalam mitigasi perubahan iklim (Putri, 2022a).

Blue carbon adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan karbon yang terbentuk dalam ekosistem laut termasuk ekosistem mangrove, ekosistem rawa asin, dan ekosistem padang lamun. Karbon yang terdapat di daerah pesisir akan diserap oleh ekosistem pesisir selama proses fotosintesis kemudian disimpan dalam bentuk biomassa atau di bawah substrat atau diangkut ke beberapa kompartemen (Wismar et al., 2021). Sedangkan menurut (Fourqurean et al., 2019) *blue carbon* merupakan karbon yang disimpan di mangrove, rawa asin, dan padang lamun di dalam tanah, biomassa yang hidup di atas tanah seperti daun, cabang dan batang, biomassa yang hidup di bawah tanah seperti akar, dan

biomassa tak hidup seperti serasah dan kayu mati. Selain itu, *blue carbon* sekarang memberikan peluang untuk memobilisasi pendanaan dan pendapatan tambahan dengan menyatukan praktik terbaik dalam pengelolaan pesisir yang bertujuan sebagai upaya mitigasi perubahan iklim (Palupi et al., 2024).

Gunungkidul merupakan kabupaten yang wilayahnya berbatasan langsung dengan Samudra Hindia (Marfai, 2020). Aktivitas pariwisata dan aktivitas ekonomi di pesisir selatan Gunungkidul terus meningkat dan kehati-hatiannya tentu diperlukan mengingat risiko kemungkinan terjadinya bencana di kawasan tersebut (Prabawa et al., 2024). Selain itu, ekosistem *blue carbon* juga terancam kerusakan sekitar 340.000 sampai 980.000 hektar tiap tahun yang mewakili sekitar 67%, setidaknya 35% dan 29% hutan mangrove, rawa asin, dan padang lamun di dunia (Mardhiyah et al., 2024). Akibat kejadian tersebut, peningkatan emisi CO₂ dapat mengancam kehidupan makhluk hidup dan naiknya permukaan laut (Kusuma et al., 2023).

Ekosistem pesisir menyerap CO₂ melalui proses fotosintesis dilakukan oleh vegetasi dimanfaatkan untuk menghasilkan glukosa dan disimpan dalam bentuk biomassa, seperti akar, batang, daun serta bagian tanaman lainnya yang berperan sebagai sumber energi dan materi pembentuk struktur tanaman (Paramadani, 2024). Total luas yang dimiliki ekosistem pesisir relatif kecil sekitar 0,5% dari total luas lautan dan daratan, akan tetapi mampu untuk menyerap dan menyimpan *blue carbon* lebih dari 50% total *blue carbon* yang tersimpan di dalam sedimen laut serta dapat disimpan dalam jangka waktu yang panjang. Meskipun biomassa vegetasi di ekosistem pesisir hanya menyimpan 0,05% *blue carbon* dari total biomassa daratan, kapasitas penyimpanan karbon per tahun setara dengan vegetasi daratan. Oleh karena itu, ekosistem pesisir berpotensi besar sebagai penyerap dan penyimpanan CO₂ dari atmosfer (Jeki, 2021).

Berdasarkan Perjanjian Paris (*Paris Agreement*) untuk membatasi pemanasan global hingga 1,5 °C, dengan dilakukan penelitian lebih mendalam terkait potensi karbon di ekosistem pesisir Gunungkidul dan bagaimana keberadaan ekosistem ini dapat berkontribusi dalam mitigasi perubahan iklim. Untuk mendapatkan data terkait jumlah karbon yang tersimpan di ekosistem pesisir Gunungkidul dengan menggunakan metode kuadrat. Metode kuadrat adalah salah satu teknik analisis

vegetasi yang menggunakan pengamatan pada petak, contoh dengan luas yang diukur dalam satuan kuadrat secara langsung lingkungan dan sumber daya yang ada, guna mendapatkan gambaran mengenai kondisi yang sedang diamati (Agustina et al., 2021). Dengan metode tersebut akan diketahui susunan dan komposisi vegetasi yang ada dan karbon organik tanah (*Soil Organic Carbon*) untuk menghitung jumlah karbon yang tersimpan serta peran dalam mitigasi perubahan iklim.

1.2 Perumusan Masalah

- 1) Bagaimana potensi penyimpanan karbon pada ekosistem pesisir di Gunungkidul.
- 2) Bagaimana peran vegetasi di ekosistem pesisir Gunungkidul dalam menyerap dan menyimpan karbon.
- 3) Bagaimana kondisi tanah (jenis, kandungan organik, dan kedalaman) mempengaruhi kemampuan ekosistem pesisir Gunung Kidul dalam menyerap dan menyimpan karbon.

1.3 Tujuan Penelitian

- 1) Analisis penyimpanan karbon di ekosistem pesisir Gunungkidul dengan metode kuadrat.
- 2) Identifikasi vegetasi dan tanah dalam menyerap dan menyimpan karbon.

1.4 Manfaat Penelitian

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

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup bisa berisi tentang:

- 1) Lokasi penelitian dilakukan di pesisir pantai Gunung Kidul.
- 2) Perhitungan karbon berdasarkan vegetasi dan tanah.

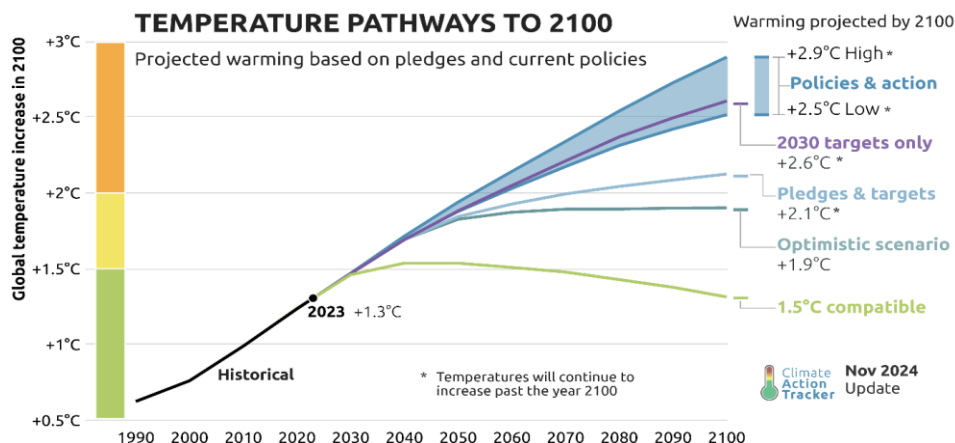
- 3) Cakupan ekosistem pesisir yang berada pada litologi batugamping karst
- 4) Metode yang digunakan penelitian adalah metode kuadrat, tanpa memperhatikan kemiringan lereng.
- 5) Perhitungan mengacu pada buku *Coastal Blue Carbon*, SNI 7725: 2019, IPCC 2006 *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*.
- 6) Parameter uji karbon tanah menggunakan karbon organik tanah atau *soil organic carbon (SOC)*.
- 7) Keanekaragaman jenis vegetasi menggunakan indeks ekologi (kerapatan, frekuensi, dominansi, indeks nilai penting, *summed dominance ratio*, indeks keanekaragaman).
- 8) Struktur vegetasi berdasarkan kategori tingkat pertumbuhan (tumbuhan herba, semai, pancang, tiang, dan pohon)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perubahan Iklim

Perubahan iklim merupakan perubahan suhu dan pola cuaca yang terjadi dalam waktu yang panjang. Perubahan iklim telah menjadi salah satu masalah global yang paling sering dibicarakan, karena dampak yang telah dirasakan di berbagai negara. Masalah tersebut telah diamati sejak tahun 1980-an, ketika suhu dunia meningkat dua kali lipat dari sebelumnya. Perubahan iklim dapat disebabkan oleh banyak hal. Meskipun demikian, komponen utama berasal dari manusia. Perubahan iklim dapat disebabkan oleh banyak faktor, termasuk pembangunan infrastruktur yang terus menerus, penggundulan hutan untuk membuka lahan perkebunan dan pembukaan tambang (Puspitarini et al., 2022).



Gambar 2. 1 Proyeksi Kenaikan Suhu Global dari Tahun 1990 sampai 2100

(Sumber : Climate Action Tracker)

2.2 Wilayah Pesisir

Menurut UU No. 4 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil wilayah pesisir merupakan wilayah peralihan antara ekosistem darat dan laut yang dipengaruhi oleh perubahan di darat dan laut, juga memiliki keanekaragaman sumber daya. Terdapat berbagai jenis sumber daya pesisir seperti sumber daya hayati (ikan, terumbu karang, mangrove, padang lamun, dan biota laut lainnya), sumber daya non-hayati (pasir, air laut, mineral dasar laut), dan sumber daya lingkungan (keindahan alam, permukaan dasar laut, tempat instalasi

bawah air yang terkait dengan kelautan dan perikanan, dan energi gelombang laut) (Pemerintah Republik Indonesia, 2014). Wilayah pesisir adalah tempat dimana daratan dan lautan bertemu dan disebut sebagai daerah *interface* atau transisi dimana segala macam proses bergantung pada interaksi yang intens antara keduanya. Oleh karena itu, wilayah pesisir terdiri dari area yang merupakan transisi antara ekosistem dan daratan yang sempit. Garis rata-rata pasang tertinggi berada di bawah 200 meter ke arah darat, dan garis pantai berada di bawah rata-rata pasang terendah (Asyiwati, 2014).

2.3 Ekosistem Pesisir

Ekosistem adalah unit organisasi biologis yang ada di dalamnya terdapat hubungan fungsional antara komponen biotik (makhluk hidup) dan lingkungan abiotik (benda mati) dalam area tertentu (*ecological boundary*) (Taurusman et al., 2021). Dalam suatu lingkungan terjadi interaksi dan keterkaitan dari kedua unsur tersebut (Munadiyal et al., 2022). Ekosistem pesisir adalah suatu habitat yang terdiri atas vegetasi dan berbagai organisme lain yang menempati wilayah peralihan, dimana wilayah tersebut dipengaruhi oleh dinamika laut seperti pasang surut, gelombang, percikan air laut, intrusi air asin, dan hembusan angin laut. Selain itu, ekosistem pesisir terpengaruh oleh aktivitas antropogenik dari daratan, seperti aliran sungai, limpasan permukaan (*run-off*), proses sedimentasi, dan pencemaran lingkungan. Terdapat 2 sumber *blue carbon* dalam ekosistem pesisir yakni *autochthonous carbon* dan *allochthonous carbon*. *Autochthonous carbon* adalah karbon yang berasal dari proses fotosintesis, sedangkan *allochthonous carbon* adalah karbon yang dihasilkan dan disimpan di lokasi yang berbeda (Putri, 2022).

2.4 Vegetasi Pesisir Sebagai Penyerap dan Penyimpan Karbon

Vegetasi merupakan sekumpulan berbagai jenis tumbuhan yang tumbuh bersama di suatu lokasi, dimana terjadi interaksi antara komponen-komponen penyusunnya, baik antara tumbuhan maupun hewan-hewan yang ada di lingkungan tersebut (Agustina et al., 2021a). Definisi vegetasi adalah kumpulan tumbuhan yang meliputi berbagai jenis seperti herba, pohon, dan perdu yang tumbuh bersama di suatu area dan saling berinteraksi dalam bentuk suatu

ekosistem (Sombo et al., 2020). Vegetasi pesisir di seluruh dunia memainkan peran penting dalam fiksasi karbon, mengurangi bencana alam, habitat biota laut dan akumulasi limbah. Peran vegetasi pesisir dalam penyerapan dan penyimpanan *blue carbon* dapat menjadi upaya untuk mengurangi perubahan iklim. Sekitar 0,2% dari total luas lautan, habitat vegetasi pesisir (mangrove, padang lamun, dan rawa asin) dapat berkontribusi 50% menyimpan karbon dalam sedimen (Putri, 2022).

2.5 Karbon Organik Tanah (Soil Organic Carbon / SOC)

Karbon organik tanah (*soil organic carbon / SOC*) adalah tempat penyimpanan karbon terbesar dalam ekosistem terestrial dan berperan dalam umpan balik biosfer terhadap meningkatkan konsentrasi karbon dioksida atmosfer di seluruh dunia, yang menghangatkan atmosfer bumi. Tanah mengandung sekitar 2.344 Gt (1 Gigaton = 1 miliar ton) karbon organik di seluruh dunia dan menjadikan karbon organik terbesar di daratan (Edwin, 2016). Perubahan pada vegetasi dan pertumbuhan tanaman, biomassa pasca pengumpulan, serta gangguan mekanis tanah merupakan faktor yang mempengaruhi stok karbon dalam tanah. Total karbon organik tanah (SOC) yang tersimpan di dalam tanah sangat terkait dengan saldo bersih (*net balance*) antara tingkat masuknya karbon organik ke tanah dan tingkat mineralisasi pada setiap penyimpanan karbon organik tersebut (Siringoringo, 2013). Karena variasi dalam distribusi akar vertikal vegetasi dan jejak yang ditinggalkannya pada distribusi kandungan karbon organik tanah (SOC) pada kedalaman tanah yang berbeda, keragaman kandungan karbon organik tanah (SOC) pada kedalaman mulai dari 0,5 meter hingga lebih dari 3 meter sangat beragam. Kedalaman ini menyumbang 49% hingga 98 % penyimpanan SOC. Penyerapan karbon organik tanah (SOC) dianggap sebagai strategi untuk upaya mitigasi perubahan iklim dan berkaitan pada kedalaman karbon tanah yang tersimpan. Semakin banyak tersimpannya karbon dalam tanah, semakin sedikit karbon di atmosfer, sehingga mengurangi terjadinya perubahan iklim dan pemanasan global (Mahasani et al., 2016).

2.6 Mitigasi Perubahan Iklim

Mitigasi berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana merupakan serangkaian langkah untuk menurunkan risiko bencana, baik melalui pembangunan infrastruktur yang aman maupun melalui peningkatan kesadaran dan kemampuan masyarakat dalam menghadapi potensi ancaman bencana (Pemerintah Republik Indonesia, 2007). Mitigasi bertujuan untuk mengurangi potensi kerugian di masa depan, seperti risiko kehilangan nyawa dan cedera, kerusakan fasilitas, serta dampak ekonomi yang ditimbulkan oleh bencana (Taufan Maulana & Andriansyah, 2024).

Para pihak ke-25 atau COP 25 yang diadakan pada tanggal 12-13 Desember 2019 oleh Konvensi Kerja PBB tentang Perubahan Iklim di Madrid, Spanyol bertepatan “*Blue COP*” merupakan usulan dari Chile terkait peran *blue carbon* dalam mengurangi emisi karbon berdasarkan implementasi dari Perjanjian Paris. Indonesia sebagai negara dengan kepulauan menunjukkan komitmen dan kepedulian terhadap pengelolaan sumber daya pesisir dan laut secara berkelanjutan. Pemerintah Indonesia telah mengusulkan mengenai peran penting *blue carbon* dalam upaya pengurangan emisi karbon, terutama dari ekosistem pesisir dan laut dalam Konferensi PBB untuk Perubahan Iklim (UNFCCC) di Bonn, Jerman tahun 2019. Pada tahun 2020, Indonesia menyatakan akan memasukkan konsep *blue carbon* ke dalam strategi pengurangan emisi GRK sebagai bagian dari implementasi Perjanjian Paris tahun 2015. Hal ini dilakukan mengingat peran *blue carbon* sebelumnya belum secara eksplisit diakomodasi dalam kebijakan pengurangan emisi nasional maupun internasional (Rosyada et al., 2021).

2.7 *Blue Carbon*

Karbon biru atau *blue carbon* adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan karbon (C) yang diserap oleh ekosistem pesisir bervegetasi, terutama hutan bakau, padang lamun, dan rawa asin (McLeod et al., 2011). Istilah karbon biru telah berkembang dengan meningkatkan perkiraan jumlah karbon yang diserap oleh mangrove, padang lamun, dan rawa asin serta menyediakan pendekatan praktis untuk menerapkan ekosistem ini dalam upaya mitigasi dan

adaptasi perubahan iklim. Lebih dari sepuluh tahun lalu, istilah *blue carbon* digunakan untuk menggambarkan peran mangrove, padang lamun, dan rawa asin dalam penyerapan karbon di pesisir dan lautan. Ini menjadi menarik perhatian para pembuatan kebijakan dan pengelolaan sumber daya terhadap kemungkinannya sebagai solusi iklim alami (Costa & Macreadie, 2022). *Blue carbon* tidak seperti karbon yang tersimpan dalam ekosistem darat, *blue carbon* diserap dalam biomassa tanaman hidup dalam jangka waktu yang relatif singkat yakni hanya puluhan tahun. Namun, tanah pesisir yang sangat luas dapat menyerap karbon dan akan terperangkap selama ribuan tahun, sehingga stok karbon yang dihasilkan sangat besar (Fourqurean et al., 2019).

Tahap penyimpanan *blue carbon* melalui fotosintesis oleh tumbuhan pada ekosistem pesisir, karbon dioksida yang diserap selama fotosintesis dimanfaatkan untuk membentuk glukosa yang disimpan dalam bentuk biomassa di bagian tanaman seperti akar, batang, daun dan organ lainnya serta berperan sebagai sumber energi material struktural bagi tumbuhan. Daun dan akar yang mati akan terdekomposisi di dasar, karbon yang tersimpan dalam bahan organik dan terdeposit di sedimen bawah air sebagai penyimpan *blue carbon* yang stabil dan tahan lama. Karena proses penguraian organik di lingkungan tanpa oksigen berlangsung lambat, sehingga karbon dalam sedimen bawah air dapat tersimpan selama ratusan hingga ribuan tahun dan mencegah pelepasan karbon kembali ke atmosfer (Paramadani, 2024). Serapan *blue carbon* ini mencapai 2,3 Pg C per tahun atau setara 45% dari serapan karbon bumi. Karena perkembangannya, ekosistem pesisir yang luasnya hanya 0,2% dari total ekosistem laut dapat menyerap 50% dari total serapan *blue carbon*. Akibatnya, ekosistem *blue carbon* hanya dikaitkan dengan mangrove, padang lamun, dan rawa asin (*POLICY BRIEF KARBON BIRU: Maind Streaming Blue Carbon National Determaind Contribution (NDC)*, 2023).

Global Distribution of Blue Carbon Ecosystems



Gambar 2. 2 Peta Ekosistem *Blue Carbon*
(Sumber : the *BLUE CARBON* initiative)

2.8 Metode Kuadrat

Metode kuadrat merupakan salah satu teknik analisis vegetasi yang menggunakan pengamatan pada petak, contoh dengan luas yang diukur dalam satuan kuadrat (Agustina et al., 2021). Kuadrat merupakan ukuran luas yang diukur dalam satuan kuadrat (seperti m^2 , cm^2 , dan lainnya), namun bentuk petak contoh bisa berupa segi empat (kuadrat), persegi panjang, atau lingkaran (Tarigan et al., 2023). Metode ini sederhana dan efektif diterapkan, sehingga cocok untuk menganalisis struktur dan komposisi vegetasi tumbuhan. Struktur suatu komunitas dipengaruhi oleh jumlah individu dari masing-masing spesies organisme. Dalam sistem analisis dengan metode kuadrat, perhitungan kerapatan berdasarkan jumlah individu dari suatu spesies jenis vegetasi dalam area tersebut (Agustina et al., 2021). Selain itu, metode kuadrat merupakan metode yang sering digunakan untuk memperkirakan biomassa di permukaan tanah serta digunakan dalam menentukan wilayah pengambilan sampel (Fourqurean et al., 2019).

2.9 Penelitian Terdahulu

Berikut ini merupakan daftar penelitian terkait yang sudah dilakukan, dapat

dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

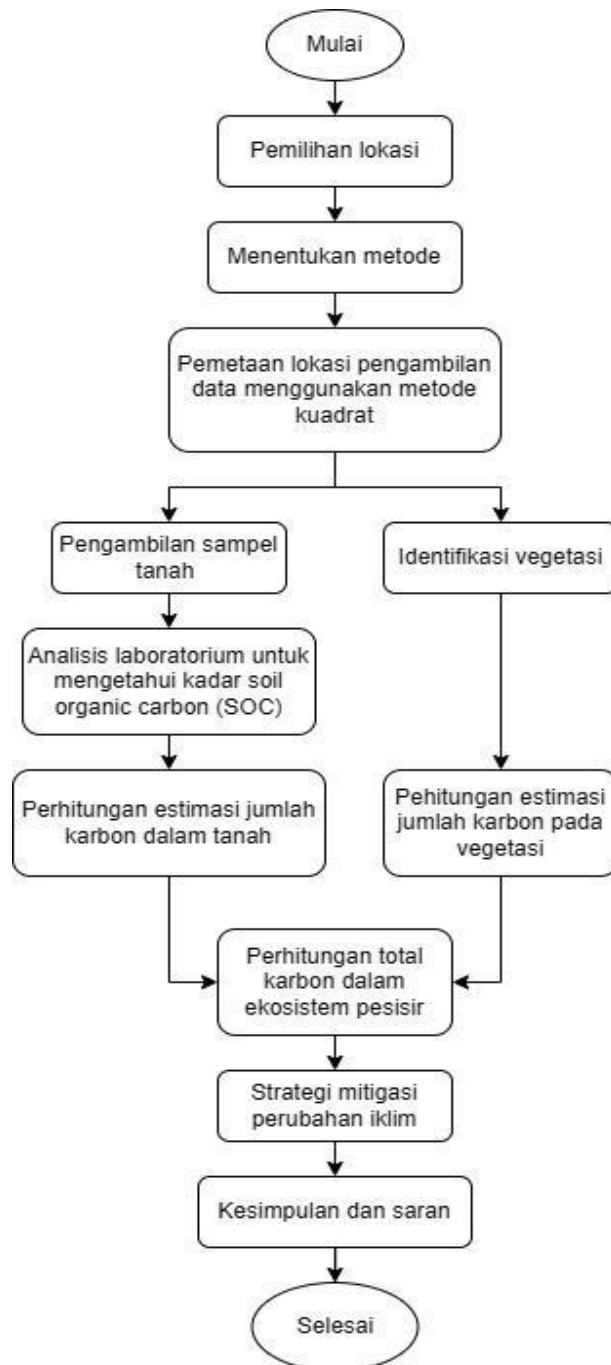
No.	Nama Peneliti, Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	La Ode Abdul Fajar Hasidu ¹ , Arif Prasetya ² , Maharani ³ , Nur Anisa ⁴ , Risnita Tri Utami ⁵ , & Laode Muhamad Hazairini Nadia ⁵ , 2022	Struktural Komunitas, Biomassa Permukaan Dan Status Simpanan Karbon Biru di Kawasan Mangrove Terdegradasi Kabupaten Kolaka	Jenis mangrove penyusun vegetasi terdiri 5 jenis yaitu <i>R. apiculata</i> , <i>R. mucronata</i> , <i>C. tagal</i> , <i>B. gymnorrhiza</i> , dan <i>S. alba</i> . Total stok karbon vegetasi mangrove untuk seluruh stasiun yaitu sebesar 583,85 ton/ha, dengan stok karbon tertinggi terdapat pada stasiun 4 (214,11 ton/ha). Sementara itu, total serapan karbon untuk seluruh stasiun sebesar 1362,46 ton/ha, dengan serapan karbon tertinggi terdapat pada stasiun 4 (499.65 ton/ha).
2	Haniifa Khasa Mardyhiyah ¹ , Hasnaira Handayani fauziyah ² , & Lulu Robiatul Adawiyah ³ , 2024	Konversi Lamun Terhadap Penyimpanan <i>Blue Carbon</i> di Ekosistem Pesisir	Indonesia mempunyai potensi besar dalam penyimpanan karbon biru melalui ekosistem lamun, dengan luasan mencapai 190.546 hektar pada tahun 2015 dan cakupan termonitor mencapai 293.464 hektar pada tahun 2018. Sekitar 16-35% dari total potensi tersebut masih berfungsi dengan baik. Kapasitas lamun sebagai penyerapan karbon alami menurun secara signifikan, yang turut berkontribusi terhadap tingginya emisi gas rumah kaca di Indonesia yang mencapai 1,24 gigaton CO ₂ e pada tahun 2022. Untuk itu, diperlukan langkah rehabilitasi dan perlindungan yang lebih serius, sebagai tercantum dalam Permen KP No. 24 Tahun 2016, guna mengembalikan fungsi ekologis lamun sebagai bagian penting dalam mitigasi perubahan iklim
3	Rini Pramesti, Subagiyo, & Titis Buana, 2021	Potensi Padang Lamun (<i>Thalassia hemprichii</i>) Sebagai Penyimpanan dan Penyerapan Karbon di Pantai Krakal, Gunungkidul -	Pantai Krakal memiliki padang lamun monospesies dengan jenis lamun <i>T. hemprichii</i> dan kerapatan lamun. Kerapatan lamun di stasiun 1, 2 dan 3 berturut-turut 12 – 620 ind/m ² , 212 - 420 ind/m ² dan 116 - 676 ind/m ² . Nilai tertinggi di stasiun 3 line 1 sebesar 676 ind/m ² dan persentase tutupan 95%. Nilai terendah terdapat di stasiun 1 line 2 yaitu 12 ind/m ² dan

		Yogyakarta	<p>persentase tutupan 5%. Total simpanan karbon (daun, akar, rhizoma dan sedimen) di semua stasiun menunjukkan nilai tertinggi di stasiun 1 = 46,39 gC/m² dan terendah di stasiun 2 = 21,73 gC/m². Simpanan karbon tertinggi ada pada bagian bawah substrat (akar dan rhizoma) = 43,06 gC/m² dan nilai terendah pada bagian atas substrat di stasiun 1 = 2,68 gC/m²</p>
--	--	------------	---

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian akan dilakukan sesuai dengan mengikuti langkah-langkah berikut yang terdapat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Prosedur Penelitian

3.2 Pengumpulan Data

Penelitian akan dilakukan di pesisir Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta pada tanggal 27 dan 28 bulan April 2025 untuk mengamati berbagai jenis vegetasi yang ada dan pengambilan sampel tanah untuk mendapatkan jumlah karbon yang tersimpan. Data yang diambil digunakan untuk mengetahui jumlah karbon yang tersimpan di ekosistem pesisir dilakukan menggunakan menentukan ukuran lokasi dengan metode kuadrat, pengambilan sampel tanah untuk diketahui kadar karbon organik tanah (*Soil Organic Carbon / SOC*), dan mengidentifikasi vegetasi yang ada.

3.2.1 Pengukuran Lokasi

Pengukuran lokasi berdasarkan metode kuadrat yang dipilih sebagai untuk mengambil sampel dan jenis vegetasi di lokasi penelitian. Petak contoh yang digunakan berukuran 20x20 m² dan penentuan awal tempat peletakan petak contoh diletakan pada keempat arah mata angin. Semua jenis vegetasi dicatat dan difoto serta sampel tanah diambil. Langkah-langkah utama untuk menentukan pengukuran lokasi pengambilan data agar mempermudah saat dilakukan penelitian antara lain :

1. Menentukan Batas Penelitian

Membuat area penelitian karena area penelitian dapat berkisar dari puluhan hektar. Area penelitian termasuk ekosistem yang sudah terdegradasi atau dikonversi. Area tersebut dapat berupa satu blok lahan bersebelahan atau beberapa petak lahan kecil yang tersebar. Selanjutnya yakni memetakan peta yang digunakan untuk memverifikasi aksesibilitas jalan raya, saluran, dan sungai.

2. Stratifikasi Area Penelitian

Stratifikasi bertujuan untuk membagi lokasi heterogen besar menjadi lokasi homogen dan berguna mencegah di saat kondisi lapangan, masalah logistik, dan keterbatasan sumber daya. Dengan membagi area penelitian menjadi sub-area atau strata secara ekologis relatif homogen. Selain itu, strata area penelitian dibuat berdasarkan karakteristik yang mempengaruhi kandungan karbon.

3. Menentukan Karbon yang Akan Diukur

Kandungan karbon tiap strata terdapat lebih dari satu dalam area penelitian. Umumnya kumpulan karbon yang diukur merupakan > 5% total karbon pada lapisan, memungkinkan akan besar atau sudah berubah baik secara alami atau buatan, serta tidak diketahui jumlah karbonnya. Pengukuran karbon berdasarkan 4 (empat) kumpulan yakni biomassa yang hidup di atas tanah, biomassa yang mati di atas tanah, biomassa yang hidup di bawah tanah, dan karbon tanah organik (*soil organic carbon*).

4. Menentukan Jenis, Nomor, dan Lokasi Plot

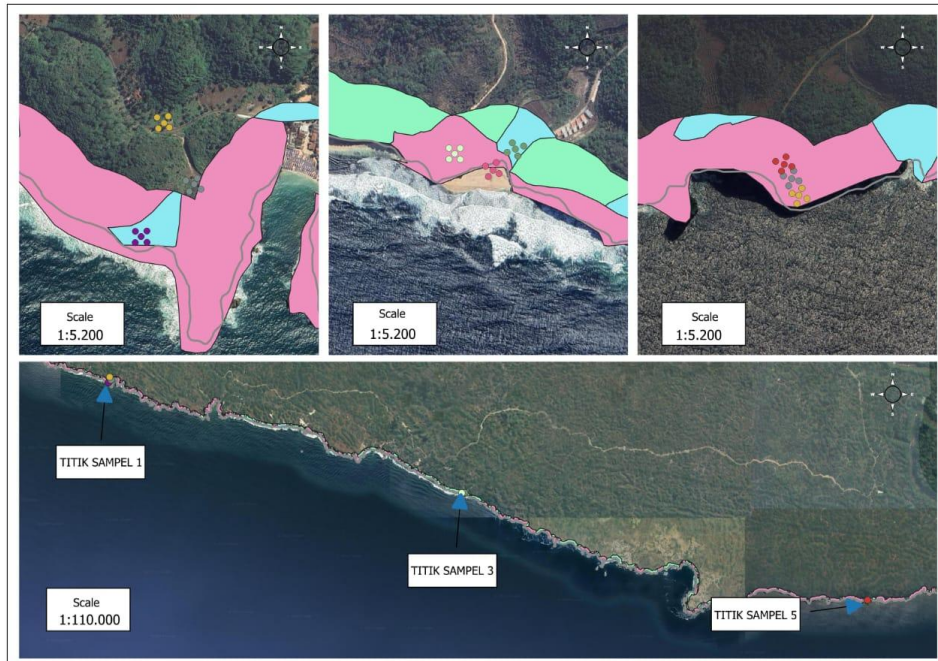
Mengetahui berapa jumlah yang diperlukan dalam memastikan keakuratan dapat membantu biaya pengukuran. Untuk memberikan gambaran yang akurat tentang karakteristik ekosistem tanpa menambahkan informasi tambahan, bentuk, ukuran dan intensitas pengambilan data dan sampel ditentukan berdasarkan jumlah karbon dalam ekosistem pesisir.

5. Menentukan Frekuensi Pengukuran

Frekuensi yang dimaksud adalah pengaruh dari gangguan alam, variasi produktivitas tanaman dan tingkat terserapnya karbon alami, perubahan lahan, dan perubahan cuaca. Pengambilan sampel mempengaruhi peraturan, pengelolaan atau pembiayaan, dan ketersediaan sumber daya. Biomassa yang berada di atas permukaan tanah pada hamparan lamun mengalami perubahan yang lebih cepat dibandingkan dengan Cadangan karbon yang tersimpan di dalam tanah. Selain itu, fluktuasi musiman dalam pertumbuhan dan kematian biomassa di atas tanah cenderung berisolasi sepanjang tahun dan dapat saling meniadakan. Oleh karena itu, pengambilan sampel sebaiknya dilakukan pada saat puncak akumulasi biomassa di atas permukaan tanah, yang umumnya terjadi pada akhir musim panas. Dengan mempertimbangkan dinamika yang terdapat pada ekosistem pesisir, pemantauan karbon di atas permukaan tanah umumnya dapat dilakukan dalam interval waktu sekitar lima tahun. Sementara itu, untuk Cadangan karbon yang mengalami perubahan lebih lambat, seperti yang terjadi pada tanah di ekosistem hutan mangrove, rawa pasang surut, dan padang lamun, interval pemantauan dapat di perpanjang hingga 10 sampai 20 tahun. Namun demikian,

penggunaan interval yang terlalu Panjang berpotensi melewati perubahan penting akibat gangguan alami maupun aktivitas manusia yang dapat mempengaruhi kondisi tanah dan keakuratan data yang diperoleh.

Ukuran yang digunakan untuk pemetaan lokasi penelitian yakni 20 x 20 m², berikut ini gambaran pemetaan lokasi penelitian berdasarkan metode kuadrat dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Pemetaan Lokasi dengan Metode Kuadrat

Penelitian ini dilakukan pada tiga lokasi pesisir di Kabupaten Gunungkidul, yaitu Pantai Ngrenahan berada di Kanigoro, Kec. Saptosari (lokasi 1), Pantai Seruni berada di Tepus, Kec. Tepus (lokasi 3), dan Pantai Tebing Ngungap berada di Pucung, Kec. Girisubo (lokasi 5). Ketiga lokasi tersebut dipilih untuk merepresentasikan kondisi ekosistem pesisir yang berbeda, mulai dari pantai berpasir, pantai sempit dengan tebing karst, hingga pantai dengan dominasi tebing curam yang langsung berbatasan dengan Samudra Hindia. Pada lokasi 1 Titik plot tersebar dengan jarak antar plot 102,834 m (1A–1B) dan 98,097 m (1B–1C). Jarak yang relatif jauh ini bertujuan untuk mencakup variasi vegetasi pada area pantai yang lebih luas. Lokasi 3 Jarak antar plot lebih rapat dibandingkan Lokasi 1, yaitu 26,307 m (3A–3B) dan 45,885 m (3A–3C). Hal ini disesuaikan dengan bentuk pantai yang sempit dan dikelilingi tebing karst, sehingga distribusi vegetasi relatif terbatas. Dan, lokasi 5 Plot ditempatkan dengan jarak paling rapat, yaitu 14,175 m

(5A–5B) dan 8,401 m (5B–5C). Kondisi ini mengikuti karakteristik tebing curam dengan area daratan yang sangat terbatas untuk tumbuhnya vegetasi. Selain itu, jarak antar lokasi penelitian cukup jauh, yaitu 20 km antara Lokasi 1 dan Lokasi 3, serta 23 km antara Lokasi 3 dan Lokasi 5. Rentang jarak ini memberikan gambaran keragaman ekosistem pesisir Gunungkidul dari barat hingga timur, sehingga data yang diperoleh diharapkan mampu merepresentasikan kondisi lingkungan yang lebih luas.

3.2.2 Penentuan Karbon Organik Tanah (*Soil Organic Carbon / SOC*)

Karbon tanah dapat disebut sebagai karbon sedimen atau karbon tanah yang dominan akar, rimpang, dan serasah daun hidup atau yang sudah membusuk menjadi kumpulan karbon terbesar pada ekosistem pesisir. Untuk mengukur sampel SOC memerlukan 3 (tiga) parameter dalam tiap lokasi pengambilan sampel, antara lain kedalaman tanah, kepadatan massa kering, dan kandungan karbon organik (% C_{org}). karena kepadatan massa tanah dan % C_{org} berbeda-beda setiap kedalaman dan lokasi, pola kepadatan karbon tidak selalu konsisten menurut kedalaman. Oleh sebab itu, kepadatan massa kering dan % C_{org} tanah digunakan untuk menghitung kepadatan karbon.

A. Sampel SOC

Dalam mengambil sampel SOC dilakukan dalam semua kedalaman tanah dengan teknik yang sangat teragregasi. Stok karbon organik tanah sebaiknya diukur hingga kedalaman 1 meter sesuai rekomendasi IPCC 2006 tentang *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, untuk menjaga konsistensi pengukuran dan memungkinkan perbandingan dengan nilai default. Jika kedalaman penuh 1 meter tidak dapat diambil sampelnya karena tanah keras, batuan, atau keterbatasan fisik lainnya, kedalaman aktual yang diukur harus dilaporkan, dan menggunakan pendekatan *Equivalent Soil Mass (ESM)* untuk membandingkan antar lokasi atau waktu serta dapat mengurangi bias karena perbedaan *bulk density* (Hiraishi et al., 2014). Penelitian ini menggunakan kedalaman 0-30 cm atau lapisan top soil.

B. Sub-sampel SOC

Pengambilan sub-sampel adalah dengan menentukan kerapatan massa pada setiap interval kedalaman terlebih dahulu, kemudian menghomogenkan sub-sampel tersebut dan menganalisis kandungan karbon organiknya.

Alternatif lainnya, sub-sampel dapat langsung diambil dari masing-masing interval kedalaman tertentu. Untuk melaksanakan proses ini, digunakan alat bantu seperti penggaris atau pita ukuran guna menentukan kedalaman titik pengambilan sub-sampel. Umumnya, ukuran sub-sampel yang diambil berkisar sekitar 5 cm dan menghasilkan sampel sebanyak 5-50 gram, tergantung pada diameter lebar tabung *Mud Auger* yang digunakan serta komposisi sedimen di Lokasi pengambilan.

C. Arsip Sampel SOC

Setiap sampel yang diambil harus diberi label untuk memudahkan dalam mengidentifikasi sampel. Label pada sampel berisi nama, kedalaman, dan interval kedalaman dan label yang dibawa ke lapangan harus label yang tahan dengan air. Sampel SOC harus disimpan pada suhu dingin yakni sekitar 14 °C (dapat dibekukan atau dikeringkan) untuk mencegah terjadinya pertumbuhan mikroba dan dekomposisi bahan organik.

D. Analisis Laboratorium

Terdapat 2 (dua) parameter yang harus diukur dalam analisis laboratorium, yakni kepadatan massa kering tanah dan kandungan karbon organik (% C_{org}).

- Kepadatan massa tanah (*bulk density*)

Bulk density menggambarkan tingkat kepadatan tanah. Semakin padat tanah, nilai *bulk density* akan semakin tinggi, sehingga pergerakan air maupun penetrasi akar menjadi lebih sulit. *Bulk density* didefinisikan sebagai rasio antara bobot tanah kering dengan volume total tanah, termasuk ruang pori, dan biasanya dinyatakan dalam satuan gr/cm³. Sementara itu, *particle density* merupakan massa tanah per satuan volume tanpa memperhitungkan pori-pori tanah, juga dinyatakan dalam gr/cm³ (Harahap et al., 2021). Berikut ini persamaan *bulk density* yang digunakan :

$$\text{Kepadatan massa tanah (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{massa tanah kering (g)}}{\text{volume awal yang diambil sampelnya (cm}^3\text{)}}$$

(Fourqurean et al., 2019)

Untuk menentukan volume awal harus diketahui jenis dan diameter internal alat yang digunakan dan ketebalan sampel atau panjang sampel. Rumus yang digunakan untuk menentukan volume awal adalah sebagai berikut :

- Gunakan persamaan berikut untuk sampel tanah inti utuh :

$$\text{Volume awal sampel tanah kering} = (\pi \times (\text{jari-jari inti barel})^2) \times (\text{kedalaman barel sampel, h})$$

(Fourqrean et al., 2019)

- Persamaan untuk sampel tanah inti terbelah sama dengan sampel tanah inti utuh, tetapi volume harus dibagi dua.
- Gunakan persamaan berikut untuk sampel yang diambil dengan *mud auger*
- Volume diukur langsung dari diameter *mud auger* tersebut

Sedangkan untuk menentukan massa kering, sampel tanah di taruh dalam wadah (cawan petri atau gelas kimia) yang sudah ditimbang sebelumnya, kemudian dikeringkan di dalam oven dengan suhu 60 °C selama 24 jam. Selanjutnya sampel didinginkan dengan desikator minimal 1 jam sampai sampel mengikuti suhu ruangan sebelum ditimbang. Ulangi langkah tersebut sampai perbedaan berat berturut-turut < 4 %.

- Kandungan karbon organik (% C_{org})

Metode untuk mengukur kandungan karbon organik yakni menggunakan pembakaran dan hubungan empiris antara karbon organik dan bahan organik atau dikenal *Loss on Ignition* (LOI). Mekanisme dalam metode LOI pertama dilakukan pengeringan menggunakan *Furnace* sekitar 4-8 jam dengan suhu 800 °C. Selanjutnya sampel tanah di timbang untuk mengetahui nilai kering dan setiap benda besar, seperti batu dan ranting dipisahkan, serta gumpalan dipecahkan. Berikut ini persamaan *Equivalent Soil Mass* (ESM) untuk membandingkan cadangan karbon tanah antar lokasi karena pengambilan sampel tanah < 1 m, antara lain :

- 1) % Bahan Organik

$$\% \text{BO} = \left(\frac{\text{massa kering sebelum pembakaran (g)} - \text{massa kering setelah pembakaran (g)}}{\text{massa kering sebelum pembakaran (g)}} \right) \times 100$$

(Fourqorean et al., 2019)

2) % Karbon Organik Tanah

$$\% C_{org} = \left(\frac{1}{1,724} \right) \times \% BO$$

(Pangastuti et al., 2025)

Keterangan :

1/1,724 : faktor konversi bahan organik ke karbon

% BO : bahan organik tanah (%)

3) Stok SOC per satuan luas (ESM)

$$QC(z) = 0.01 \cdot \sum_{k=1}^z \rho(k) \cdot C(k)$$

(Ferchaud et al., 2023)

Keterangan :

P(k) : *bulk density* (massa tanah kering) (g/cm^3) pada lapisan ke-k

C(k) : konsentrasi karbon organik tanah di lapisan ke-k (g/kg^1)

3.2.3 Penentuan Karbon Vegetasi

Komponen vegetasi dalam karbon terdiri dari 2 (dua). Pertama biomassa hidup di atas permukaan tanah termasuk tumbuhan herba dan tumbuhan berkayu. Kedua, biomassa hidup di bawah tanah seperti akar. Untuk menentukan setiap jenis vegetasi dalam kumpulan karbon dapat dikalikan biomassa tiap jenis bahan tanaman (kayu, akar, dan lainnya) sesuai dengan faktor konversi karbon yang menunjukkan kandungan karbon dalam fraksi vegetasi. Selain itu, dalam menentukan metode yang digunakan untuk mengukur karbon di setiap kumpulan ekosistem dipengaruhi oleh jenis dan kerapatan vegetasi. Persamaan alometrik dapat digunakan untuk mendefinisikan korelasi antara parameter yang diukur (tinggi, lebar, keliling, dll) dan total biomassa. Prosedur untuk pengukuran dan perhitungan biomassa serta perhitungan karbon setiap vegetasi berdasarkan SNI 7724: 2019 antara lain sebagai berikut :

a) Vegetasi jenis pancang, tiang dan pohon

Langkah-langkah pengukuran dapat dilakukan dengan :

- Mengidentifikasi nama jenis vegetasi;
- Mengukur diameter setinggi dada (dbh);
- Mencatat ke dalam *tally sheet*.

Perhitungan biomassa menggunakan persamaan *biomass expansion factor* (BEF) karena ketersediaan data-data yang didapatkan.

$$\mathbf{Bov = v \times BJ \times BEF}$$

(SNI 7724: 2019)

Dimana :

Bov : total biomassa vegetasi (kg)

v : volume kayu bebas cabang (komersil) (m³)

BJ : berat jenis kayu (kg/m³)

BEF : *biomass expansion factor*

Catatan :

- Nilai BEF didapatkan dari studi sebelumnya
- Data berat jenis mengacu pada Atlas Kayu Indonesia

Perhitungan karbon dapat dilakukan dengan persamaan berikut :

$$\mathbf{Cv = Bov \times \% C \text{ organik}}$$

(SNI 7724: 2019)

Dimana :

Cv : kandungan karbon dari biomassa vegetasi (kg)

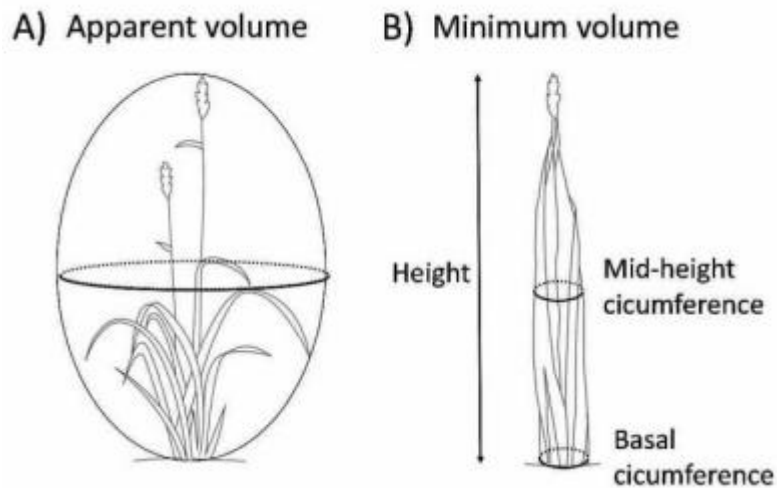
Bov : total biomassa vegetasi (kg)

% C organik : nilai persentase kandungan karbon yakni 0,47 atau menggunakan nilai persen karbon yang didapatkan dari hasil analisis laboratorium

b) Semai dan tumbuhan herba

Langkah-langkah yang dilakukan antara lain :

- Menentukan diameter dengan mengukur seperti Gambar 3.3



Gambar 3. 3 Metode Pengukuran Diameter Semai dan Tumbuhan Herba

(Sumber: Pottier & Jabot, 2017)

- Mengukur tinggi tanaman, lingkaran pangkal dan tengah tanaman;
- Menentukan biomassa dengan persamaan alometrik berdasarkan diameter tanaman dengan rumus sebagai berikut :

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

(Pottier & Jabot, 2017)

Dimana :

B : total biomassa atau bahan organik tumbuhan (kg)

H : tinggi tanaman (cm)

A_{basal} : keliling bawah (cm) (*basal circumference*)

A_{half} : keliling setengah tinggi (*mid-height*)

Menghitung karbon dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$C = B \times \% C \text{ organik}$$

(SNI 7724: 2019)

Dimana :

C : kandungan karbon bahan organik tumbuhan bawah (kg)

B : total biomassa atau bahan organik tumbuhan bawah (kg)

% C organik : nilai persentase kandungan karbon yakni 0,47 atau dengan nilai persen karbon yang didapatkan dari analisis laboratorium

c) Akar vegetasi

Langkah-langkah yang dilakukan dalam menghitung biomassa antara lain :

- Menggunakan nilai nisbah akar pucuk yang ada dan sesuai;
- Menghitung Boav menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\mathbf{Boav = NAP \times Boap}$$

(SNI 7724: 2019)

Dimana :

Boav : total biomassa akar vegetasi (kg)

NAP : nilai nisbah akar pucuk

Boap : nilai total biomassa atas permukaan (*above ground biomass*) (kg)

Catatan : Nilai nisbah akar pucuk diperoleh dari Lampiran SNI 7724: 2019

Perhitungan karbon untuk akar dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\mathbf{Cav = Boav \times \% C \text{ organik}}$$

(SNI 7724: 2019)

Dimana :

Cav : kandungan karbon bahan organik akar vegetasi (kg)

Boav : total biomassa atau bahan organik akar vegetasi (kg)

% C organik : nilai persentase kandungan karbon yakni 0,47 atau dengan nilai persen karbon yang didapatkan dari analisis laboratorium.

3.3 Analisis Data

Data-data yang telah dikumpulkan akan dilakukan perhitungan total kandungan karbon yang tersimpan pada vegetasi dan tanah tersebut menggunakan persamaan dalam buku SNI 7724:2019. Setelah mendapatkan jumlah karbon yang tersimpan, maka selanjutnya menentukan upaya mitigasi perubahan iklim yang harus dilakukan agar karbon yang tersimpan di ekosistem pesisir tidak berkurang.

3.3.1 Perhitungan Cadangan Karbon Total

Cadangan karbon total dalam suatu ekosistem merupakan akumulasi karbon yang tersimpan dalam kompartemen vegetasi dan tanah. Untuk mengetahui potensi penyimpanan karbon pada suatu kawasan, diperlukan perhitungan cadangan karbon pada masing-masing unit pengamatan atau kuadrat. Dalam penelitian ini, cadangan karbon dihitung berdasarkan 2 komponen utama, yakni karbon yang tersimpan dalam biomassa vegetasi dan karbon organik yang tersimpan dalam tanah. Berikut ini merupakan perhitungan yang digunakan untuk masing-masing komponen :

A. Perhitungan cadangan karbon vegetasi per hektar setiap kuadrat

Untuk menghitung cadangan karbon dalam vegetasi menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

(SNI 7724: 2019)

Dimana :

C_n : kandungan karbon per hektar pada kuadrat (ton/ha)

C_x : kandungan karbon pada kuadrat (kg)

l_{plot} : luas plot pada masing-masing kuadrat (m²)

B. Perhitungan kandungan karbon organik tanah per hektar

Persamaan yang digunakan dalam menentukan kandungan karbon organik tanah per hektar antara lain :

$$C_{tanah} = C_t \times 100$$

(SNI 7724: 2019)

Dimana :

C_{tanah} : kandungan karbon organik tanah per hektar (ton/ha)

C_t : kandungan karbon tanah (g/cm^2)
100 : faktor konversi dari g/cm^2 ke ton/ha

C. Perhitungan cadangan karbon total dalam kuadrat

Persamaan yang digunakan untuk menghitung cadangan karbon total dalam kuadrat, sebagai berikut :

$$C_{kuadrat} = (C_{bap} + C_{bbp} + C_{tanah})$$

(SNI 7724: 2019)

Dimana :

$C_{kuadrat}$: total kandungan karbon dalam kuadrat (ton/ha)
 C_{bap} : total kandungan karbon biomassa atas permukaan (ton/ha)
 C_{bbp} : total kandungan karbon biomassa bawah permukaan (akar vegetasi) (ton/ha)
 C_{tanah} : total kandungan karbon tanah per hektar pada kuadrat (ton/ha)

D. Perhitungan cadangan karbon total dalam stratum

Cadangan karbon total dalam stratum menggunakan perhitungan sebagai berikut :

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

(SNI 7724: 2019)

Dimana :

$C_{stratum}$: total cadangan karbon dalam stratum (ton)
 $n_{kuadrat}$: jumlah plot dalam stratum
 $C_{kuadrat}$: kandungan karbon per hektar pada kuadrat dalam stratum
Luas stratum : dalam hektar (ha)

E. Perhitungan cadangan karbon total dalam areal

Cadangan karbon total dalam areal menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

(SNI 7724: 2019)

Dimana :

C_{total} : cadangan karbon dalam suatu areal (ton)

$C_{stratum}$: total cadangan karbon dalam stratum (ton)

3.3.2 Parameter Pengamatan

Untuk mengetahui kerapatan dari setiap vegetasi di lapangan perlu menggunakan parameter pengamatan yang terdiri dari Kerapatan Mutlak (KM), Kerapatan Relatif (KR), Frekuensi Mutlak (FM), Frekuensi Relatif (RF), Dominansi Mutlak (DM), Dominansi Relatif (DR), Indeks Nilai Penting (INP), dan *Summed Dominance Ratio* atau Perbandingan Nilai Penting (SDR). Berikut persamaan dari setiap parameter tersebut, antara lain :

A. Kerapatan Mutlak (KM)

Kerapatan mutlak merupakan menunjukkan jumlah individu masing-masing spesies yang dijumpai keseluruhan petak contoh.

$$\mathbf{KM = (jumlah\ individu\ suatu\ jenis\ vegetasi\ /\ luas\ petak\ contoh)}$$

(Huda Pangabean et al., 2022)

B. Kerapatan Relatif (KR)

Kerapatan relatif merupakan persentase kerapatan satu spesies dari total kerapatan komunitas vegetasi.

$$\mathbf{KR\ (\%) = (kerapatan\ mutlak\ suatu\ jenis\ vegetasi\ /\ kerapatan\ total\ seluruh\ jenis\ vegetasi\ yang\ diambil)\ x\ 100\%}$$

(Huda Pangabean et al., 2022)

C. Frekuensi Mutlak (FM)

Frekuensi mutlak merupakan tingkat keberadaan suatu spesies, dihitung dari banyaknya petak yang ditemukan spesies tersebut terhadap jumlah petak contoh

$$\mathbf{FM = (jumlah\ petak\ contoh\ yang\ diduduki\ jenis\ vegetasi\ /\ jumlah\ banyaknya\ petak\ contoh)}$$

(Huda Pangabean et al., 2022)

D. Frekuensi Relatif (FR)

Frekuensi relatif merupakan persentase frekuensi individu suatu spesies dari jumlah frekuensi seluruh spesies.

FR (%) = (frekuensi mutlak jenis vegetasi / jumlah frekuensi seluruh jenis vegetasi) x 100%

(Huda Pangabea et al., 2022)

E. Dominansi Mutlak (DM)

Dominansi mutlak merupakan luasan bidang dasar atau penutupan yang dimiliki suatu spesies terhadap luas area pengamatan.

DM = (jumlah luas basal dasar / diameter suatu jenis vegetasi)

(Huda Pangabea et al., 2022)

F. Dominansi Relatif (DR)

Dominansi relatif merupakan persentase dominansi satu spesies dari akumulasi dominansi semua spesies.

DR (%) = (jumlah dominansi mutlak / jumlah dominansi seluruh jenis vegetasi) x 100%

(Huda Pangabea et al., 2022)

G. Indeks Nilai Penting (INP)

Indeks nilai penting merupakan ukuran kuantitatif yang digunakan untuk menggambarkan tingkat penguasaan atau dominansi spesies dalam suatu komunitas tumbuhan.

INP (%) = KR + FR + DR

(Huda Pangabea et al., 2022)

H. *Summed Dominance Ratio* (SDR)

Summed dominance ration digunakan untuk menilai seberapa dominan satu spesies dalam komunitas tumbuhan, dengan memperhitungkan jumlah individu, penyebaran frekuensi, dan ukuran yang dimilikinya. Ketiga faktor tersebut dirata-ratakan menjadi satu nilai, di mana nilai yang mendekati 100 mencerminkan dominansi besar, dan nilai yang mendekati 0 menandakan kontribusi kecil

SDR = (nilai penting jenis vegetasi / jumlah nilai semua jenis vegetasi) x 100%

(Novita Sari et al., n.d.)

Kerapatan mengacu pada jumlah individu dari setiap spesies yang ditemukan dalam keseluruhan petak contoh yang telah disusun dalam suatu penelitian. Nilai ini digunakan untuk mengukur seberapa banyak suatu spesies yang tersebar dalam suatu area tertentu, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai struktur komunitas dan dominasi spesies dalam ekosistem. Selain itu menghitung indeks keanekaragaman, dengan persamaan sebagai berikut :

I. Indeks Keanekaragaman

Indeks keanekaragaman adalah ukuran yang menggambarkan tingkat variasi spesies vegetasi yang ada di suatu lokasi. Nilai indeks yang lebih tinggi menunjukkan semakin beragamnya jenis-jenis yang terdapat di lokasi tersebut (Nasir & Dewantara, 2019). Persamaan indeks keanekaragaman menggunakan persamaan *Shannon-Wiener* (H') dan *Simpson* ($D / 1-D$) untuk melihat perbandingan komunitas di lokasi yang berbeda, kondisi ekosistem pada waktu yang berbeda, faktor lingkungan atau aktivitas manusia yang mempengaruhi, dan dominansi serta keseimbangan spesies vegetasi.

$$H' = - \sum \left\{ \left(\frac{ni}{N} \right) \ln \left(\frac{ni}{N} \right) \right\} \quad \text{Shannon-Wiener } (H')$$

(Arisandy & Triyanti, 2018)

Keterangan :

H' : indeks keanekaragaman

ni : jumlah individu dari suatu spesies vegetasi

N : jumlah total individu vegetasi

Jika nilai $H' > 3$ menunjukkan melimpah tinggi, $H' 1 \leq H' \leq 3$ menunjukkan sedang melimpah, dan $H' < 1$ menunjukkan sedikit atau rendah.

$$1 - D = 1 - \sum (pi)^2 \quad \text{Simpson}$$

(Hilwan et al., 2023)

Keterangan :

$1 - D$: indeks *simpson*

Pi : proporsi individu spesies ke-i dalam komunitas

Kriteria nilai untuk indeks *Simpson* jika nilai 0 – 0,30 menunjukkan tingkat jenis rendah, nilai 0,31 – 0,60 menunjukkan tingkat jenis sedang, dan 0,60 – 1 menunjukkan tingkat jenis tinggi (Wahyuningsih et al., 2019).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Keanekaragaman Vegetasi

Penelitian ini dilakukan di 3 titik lokasi yang berada di pesisir pantai Gunungkidul, masing-masing plot kuadrat mewakili variasi kondisi ekosistem dan penggunaan lahan di wilayah tersebut. Pemilihan lokasi dilakukan secara purposif berdasarkan keberadaan vegetasi pesisir dan potensi penyimpanan karbon yang dimiliki. Setiap titik lokasi terdapat 3 plot kuadrat pengamatan dengan ukuran masing-masing 20 x 20 m², sehingga secara keseluruhan terdapat 9 plot kuadrat pengamatan yang digunakan dalam pengambilan data. Berikut ini temuan vegetasi setiap plot kuadrat di lokasi penelitian, dapat dilihat pada Tabel 4. 1.

Tabel 4. 1 Jenis Vegetasi Setiap Kuadrat

Susunan Vegetasi Setiap Kuadrat		
1A	1B	1C
<i>Manihot esculenta</i>	<i>Cocos nucifera</i>	<i>Cocos nucifera</i>
<i>Cocos nucifera</i>	<i>Calotropis gigantea</i>	<i>Thespesia populea</i>
<i>Pandanus tectorius</i>	<i>Ficus septica</i>	<i>Leucaena laucocephala</i>
<i>Musa paradisiaca</i>	<i>Cymbopogon citratus</i>	<i>Alstonia macrophylla</i>
<i>Euphorbia heterophylla</i>	<i>Terminalia catappa</i>	<i>Himatanthus drasticus</i>
<i>Zea luxurians</i>	<i>Lantana camara</i>	<i>Solanum incanum</i>
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	<i>Waltheria indica</i>	<i>Acalypha indica</i>
<i>Arachis repens</i>	<i>Tridax procumbens</i>	<i>Abutilon theophrasti</i>
<i>Phyllanthus urinaria</i>	<i>Urena lobata</i>	<i>Ipomoea cordatotriloba</i>
	<i>Poa bulbosa</i>	<i>Pandanaceae</i>
	<i>Scaevola taccada</i>	
	<i>Themeda triandra</i>	
	<i>Hyptis pectinata</i>	
3A	3B	3C
<i>Pandanus tectorius</i>	<i>Ipomoea babatas</i>	<i>Pandanus tectorius</i>
<i>Casuarina equisetifolia</i>	<i>Cymbopogon citratus</i>	<i>Casuarina equisetifolia</i>
<i>Ipomoea pes-caprae</i>	<i>Casuarina equisetifolia</i>	<i>Tridax procumbens</i>
<i>Microstegium vimineum</i>	<i>Amaranthus spp.</i>	<i>Microstegium vimineum</i>
<i>Leptopetalum biflorum</i>	<i>Panicum maximum</i>	<i>Thespesia populnea</i>
	<i>Manihot esculenta</i>	<i>Phyllanthus urinaria</i>
	<i>Morinda citrifolia</i>	<i>Ardisia elliptica</i>
	<i>Colocasia esculenta</i>	
	<i>Thespesia populnea</i>	
	<i>Sesbania grandiflora</i>	

	<i>Carica papaya</i>	
	<i>Coccoloba uvifera</i>	
	<i>Vigna unguiculata</i>	
	<i>Cocos nucifera</i>	
	<i>Musa paradisiaca</i>	
	<i>Arachis repens</i>	
5A	5B	5C
<i>M. suaveolens (L) kuntze</i>	<i>Agrostis scabra</i>	<i>Ziziphus mauritiana</i>
<i>Stachytarpheta cayannensis</i>	<i>Acacia melanoxylon</i>	<i>Ficus septica</i>
<i>Ipomoea hederacea</i>	<i>Toxicodendron radicans</i>	<i>Pimenta racemosa</i>
<i>Pandanus tectorius</i>	<i>Manihot esculenta</i>	<i>Baccaurea racemosa</i>
<i>Emilia fosbergii</i>	<i>Ipomoea lacunosa</i>	<i>Cynodon dactylon</i>
<i>Lantana camara</i>	<i>Lantana camara</i>	<i>Ipomoea</i>
<i>Imperata cylindrica</i>	<i>Cajanus</i>	<i>Leucaena laucocephala</i>
<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Pleurolobus gangeticus</i>	<i>Pennisetum purpureum</i>
<i>Uraria lagopodioides</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Agrostis scabra</i>
<i>Hyptis suaveolens</i>	<i>Prunus laurocerasus</i>	<i>Cupaniopsis anacardioides</i>
	<i>Vinca major</i>	<i>Hyptis suaveolens</i>
	<i>Senna obtusifolia</i>	<i>Tabernaemontana divaricata</i>
		<i>Cyperus polystachyos</i>
		<i>Oxalis barrelieri</i>
		<i>Ixora chinensis</i>

4.2 Hasil Karbon yang Tersimpan Pada Tanah

Penelitian ini menghitung total cadangan karbon yang tersimpan dalam tanah pada lokasi penelitian. Nilai karbon yang tersimpan ditentukan melalui analisis laboratorium terhadap sampel tanah yang telah diambil dari tiap kuadrat pengamatan, kemudian konversikan ke satuan massa karbon per satuan luas (Ton C/Ha).

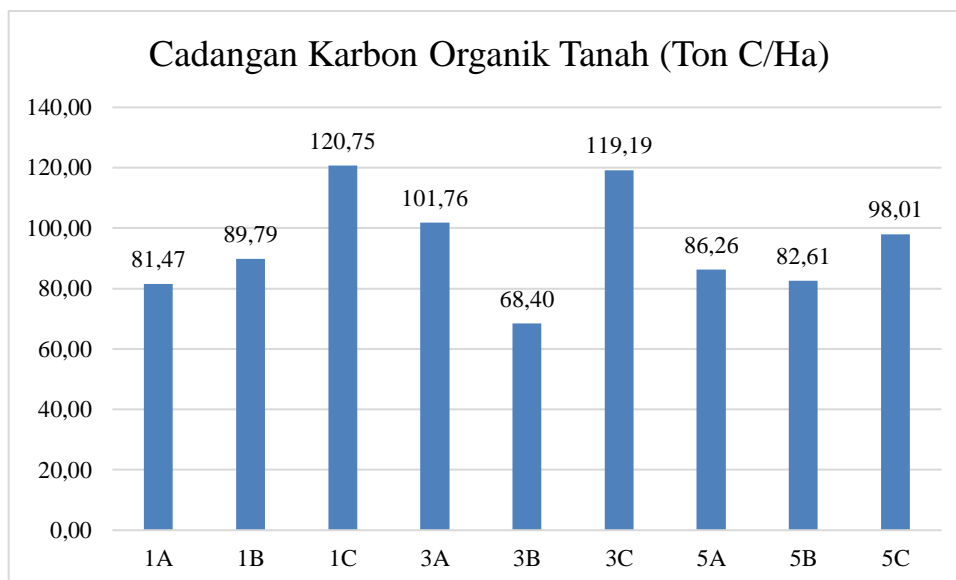
4.2.1 Karbon yang Tersimpan Pada Tanah

Perhitungan karbon yang tersimpan pada tanah dilakukan dengan tahapan analisis, salah satunya adalah perhitungan *Dry Bulk Density* (DBD) atau kerapatan massa kering tanah. Nilai DBD diperoleh dari perbandingan antara massa kering tanah dengan volume sampel tanah yang diambil dari masing-masing kuadrat pengamatan. Nilai ini merupakan komponen penting dalam menentukan kandungan karbon tanah per satuan luas dan volume. Kemudian, Kadar air dihitung berdasarkan selisih berat antara sampel awal dan sampel setelah pengeringan menggunakan oven, sedangkan karbon organik diperoleh dari berat yang hilang setelah proses pembakaran menggunakan furnace. Setiap sampel memiliki berat 50 gram, kemudian dikeringkan pada suhu 110°C selama 1 jam

untuk menghilangkan kadar air, dan dibakar pada suhu 800°C selama 2 jam untuk menentukan kadar karbon organik. Kandungan karbon organik dalam tanah dihitung berdasarkan konsentrasi karbon organik dari sampel tanah yang telah dianalisis di laboratorium, dikalikan dengan nilai DBD. Hasil ini kemudian dikonversikan ke satuan ton karbon per hektar (Ton C/Ha).

Tabel 4. 2 Cadangan Karbon Organik Tanah

Plot Kuadrat	% Kadar Air	Co org %	Bulk Density (g/cm ³)	Cadangan Karbon Organik Tanah (Ton C/Ha)
1A	16%	14,5	0,563	81,468
1B	12%	14,8	0,605	89,794
1C	9%	15,9	0,758	120,751
3A	4%	10,2	1,002	101,755
3B	13%	13,2	0,518	68,397
3C	14%	25,3	0,470	119,193
5A	12%	15,7	0,549	86,265
5B	13%	14,8	0,557	82,609
5C	12%	16,7	0,587	98,008
Jumlah				848,240
Rata-rata				94,249



Gambar 4. 1 Diagram Total Karbon Organik Tanah Tiap Kuadrat (Ton C/Ha)

Berdasarkan Tabel 4.2 nilai cadangan karbon organik tanah pada setiap kuadrat menunjukkan variasi yang cukup signifikan, yaitu berkisar antara 68,40 Ton C/Ha (kuadrat 3B) hingga 120,75 Ton C/Ha (kuadrat 1C). Secara umum,

cadangan karbon organik tanah pada lokasi penelitian sebesar 848,240 Ton C/Ha dengan rata-rata sebesar 94,25 Ton C/Ha, yang dapat dikategorikan pada tingkat sedang hingga tinggi. Variasi nilai ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain perbedaan *bulk density*, kadar air, dan kandungan karbon organik pada masing-masing kuadrat.

Kuadrat dengan kandungan karbon organik yang lebih besar cenderung memiliki cadangan karbon lebih tinggi, meskipun hal ini juga dipengaruhi oleh faktor *bulk density* dimana nilai ini mencerminkan tingkat kepadatan tanah, semakin tinggi *bulk density*, maka porositas tanah semakin rendah, yang berakibat pada terbatasnya pergerakan akar, air, dan udara. Kondisi tersebut biasanya mengurangi penumpukan bahan organik yang menjadi sumber utama karbon tanah (Mehmood et al., 2020). Sebaliknya, tanah dengan *bulk density* rendah cenderung lebih gembur dan memiliki pori-pori lebih besar, sehingga mampu menyimpan lebih banyak bahan organik dan mendukung aktivitas biota tanah yang berperan dalam akumulasi karbon. Oleh karena itu, *bulk density* tidak hanya menggambarkan sifat fisik tanah, tetapi juga menjadi parameter penting dalam estimasi cadangan karbon organik tanah (Don et al., 2022).

Variasi cadangan karbon tersebut juga dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pertama, kadar air tanah yang berkisar antara 4%–16%. Kuadrat dengan kadar air lebih tinggi (seperti 1A dan 3C) cenderung memiliki cadangan karbon lebih besar, karena kelembaban memperlambat proses dekomposisi bahan organik. Kedua, *bulk density* yang berkisar antara 0,478–1,002 g/cm³. Nilai *bulk density* yang tinggi, seperti pada kuadrat 3A (1,002 g/cm³), berkontribusi terhadap tingginya simpanan karbon akibat meningkatnya massa tanah per satuan volume. Ketiga, kandungan karbon organik (%Corg) yang relatif bervariasi, di mana kuadrat 1C memiliki nilai tertinggi (25,3%) dengan cadangan karbon sebesar 119,9 Ton C/Ha, sementara kuadrat 3A memiliki nilai terendah (10,2%) dengan cadangan karbon 101,755 Ton C/Ha.

Pola distribusi pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa sebaran cadangan karbon organik tanah antar kuadrat tidak merata. Lokasi 1 cenderung memiliki nilai relatif tinggi, dengan cadangan karbon tertinggi tercatat pada kuadrat 1C sebesar 120,751 Ton C/Ha, sedangkan 1B sebesar 89,794 Ton C/Ha dan 1A

sebesar 81,468 Ton C/Ha berada pada kategori menengah. Lokasi 3 memperlihatkan variasi yang cukup tajam, di mana kuadrat 3B memiliki nilai terendah dari seluruh kuadrat yaitu 68,397 Ton C/Ha, sementara kuadrat 3C justru termasuk tiga besar dengan 119,193 Ton C/Ha, mendekati nilai tertinggi penelitian. Lokasi 5 secara umum berada pada kategori sedang dengan kisaran antara 82,609 Ton C/Ha (5B) hingga 98,008 Ton C/Ha (5C). Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi lingkungan mikro di masing-masing kuadrat, seperti tingkat kelembapan dan akumulasi serasah memberikan pengaruh nyata terhadap simpanan karbon organik tanah.

4.3 Hasil Karbon yang Tersimpan Pada Vegetasi

Perhitungan dilakukan untuk 5 kategori vegetasi yakni tiang, pohon, akar, semai dan tumbuhan herba yang ditemukan di 9 plot kuadrat yang didistribusikan di 3 lokasi penelitian. Data yang diperoleh dari pengukuran lapangan meliputi jumlah individu, diameter batang tinggi dada untuk pohon dan tiang, tinggi tanaman, dan spesies yang menyusun vegetasi di setiap plot. Selanjutnya, nilai biomassa vegetasi dihitung dengan penerapan metode alometrik yang tepat untuk kedua jenis vegetasi. Kemudian, biomassa diubah menjadi estimasi karbon yang tersimpan, dan dari situ, estimasi karbon untuk setiap plot diperoleh. Informasi yang disajikan dalam sub-bab ini meliputi biomassa dan distribusi karbon dalam vegetasi di setiap plot, perbandingan antar jenis vegetasi dan rata-rata karbon yang tersimpan dalam vegetasi pada ekosistem pesisir di Gunungkidul.

4.3.1 Struktur dan Komposisi Vegetasi

Hasil analisis struktur dan komposisi vegetasi pada lokasi penelitian menunjukkan adanya variasi kategori vegetasi yang terdiri atas tiang, pohon, semai dan tumbuhan herba. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui komposisi jenis serta peranan ekologis masing-masing vegetasi melalui parameter ekologi yang meliputi Kerapatan Relatif (KR), Frekuensi Relatif (FR), Dominansi Relatif (DR), Indeks Nilai Penting (INP), dan *Summed Dominance Ration* (SDR). Parameter tersebut digunakan untuk menggambarkan tingkat dominansi, penyebaran, serta peranan suatu jenis dalam komunitas, dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut :

Tabel 4. 3 Susunan Vegetasi

Kategori	Nama	Jumlah Individu	KR (%)	FR (%)	DR (%)	INP (%)	SDR (%)
Tiang	Anggur laut	11	92%	50%	40%	182%	17%
Pohon	Pandan duri	203	59%	20%	5%	84%	0,4%
Semai	Meniran	63	24%	13%	3%	39%	1%
Tumbuhan Herba	Rumput grinting	1703	34%	5,1%	0,7%	39,8%	0,02%

Berdasarkan Tabel 4.3, diketahui bahwa kategori vegetasi tiang didominasi oleh jenis anggur laut dengan jumlah individu relatif sedikit (11 individu), namun memiliki nilai KR 92% dan INP 182% yang sangat tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa meskipun jumlah individu tidak banyak, anggur laut mempunyai peran penting dalam komunitas pada tingkat tiang. Pada kategori pohon, jenis pandan duri tercatat sebanyak 203 individu dengan KR 59% dan INP 84% yang menandakan bahwa jenis ini cukup dominan di tingkat pohon. Untuk kategori semai, meniran ditemukan sebanyak 63 individu dengan KR 24% dan INP 39%, menunjukkan bahwa peran ekologisnya masih ada namun tidak terlalu besar dibandingkan kategori lainnya. Sementara itu, kategori tumbuhan herba didominasi oleh rumput grinting dengan jumlah individu terbanyak sekitar 1.703. Akan tetapi, meskipun jumlah individu tinggi, nilai KR hanya 34% dan INP 39,8% serta SDR yang sangat kecil 0,02%, sehingga kontribusinya terhadap struktur komunitas tidak sebesar jenis lainnya yang berada pada strata tiang atau pohon. Secara keseluruhan, hasil ini memperlihatkan bahwa anggur laut dan pandan duri merupakan jenis-jenis vegetasi dengan peran ekologis paling dominan di lokasi penelitian, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai INP yang tinggi. Selain itu, rumput grinting secara kuantitas jumlah individu sangat melimpah, peran dalam struktur komunitas relatif rendah tetapi keberadaannya penting untuk menutupi permukaan tanah dan mencegah erosi.

Tabel 4. 4 Hasil Indeks Keanekaragaman Vegetasi

kategori	Jumlah Individu	Shannon-Wiener (H')	Simpson	
			D	1-D
Tiang	12	0,287	0,847	0,153
Pohon	347	0,226	0,390	0,610
Semai	259	2,260	0,129	0,871
Tumbuhan Herba	5003	2,645	1,5	8,5

Nilai indeks keanekaragaman kategori vegetasi tiang diperoleh sebesar 0,287. Nilai ini tergolong sangat rendah karena mendekati nol, yang mengindikasikan keanekaragaman jenis pada strata tiang sangat rendah dan komunitas didominasi oleh satu jenis, yaitu anggur laut. Hal ini yang sama terlihat pada nilai indeks *Simpson* dengan D sebesar 0,847 dan 1-D sebesar 0,153. Nilai D mendekati 1 menunjukkan adanya dominansi yang sangat kuat oleh satu jenis, sementara nilai 1-D yang rendah menandakan peluang untuk menemukan dua individu jenis dalam satu pengambilan sampel sangat kecil. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pada kategori tiang, proses regenerasi vegetasi cenderung tidak seimbang karena jenis tertentu lebih mendominasi, sehingga keberagaman jenis baru sulit berkembang.

Pada kategori pohon, nilai H' sebesar 0,226 juga menunjukkan keanekaragaman yang rendah. Hal ini konsisten dengan nilai 1-D sebesar 0,610 yang artinya keanekaragaman pohon masih terbatas dan didominasi oleh jenis pandan duri. Kondisi ini dapat mencerminkan adanya tekanan ekologis seperti kompetisi ruang dan cahaya, gangguan antropogenik, maupun faktor lingkungan pesisir yang membatasi jumlah jenis pohon yang tumbuh optimal.

Sebaliknya, pada kategori semai didapat nilai H' sebesar 2,260 yang tergolong sedang hingga tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa kategori semai terdapat komposisi jenis lebih beragam dan relatif seimbang. Nilai indeks *Simpson* mendukung hal tersebut, dengan D sebesar 0,129 dan 1-D sebesar 0,871, yang berarti peluang ditemukan dua individu dari jenis berbeda cukup besar. Tingginya nilai keanekaragaman pada semai menunjukkan bahwa regenerasi vegetasi masih berlangsung cukup baik di kategori awal pertumbuhan, meskipun dominasi pada kategori pohon dan tiang dapat membatasi pertumbuhan lebih lanjut.

Kategori tumbuhan herba menunjukkan nilai H' tertinggi yaitu 2,645. Nilai ini menunjukkan keanekaragaman yang tinggi, dengan jumlah individu yang sangat banyak dan distribusi jenis yang relatif merata. Indeks *Simpson* juga menunjukkan keanekaragaman tinggi, dengan nilai D 1,5 dan 1-D 8,5. Tingginya keanekaragaman tumbuhan herba mencerminkan bahwa kategori ini merupakan komunitas yang paling kompleks dan stabil di antara semua kategori vegetasi

yang diamati. Kondisi ini mengindikasikan bahwa tumbuhan herba mampu beradaptasi dengan baik pada kondisi lingkungan pesisir, sehingga mendukung kestabilan ekosistem secara menyeluruh.

Secara umum, hasil ini menunjukkan adanya variasi tingkat keanekaragaman antar kategori vegetasi. Vegetasi pada tingkat tiang dan pohon memperlihatkan keanekaragaman rendah yang diduga dipengaruhi oleh dominansi spesies tertentu serta tekanan lingkungan, sedangkan vegetasi semai dan tumbuhan herba memiliki keanekaragaman lebih tinggi, menandakan komunitas yang relatif stabil, seimbang, dan adaptif. Pola ini sejalan dengan penelitian Alongi (2020) terkait penempatan petak kuadrat dari arah pantai menuju daratan, di mana gradien lingkungan memengaruhi komposisi vegetasi. Faktor edafik, khususnya pH tanah, merupakan penentu utama dalam mengatur keanekaragaman vegetasi pesisir.

Nilai pH berpengaruh langsung pada ketersediaan unsur hara penting serta aktivitas mikroorganisme yang mendukung proses dekomposisi, sehingga menentukan jenis tanaman yang dapat tumbuh secara optimal. Tanah dengan pH rendah (masam) biasanya membatasi ketersediaan unsur hara seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, sedangkan pH tinggi (basa) menurunkan kelarutan unsur mikro; keduanya menyebabkan hanya spesies tertentu yang mampu beradaptasi (Chaudhuri et al., 2015). Di kawasan pesisir karst seperti Gunungkidul, tanah yang dangkal, berbatu, dan relatif basa mendorong dominansi vegetasi yang lebih toleran, sehingga keanekaragaman pada tingkat tiang dan pohon cenderung rendah dibandingkan dengan semai atau herba yang lebih adaptif terhadap variasi edafik (Widyastuti et al., 2020). Dengan demikian, pH tanah tidak hanya memengaruhi aspek fisiologi tumbuhan, tetapi juga berperan penting dalam membentuk struktur komunitas dan arah regenerasi vegetasi pesisir.

4.3.2 Biomassa dan Karbon Vegetasi

Berikut ini merupakan hasil perhitungan biomassa dan karbon yang terbagi menjadi kategori tiang, pohon, akar, semai dan tumbuhan herba yang didapat :

Tabel 4. 5 Biomassa dan Karbon Vegetasi Kategori Tiang dan Pohon

Nama Vegetasi	Biomassa (Kg)	Karbon vegetasi (Kg C)
---------------	---------------	------------------------

Tiang		
Kayu wortel	1,550	0,729
Anggur laut	0,980	0,461
Pohon		
Kelapa	5,976	2,809
Pisang	2,088	0,981
Cemara laut	4,351	2,045
Ketapang	1,836	0,863
Waru laut	3,840	1,805
Pulai	1,715	0,806
Turi	4,021	1,890
Pandan duri	2,438	1,146
Janaguba	2,940	1,382

Hasil perhitungan biomassa dan kandungan karbon pada vegetasi kategori tiang dan pohon yang ditemukan di lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.5. Untuk kategori tiang, jenis vegetasi wortel memiliki biomassa sebesar 1,550 kg dengan kandungan karbon 0,729 kg C, sedangkan anggur laut memiliki biomassa 0,980 kg dengan kandungan karbon 0,461 kg C. Nilai biomassa pada kategori tiang relatif rendah dibandingkan dengan kategori pohon. Sementara kategori pohon, vegetasi kelapa memiliki biomassa terbesar 5,976 kg dengan kandungan karbon 2,809 kg C. Hal ini disebabkan oleh diameter dan tinggi tanaman yang lebih kecil sehingga akumulasi biomassa juga terbatas (Nyugen et al., 2021).

Tabel 4. 6 Biomassa dan Karbon Akar

Nama Vegetasi	Biomassa akar (kg)	Karbon vegetasi (Kg C)
Kelapa	1,673	0,7864
Pisang	0,585	0,2748
Cemara laut	1,218	0,5726
Ketapang	0,514	0,2416
Waru laut	1,075	0,5053
Kayu wortel	0,434	0,2040
Pulai	0,480	0,2257
Anggur laut	0,274	0,1290
Turi	1,126	0,5292
Pandan duri	0,683	0,3208
Janaguba	0,823	0,3869

Berdasarkan Tabel 4.6, nilai biomassa akar vegetasi menunjukkan variasi antar spesies. Biomassa akar tertinggi terdapat pada vegetasi kelapa sebesar 1,673

kg dengan kandungan karbon sebesar 0,786 kg C. Sebaliknya, biomassa akar terendah ditemukan pada anggur laut dengan nilai 0,274 kg dan kandungan karbon sebesar 0,129 kg C, yang mencerminkan ukuran sistem perakaran yang lebih kecil dan terbatas. Kontribusi biomassa akar terhadap total biomassa relatif rendah dibandingkan biomassa batang dan tajuk, namun tetap memiliki peran penting dalam penyimpanan karbon. Akar tidak hanya berfungsi sebagai penyimpan karbon, tetapi juga berperan dalam stabilisasi tanah serta meningkatkan kemampuan ekosistem dalam mempertahankan cadangan karbon jangka panjang. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa variasi biomassa akar dipengaruhi oleh ukuran individu tanaman, jenis spesies, dan kondisi lingkungan tempat tumbuhan (Suryana et al., 2020).

Tabel 4. 7 Biomassa dan Karbon Vegetasi Kategori Semai

Nama Vegetasi	Biomassa (Kg)	Karbon vegetasi (Kg C)
Meniran	0,490	0,022
Biduri	0,374	0,040
Awar-awar	0,735	0,076
Gagabusan	0,403	0,018
Lamtoro	0,477	0,047
Mengkudu	0,548	0,065
Pepaya	0,406	0,030
Akasia hitam	0,442	0,034
Kesambik	0,260	0,014
Bidara	0,071	0,004
Minyak teluk	0,087	0,003
Kepundung	0,122	0,007
Mondokaki	0,194	0,009

Tabel 4.7 menunjukkan nilai biomassa vegetasi pada kategori semai berkisar antara 0,087 kg sampai 0,735 kg, dengan nilai karbon vegetasi antara 0,003 kg C sampai 0,076 kg. Vegetasi dengan biomassa tertinggi terdapat pada jenis awar-awar (0,735 kg) dengan kandungan karbon sebesar 0,076 kg C, sedangkan nilai biomassa terendah pada minyak teluk (0,087 kg) dengan kandungan karbon hanya 0,003 kg C. Biomassa dan kandungan karbon kategori semai relatif lebih rendah dibandingkan kategori tiang maupun pohon. Hal ini disebabkan oleh fase pertumbuhan awal tanaman memiliki akumulasi biomassa rendah karena sebagian

besar energi dialokasikan untuk pembentukan jaringan fotosintetik dan sistem perakaran dibandingkan akumulasi biomassa batang (Arifanti et al., 2022).

Tabel 4. 8 Biomassa dan Karbon Vegetasi Kategori Tumbuhan Herba

Nama Vegetasi	Biomassa (Kg)	Karbon vegetasi (Kg C)	Nama Vegetasi	Biomassa (Kg)	Karbon vegetasi (Kg C)
Kate mas	0,265	0,016	Kacang panjang	0,173	0,001
Jagung liar	0,316	0,022	Mata pelanduk	0,212	0,014
Rumput gagak mesir	0,122	0,006	M. suaveolens	0,442	0,037
Kacang tanah	0,173	0,004	Ekor tikus biru	0,354	0,034
Daun serai	0,412	0,045	Kaladana	0,300	0,008
Tahi ayam	0,087	0,006	Alum-alum	0,505	0,018
Daun pagi mengantuk	0,084	0,001	Alang-alang	0,173	0,012
Gletang	0,229	0,004	Rumput grinting	0,367	0,007
Daun pulutan	0,245	0,013	Ekor tupai	0,265	0,011
Rumput biru berumbi	0,357	0,012	Kunu buti	0,173	0,010
Rumput kangguru	0,418	0,019	Putri malu	0,071	0,002
Hyptis pectinata	0,173	0,010	Sumak racun	0,300	0,010
Terung kuning	0,173	0,010	Kangkung air	0,173	0,003
Kucing galak	0,505	0,014	Kacang gude	0,158	0,008
Daun beludru	0,141	0,010	Daun bulu ayam	0,300	0,010
Tievine	0,173	0,002	Tapak dara	0,173	0,003
Pandan wangi	0,283	0,016	Jati tiongkok	0,361	0,015
Katang-katang	0,300	0,005	Kangkung pagar	0,141	0,004
Rumput panggung jepang	0,636	0,005	Alang-alang payung	0,187	0,006
Leptopetalum dua bunga	0,433	0,004	Calincing tanah	0,212	0,008
Ubi jalar	0,654	0,011	Asoka	0,316	0,017
Bayam	0,194	0,008	Singkong	0,505	0,060
Rumput benggala	0,245	0,017	Rumput gajah	0,122	0,001
Talas	0,825	0,054	-	-	-

Berdasarkan Tabel 4.8, hasil perhitungan biomassa dan kandungan karbon pada kategori vegetasi tumbuhan herba di lokasi penelitian. Biomassa herba memiliki nilai yang relatif paling rendah dibandingkan dengan kategori vegetasi lain seperti pohon, tiang, dan semai. Ukuran morfologi tumbuhan herba yang kecil, siklus yang singkat, dan jaringan tanaman yang lebih lunak sehingga akumulasi biomassa dan karbon juga lebih terbatas menjadi penyebabnya. Namun berkontribusi penting terhadap siklus hara dan dinamika ekosistem (Nogueira et al., 2020). hasil menunjukkan bahwa spesies herba dengan biomassa relatif tinggi antara lain talas 0,825 kg dan kandungan karbon 0,054 kg C, sementara itu daun pagi mengantuk memiliki biomassa terendah sebesar 0,084 dan kandungan karbon sebesar 0,001 kg C. Rendahnya kontribusi karbon pada kategori herba

memperlihatkan bahwa kelompok ini berperan lebih kecil dalam penyimpanan karbon dibandingkan kategori vegetasi berkayu. Perbedaan cadangan karbon antar kategori vegetasi juga dipengaruhi oleh ukuran morfologi, tingkat pertumbuhan, dan umur tanaman (Arifanti et al., 2022).

4.3.3 Karbon yang Tersimpan Pada Vegetasi

Berikut ini merupakan hasil perhitungan karbon yang tersimpan pada vegetasi berdasarkan setiap lokasi dan dibagi menjadi beberapa plot kuadrat yang didapat :

Tabel 4. 9 Jumlah Karbon Pada Vegetasi di Lokasi 1

Kuadrat 1A		Kuadrat 1B		Kuadrat 1C	
Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)
990	158,60	710	9,58	102	36,58

Hasil jumlah karbon pada vegetasi berdasarkan Tabel 4.9, lokasi 1 menunjukkan variasi yang cukup signifikan. Kuadrat 1A memiliki jumlah vegetasi tertinggi yaitu 990 individu dengan simpanan karbon sebesar 158,60 kg C. Sebaliknya, kuadrat 1B mencatat jumlah vegetasi sebanyak 710 namun hanya menyimpan karbon sebesar 9,58 kg C. Sementara itu, kuadrat 1C memiliki jumlah vegetasi paling sedikit yaitu 102 individu, namun mampu menyimpan karbon sebesar 36,58 kg C. Secara keseluruhan, hasil ini mengindikasikan bahwa distribusi karbon di lokasi 1 lebih dipengaruhi oleh struktur vegetasi dan kategori pertumbuhan yang mendominasi pada masing-masing kuadrat.

Tabel 4. 10 Jumlah Karbon Pada Vegetasi di Lokasi 3

Kuadrat 3A		Kuadrat 3B		Kuadrat 3C	
Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)
224	28,56	277	93,93	228	138,92

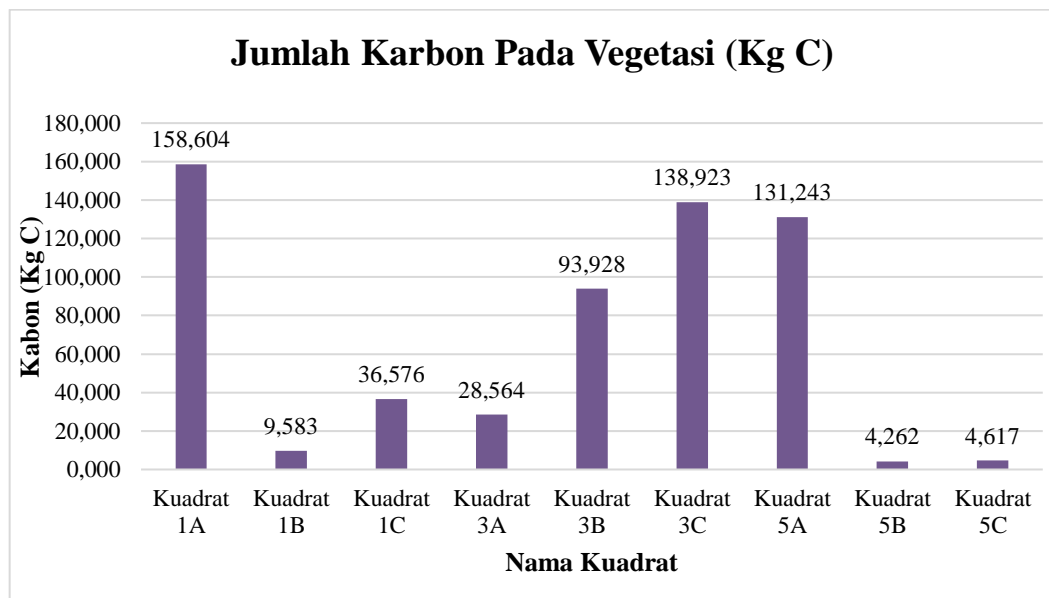
Tabel 4.10 menunjukkan jumlah vegetasi dan kandungan karbon setiap kuadrat di lokasi 3. Kuadrat 3A, jumlah vegetasi tercatat sebanyak 224 individu dengan kandungan karbon sebesar 28,56 kg C. Kuadrat 3B memiliki jumlah vegetasi tertinggi yaitu 277 individu, dengan kandungan karbon 93,93 kg C. Sementara, kuadrat 3C memiliki 228 individu vegetasi namun menunjukkan

karbon paling tinggi sebesar 138,92 kg C. Bahwa hasil tersebut, jumlah vegetasi tidak selalu berbanding lurus dengan kandungan karbon yang tersimpan.

Tabel 4. 11 Jumlah Karbon Pada Vegetasi di Lokasi 5

Kuadrat 5A		Kuadrat 5B		Kuadrat 5C	
Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)
1002	131,24	845	4,26	1219	4,62

Hasil dari lokasi 5 yang terlihat pada Tabel 4.11, menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan juga. Pada kuadrat 5A, jumlah vegetasi tercatat sebanyak 1002 individu dengan kandungan karbon 131,24 kg C. Kuadrat 5B memiliki jumlah vegetasi 845 individu, tetapi kandungan karbon yang sangat rendah, hanya 4,26 kg C. Sedangkan, kuadrat 5C memiliki jumlah vegetasi paling tinggi yaitu 1219 individu, namun kandungan karbonnya juga rendah, yakni sebesar 4,62 kg C. Hasil ini memperlihatkan adanya ketidaksesuaian antara jumlah vegetasi dengan kandungan karbon yang tersimpan. Kuadrat 5C, meskipun memiliki jumlah vegetasi paling banyak, hanya menyimpan karbon yang sangat rendah. Sebaliknya, kuadrat 5A dengan jumlah vegetasi lebih sedikit dibandingkan 5C, mampu menyimpan karbon jauh lebih banyak.



Gambar 4. 2 Jumlah Karbon Pada Vegetasi di Setiap Kuadrat

Berdasarkan estimasi total karbon pada vegetasi pada Gambar 4.2 di atas, diketahui bahwa total simpanan karbon dari seluruh kuadrat mencapai 606,30 kg

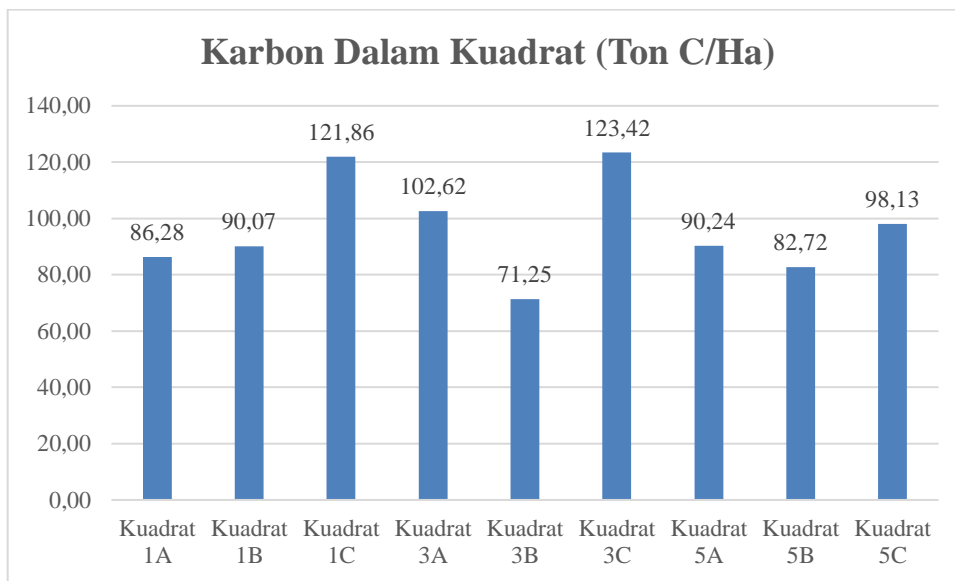
C. Dengan rata-rata 67,37 kg C per kuadrat. Nilai simpanan karbon tertinggi terdapat pada kuadrat 1A sebesar 158,60 kg C, diikuti oleh kuadrat 3C dengan 138,92 kg C, dan kuadrat 5A sebesar 131,24 kg C. Sebaliknya, simpanan karbon terendah terdapat pada kuadrat 5B yaitu 4,26 kg C dan 5C 4,62 kg C, sedangkan kuadrat lain seperti 1B, 1C, 3A, dan 3B menunjukkan nilai simpanan karbon yang berada pada kisaran menengah, yakni antara 9,58 – 93,93 kg C.

Variasi kandungan karbon dari setiap lokasi maupun kuadrat tersebut dipengaruhi beberapa faktor-faktor seperti diameter batang, tinggi pohon, densitas atau kepadatan kayu, biomassa, dan komposisi serta struktur komunitas yang terbukti menjadi penentu utama besarnya stok karbon di suatu ekosistem. Selain sifat individu, kepadatan kayu berperan sebagai penanda strategi investasi karbon kayu densitas tinggi menyimpan karbon lebih besar per unit volume sehingga meningkatkan stok pada tingkat tegakan (B. Liu et al., 2023). Dengan demikian, hasil ini menguatkan pentingnya struktur komunitas dan kualitas vegetasi dalam analisis cadangan karbon. Data lapangan yang didapatkan juga sejalan dengan hasil penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa simpanan karbon sangat dipengaruhi oleh ukuran dan komposisi vegetasi, bukan hanya jumlah individu (Basyuni et al., 2024). Hal ini memiliki implikasi penting bagi strategi konservasi dan pengelolaan ekosistem, di mana perlindungan terhadap vegetasi dengan biomassa tinggi dan spesies dominan berperan besar dalam mendukung potensi ekosistem pesisir serta mitigasi perubahan iklim (Nur et al., 2022).

4.4 Kontribusi Ekosistem Pesisir Sebagai Upaya Mitigasi Perubahan Iklim

Pesisir Gunungkidul yang didominasi bentang karst dengan tanah tipis, berbatu, dan kering masih kurang mendukung terbentuknya ekosistem *blue carbon* seperti mangrove dan padang lamun. Namun, kawasan ini tetap ditumbuhi vegetasi khas pantai, antara lain cemara laut (*Casuarina equisetifolia*), pandan pantai (*Pandanus tectorius*), ketapang (*Terminalia catappa*), dan waru laut (*Hibiscus tiliaceus*), yang berperan dalam mitigasi perubahan iklim (Fatma et al., 2021). Melalui fotosintesis, vegetasi tersebut menyerap karbon dioksida dan menyimpannya sebagai biomassa, sementara serasah serta akar yang terurai memberikan tambahan karbon organik pada tanah meskipun jumlahnya terbatas

(Kusumaningtyas et al., 2019). Selain fungsi biologis, keberadaan vegetasi ini juga penting secara ekologis, karena membantu menahan abrasi, mengurangi erosi pada tebing karst, serta melindungi pesisir dari terpaan angin laut. Dengan demikian, meskipun tidak termasuk penyerap *blue carbon* utama, ekosistem pesisir Gunungkidul tetap berkontribusi nyata dalam mitigasi perubahan iklim melalui perannya menjaga stabilitas lingkungan pantai (Alongi, 2020). Berikut ini merupakan karbon yang tersimpan di wilayah pesisir Gunungkidul, terdapat total cadangan karbon dalam kuadrat dan cadangan karbon total dalam stratum.



Gambar 4. 3 Cadangan Karbon Dalam Kuadrat

Tabel 4. 12 Cadangan Karbon Total dalam Stratum

Total Karbon (Ton C/Ha) (Cplot)	Jumlah Plot Kuadrat	Luas Stratum (Ha)	Karbon Total (Ton)
866,582	9	0,36	34,66

Hasil analisis pada 9 kuadrat pengamatan, cadangan karbon pada ekosistem pesisir pantai menunjukkan kisaran nilai antara 71,25 – 123,42 Ton C/Ha. Kuadrat dengan nilai karbon tertinggi yaitu kuadrat 3C sebesar 123,42 Ton C/Ha, sedangkan yang terendah terdapat pada kuadrat 3B sebesar 71,25 Ton C/Ha. Nilai karbon total dihitung untuk stratum seluas 0,36 Ha adalah 59,2 Ton dengan total cadangan karbon sebesar 1.480,7 Ton C/Ha. Perbedaan nilai karbon antar kuadrat ini menunjukkan bahwa kondisi vegetasi pesisir, kerapatan vegetasi, dan karakteristik sedimen berperan penting dalam menentukan besar kecilnya karbon

yang tersimpan. Kuadrat dengan vegetasi lebih rapat, adanya serasah, dan tanah yang lebih banyak mengandung bahan organik cenderung memiliki cadangan karbon lebih tinggi dibandingkan dengan tanah terbuka dan sedikitnya jumlah vegetasi.

Kandungan karbon yang tergolong sedang tersebut disebabkan oleh keterbatasan sampling tanah. Pengambilan contoh tanah dilakukan hanya sampai kedalaman 0-30 cm. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan teknis baik dari sisi ketersediaan alat maupun kondisi lapangan. Secara khusus, wilayah Gunungkidul memiliki karakteristik tanah batu gamping atau batuan kapur (karst) yang keras dan berlapis tipis sehingga pengambilan hingga kedalaman 1 meter tidak dapat dilakukan dengan bor tanah konvensional (Ningrum. W et al., 2020). Keterbatasan teknis ini juga diperparah oleh kondisi lapangan, seperti tanah yang kering, padat, dan berbatu, yang membuat pengambilan contoh tanah pada kedalaman lebih dalam menjadi sulit dan tidak representatif. Oleh karena itu, estimasi stok karbon tanah hanya mewakili lapisan 0-30 cm, sebagaimana direkomendasikan oleh IPCC 2006 *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* untuk pelaporan tanah, dengan tetap melaporkan keterbatasan kedalaman pengambilan contoh secara transparan.

Dalam konteks Indonesia yang memiliki garis pantai lebih dari 95.000 Km (Status Sumber Daya Pesisir Dan Laut Indonesia, 2021), peran vegetasi pesisir menjadi signifikan. Jika pengelolaan dilakukan melalui rehabilitasi vegetasi pantai, maka bukan hanya fungsi ekologi sebagai pelindung abrasi yang diperoleh, tetapi juga peningkatan simpanan karbon organik tanah (Gao et al., 2022). Dengan kata lain, vegetasi pesisir pantai dapat berfungsi sebagai *nature-based solution* dalam mitigasi perubahan iklim sekaligus mendukung adaptasi pesisir terhadap tekanan lingkungan (Griscom et al., 2017). Jika dibandingkan dengan mangrove, padang lamun, dan rawa asin, memang nilai karbon vegetasi pesisir lebih rendah (Fourqurean et al., 2015). Namun, kebaruan penelitian ini justru menegaskan bahwa ekosistem ini berpotensi menjadi tambahan stok karbon kumulatif jika dikelola secara luas (Windham-Myers et al., 2024). Dengan luasnya habitat pesisir berpasir di Indonesia, kontribusinya dapat menjadi relevan untuk mendukung

target *Nationally Determined Contributions* (NDC) dalam pengurangan emisi gas rumah kaca (Wibowo et al., 2020).

Ekosistem pesisir memiliki keanekaragaman hayati dan fungsi ekologis yang penting, termasuk perannya dalam menyimpan *blue carbon* seperti mangrove, padang lamun, dan rawa asin. Di luar ekosistem inti tersebut, terdapat vegetasi khas pesisir seperti cemara laut (*Casuarina equisetifolia*), ketapang (*Terminalia catappa*), pandan pantai (*Pandanus tectorius*), dan waru laut (*Hibiscus tiliaceus*), yang meski bukan bagian dari ekosistem *blue carbon*, tetap berkontribusi melalui perannya menahan abrasi, mengurangi dampak angin laut, memperbaiki iklim mikro, dan menambah cadangan karbon tanah dari serasah yang terdekomposisi. Tanah pesisir sendiri, meskipun kapasitasnya lebih rendah dibandingkan sedimen mangrove dan lamun, tetap mendukung penyimpanan karbon dengan menjadi media tumbuh vegetasi khas pantai serta menampung karbon organik dari bahan organik permukaan (Alongi, 2020). Kondisi ini juga terlihat di pesisir karst Gunungkidul, di mana tanah tipis dan berbatu tetap berperan dalam siklus karbon melalui sumbangan serasah vegetasi yang tumbuh di atasnya (Fatma et al., 2021). Secara keseluruhan, interaksi antara vegetasi dan tanah pesisir memperkuat fungsi mitigasi perubahan iklim dengan menjaga stabilitas ekosistem dan melengkapi peran ekosistem *blue carbon* utama, khususnya di kawasan tropis yang memiliki keanekaragaman hayati pesisir tinggi seperti Indonesia

4.5 Keterkaitan Isu Sosial dan Kebijakan Lingkungan

Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan daerah kerajaan yang mengelola pertanahannya melalui regulasi khusus, yaitu Undang-Undang Tanah Swapraja yang masih berlaku. Penerapan Undang-Undang No.5 Tahun 1960 tentang Peraturan Dasar Pokok-Pokok Agraria (UUPA) di D.I Yogyakarta, yang diperkuat oleh Keputusan Presiden No.33 Tahun 1984, sejatinya hanya menyoroti aspek konversi hak-hak ulayat menjadi hak milik. Namun, dalam praktiknya, tanah Kasultanan atau *Sultan Ground* (SG) dan tanah Kadipaten Pakualaman atau *Pakualaman Ground* (PAG) tidak mengalami konversi sebagaimana diatur dalam kerangka hukum pertanahan nasional. Dengan demikian, meskipun secara

normatif D.I Yogyakarta menyatakan tunduk pada ketentuan UUPA, implementasi menyeluruh terhadap UUPA tidak dapat dilaksanakan sepenuhnya (Wibawanti et al., 2024).

Permasalahan dualisme hukum agraria di D.I Yogyakarta, yang melibatkan UUPA dan Undang-Undang Keistimewaan Daerah Istimewa Yogyakarta, terletak pada ketidaksesuaian antara pengakuan terhadap hak milik dan hak pakai tanah (*angguduh*). Hingga kini, konflik antara kedua bentuk hak ini masih belum terselesaikan dan menjadi isu agraria yang signifikan di wilayah D.I Yogyakarta. Keberadaan dua sistem hal atas tanah yang sama-sama diakui secara hukum justru menimbulkan rivalitas dan perebutan klaim atas status kepemilikan tanah. Rivalitas ini muncul akibat maraknya klaim saling bertentangan antara masyarakat dan pihak Kasultanan maupun Kadipaten Pakualaman, yang keduanya mengklaim sebagai subjek hak milik atas tanah tersebut. Kondisi ini menciptakan situasi dilematis bagi masyarakat, terutama mereka yang telah lama menempati tanah yang kini menjadi objek sengketa. Banyak dari mereka menilai bahwa klaim penguasaan oleh pihak kerajaan tidak sesuai dengan prinsip-prinsip UUPA, melainkan lebih mengacu pada ketentuan hukum kolonial berupa *Rijksblad Kasultanan* Tahun 1918 Nomor 16 dan *Rijksblad Pakualaman* Tahun 1918 Nomor 18 (Hakim, 2025).

Kebijakan pembangunan pariwisata yang masif di kawasan pesisir selatan Gunungkidul, D.I Yogyakarta, telah memicu berbagai persoalan sosial yang kompleks, khususnya dalam hal penguasaan lahan dan hak masyarakat atas ruang hidup. Salah satu contoh nyata terjadi di Pantai Watunene (lokasi ke-3), di mana konflik lahan mencuat antara masyarakat lokal dan pihak-pihak yang memiliki kuasa atas kebijakan pengelolaan wilayah, seperti birokrat, investor, serta institusi tradisional seperti keraton. Dalam hal ini, aktor lokal memanfaatkan hubungan patrimonial dengan masyarakat untuk menguasai lahan, yang pada akhirnya memperparah ketimpangan sosial dan mengganggu stabilitas ekologi wilayah. Kasus tersebut menunjukkan bagaimana konflik sosial menjadi dampak dari ketidakjelasan kebijakan tata ruang dan lemahnya mediasi pemerintah. Perampasan ruang hidup masyarakat demi kepentingan ekonomi dan pariwisata tidak hanya mengancam keberlanjutan lingkungan, tetapi juga merusak tatanan

sosial-budaya lokal yang telah terbentuk sejak lama. Oleh karena itu, hubungan antara kebijakan lingkungan dan dinamika sosial harus dipahami secara holistik, mengingat intervensi pembangunan yang tidak berkeadilan hanya akan melanggengkan konflik dan ketimpangan di tingkat akar rumput.

Kebijakan lingkungan di D.I Yogyakarta juga menunjukkan beberapa ketidaksesuaian dengan prinsip AMDAL, terutama terkait dengan perubahan fungsi lahan yang masif akibat pariwisata dan pembangunan infrastruktur di atas tanah Kasultanan (SG) maupun tanah Kadipaten (PG). Transformasi ini berpotensi mengabaikan analisis dampak lingkungan dan sosial secara komprehensif (Adiwibowo & Koestoer, 2017). Partisipasi masyarakat dalam proses pengambilan keputusan terkait pemanfaatan SG atau PG juga cenderung formalitas dan belum substantif, padahal AMDAL mewajibkan keterlibatan komunitas terdampak (Fitrani et al., 2020). Konflik lahan yang muncul, seperti di Gunungkidul, mencerminkan bahwa kepastian hukum dan hak atas tanah masyarakat belum terintegrasi secara memadai dalam perencanaan berbasis AMDAL (Harjito & Susilo, 2019). Ini menunjukkan adanya kecenderungan prioritas ekonomi di atas kesejahteraan lingkungan dan sosial, sehingga proses AMDAL, meskipun secara formal dilakukan, mungkin belum sepenuhnya efektif dalam mengidentifikasi, memitigasi, dan mengelola dampak negatif secara holistik (Situmorang, 2018).

Ekosistem pesisir Gunungkidul memiliki fungsi ekologis penting sebagai penyerap dan penyimpan karbon yang berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim (Alongi, 2020b). Namun, potensi ini sangat dipengaruhi oleh kebijakan tata ruang dan pengelolaan lahan, serta dinamika sosial-ekonomi masyarakat pesisir. Masyarakat pesisir Gunungkidul sebagian besar bergantung pada sumber daya alam untuk mata pencarian. Ketika terjadi perubahan fungsi lahan untuk infrastruktur pariwisata atau pemanfaatan tanah, potensi konflik sosial muncul, sekaligus menurunkan kualitas ekosistem pesisir yang menyimpan karbon (Harjito & Susilo, 2019).

Kebijakan lingkungan yang lemah dalam aspek AMDAL, partisipasi masyarakat dan kepastian hukum atas tanah sering kali berimplikasi pada degradasi ekosistem pesisir. Hilangnya vegetasi alami dapat mengurangi kapasitas

serapan karbon, sementara praktik pemanfaatan berbasis masyarakat yang berkelanjutan justru terbukti mampu menjaga stok karbon (Kauffman et al., 2020). Dengan demikian, bahwa keberhasilan serapan karbon pesisir tidak hanya ditentukan oleh faktor biofisik ekosistem, tetapi juga sangat bergantung pada kebijakan lingkungan yang konsisten dan keadilan sosial dalam pengelolaan sumber daya pesisir. Integrasi isu sosial ke dalam kebijakan lingkungan menjadi kunci untuk memastikan keberlanjutan fungsi ekosistem sebagai penyerap karbon (Fitriani et al., 2020).

4.6 Peran Metode Kuadrat Dalam Perhitungan Karbon

Metode kuadrat memiliki peran yang penting dalam memilih lokasi penelitian, dengan membagi lokasi heterogen menjadi lebih homogen, membatasi area yang sudah terkonversi, dan memilih area yang terdapat kumpulan karbon lebih dominan dengan mengamati individu vegetasi yang tersebar. Analisis metode kuadrat terhadap komposisi vegetasi memperoleh data yang presisi dan dapat dibandingkan antara lokasi maupun periode yang berbeda (Agustina et al., 2021). Melalui metode ini, peran masing-masing spesies dalam ekosistem dapat dikenali secara jelas, baik spesies yang mendominasi ataupun yang memiliki pengaruh kecil dalam komunitas. Sebab, setiap kuadrat dianggap sebagai perwakilan dari keseluruhan area yang diteliti.

Penerapan metode kuadrat dalam penelitian ini memudahkan identifikasi pola sebaran, kerapatan, dominansi, frekuensi dan menaksi komposisi vegetasi (Tarigan et al., 2023). Data vegetasi yang terbagi di setiap kuadrat dapat memperkirakan biomassa yang kemudian dikonversikan menjadi nilai karbon. Penempatan kuadrat menghasilkan variasi vegetasi dan simpanan karbon serta pengambilan sampel tanah untuk mengukur *soil oraganic carbon* (SOC) sehingga dapat merepresentasi kondisi area. Letak kuadrat yang ditempatkan dapat digunakan kembali sebagai evaluasi perubahan karbon yang tersimpan dan perbandingan dari waktu serta lokasi yang berbeda.

Penempatan petak kuadrat dari arah pesisir pantai menuju ke darat dilakukan untuk menangkap pola zonasi vegetasi pesisir yang terbentuk secara alami akibat adanya gradien lingkungan. Zonasi ini sangat penting karena kondisi

abiotik di ekosistem pesisir berubah secara signifikan dari pantai ke arah daratan, sehingga mempengaruhi distribusi, kelimpahan dan dominansi spesies tumbuhan (Friess et al., 2020). Pada area yang dekat dengan garis pantai, vegetasi biasanya beradaptasi terhadap salinitas tinggi, genangan pasang surut, dan substrat berpasir atau berlumpur (Alongi, 2020b). Sedangkan semakin ke arah darat, kondisi lingkungan berubah menjadi lebih kering, tanah lebih tebal, kadar garam berkurang, dan tekanan pasang surut semakin kecil, sehingga memungkinkan jenis vegetasi lain yang berbeda untuk tumbuh (Murdiyarso et al., 2021).

Dengan menempatkan kuadrat secara berurutan dari pantai ke darat, penelitian dapat mendokumentasikan perubahan komposisi spesies, struktur tegakan, dan cadangan karbon pada setiap zona ekologis. Pendekatan ini juga sesuai dengan prinsip *ecotone* (peralihan ekosistem), di mana batas antara darat dan laut menunjukkan transisi vegetasi yang khas dan berpengaruh terhadap fungsi ekosistem pesisir (Kauffman et al., 2020). Oleh sebab itu, arah penempatan petak kuadrat tidak acak, tetapi mengikuti gradien ekologis alami yang mencerminkan faktor-faktor pembentuk struktur vegetasi pesisir. Strategi ini memberikan data yang lebih representatif mengenai hubungan antar kondisi lingkungan dan komunitas tumbuhan serta mendukung analisis stok karbon yang lebih akurat.

4.7 Rekomendasi Teknis Pengelolaan Karbon dan Implikasi pada Alih Fungsi Lahan

Pengalihan fungsi lahan pesisir di Gunungkidul untuk keperluan ekonomi dan pariwisata seperti pembangunan jalan pesisir dan penataan pantai, berpotensi mengurangi kemampuan ekosistem dalam menyerap karbon. Kehilangan sedimen alami dan vegetasi pantai dapat menyebabkan pelepasan karbon serta menurunkan kapasitas penyerapan di masa depan. Untuk menyeimbangkan pembangunan dan mitigasi perubahan iklim, teknologi terbaru dalam pengelolaan karbon dapat dimanfaatkan. Beberapa inovasi dalam lima tahun terakhir antara lain penggunaan citra resolusi (*Sentinel-2*, *PlanetScope*) untuk memantau tutupan vegetasi pesisir (Phang et al., 2022), *drone* LiDAR (*Light Detection and Ranging*) untuk pemetaan 3D biomassa vegetasi (Fatoyinbo et al., 2023), dan sensor tanah berbasis IoT yang mampu memantau karbon organik dan emisi CO₂ secara *real-time* (Ochoa-Hueso et al., 2021). Selain itu, *machine learning* digunakan untuk

memprediksi stok karbon di bawah berbagai skenario alih fungsi lahan (Y. Liu et al., 2022), sementara *eco-engineering* dengan material ramah lingkungan memungkinkan perlindungan pantai sekaligus menjaga ekosistem pesisir (Morris et al., 2020).

Setiap teknologi memiliki kelebihan dan kekurangan. Citra satelit unggul dalam cakupan luas namun kurang detail untuk area-area sempit di Gunungkidul. *Drone* LiDAR sangat akurat tetapi mahal dan membutuhkan keahlian tinggi. Sensor IoT menyediakan data kontinu tetapi rentan rusak oleh kondisi pantai pesisir. *Machine learning* efektif untuk analisis prediksi, meski bergantung pada data yang lengkap. Sementara *eco-engineering* ramah lingkungan memberikan solusi jangka panjang, namun biaya relatif besar. Untuk Gunungkidul, kombinasi beberapa teknologi tersebut menjadi pilihan tepat. Pemantauan berbasis citra satelit yang divalidasi dengan *drone* dapat digunakan untuk menghitung stok karbon. sensor IoT dipasang di muara kecil untuk memantau emisi karbon dari sedimen, sementara *machine learning* membantu menyusun skenario perubahan karbon akibat pembangunan wisata. Pendekatan *eco-engineering* juga dapat diterapkan untuk memastikan infrastruktur pesisir tetap mendukung konservasi.

Pendekatan *eco-engineering* dalam pembangunan ekowisata pesisir Gunungkidul dapat diwujudkan melalui pemanfaatan beberapa jenis mangrove, yakni *Sonneratia alba*, *Rhizophora stylosa*, dan *Aegiceras floridum*. Ketiganya dipilih karena memiliki adaptasi ekologis yang kuat sekaligus memberikan nilai tambahan bagi aspek ekowisata. *Sonneratia alba* berperan sebagai spesies pionir yang mampu tumbuh di wilayah berkarang maupun berpasir dengan kondisi ombak relatif kuat. Kehadirannya tidak hanya efektif merendam gelombang, tetapi juga menghadirkan daya tarik visual melalui bunga putih yang khas. Sementara itu, *Rhizophora stylosa* dengan akar yang menarik sebagai sarana edukasi wisata lingkungan. Adapun *Aegiceras floridum*, yang cenderung berbentuk semak hingga pohon kecil, berkontribusi pada keragaman lanskap mangrove, menciptakan habitat penting bagi berbagai biota pesisir, dan menambah pengalaman interpretatif bagi wisatawan. Kombinasi ketiga spesies ini bukan hanya memperkuat fungsi ekologis, seperti perlindungan pantai, peningkatan keanekaragaman hayati, dan penyimpanan karbon, tetapi juga memperkaya nilai

atraksi, estetika, dan edukasi dalam kerangka *eco-tourism* berbasis konservasi di kawasan pesisir Gunungkidul. Dengan demikian, pengembangan pariwisata Gunungkidul dapat diarahkan pada model rendah karbon yang mendukung keberlanjutan ekonomi sekaligus mitigasi perubahan iklim. Berikut ini contoh ilustrasi mangrove yang tumbuh di pesisir pantai.



Gambar 4. 4 Contoh Mangrove

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Hasil analisis menunjukkan estimasi cadangan karbon organik tanah (*Soil Organic Carbon/SOC*) di ekosistem pesisir Gunungkidul berkisar antara 68,40 hingga 120,75 ton C/ha dengan rata-rata 94,25 ton C/ha. Nilai ini termasuk dalam kategori rendah hingga sedang, menunjukkan bahwa tanah pesisir berperan penting sebagai penyimpan karbon jangka panjang. Variasi cadangan SOC dipengaruhi oleh kadar air, kerapatan massa tanah (*bulk density*), kandungan bahan organik, dan keterbatasan pada saat sampling tanah.
2. Estimasi cadangan karbon vegetasi mencapai 15,16 ton C/ha. Kontribusi terbesar berasal dari jenis vegetasi dominan, terutama *Pandanus tectorius* (pandan duri) dan *Casuarina equisetifolia* (cemara laut). Perbedaan cadangan karbon antar plot menunjukkan bahwa komposisi jenis dan kerapatan vegetasi memegang peranan besar dalam menentukan besarnya karbon tersimpan.
3. Metode kuadrat yang digunakan efektif dan cocok untuk menganalisis serta menghitung cadangan karbon dalam ekosistem pesisir. Dengan membangun plot kuadrat 20 x 20 meter dan mengamati vegetasi serta pengambilan sampel tanah, data yang dikumpulkan memberikan estimasi sistematis tentang kandungan karbon. perhitungan dilakukan sesuai dengan SNI 7724: 2019 dan IPCC 2006 untuk biomasa di atas tanah, biomassa di bawah tanah, serta karbon organik dalam tanah, sehingga hasilnya dapat digunakan sebagai referensi ilmiah untuk kebijakan lingkungan.
4. Nilai simpanan karbon tidak merata antar kuadrat maupun lokasi. Lokasi dengan kelembapan tanah lebih tinggi dan vegetasi rapat cenderung memiliki simpanan karbon lebih besar. Faktor lingkungan mikro seperti topografi, tingkat kelembaban, dan akumulasi serasah turut memengaruhi distribusi karbon. Secara keseluruhan, ekosistem pesisir Gunungkidul

terbukti memiliki potensi signifikan dalam menyimpan karbon biru melalui tanah dan vegetasi. Peran ini menjadikan ekosistem pesisir sebagai aset penting dalam mendukung upaya mitigasi perubahan iklim, khususnya dalam kerangka pencapaian target *Nationally Determined Contribution (NDC)* Indonesia.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk dilakukan cakupan yang lebih luas dan beragam, mencakup berbagai jenis ekosistem pesisir seperti mangrove, padang lamun, rawa asin, serta ekosistem yang berada pada wilayah yang tingkat degradasi tinggi.
2. Area yang mengalami degradasi atau alih fungsi lahan sebaiknya direhabilitasi dengan penanaman vegetasi lokal yang adaptif agar dapat meningkatkan cadangan karbon dan menjaga kestabilan ekosistem.
3. Perlu dilakukan pemantauan secara berkala terhadap cadangan karbon tanah (*Soil Organic Carbon*) dan biomassa vegetasi dengan standar SNI dan panduan IPCC, untuk memperoleh data yang konsisten serta mendukung pengembangan basis data nasional karbon.
4. Hasil penelitian ini dapat dijadikan rujukan dalam mendukung implementasi *Nationally Determined Contribution (NDC)* Indonesia, khususnya dalam sektor penurunan emisi berbasis ekosistem pesisir.
5. Studi berikutnya disarankan mencakup kedalaman tanah lebih dari 30 cm hingga 1 m sesuai rekomendasi IPCC, serta menambahkan analisis karbon pada biomassa bawah permukaan dan serasah, sehingga estimasi total karbon lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiwibowo, S., & Koestoer, R. H. (2017). Environmental impact assessment in Indonesia: Critical review and future challenges. *International Journal of Environmental Science and Development*, 8(12), 850–854.
- Agustina, S., Maulana, Y., & Zahara, N. (2021a). ANALISIS VEGETASI JENIS POHON DIKAWASAN PENGUNUNGAN DESA IBOIH KECAMATAN SUKAKARYA KOTA SABANG. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, 9(1).
- Agustina, S., Maulana, Y., & Zahara, N. (2021b). ANALISIS VEGETASI JENIS POHON DIKAWASAN PENGUNUNGAN DESA IBOIH KECAMATAN SUKAKARYA KOTA SABANG. *Prosiding Seminar Nasional Biotik*, 9(1).
- Alongi, D. M. (2020a). Blue carbon ecosystems in the South China Sea region. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 243(106840).
- Alongi, D. M. (2020b). Carbon balance in salt marsh and mangrove ecosystems: A global synthesis. *Forests*, 11(9), 977.
- Argadyanto Prabawa, B., Tulus Wahyuhana, R., & Fatchurohman, H. (2024). *Geomedia Majalah Ilmiah dan Informasi Kegeografian Kerawan gelombang pasang terhadap penggunaan lahan di kawasan wisata Pantai Sepanjang-Drini, pesisir selatan Kabupaten Gunungkidul* (Vol. 22, Issue 1). <https://journal.uny.ac.id/index.php/geomedia/index>
- Arifanti, V. B., Kauffman, J. B., Hadriyanto, D., Murdiyarso, D., & Diana, R. (2022). Carbon Stocks and Tree Diversity Along Forest Regeneration Gradients in Tropical Landscape. *Forest Ecology and Management*, 503.
- Arisandy, D. A., & Triyanti, M. (2018). Keanekaragaman Jenis Vegetasi Strata Semak di Hutan Perlindungan Kawasan Bukit Cogong. *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains*, 1(2), 95–105. <https://doi.org/10.31539/bioedusains.v1i2.362>
- Asyiwati, Y. & A. L. S. (2014). IDENTIFIKASI DAMPAK PERUBAHAN FUNGSI EKOSISTEM PESISIR TERHADAP LINGKUNGAN DI WILAYAH PESISIR KECAMATAN MUARAGEMBONG. *Perencanaan Wilayah Dan Kota*, 14(1).
- Basyuni, M., Aznawi, A. A., Rafli, M., Tinumbunan, J. M. T., Gultom, E. T., Lubis, R. D. A., Sianturi, H. A., Sumarga, E., Mukhtar, E., Slamet, B., Jumilawaty, E., Pribadi, R., Sitinjak, R. R., & Baba, S. (2024). Harnessing Biomass and Blue Carbon Potential: Estimating Carbon Stocks in the Vital Wetlands of Eastern Sumatra, Indonesia. *Lanf*, 13(11).
- Chaudhuri, P., Nath, B., & Roy, A. (2015). Influence of soil properties on vegetation structure in mangrove ecosystems: A multivariate approach. *Wetlands Ecology and Management*, 23(4), 415–431.

- Don, A., Schumacher, J., & Freibauer, A. (2022). Impact of soil bulk density on soil organic carbon stock estimates. *Geoderma*, 425(116036).
- Duarte de Paula Costa, M., & Macreadie, P. I. (2022). The Evolution of Blue Carbon Science. *Wetlands*, 42(8). <https://doi.org/10.1007/s13157-022-01628-5>
- Edwin, M. (2016). *PENILAIAN STOK KARBON TANAH ORGANIK PADA BEBERAPA TIPE PENGGUNAAN LAHAN DI KUTAI TIMUR, KALIMANTAN TIMUR. 2.*
- Erna Sri Wibawanti, Raden Murjiyanto, Wiwin Budi Pratiwi, & Imam Amalda Rizki Harahap. (2024). Kepastian dan Perlindungan Hukum Penggunaan Tanah Kasultanan dan Kadipaten oleh Masyarakat Pasca Undang-Undang Keistimewaan Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Hukum IUS QUIA IUSTUM*, 31(3), 536–559. <https://doi.org/10.20885/iustum.vol31.iss3.art3>
- Fatma, N., Winarno, G. D., & Yani, A. (2021). Vegetasi pantai dan perannya dalam mitigasi abrasi di pesisir selatan Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(2), 345–356.
- Fatoyinbo, T. E., Lagomasino, D., & Trettin, C. (2023). Emerging applications of drone LiDAR for coastal blue carbon assessment. *Frontiers in Remote Sensing*, 4, 112345.
- Ferchaud, F., Chlebowski, F., & Mary, B. (2023). *SimpleESM: R script to calculate soil organic carbon and nitrogen stocks at Equivalent Soil Mass.* <https://hal.science/hal-04013158v2>
- Fitriani, F., Hofman, B., & Kaiser, K. (2020). The rise of participatory planning in Indonesia: Successes, limitations and future challenges. *Policy Studies*, 41(5), 507–526.
- Fourqurean, J., Johnson, B., Kauffman, J. B., Kennedy, H., Lovelock, C., Magonigal, J. P., Rahman, A. (Faiz), Saintilan, N., & Simard, M. (2019a). *COASTAL BLUE CARBON* (J. Howard, S. Hoyt, K. Isensee, E. Pidgeon, & M. Telszewski, Eds.).
- Fourqurean, J., Johnson, B., Kauffman, J. B., Kennedy, H., Lovelock, C., Magonigal, J. P., Rahman, A. (Faiz), Saintilan, N., & Simard, M. (2019b). *COASTAL BLUE CARBON* (J. Howard, S. Hoyt, K. Isensee, E. Pidgeon, & M. Telszewski, Eds.).
- Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marba, N., Holmer, M., Mateo, M. A., Apostolaki, E. T., Kendrick, G. A., Krause-Jensen, D., McGlathery, K. J., & Serrano, O. (2015). Seagrass Ecosystem as a Globally Significant Carbon Stock. *Nature Geoscience*, 5(7), 505–509.

- Friess, D. A., Krauss, K. W., Horstman, E. M., Balke, T., Bouma, T. J., Galli, D., & Webb, E. L. (2020). Mangrove Ecosystem Under Climate Change. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(3), 150–166.
- Gao, J., Li, W., Ren, H., Yang, L., Li, D., & Zhang, Y. (2022). Carbon Stock and Sequestration in Terrestrial and Marine Ecosystem: A Level for Nature Restoration. *Ecological Indicators*, 137.
- Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., Schlesinger, W. H., Shoch, D., Siikamäki, J. V, Smith, P., & Woodbury, P. (2017). Natural Climate Solution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645–11650.
- Hakim, L. (2025). POLITIK HUKUM OTONOMI KHUSUS: DUALITAS PERATURAN PERTANAHAN DI YOGYAKARTA. *As-Syifa: Journal of Islamic Studies and History*, 3(1).
- Harahap, F. S., Oesman, R., Fadhillah, W., & Nasution, A. P. (2021). Penentuan Bulk Density Ultisol Di Lahan Praktek Terbuka Universitas Labuhanbatu. *Agrovital : Jurnal Ilmu Pertanian*, 6(2).
- Harjito, D. A., & Susilo, A. (2019). Land conflict and the role of Sultan Ground in Yogyakarta Special Region, Indonesia. *Journal of Indonesian Social Sciences and Humanities*, 9(2), 113–128.
- Hilwan, I., Santosa, Y., & Nahla, S. (2023). Penentuan Bentuk Dan Luas Petak Contoh Optimum Pengukuran Keanekaragaman Jenis Tumbuhan Tingkat Pancang Hutan Pegunungan. *Silvikultur Tropika*, 14(1), 63–69.
- Hiraishi, Takahiko., Krug, Thelma., Tanabe, Kiyoto., Srivastava, Nalin., Jamsranjav, Baasansuren., Fukuda, Maya., & Troxler, Tiffany. (2014). *2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories : wetlands : methodological guidance on lands with wet and drained soils, and constructed wetlands for wastewater treatment*. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Huda Pangabean, N., Khairani, M., Rulia Sitepu, D., Ulfa Nuzalifa, Y., & Asy Syafiiyah Internasional Medan, S. (2022). ANALISIS VEGETASI TUMBUHAN GULMA DENGAN METODE KUADRAT DI KAWASAN UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUMATRA UTARA. In *Jurnal Serunai Ilmu Pendidikan* (Vol. 8, Issue 2).
- Jeki, A. (2021, February 4). *Potensi Karbon Biru (Blue Carbon) di Perairan Indonesia*. NATIONAL OCEANOGRAPHIC.
- Kauffman, J. B., Hernandez Trejo, H., del Carmen Jesús García, M., Heider, C., Contreras, W. M., Salinas, A. R., & Slusser, J. L. (2020). Carbon stocks of mangroves and losses arising from their conversion to cattle pastures in the

- Pantanos de Centla, Mexico. *Wetlands Ecology and Management*, 28(4), 605–620.
- Kusuma, A. H., Muhaemin, Moh., Yudha, I. G., Hudaidah, S., & Adiputra, Y. T. (2023). SIMPANAN KARBON DI VEGETASI MANGROVE DESA SUNGAI NIBUNG, KABUPATEN TULANG BAWANG, PROVINSI LAMPUNG. *Jurnal Teknologi Perikanan Dan Kelautan*, 14(1). <https://doi.org/10.24319/jtpk.14.1-11>
- Kusumaningtyas, M. A., Hutahaean, A. A., Fischer, H. W., Pérez-Mayo, M., Rixen, T., & 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.
- Liu, B., Bu, W., & Zang, R. (2023). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of younger secondary tropical forests. *Global Ecology and Conservation*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02359>
- Liu, Y., Jiang, L., Xu, H., & Xu, W. (2022). Machine learning approaches to estimate coastal blue carbon storage under land use change scenarios. *Ecological Indicators*, 142, 109264.
- Mahasani, I. Gst. A. I., Karang, I. W. G. A., & Hendrawan, I. G. (2016). KARBON ORGANIK DI BAWAH PERMUKAAN TANAH PADA KAWASAN REHABILITASI HUTAN MANGROVE, TAMAN HUTAN RAYA NGURAH RAI, BALI. *Prosiding Seminar Nasional Kelautan 2016*.
- Mardhiyah, H. K., Fauziyah, H. H., Lulu, D., & Adawiyah, R. (2024). *Konversi Lamun Terhadap Penyimpanan Blue Carbon di Ekosistem Pesisir (Seagrass Conversion on Blue Carbon Storage in Coastal Ecosystems)*. 2(1), 466–474.
- Marfai, M. Aris. F. Hendy. C. A. (2020). *PESISIR GUNUNGKIDUL* (Siti, Ed.). Gajah Mada University Press.
- McLeod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Lovelock, C. E., Schlesinger, W. H., & Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. In *Frontiers in Ecology and the Environment* (Vol. 9, Issue 10, pp. 552–560). <https://doi.org/10.1890/110004>
- Mehmood, K., Akhtar, S., & Ali, A. (2020). Soil bulk density and its relationship with soil organic carbon under different land uses. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(2), 722–731.
- Morris, R. L., Konlechner, T. M., Ghisalberti, M., & Swearer, S. E. (2020). The role of eco-engineering in building coastal resilience and climate adaptation. *Nature Sustainability*, 3(11), 853–864.
- Munadiyal, K., Jelita, & Suhelayanti. (2022). Penilaian portofolio pada pembelajaran IPA di MI. *Al-Azkiya: Jurnal Ilmiah Pendidikan MI/SD*, 7(2),

126–135.

<https://journal.iainlangsa.ac.id/index.php/azkiya/article/view/4708%0Ahttps://journal.iainlangsa.ac.id/index.php/azkiya/article/download/4708/2419>

- Murdiyarso, D., Sasmito, S. D., Sillanpää, M., & Alongi, D. M. (2021). Blue Carbon Research, Policy and Practice in Indonesia. *Marine Policy*.
- Nasir, M., & Dewantara, I. (2019). *KEANEKARAGAMAN JENIS VEGETASI PENYUSUN HUTAN MANGROVE DI DESA MEDAN MAS KABUPATEN KUBU RAYA (The Diversity Of Species Vegetation Composer Of Mangrove Forest In Medan Mas Village Kubu Raya Rigency)* (Vol. 7, Issue 2).
- Ningrum, W, Setyawan, A. D., & Marsono, D. (2020). Cadangan pada Lahan Karst di Gunungkidul, Yogyakarta. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 14(1), 17–28.
- Nogueira, D. S., Schaefer, C. E. G. R., Nunes, J. A., Filho, E. I. F., & Filho, E. E. F. (2020). Aboveground Biomass and Carbon Stock of Different Plant Functional Types in a Tropical Savana. *Forest Ecology and Management*, 458.
- Novita Sari, D., Wijaya, F., Ayu Mardana, M., Hidayat, M., & Studi Pendidikan Biologi FTK UIN Ar-Raniry Banda Aceh, P. (n.d.). *Prosiding Seminar Nasional Biotik 2018*.
- Nur, A. A. I., Arifiani, K. N., Ramadhandi, A. R., Sabrina, A. D., Nugroho, G. D., Kusumaningrum, L., Ramdhun, D., Bao, T. Q., Yap, C. K., Budiharta, S., & Setyawan, A. D. (2022). Estimation of Aboveground Biomass and Carbon Stock in Damas Beach, Trenggalek District, East Java, Indonesia. *Indo Pasific Journal of Ocean Life*, 6(2), 706.
- Nyugen, T. H., Sasmito, S. D., & Murdiyarso, D. (2021). Carbon Stock and Ecosystem Services of Mangroves in Southeast Asia. *Wetlands Ecology and Management*, 149–165.
- Ochoa-Hueso, R., Munzi, S., Alonso, R., Arróniz-Crespo, M., Avila, A., Bermejo, V., Bobbink, R., Branquinho, C., & Concostrina-Zubiri, L. (2021). Soil carbon monitoring using IoT-based sensor networks in coastal ecosystems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(10), 657.
- Palupi, R., Zahra Sukmaputri, N., & Sufadlan Nugraha, dan. (2024). *STRATEGI RESTORASI LAMUN DALAM EKOSISTEM KARBON BIRU SEBAGAI UPAYA PERLINDUNGAN LINGKUNGAN (Seagrass Restoration Strategy in Blue Carbon Ecosystems as an Environmental Protection Effort)*. 2(1), 273–288.
- Pangastuti, G. A. P. A., Hartati, R., Sedjati, S., & Pratama, A. (2025). Kandungan Karbon Pada Sedimen Dan Struktur Komunitas Mangrove Di Kelurahan Lalowaru, Sulawesi Tenggara. *Journal of Marine Research*, 14(2), 302–310. <https://doi.org/10.14710/jmr.v14i2.44048>

- Paramadani, A. S. (2024). Peran Penting Karbon Biru dalam Mitigasi Perubahan Iklim di Wilayah Pesisir Indonesia. *Jurnal Relasi Publik*, 1(4), 23–36.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2007). *Undang-Undang Nomor. 24 : Penanggulangan Bencana*.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2014). *Undang-Undang Nomor. 14 : Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil*.
- Phang, S. C., Dingsoyr, A. C., Sandi, S., Ferdian, F., & Phinn, S. R. (2022). Remote sensing of seagrass blue carbon: A review and future directions. *Remote Sensing of Environment*, 271, 112907.
- POLICY BRIEF KARBON BIRU: Maind Streaming Blue Carbon National Determaind Contribution (NDC)*. (2023). Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan.
- Pottier, J., & Jabot, F. (2017). Non-destructive Biomass Estimation of Herbaceous Plant Individuals: A Transferable Method Between Constrasted Environments. *Ecological Indicators*, 72, 769–776.
- Puspitarini, R. C., Zurisyadai, R., Batan, R., & Bramastya, R. B. (2022). Peran Organisasi Internasional dalam Atasi Perubahan Iklim dalam UNFCCC. *Sospoli Institute*, 01.
- Putri, A. A. (2022a). EKOSISTEM PESISIR SEBGAI PENGHASIL KARBON BIRU. *Journal of Environmental Policy and Technology*, 1(1).
- Putri, A. A. (2022b). EKOSISTEM PESISIR SEBGAI PENGHASIL KARBON BIRU. *Journal of Environmental Policy and Technology*, 1(1).
- Rosyada, K., Trismadi, & Ras, A. R. (2021). Potensi Blue Carbon dalam Penanganan Perubahan Iklim Guna Menunjang Keamanan Maritim Indonesia. *Jurnal Maritim Indonesai*, 9(3).
- Siringoringo, H. H. (2013). HUTAN SEKUESTRASI KARBON ORGANIK TANAH PADA PEMBANGUNAN HUTAN TANAMAN Acacia mangium Willd. *Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 1(2), 193–213.
- Situmorang, D. B. M. (2018). The paradox of tourism development and environmental sustainability in Indonesia: A case study of Yogyakarta. *E3S Web of Conferences*, 73.
- SNI 7724: (2019). *Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon – Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon berbasis lahan (land-based carbon accounting)*.
- Sombo, I. T., Sepe, F. Y., Nau, G. W., Buku, M. N. I., & Djalo, A. (2020). Analisis Vegetasi Tumbuhan Herba di Hutan Lingkungan Kampus Unwira

Penfui Kupang. *Bio-Edu: Jurnal Pendidikan Biologi*, 5(2), 57–62.
<https://doi.org/10.32938/jbe.v5i2.570>

Status Sumber Daya Pesisir dan Laut Indonesia. (2021).

Suryana, Y., Suhendang, E., & Hilmanto, R. (2020). Estimasi Biomassa dan Karbon Pohon di Hutan Sekunder Tropis. *Jurnal Sylva Lestari*, 8(3), 336–345.

Susilawati, & Rahmah, L. (2023). Analisis Rendahnya Kualitas Sumber Daya Manusia Dan. *Zahra: Journal of Health and Medical Research*, 3(3), 261–266.

Tarigan, Lestari, P., Dewanti, & Deru, F. (2023). KOMPOSISI VEGETASI DI RUANG TERBUKA HIJAU DATARAN RENDAH, SURABAYA TIMUR. *Plumula : Berkala Ilmiah Agroteknologi*, 11(1), 71–81.
<https://doi.org/10.33005/plumula.v11i1.108>

Tarigan, P. L., & Dewanti, F. D. (2023). KOMPOSISI VEGETASI DI RUANG TERBUKA HIJAU DATARAN RENDAH, SURABAYA TIMUR. *Plumula : Berkala Ilmiah Agroteknologi*, 11(1), 71–81.
<https://doi.org/10.33005/plumula.v11i1.108>

Taufan Maulana, A., & Andriansyah, A. (2024). Mitigasi Bencana di Indonesia. *COMSERVA : Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat*, 3(10).
<https://doi.org/10.59141/comserva.v3i10.1213>

Taurusman, A. A., Wiryawan, B., -, B., & -, I. (2021). DAMPAK PENANGKAPAN TERHADAP EKOSISTEM: LANDASAN PENGELOLAAN PERIKANAN BERKELANJUTAN. *ALBACORE Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, 4(1). <https://doi.org/10.29244/core.4.1.109-118>

Wahyuningsih, E., Faridah, E., Budiadi, & Syahbudin, A. (2019). Komposisi dan Keanekaragaman Tumbuhan Pada Habitat Ketak (*Lygodium circinatum* (BURM.(SW.)) di Pulau Lombok Nusa Tenggara Barat. *Hutan Tropis*, 7(1), 92–105.

Wibowo, A., Hanggara, B. B., & Hendrawan, I. G. (2020). Blue Carbon Ecosystems and Indonesia's Climate Change Mitigation Strategy. *Ocean & Coastal Management*, 198.

Widyastuti, R., Suryanto, P., & Setyawan, A. D. (2020). Environmental factors influencing vegetation composition along coastal gradients in southern Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 21(8), 3607–3616.

Windham-Myers, L., Crooks, S., Emmer, L., Megonigal, J. P., Kroeger, K. D., Herr, D., & Woodroffe, C. D. (2024). Carbon Sequestration in Coastal Dunes and Emerging Blue Carbon Ecosystem. *Estuaries and Coasts*, 47, 56–730.




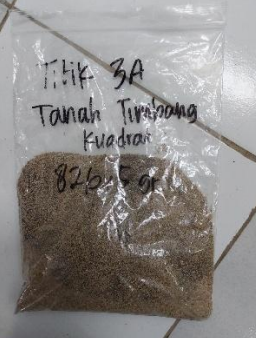
Wismar, J. E., Setyati, W. A., & Riniatsih, I. (2021). Potensi Penyimpanan Karbon Pada Vegetasi Padang Lamun di Perairan Pulau Besar Utara, Sikka,

Maumere, Nusa Tenggara Timur. *Buletin Oseanografi Marina*, 10(1), 51–60.
<https://doi.org/10.14710/buloma.v10i1.27223>

LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Daftar Sampel Tanah Timbang untuk Kepadatan Massa Tanah Kering (Dry Bulk Density)





Tabel Lampiran 1.1 Daftar Sampel Tanah Timbang





Tanah Timbang (<i>Dry Bulk Density</i>)	
Gambar	Keterangan
	<p>Lokasi : Titik 1A Berat : 589,7 gram</p>
	<p>Lokasi : Titik 1B Berat : 606,7 gram</p>
	<p>Lokasi : Titik 1C Berat : 632,8 gram</p>
	<p>Lokasi : Titik 3A Berat : 829,5 gram</p>





Tanah Timbang (<i>Dry Bulk Density</i>)	
Gambar	Keterangan
	Lokasi : Titik 3B Berat : 565,1 gram
	Lokasi : Titik 3C Berat : 527,8 gram
	Lokasi : Titik 5A Berat : 584,5 gram
	Lokasi : Titik 5B Berat : 558,1 gram
	Lokasi : Titik 5C Berat : 611,7 gram





Lampiran 1. 2 Daftar Vegetasi yang didapatkan





Tabel Lampiran 1.2 Daftar Vegetasi





Jenis Vegetasi		Jenis Vegetasi	
Gambar	Keterangan	Gambar	Keterangan
	<p>Nama Lokal : Singkong Nama Ilmiah : Manihot esculenta Famili : Euphorbiaceae</p>		<p>Nama Lokal : Awar- awar Nama Ilmiah : Ficus septica Famili : Moraceae</p>
	<p>Nama Lokal : Kelapa Nama Ilmiah : Cocos nucifera Famili : Arecaceae (Palms)</p>		<p>Nama Lokal : Tahi ayam Nama Ilmiah : Lantana camara Famili : Combretaceae</p>





	<p>Nama Lokal : Pandan duri Nama Ilmiah : Pandanus tectorius Famili : Pandanaceae</p>		<p>Nama Lokal : Daun pagi mengantuk Nama Ilmiah : Waltheria indica Famili : Malvaceae</p>
	<p>Nama Lokal : Pisang Nama Ilmiah : Musa paradisiaca Famili : Bananas</p>		<p>Nama Lokal : Daun pulutan Nama Ilmiah : Urena lobata Famili : Malvaceae</p>





	<p>Nama Lokal : Jagung liar Nama Ilmiah : Zea luxurians Famili : Poaceae</p>		<p>Nama Lokal : Gletang Nama Ilmiah : Tridax procumbens Famili : Asteraceae</p>
	<p>Nama Lokal : Rumput gagak mesir Nama Ilmiah : Dactyloctenium aegyptium Famili : Poaceae</p>		<p>Nama Lokal : Rumput biru berumbi Nama Ilmiah : Poa bulbosa Famili : Poaceae</p>





	<p>Nama Lokal : Biduri Nama Ilmiah : Calotropis gigantea Famili : Apocynaceae</p>		<p>Nama Lokal : Gagabusan Nama Ilmiah : Scaevola taccada Famili : Goodeniaceae</p>
	<p>Nama Lokal : Mengkudu Nama Ilmiah : Morinda citrifolia Famili : Rubiaceae</p>		<p>Nama Lokal : Lamtoro Nama Ilmiah : Leucaena laucocephala Famili : Fabeceae</p>





	<p>Nama Lokal : Ketapang Nama Ilmiah : Terminalia catappa Famili : Combretaceae</p>		<p>Nama Lokal : Pulai Nama Ilmiah : Alstonia macrophylla Famili : Apocynaceae</p>
	<p>Nama Lokal : Daun serai Nama Ilmiah : Cymbopogon citratus Famili : Grasses</p>		<p>Nama Lokal : Janaguba Nama Ilmiah :Himatanthus drasticus Famili : Apocynaceae</p>





	<p>Nama Lokal : Terung kuning Nama Ilmiah : Solanum incanum Famili : Solanaceae</p>		<p>Nama Lokal : Talas Nama Ilmiah : Colocasia esculenta Famili : Araceae</p>
	<p>Nama Lokal : Kucing galak Nama Ilmiah : Acalypha indica Famili : Acalypha indica</p>		<p>Nama Lokal : Turi Nama Ilmiah : Sesbania grandiflora Famili : Fabaceae</p>





	<p>Nama Lokal : Tievine Nama Ilmiah : Ipomoea cordatotriloba Famili : Convolvulaceae</p>		<p>Nama Lokal : Pepaya Nama Ilmiah : Carica papaya Famili : Caricaceae</p>
	<p>Nama Lokal : Cemara laut Nama Ilmiah : Casuarina equisetifolia Famili : Casuarinaceae</p>		<p>Nama Lokal : Anggur laut Nama Ilmiah : Cocoloba uvifera Famili : Polygonaceae</p>





	<p>Nama Lokal : Katang- katang Nama Ilmiah : Ipomoea pes-caprae Famili : Convolvulaceae</p>		<p>Nama Lokal : Kacang panjang Nama Ilmiah : Vigna unguiculata Famili : Fabaceae</p>
	<p>Nama Lokal : Rumput panggung jepang Nama Ilmiah : Microstegium vimineum Famili : Grasses</p>		<p>Nama Lokal : Kunu buti Nama Ilmiah : Hyptis suaveolens Famili : Lamicaea</p>

	<p>Nama Lokal : Leptopetalum dua bunga Nama Ilmiah : Leptopetalum biflorum Famili : Rubiaceae</p>		<p>Nama Lokal : Ekor tikus biru Nama Ilmiah : Stachytarpheta cayannensis Famili : Verbenaceae</p>
	<p>Nama Lokal : Ubi jalar Nama Ilmiah : Ipomoea babatas Famili : Poaceae</p>		<p>Nama Lokal : Kaladana Nama Ilmiah : Ipomoea hederacea Famili : Convolvulaceae</p>





	<p>Nama Lokal : Bayam Nama Ilmiah : Amaranthus spp. Famili : Casuarinaceae</p>		<p>Nama Lokal : Sumak racun Nama Ilmiah : Toxicodendron radicans Famili : Anacardiaceae</p>
	<p>Nama Lokal : Rumput benggala Nama Ilmiah : Panicum maximum Famili : Poaceae</p>		<p>Nama Lokal : Alum- alum Nama Ilmiah : Emilia fosbergii Famili : Ateraceae</p>







	<p>Nama Lokal : Alang-alang Nama Ilmiah : Imperata cylindrica Famili : Poaceae</p>		<p>Nama Lokal : Mondokaki Nama Ilmiah : Tabernaemontana divaricata Famili : Apocynaceae</p>
	<p>Nama Lokal : Putri malu Nama Ilmiah : Agrostis scabra Famili : Poaceae</p>		<p>Nama Lokal : Kepundung Nama Ilmiah : Baccaurea racemosa Famili : Phyllanthaceae</p>

	<p>Nama Lokal : Nama Ilmiah : Famili :</p>		<p>Nama Lokal : Kate mas Nama Ilmiah : <i>Euphorbia heterophylla</i> Famili : Spurges</p>
	<p>Nama Lokal : Nama Ilmiah : Famili :</p>		<p>Nama Lokal : Kacang tanah Nama Ilmiah : <i>Arachis repens</i> Famili :</p>

	<p>Nama Lokal : Akasia hitam Nama Ilmiah : Acacia melanoxylon Famili : Fabaceae</p>		<p>Nama Lokal : Waru laut Nama Ilmiah : Thespesia populnea Famili :</p>
	<p>Nama Lokal : Daun bulu ayam Nama Ilmiah : Pleurolobus gangeticus Famili : Fabaceae</p>		<p>Nama Lokal : Nama Ilmiah : Famili :</p>

	<p>Nama Lokal : Rumput grinting Nama Ilmiah : Cyndon dactylon Famili : Poaceae</p>		<p>Nama Lokal : Rumput gajah Nama Ilmiah : Pennisetum purpureum Famili : Poaceae</p>
	<p>Nama Lokal : Bidara Nama Ilmiah : Ziziphus mauritiana Famili : Rhamnaceae</p>		<p>Nama Lokal : Nama Ilmiah : Famili :</p>

	<p>Nama Lokal : Kayu wortel Nama Ilmiah : Cupaniopsis anacardioides Famili : Sapindaceae</p>		<p>Nama Lokal : Alang-alang payung Nama Ilmiah : Cyperus polystachyos Famili : Cyperaceae</p>
	<p>Nama Lokal : Meniran Nama Ilmiah : Phyllanthus uranaria Famili : Phyllanthaceae</p>		<p>Nama Lokal : Rumput kangguru Nama Ilmiah : Themeda triandra Famili : Poaceae (Grass)</p>

	<p>Nama Lokal : Nama Ilmiah : <i>Hyptis pectinata</i> Famili : Lamiaceae</p>		<p>Nama Lokal : Daun beludru Nama Ilmiah : <i>Abutilon theophrasti</i> Famili : Malvaceae</p>
	<p>Nama Lokal : Mata pelatuk Nama Ilmiah : <i>Ardisia elliptica</i> Famili : Primulaceae</p>		<p>Nama Lokal : M. suavolens Nama Ilmiah : <i>M. Suavolens (L) kuntze</i> Famili : Malvaceae</p>
	<p>Nama Lokal : Pandan wangi Nama Ilmiah : Pandaneaceae Famili : Pandaneaceae</p>		<p>Nama Lokal : Ekor tupai Nama Ilmiah : <i>Uraria lagopodioides</i> Famili : Fabaceae</p>

Lampiran 1. 3 Indeks Ekologi Kategori Tiang (diameter batang 10-20 cm)

Tabel Lampiran 1.3 Indeks Ekologi Kategori Tiang (diameter batang 10-20 cm)

Nama Jenis Vegetasi		Jumlah Individu	KR %	FR %	DR %	INP %	SDR %
Lokal	Ilmiah						
Kayu wortel	Cupaniopsis anacardioides	1	8%	50%	60%	118%	118%
Anggur laut	Coccoloba uvifera	11	92%	50%	40%	182%	17%
Jumlah		12					

Lampiran 1. 4 Indeks Ekologi Kategori Pohon (diamter batang > 20)

Tabel Lampiran 1.4 Indeks Ekologi Kategori Pohon (diameter > 20 cm)

Nama Jenis Vegetasi		Jumlah Individu	KR (%)	FR (%)	DR (%)	INP (%)	SDR (%)
Lokal	Ilmiah						
Kelapa	Cocos nucifera	11	3%	20%	20%	43%	3,9%
Pisang	Musa paradisiaca	64	18%	10%	8%	36%	0,6%
Cemara laut	Casuarina equisetifolia	25	7%	15%	12%	34%	1,4%
Ketapang	Terminalia catappa	2	0,6%	5%	3%	9%	4,5%
Waru laut	Thespesia populnea	28	8%	15%	14%	37%	1,3%
Pulai	Alstonia macrophylla	6	1,7%	5%	11%	17%	2,9%
Turi	Sesbania grandiflora	7	2%	5%	7%	14%	2,0%
Pandan duri	Pandanus tectorius	203	59%	20%	5%	84%	0,4%
Janaguba	Himatanthus drasticus	1	0%	5%	21%	26%	26,0%
Jumlah		347					

Lampiran 1. 5 Indeks Ekologi Kategori Semai (diameter 2 cm, tinggi < 1,5 m)

Tabel Lampiran 1.5 Indeks Ekologi Kategori Semai (diameter 2 cm, tinggi < 1,5 m)

Nama Jenis Vegetasi		Jumlah Individu	KR (%)	FR (%)	DR (%)	INP (%)	SDR (%)
Lokal	Ilmiah						
Meniran	<i>Phyllanthus urinaria</i>	63	24%	13%	3%	39%	0,6%
Biduri	<i>Calotropis gigantea</i>	8	3%	6%	13%	22%	2,8%
Awar-awar	<i>Ficus septica</i>	22	8%	13%	14%	35%	1,6%
Gagabusan	<i>Scaevola taccada</i>	8	3%	6%	3%	12%	1,5%
Lamtoro	<i>Leucaena laucocephala</i>	11	4%	13%	15%	32%	2,9%
Mengkudu	<i>Morinda citrifolia</i>	4	2%	6%	17%	24%	6,1%
Pepaya	<i>Carica papaya</i>	4	2%	6%	9%	16%	4,1%
Akasia hitam	<i>Acacia melanoxylon</i>	37	14%	6%	9%	29%	0,8%
Kesambik	<i>Prunus laurocerasus</i>	15	6%	6%	4%	16%	1,1%
Bidara	<i>Ziziphus mauritiana</i>	23	9%	6%	4%	20%	0,9%
Minyak teluk	<i>Pimenta racemosa</i>	22	8%	6%	2%	16%	0,7%
Kepundung	<i>Baccaurea racemosa</i>	6	2%	6%	5%	14%	2,3%
Mondokaki	<i>Tabernaemontana divaricata</i>	36	14%	6%	4%	24%	0,7%
Jumlah		259					

Lampiran 1. 6 Indeks Ekologi Ketegori Tumbuhan Herba (tidak berkayu)

Tabel Lampiran 1.6 Indeks Ekologi Kategori Tumbuhan Herba (tidak berkayu)

Nama Jenis Vegetasi		Jumlah Individu	KR (%)	FR (%)	DR (%)	INP (%)	SDR (%)
Lokal	Ilmiah						
Kate mas	<i>Euphorbia heterophylla</i>	30	0,6%	1,7%	2,6%	4,9%	0,2%
Jagung liar	<i>Zea luxurians</i>	3	0,1%	1,7%	2,9%	4,7%	1,6%
Rumput gagak mesir	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	451	9,0%	1,7%	1,9%	12,7%	0,0%

Kacang tanah	<i>Arachis repens</i>	355	7,1%	3,4%	0,6%	11,1%	0,0%
Daun serai	<i>Cymbopogon citratus</i>	13	0,3%	3,4%	9,2%	12,9%	1,0%
Tahi ayam	<i>Lantana camara</i>	62	1,2%	5,1%	5,6%	12,0%	0,2%
Daun pagi mengantuk	<i>Waltheria indica</i>	41	0,8%	1,7%	0,0%	2,6%	0,1%
Gletang	<i>Tridax procumbens</i>	96	1,9%	3,4%	0,2%	5,5%	0,1%
Daun pulutan	<i>Urena lobata</i>	4	0,1%	1,7%	0,9%	2,7%	0,7%
Rumput biru berumbi	<i>Poa bulbosa</i>	465	9,3%	1,7%	0,4%	11,4%	0,0%
Rumput kangguru	<i>Themeda triandra</i>	42	0,8%	1,7%	1,2%	3,7%	0,1%
-	<i>Hyptis pectinata</i>	37	0,7%	1,7%	1,7%	4,1%	0,1%
Terung kuning	<i>Solanum incanum</i>	3	0,1%	1,7%	1,9%	3,7%	1,2%
Kucing galak	<i>Acalypha indica</i>	5	0,1%	1,7%	0,4%	2,2%	0,4%
Daun beludru	<i>Abutilon theophrasti</i>	3	0,1%	1,7%	4,6%	6,4%	2,1%
Tievine	<i>Ipomoea cordatotriloba</i>	7	0,1%	1,7%	0,1%	1,9%	0,3%
Pandan wangi	Pandanaceae	62	1,2%	1,7%	2,3%	5,2%	0,1%
Katang-katang	<i>Ipomoea pes-caprae</i>	27	0,5%	1,7%	0,1%	2,3%	0,1%
Rumput panggung jepang	<i>Microstegium vimineum</i>	267	5,3%	3,4%	0,1%	8,8%	0,0%
Leptopetalum dua bunga	<i>Leptopetalum biflorum</i>	18	0,4%	1,7%	0,0%	2,1%	0,1%
Ubi jalar	<i>Ipomoea babatas</i>	12	0,2%	1,7%	0,2%	2,1%	0,2%
Bayam	<i>Amaranthus spp.</i>	16	0,3%	1,7%	1,2%	3,2%	0,2%
Rumput benggala	<i>Panicum maximum</i>	97	1,9%	1,7%	3,7%	7,4%	0,1%
Talas	<i>Colocasia esculenta</i>	8	0,2%	1,7%	3,7%	5,6%	0,7%
Kacang panjang	<i>Vigna unguiculata</i>	20	0,4%	1,7%	0,0%	2,1%	0,1%
Mata pelanduk	<i>Ardisia elliptica</i>	7	0,1%	1,7%	2,9%	4,8%	0,7%
M. suaveolens	<i>M. suaveolens (L) kuntze</i>	48	1,0%	1,7%	4,6%	7,3%	0,2%
Ekor tikus biru	<i>Stachytarpheta cayannensis</i>	73	1,5%	1,7%	6,1%	9,2%	0,1%
Kaladana	<i>Ipomoea hederacea</i>	33	0,7%	1,7%	0,4%	2,8%	0,1%
Alum-alum	<i>Emilia fosbergii</i>	62	1,2%	1,7%	0,7%	3,7%	0,1%
Alang-alang	<i>Imperata cylindrica</i>	38	0,8%	1,7%	3,7%	6,2%	0,2%
Rumput grinting	<i>Cynodon dactylon</i>	1703	34,0%	5,1%	0,7%	39,8%	0,0%

Ekor tupai	Uraria lagopodioides	19	0,4%	1,7%	1,2%	3,2%	0,2%
Kunu buti	Hyptis suaveolens	69	1,4%	3,4%	3,9%	8,6%	0,1%
Putri malu	Agrostis scabra	51	1,0%	3,4%	1,4%	5,8%	0,1%
Sumak racun	Toxicodendron radicans	15	0,3%	1,7%	0,7%	2,7%	0,2%
Kangkung air	Ipomoea lacunosa	35	0,7%	1,7%	0,2%	2,6%	0,1%
Kacang gude	Cajanus	27	0,5%	1,7%	1,4%	3,6%	0,1%
Daun bulu ayam	Pleurolobus gangeticus	28	0,6%	1,7%	0,7%	3,0%	0,1%
Tapak dara	Vinca major	22	0,4%	1,7%	0,2%	2,3%	0,1%
Jati tiongkok	Senna obtusifolia	15	0,3%	1,7%	0,9%	2,9%	0,2%
Kangkung pagar	Ipomoea	34	0,7%	1,7%	0,4%	2,8%	0,1%
Alang-alang payung	Cyperus polystachyos	75	1,5%	1,7%	0,6%	3,8%	0,1%
Calincing tanah	Oxalis barrelieri	42	0,8%	1,7%	0,9%	3,5%	0,1%
Asoka	Ixora chinensis	5	0,1%	1,7%	1,7%	3,5%	0,7%
Singkong	Manihot esculenta	86	1,7%	5,1%	20,8%	27,6%	0,3%
Rumput gajah	Pennisetum purpureum	372	7,4%	1,7%	0,0%	9,2%	0,0%
Jumlah		5003					

Lampiran 1. 7 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Kategori Tiang
(persamaan Shannon-Wiener)

Tabel Lampiran 1.7 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Kategori Tiang (persamaan Shannon-Wiener)

Vegetasi	Jumlah Individu	Pi	Pi ln(Pi)
Kayu wortel	1	0,083	-0,207
Anggur laut	11	0,917	-0,080
N	12		
H'	-0,287		

Lampiran 1. 8 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Kategori Pohon
(persamaan Shannon-Wiener)

Tabel Lampiran 1.8 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Kategori Pohon (persamaan Shannon-Wiener)

Vegetasi	Jumlah Individu	Pi	Pi ln(Pi)
Kelapa	11	0,032	-0,109
Pisang	64	0,184	-0,312
Cemara laut	25	0,072	-0,190
Ketapang	2	0,006	-0,030
Waru laut	28	0,081	-0,203
Pulai	6	0,017	-0,070
Turi	7	0,020	-0,079
Pandan duri	203	0,585	-0,314
Janaguba	1	0,003	-0,017
N	347		
H'	-1,323		

Lampiran 1. 9 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Kategori Semai
(persamaan Shannon-Wiener)

Tabel Lampiran 1.9 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Kategori Semai (persamaan Shannon-Wiener)

Vegetasi	Jumlah Individu	Pi	Pi ln(Pi)
Meniran	63	0,243	-0,344
Biduri	8	0,031	-0,107
Awar-awar	22	0,085	-0,209
Gagabusan	8	0,031	-0,107
Lamtoro	11	0,042	-0,134
Mengkudu	4	0,015	-0,064
Pepaya	4	0,015	-0,064
Akasia hitam	37	0,143	-0,278
Kesambik	15	0,058	-0,165
Bidara	23	0,089	-0,215
Minyak teluk	22	0,085	-0,209
Kepundung	6	0,023	-0,087

Mondokaki	36	0,139	-0,274
N	259		
H'	-2,260		

Lampiran 1. 10 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Kategori Tumbuhan Herba (persamaan Shannon-Wiener)

Tabel Lampiran 1.10 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Kategori Tumbuhan Herba (persamaan Shannon-Wiener)

Vegetasi	Jumlah Individu	Pi	Pi ln(Pi)
Kate mas	30	0,006	-0,031
Jagung liar	3	0,001	-0,004
Rumput gagak mesir	451	0,090	-0,217
Kacang tanah	355	0,071	-0,188
Daun serai	13	0,003	-0,015
Tahi ayam	62	0,012	-0,054
Daun pagi mengantuk	41	0,008	-0,039
Gletang	96	0,019	-0,076
Daun pulutan	4	0,001	-0,006
Rumput biru berumbi	465	0,093	-0,221
Rumput kangguru	42	0,008	-0,040
Hyptis pectinata	37	0,007	-0,036
Terung kuning	3	0,001	-0,004
Kucing galak	5	0,001	-0,007
Daun beludru	3	0,001	-0,004
Tievine	7	0,001	-0,009
Pandan wangi	62	0,012	-0,054
Katang-katang	27	0,005	-0,028
Rumput panggung jepang	267	0,053	-0,156
Leptopetalum dua bunga	18	0,004	-0,020
Ubi jalar	12	0,002	-0,014
Bayam	16	0,003	-0,018
Rumput benggala	97	0,019	-0,076
Talas	8	0,002	-0,010
Kacang panjang	20	0,004	-0,022
Mata pelanduk	7	0,001	-0,009
M. suaveolens	48	0,010	-0,045
Ekor tikus biru	73	0,015	-0,062
Kaladana	33	0,007	-0,033
Alum-alum	62	0,012	-0,054
Alang-alang	38	0,008	-0,037
Rumput grinting	1703	0,340	-0,367
Ekor tupai	19	0,004	-0,021
Kunu buti	69	0,014	-0,059
Putri malu	51	0,010	-0,047
Sumak racun	15	0,003	-0,017
Kangkung air	35	0,007	-0,035
Kacang gude	27	0,005	-0,028
Daun bulu ayam	28	0,006	-0,029

Tapak dara	22	0,004	-0,024
Jati tiongkok	15	0,003	-0,017
Kangkung pagar	34	0,007	-0,034
Alang-alang payung	75	0,015	-0,063
Calincing tanah	42	0,008	-0,040
Asoka	5	0,001	-0,007
Singkong	86	0,017	-0,070
Rumput gajah	372	0,074	-0,193
N	5003		
H'	-2,645		

Lampiran 1. 11 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Tiang (persamaan Simpson)

Tabel Lampiran 1.11 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Tiang (persamaan Simpson)

Vegetasi	Jumlah Individu	Pi	Pi ²	D	1-D
Kayu wortel	1	0,08	0,01	0,847	0,153
Anggur laut	11	0,92	0,84		
N	12				

Lampiran 1. 12 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Pohon (persamaan Simpson)

Tabel Lampiran 1.12 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Pohon (persamaan Simpson)

Vegetasi	Jumlah Individu	Pi	Pi ²
Kelapa	11	0,032	0,001
Pisang	64	0,184	0,034
Cemara laut	25	0,072	0,005
Ketapang	2	0,006	0,000
Waru laut	28	0,081	0,007
Pulai	6	0,017	0,000
Turi	7	0,020	0,000
Pandan duri	203	0,585	0,342
Janaguba	1	0,003	0,000
N	347		
D	0,389713		
1-D	0,610287		

Lampiran 1. 13 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Semai (persamaan Simpson)

Tabel Lampiran 1.13 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Semai (persamaan Simpson)

Vegetasi	Jumlah Individu	Pi	Pi ²
Meniran	63	0,243	0,059

Biduri	8	0,031	0,001
Awar-awar	22	0,085	0,007
Gagabusan	8	0,031	0,001
Lamtoro	11	0,042	0,002
Mengkudu	4	0,015	0,000
Pepaya	4	0,015	0,000
Akasia hitam	37	0,143	0,020
Kesambik	15	0,058	0,003
Bidara	23	0,089	0,008
Minyak teluk	22	0,085	0,007
Kepundung	6	0,023	0,001
Mondokaki	36	0,139	0,019
N	259		
D	0,1293		
1-D	0,8707		

Lampiran 1. 14 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Tumbuhan Herba (persamaan Simpson)

Tabel Lampiran 1.14 Perhitungan Indeks Keanekaragaman Vegetasi Tumbuhan Herba (persamaan Simpson)

Vegetasi	Jumlah Individu	Pi	Pi ²
Kate mas	30	0,006	3,60E-05
Jagung liar	3	0,001	3,60E-07
Rumput gagak mesir	451	0,090	8,13E-03
Kacang tanah	355	0,071	5,03E-03
Daun serai	13	0,003	6,75E-06
Tahi ayam	62	0,012	1,54E-04
Daun pagi mengantuk	41	0,008	6,72E-05
Gletang	96	0,019	3,68E-04
Daun pulutan	4	0,001	6,39E-07
Rumput biru berumbi	465	0,093	8,64E-03
Rumput kangguru	42	0,008	7,05E-05
Hyptis pectinata	37	0,007	5,47E-05
Terung kuning	3	0,001	3,60E-07
Kucing galak	5	0,001	9,99E-07
Daun beludru	3	0,001	3,60E-07
Tievine	7	0,001	1,96E-06
Pandan wangi	62	0,012	1,54E-04
Katang-katang	27	0,005	2,91E-05
Rumput panggung jepang	267	0,053	2,85E-03
Leptopetalum dua bunga	18	0,004	1,29E-05
Ubi jalar	12	0,002	5,75E-06
Bayam	16	0,003	1,02E-05
Rumput benggala	97	0,019	3,76E-04
Talas	8	0,002	2,56E-06
Kacang panjang	20	0,004	1,60E-05
Mata pelanduk	7	0,001	1,96E-06
M. suaveolens	48	0,010	9,20E-05

Ekor tikus biru	73	0,015	2,13E-04
Kaladana	33	0,007	4,35E-05
Alum-alum	62	0,012	1,54E-04
Alang-alang	38	0,008	5,77E-05
Rumput grinting	1703	0,340	1,16E-01
Ekor tupai	19	0,004	1,44E-05
Kunu buti	69	0,014	1,90E-04
Putri malu	51	0,010	1,04E-04
Sumak racun	15	0,003	8,99E-06
Kangkung air	35	0,007	4,89E-05
Kacang gude	27	0,005	2,91E-05
Daun bulu ayam	28	0,006	3,13E-05
Tapak dara	22	0,004	1,93E-05
Jati tiongkok	15	0,003	8,99E-06
Kangkung pagar	34	0,007	4,62E-05
Alang-alang payung	75	0,015	2,25E-04
Calincing tanah	42	0,008	7,05E-05
Asoka	5	0,001	9,99E-07
Singkong	86	0,017	2,95E-04
Rumput gajah	372	0,074	5,53E-03
N	5003		
D	1,49E-01		
1-D	8,51E-01		

Lampiran 1. 15 Pertanyaan Wawancara Kepada Masyarakat Sekitar Pesisir Gunungkidul

Tabel Lampiran 1.15 Pertanyaan Wawancara Kepada Masyarakat Sekitar Pesisir Gunungkidul

No	Pertanyaa Wawancara
1	Apakah ada perubahan fungsi lahan pesisir dalam 1–5 tahun terakhir?
2	Apakah ada aturan dari pemerintah atau desa terkait pemanfaatan lahan untuk usaha wisata?
3	Apakah terdapat kearifan lokal atau aturan adat terkait penggunaan lahan pesisir di wilayah ini?
4	Bagaimana pemerintah desa mengatur penggunaan lahan pesisir di wilayah ini?
5	Apakah masyarakat dilibatkan dalam penyusunan kebijakan atau program pemerintah terkait penggunaan lahan di pesisir?
6	Apakah kebijakan lingkungan yang ada sudah

mempertimbangkan kebutuhan ekonomi masyarakat?
--

Lampiran 1. 16 Perhitungan Bulk Density (Kepadatan Tanah)

Tabel Lampiran 1. 16 Perhitungan Bulk Density (Kepatan Tanah)

Plot Kuadrat	Kedalaman (cm)	Volume awal (cm ³)	Berat basah (g)	Berat kering (g)	Bulk Density (g/cm ³)
1A	22,5	792,9	598,7	446,5	0,563
1B	22,5	792,9	606,7	480	0,605
1C	22,5	792,9	632,8	600,8	0,758
3A	22,5	792,9	826,5	794,8	1,002
3B	22,5	792,9	565,1	410,8	0,518
3C	22,5	792,9	527,8	372,9	0,470
5A	22,5	792,9	584,5	435	0,549
5B	22,5	792,9	558,1	441,5	0,557
5C	22,5	792,9	611,7	465,7	0,587

Lampiran 1. 17 Perhitungan Estimasi Karbon Oragnik Tanah

Tabel Lampiran 1. 17 Perhitungan Estimasi Karbon Organik Tanah

Plot Kuadrat	Kedalaman (cm)	Co org %	Dry Bulk Density (g/cm ³)	Massa tanah per satuan luas (Ton C/Ha)	Cadangan Karbon Organik Tanah (Ton C/Ha)
1A	10	14,47	0,563	563,1	81,47
1B	10	14,83	0,605	605,4	89,79
1C	10	15,94	0,758	757,8	120,75
3A	10	10,15	1,002	1002,4	101,76
3B	10	13,20	0,518	518,1	68,40
3C	10	25,34	0,470	470,3	119,19
5A	10	15,72	0,549	548,6	86,26
5B	10	14,84	0,557	556,8	82,61
5C	10	16,69	0,587	587,4	98,01

Lampiran 1. 18 Karbon Pada Vegetasi Atas Permukaan di Lokasi 1

Tabel Lampiran 1.16 Karbon Pada Vegetasi Atas Permukaan di Lokasi 1

Plot Kuadrat 1A			Plot Kuadrat 1B			Plot Kuadrat 1C		
Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)
Singkong	29	0,8137	Kelapa	1	2,8087	Kelapa	2	5,6174
Kelapa	3	8,4262	Biduri	8	0,1497	Waru laut	9	16,2432
Pandan duri	59	67,5919	Awar-awar	5	0,0124	Lamtoro	4	0,0880
Pisang	46	45,1426	Daun serai	6	0,1255	Pulai	6	4,8363
Kate mas	30	0,2258	Ketapang	2	1,7257	Janaguba	1	1,3818
Jagung liar	3	0,0314	Tahi ayam	26	0,0734	Terung kuning	3	0,0147
Rumput gagak mesir	451	1,3198	Daun pagi mengantuk	41	0,0114	Kucing galak	5	0,0324
Kacang tanah	317	0,5926	Gletang	65	0,1209	Daun beludru	3	0,0140
Meniran	52	0,5354	Daun pulutan	4	0,0240	Tievine	7	0,0061
Total (Kg C)		124,6793	Rumput biru berumbi	465	2,6530	Pandan wangi	62	0,4797
Rata-rata (Kg C)		13,8533	Gagabusan	8	0,0673	Total (Kg C)		28,7136
			Rumput kangguru	42	0,3743	Rata-rata (Kg C)		2,8714
			Hyptis pectinata	37	0,1670			
			Total (Kg C)		8,3132			
			Rata-rata (Kg C)		0,6395			

Lampiran 1. 19 Karbon Pada Vegetasi Atas Permukaan di Lokasi 3

Tabel Lampiran 1.17 Karbon Pada Vegetasi atas Permukaan di Lokasi 3

Plot Kuadrat 3A			Plot Kuadrat 3B			Plot Kuadrat 3C		
Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C/m ²)
Pandan duri	12	13,7475	Ubi jalar	12	0,0621	Pandan duri	46	52,6988
Cemara laut	4	8,1803	Daun serai	7	0,1464	Cemara laut	13	26,5858
Katang-katang	27	0,0576	Cemara laut	8	16,3605	Gletang	31	0,0577
Rumput panggung jepang	163	0,4054	Bayam	16	0,0582	Rumput panggung jepang	104	0,2587
Leptopetalum biflorum	18	0,0339	Rumput benggala	97	0,7860	Waru laut	16	28,8768
Total (Kg C)		22,4246	Singkong	19	0,5331	Meniran	11	0,1133
Rata-rata (Kg C)		5,0000	Mengkudu	4	0,1227	Mata pelanduk	7	0,0464
			Talas	8	0,2032	Total (Kg C)		108,6374
			Waru laut	3	5,4144	Rata-rata (Kg C)		15,5196
			Turi	7	13,2294			
			Pepaya	4	0,0560			
			Anggur laut	11	5,0666			
			Kacang panjang	20	0,0125			
			Kelapa	5	14,0436			
			Pisang	18	17,6645			
			Kacang tanah	38	0,0710			
			Total (Kg C)		73,8302			
			Rata-rata (Kg C)		4,6144			

Lampiran 1. 20 Karbon Pada Vegetasi Atas Permukaan di Lokasi 5

Tabel Lampiran1.18 Karbon Pada Vegetasi Atas Permukaan di Lokasi 5

Plot Kuadrat 5A			Plot Kuadrat 5B			Plot Kuadrat 5C		
Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)
M. suaveolens	48	0,8444	Putri malu	14	0,0155	Bidara	23	0,0413
Ekor tikus biru	73	1,1600	Akasia hitam	37	0,5858	Awar-awar	17	0,6039
Kaladana	33	0,1194	Sumak racun	15	0,0724	Minyak teluk	22	0,0331
Pandan duri	86	98,5238	Singkong	38	1,0663	Kepundung	6	0,0189
Alum-alum	62	0,5353	Kangkung air	35	0,0436	Rumput grinting	497	1,6781
Tahi ayam	11	0,0310	Tahi ayam	25	0,0705	Kangkung pagar	34	0,1663
Alang-alang	38	0,2131	Kacang gude	27	0,0970	Lamtoro	7	0,1540
Rumput grinting	632	2,1339	Daun bulu ayam	28	0,1351	Rumput gajah	372	0,1514
Ekor tupai	19	0,0953	Rumput grinting	574	1,9381	Putri malu	37	0,0409
Total (Kg C)		103,6563	Kesambik	15	0,1016	Kayu wortel	1	0,7287
Rata-rata (Kg C)		11,5174	Tapak dara	22	0,0274	Kunu buti	45	0,2201
			Jati tiongkok	15	0,1082	Mondokaki	36	0,1570
			Total (Kg C)		4,2615	Alang-alang payung	75	0,2233
			Rata-rata (Kg C)		0,3551	Calincing tanah	42	0,1567
						Asoka	5	0,0392
			Total (Kg C)		4,4128			
			Rata-rata (Kg C)		0,2942			

Lampiran 1. 21 Karbon Pada Vegetasi Bawah Permukaan di Lokasi 1

Tabel Lampiran 1.19 Karbon Pada Vegetasi Bawah Permukaan di Lokasi 1

Plot Kuadrat 1A			Plot Kuadrat 1B			Plot Kuadrat 1C		
Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)
Kelapa	3	2,359	Ketapang	2	0,483	Kelapa	2	1,573
Pandan duri	59	18,926	Kelapa	1	0,786	Waru laut	9	4,548
Pisang	46	12,640	Total (Kg C)		1,270	Pulai	6	1,354
Total (Kg C)		33,925	Rata-rata (Kg C)		0,635	Janaguba	1	0,387
Rata-rata (Kg C)		11,308				Total (Kg C)		7,862
						Rata-rata (Kg C)		1,966

Lampiran 1. 22 Karbon Pada Vegetasi Bawah Permukaan di Lokasi 3

Tabel Lampiran 1.20 Karbon Pada Vegetasi Bawah Permukaan di Lokasi 3

Plot Kuadrat 3A			Plot Kuadrat 3B			Plot Kuadrat 3C		
Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C/m2)
Pandan duri	12	3,8493	Cemara laut	8	4,5809	Pandan duri	46	14,7557
Cemara laut	4	2,2905	Waru laut	3	1,5160	Cemara laut	13	7,4440
Total (Kg C)		6,1398	Anggur laut	11	1,4186	Waru laut	16	8,0855
Rata-rata (Kg C)		4,0932	Turi	7	3,7042	Total (Kg C)		30,2852
			Kelapa	5	3,9322	Rata-rata (Kg C)		10,0951
			Pisang	18	4,9461			
			Total (Kg C)		20,0981			
			Rata-rata (Kg C)		3,3497			

Lampiran 1. 23 Karbon Pada Vegetasi Bawah Permukaan di Lokasi 5

Tabel Lampiran1.21 Karbon Pada Vegetasi Bawah Permukaan di Lokasi 5

Plot Kuadrat 5A			Plot Kuadrat 5C		
Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)	Nama Vegetasi	Jumlah Vegetasi	Karbon Vegetasi (Kg C)
Pandan duri	86	27,5867	Kayu wortel	1	0,2040
Total (Kg C)		27,5867	Total (Kg C)		0,2040
Rata-rata (Kg C)		27,5867	Rata-rata (Kg C)		0,2040

Lampiran 1. 24 Perhitungan Kepadatan Massa Tanah Kering (Dry Bulk Density)

Tabel Lampiran 1.22 Perhitungan Kepadatan Massa Tanah Kering (Dry Bulk Density)

Plot Kuadrat	Kedalaman (cm)	Volume awal (cm ³)	Berat basah (g)	Berat kering (g)	Dry Bulk Density (g/cm ³)
1A	22,5	792,9	598,7	446,5	0,563
1B	22,5	792,9	606,7	480	0,605
1C	22,5	792,9	632,8	600,8	0,758
3A	22,5	792,9	826,5	794,8	1,002
3B	22,5	792,9	565,1	410,8	0,518
3C	22,5	792,9	527,8	372,9	0,470
5A	22,5	792,9	584,5	435	0,549
5B	22,5	792,9	558,1	441,5	0,557
5C	22,5	792,9	611,7	465,7	0,587

Lampiran 1. 25 Perhitungan Estimasi Cadangan Karbon Organik Tanah

Tabel Lampiran 1.23 Perhtungan Estimasi Cadangan Karbon Organik Tanah

Plot Kuadrat	Kedalaman (cm)	Co org %	Dry Bulk Density (g/cm³)	Massa tanah per satuan luas (Ton C/Ha)	Cadangan Karbon Organik Tanah (Ton C/Ha)
1A	10	24,94	0,563	563,1	140,45
1B	10	25,57	0,605	605,4	154,80
1C	10	27,47	0,758	757,8	208,17
3A	10	17,50	1,002	1002,4	175,43
3B	10	22,76	0,518	518,1	117,92
3C	10	43,69	0,470	470,3	205,49
5A	10	27,11	0,549	548,6	148,72
5B	10	25,58	0,557	556,8	142,42
5C	10	28,77	0,587	587,4	168,97

RIWAYAT HIDUP



Nama penulis adalah Nur Indah Islami, lahir di Indramayu, 23 Agustus 2002. Penulis merupakan putri kedua dari dua bersaudara, anak dari pasangan Bapak Abdul Wafa (Alm) dan Ibu Daniyah. Riwayat pendidik penulis dimulai dari SD Negeri Singaraja 1, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri Balongan 1, pada semester awal kelas 9 penulis pindah ke SMP Negeri Ragunan dan menempuh pendidikan menengah atas di SMA Negeri Ragunan juga. Setelah itu penulis melanjutkan studi perguruan tinggi swasta di Program Studi Teknik Lingkuan, Universitas Islam Indonesia (UII) di tahun 2021 dan mendapatkan beasiswa dari *Excellent Communtty* UII.

Selama masa kuliah, penulis aktif dalam kegiatan olahraga, termasuk dalam tim Bola Basket UII, meraih beberapa prestasi tingkat provinsi dan nasional. Selain itu, penulis juga pernah membantu mendistribusikan jas alamameter kepada mahasiswa baru.