

**POTENSI SERAPAN KARBON HUTAN MANGROVE PADA
KAWASAN HUTAN MANGROVE PANTAI PERMATA
PILANG, PROBOLINGGO**

SKRIPSI

Diajukan guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada program studi Ilmu Kelautan



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun Oleh

**RETNO ANGGREINI
NIM. H94219062**

**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA
2023**

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Retno Anggreini

NIM : H94219062

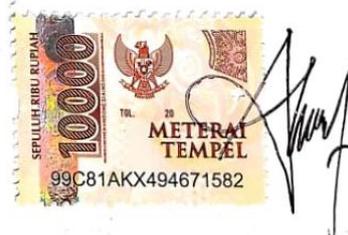
Program Studi : Ilmu Kelautan

Angkatan : 2019

Mengatakan bahwa tidak melakukan plagiat dalam menulis skripsi saya yang berjudul : “POTENSI SERAPAN KARBON HUTAN MANGROVE PADA KAWASAN HUTAN MANGROVE PANTAI PERMATA PILANG, PROBOLINGGO”. Apabila suatu saat nanti saya terbukti melakukan plagiasi maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 03 Juli 2023
Yang Menyatakan,



Retno Anggreini
NIM. H94219062

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi oleh

NAMA : RETNO ANGGREINI

NIM : H94219062

JUDUL : POTENSI SERAPAN KARBON HUTAN MANGROVE PADA
KAWASAN HUTAN MANGROVE PANTAI PERMATA
PILANG, PROBOLINGGO

Ini telah di periksa dan disetujui untuk di ujikan

Surabaya, 27 Juni 2023

Dosen Pembimbing 1



Mauludiyah, S.T., M.T
NUP. 201409003

Dosen Pembimbing 2



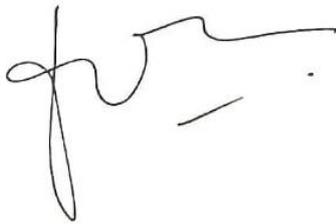
Muhammad Yunan Fahmi, S.T., M.T
NUP. 201409004

PENGESESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

Skripsi Retno Anggreini ini telah dipertahankan
di depan tim penguji skripsi
di Surabaya, 07 Juli 2023

Mengesahkan
Dewan Penguji

Penguji I



Mauludiyah, S.T., M.T
NUP. 201409003

Penguji II



Muhammad Yunan Fahmi, S.T., M.T
NUP. 201409004

Penguji III



Noverma, M.Eng
NIP. 198111182014032002

Penguji IV



Dr. Moch. Irfan Hadi, M.KL
NIP. 198604242014031003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UTN Sunan Ampel Surabaya



Dr. Saepul Hamdani, M.Pd.
NIP. 196507312000031002



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Retno Anggreini
NIM : H94219062
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/ Ilmu Kelautan
E-mail address : retnoanggreini918@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Sekripsi Tesis Desertasi Lain-lain (.....)
yang berjudul :

Potensi Serapan Karbon Hutan Mangrove pada Kawasan Hutan Mangrove Pantai Permata
Pilang, Probolinggo

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara **fulltext** untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 18 Juli 2023
Penulis

(Retno Anggreini)

ABSTRAK

POTENSI SERAPAN KARBON HUTAN MANGROVE PADA KAWASAN HUTAN MANGROVE PANTAI PERMATA PILANG, PROBOLINGGO

Hutan mangrove memiliki kemampuan dalam menyerap karbon 3-5 kali lebih tinggi dibandingkan dengan hutan terestrial. Karbon yang diserap diubah oleh mangrove menjadi karbon organik yang tersimpan dalam biomassa selama proses fotosintesis, serta terkandung dalam karbon organik tanah. Hutan mangrove Pantai Permata Pilang memiliki luasan mencapai 60,6 ha. Sebagian kawasan tersebut merupakan kawasan wisata yang memiliki potensi terjadinya perubahan atau hilangnya sebagian lahan karena pengembangan infrastruktur. Berkurangnya luasan hutan mangrove sangat berpengaruh terhadap kemampuan mangrove dalam menyerap karbon di atmosfer. Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui nilai serapan karbon pada biomassa atas, biomassa bawah, dan karbon organik tanah oleh hutan mangrove Pantai Permata Pilang, Probolinggo. Penentuan lokasi pengambilan sampel dilakukan secara *purposive sampling* berdasarkan kondisi serta kerapatan hutan mangrove. Pendugaan daya serap karbon pada biomassa atas dan bawah permukaan tanah dilakukan secara non-destruktif dengan persamaan alometrik sedangkan penentuan pada karbon organik tanah digunakan metode LOI (*Loss on Ignition*). Hasil penelitian menunjukkan terdapat 3 jenis mangrove meliputi *Avicennia alba*, *Avicennia marina*, dan *Rhizophora mucronata* pada lokasi studi. Serapan karbon pada biomassa atas permukaan sebesar 99,26 ton. Serapan karbon pada biomassa bawah permukaan tanah sebesar 53,77 ton. Serapan karbon organik tanah berdasarkan kedalaman sebesar 1.766,27 ton pada kedalaman 0-15 cm, 1.860,68 ton pada kedalaman 15-30 cm, 3.920,27 ton pada kedalaman 30-50 cm, dan 6.954,30 ton pada kedalaman 50-100 cm. Potensi serapan karbon pada hutan mangrove Pantai Permata Pilang tergolong rendah jika dibandingkan dengan serapan karbon pada kategori hutan rehabilitasi maupun hutan mangrove alami.

Kata kunci : Serapan Karbon, Mangrove, Persamaan Alometrik, *Loss on Ignition*.

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

ABSTRACT
CARBON ABSORPTION POTENTIAL OF MANGROVE FORESTS IN
THE MANGROVE FOREST AREA OF PERMATA PILANG BEACH,
PROBOLINGGO

Mangrove forests have the ability to sequester carbon 3-5 times higher than terrestrial forests. The absorbed carbon is converted by mangroves into organic carbon stored in biomass during the photosynthesis process, as well as contained in soil organic carbon. Permata Pilang Beach mangrove forest has an area of 60.6 ha. Part of the area is a tourist area that has the potential for changes or loss of land due to infrastructure development. The reduction of mangrove forest area greatly affects the ability of mangroves to absorb carbon in the atmosphere. The purpose of this study was to determine the value of carbon sequestration in the upper biomass, lower biomass, and soil organic carbon by the mangrove forest of Permata Pilang Beach, Probolinggo. Determination of sampling locations was carried out by purposive sampling based on the condition and density of mangrove forests. Estimation of carbon absorption in the upper and lower biomass of the soil surface was done non-destructively with the allometric equation while the determination of soil organic carbon used the LOI (Loss on Ignition) method. Research results at the study site showed 3 types of mangroves including *Avicennia alba*, *Avicennia marina*, and *Rhizophora mucronata*. Carbon uptake in aboveground biomass was 99.26 tons. Carbon sequestration in subsurface biomass amounted to 53.77 tons. Soil organic carbon uptake based on depth was 1,766.27 tons at a depth of 0-15 cm, 1,860.68 tons at a depth of 15-30 cm, 3,920.27 tons at a depth of 30-50 cm, and 6,954.30 tons at a depth of 50-100 cm. The potential for carbon absorption per hectare in the mangrove forest of Permata Pilang Beach is low for the category of rehabilitation forest and natural mangrove forest.

Keywords : Carbon sequestration, mangroves, Allometric, Loss on Ignition

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING | i |
| PENGESESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI..... | ii |
| PERNYATAAN KEASLIAN..... | iii |
| LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI..... | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| ABSTRAK..... | vii |
| ABSTRACT..... | viii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR TABEL..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.4 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| 1.5 Batasan Masalah..... | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Hutan Mangrove..... | 5 |
| 2.1.1 Zonasi Hutan Mangrove | 5 |
| 2.1.2 Peran Hutan Mangrove | 7 |
| 2.1.3 Hutan Mangrove Pantai Permata Pilang, Probolinggo | 9 |
| 2.2 Karbon | 10 |
| 2.2.1 Siklus Karbon | 11 |
| 2.2.2 Simpanan Karbon | 14 |

| | | |
|-----------------------------------|--|----|
| 2.2.3 | Serapan Karbon..... | 19 |
| 2.3 | Penelitian Terdahulu..... | 21 |
| 2.4 | Integrasi Keislaman | 26 |
| BAB III METODE PENELITIAN..... | | 28 |
| 3.1 | Waktu dan Lokasi Penelitian..... | 28 |
| 3.2 | Alat dan Bahan Penelitian | 28 |
| 3.3 | Alur Penelitian..... | 29 |
| 3.3.1 | Studi Pendahuluan | 30 |
| 3.3.2 | Titik pengambilan Sampel..... | 31 |
| 3.3.3 | Pengambilan Data..... | 32 |
| 3.3.4 | Analisis Data..... | 36 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | | 42 |
| 4.1 | Vegetasi Mangrove Pantai Permata | 42 |
| 4.2 | Struktur Komunitas Hutan Mangrove Pantai Permata | 46 |
| 4.3 | Karbon Organik Tanah..... | 49 |
| 4.4 | Nilai Biomassa pada Setiap Stasiun | 51 |
| 4.4.1 | Nilai Biomassa pada Masing-masing Jenis Mangrove | 55 |
| 4.4.2 | Nilai Biomassa Hutan Mangrove Pantai Permata..... | 57 |
| 4.5 | Analisis Serapan CO ₂ oleh Hutan Mangrove | 62 |
| BAB V PENUTUP..... | | 67 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 67 |
| 5.2 | Saran..... | 67 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 68 |
| LAMPIRAN | | 73 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3. 1. Alat | 29 |
| Tabel 3. 2. Bahan..... | 29 |
| Tabel 3. 3. Persamaan Alometrik Biomassa Atas Permukaan Tanah | 37 |
| Tabel 3. 4 Persamaan Alometrik Biomassa Bawah Permukaan Tanah | 37 |
| Tabel 4. 1. Struktur Komunitas Vegetasi Mangrove Pantai Permata | 46 |
| Tabel 4. 2. Struktur Komunitas Mangrove Pantai Permata Pilang..... | 55 |
| Tabel 4. 4. Daya Serap Karbon oleh Hutan Mangrove Pantai Permata | 64 |



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1. Zonasi Hutan Mangrove (Muzaki et al., 2012) | 7 |
| Gambar 2. 2 Hutan Mangrove Pantai Permata Pilang, Probolinggo | 11 |
| Gambar 2. 3. Siklus Karbon (Latief, 2008) | 13 |
| Gambar 3. 1. Lokasi Penelitian | 29 |
| Gambar 3. 2. Alur Penelitian | 31 |
| Gambar 3. 3 Ilustrasi Petak Ukur di Lapangan | 33 |
| Gambar 3. 4 Ilustrasi pengukuran dan penentuan DBH batang Pohon | 34 |
| Gambar 3. 5. Pemilihan Lokasi Sampling | 35 |
| Gambar 3. 6. Pengambilan Sampel Sedimen | 35 |
| Gambar 3. 7. Pembagian Berdasarkan Kedalam | 35 |
| Gambar 3. 8. Penyimpanan Sampel Sedimen..... | 35 |
| Gambar 3. 9. Hasil Pengeringan Dengan Oven..... | 36 |
| Gambar 3. 10. Homogenisasi Sedimen | 36 |
| Gambar 3. 11. Hasil Pembakaran Suhu Tinggi | 37 |
| Gambar 4. 1. Mangrove Jenis <i>Avicennia alba</i> | 43 |
| Gambar 4. 2. Mangrove Jenis <i>Avicennia marina</i> | 44 |
| Gambar 4. 3. Bentuk Daun <i>Rhizophora mucronata</i> | 45 |
| Gambar 4. 4. Bunga dan Buah <i>Rhizophora mucronata</i> | 46 |
| Gambar 4. 5. Akar Jenis <i>Rhizophora mucronata</i> | 46 |
| Gambar 4. 6 Stasiun Pengambilan Sampel..... | 48 |
| Gambar 4. 7. Perbedaan Akar Jenis <i>Rhizophore mucronata</i> berdasarkan Adanya Perbedaan Lokasi | 49 |
| Gambar 4. 8. Grafik Hubungan antara Diameter Pohon dengan Biomassa di Atas Permukaan Tanah atau Above-Ground Biomass (AGB)..... | 59 |
| Gambar 4. 9. Grafik Hubungan antara Diameter Pohon dengan Biomassa di Bawah Permukaan Tanah atau Below-Ground Biomass (BGB) | 60 |
| Gambar 4. 10. Grafik Hubungan Antara Kerapatan Pohon dengan Biomassa.... | 62 |

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembakaran bahan bakar fosil pada era revolusi industri terjadi secara besar-besaran hingga menyebabkan peningkatan emisi karbon penyebab perubahan iklim. Peningkatan yang terjadi mencapai 40% dari tahun 1750 hingga tahun 2011. Apabila emisi CO₂ terus meningkat, diperkirakan tahun 2050 akumulasi CO₂ dapat mencapai hingga 467-555 ppm dengan diikuti kenaikan suhu global mencapai 2-42°C (Rahman et al., 2015). Pembakaran bahan bakar fosil dan kerusakan hutan juga menjadi penyebab tingginya emisi gas rumah kaca terutama emisi karbon. Kerusakan hutan akan berimbas pada berkurangnya kerapatan. Rendahnya nilai kerapatan suatu vegetasi mengakibatkan berkurangnya nilai biomassa, tak terkecuali hutan mangrove. Hal ini akan mengakibatkan berkurangnya kemampuan hutan mangrove dalam menyerap karbon (Amanda et al., 2021). Faktanya penyimpanan karbon hutan mangrove dinilai paling efektif dibandingkan dengan hutan terestrial di daerah tropis, yaitu mencapai 3 hingga 5 kali lebih tinggi dari hutan terestrial (Hong et al., 2016). Stok karbon global hutan mangrove diperkirakan mencapai 954 MgC/ha, melebihi hutan hujan tropis, rawa gambut, rawa asin, dan padang lamun (Hong et al., 2016).

Karbon yang dihasilkan diubah menjadi karbon organik selama proses fotosintesis dan disimpan dalam bentuk biomassa di seluruh bagian pohon mangrove dengan potensi penyimpanan terjadi selama ribuan tahun (Hong et al., 2016). Mangrove diperkirakan menyimpan $1,23 \pm 0,06$ Pg karbon dari siklus karbon global (Anand et al., 2020). Terdapat dua reservoir karbon meliputi vegetasi hidup atau karbon di atas tanah dan karbon di bawah tanah. Tanah merupakan reservoir terbesar ekosistem hutan mangrove yang dapat dijadikan pengukuran penting untuk menentukan efek jangka panjang terkait perubahan iklim hingga 50% bahkan 90% (Hong et al., 2016).

Luas hutan mangrove dunia, diperkirakan dari tahun 1990 hingga 2020 luasnya mencapai 14-15 juta ha, 6,8 juta ha bagiannya berada pada wilayah Asia (FAO, 2020 dalam Suhaili et al. (2020). Hal ini sekaligus menjadi wilayah dengan jumlah hutan mangrove terbesar di dunia (Suhaili et al., 2020). Namun dari tahun ketahun luasannya terus menurun dengan laju penurunan sebesar 0,16%-0,39% atau 131-639 km² setiap tahunnya (Anand et al., 2020).

Tidak hanya luasan hutan mangrove dunia yang mengalami penurunan, secara bertahap Indonesia mulai kehilangan 30% hutan mangrove antara 1980-2005 (FAO, 2007 dalam Murdiyarso et al., 2015). Pada 1980 luasan hutan mangrove Indonesia mencapai 4,2 juta ha di sepanjang garis pantai yang mencapai 95.000 km³. Lebih dari 20 tahun hutan mangrove mengalami penurunan hingga 20% menjadi 3,1 juta ha dan terus menurun hingga 2,9 juta ha di tahun 2005. Estimasi terkini tutupan mangrove menunjukkan kehilangan total 40% dalam tiga dekade terakhir. Hilangnya luasan hutan di Indonesia hingga 0,26% terjadi karena kerusakan atau perubahan lahan (Murdiyarso et al., 2015).

Meskipun luasan hutan mangrove hanya menyumbang kurang dari 1% hutan tropis dunia, secara global hutan mangrove menyumbang penyerapan karbon mencapai 3-4% dari luasan hutan tropis dunia (Aye et al., 2022). Hal ini menyebabkan hutan mangrove diakui memiliki peran penting dalam mengelola iklim dunia, bahkan telah terbukti hilangnya luasan hutan mangrove menyumbang 10% total emisi karbon global (Murdiyarso et al., 2015). Kerugian hilangnya hutan mangrove bukan hanya kerugian hilangnya kantong karbon di atas tanah atau pada vegetasi hidup, namun juga kantong karbon di bawah tanah (Murdiyarso et al., 2015). Estimasi mengenai penyimpanan karbon pada tegakan dan substrat dapat dijadikan sebagai salah satu bentuk penilaian manfaat hutan mangrove dalam hal jasa lingkungan C-Sekuestrasi. Sekuestrasi merupakan jasa yang disediakan oleh tanaman untuk menangkap dan menyimpan atau menimbun karbon di atmosfer dalam jangka waktu yang lama pada bagian tubuh tumbuhan hidup (Rahayu 2007).

Oleh karena itu, untuk mengetahui potensi hutan mangrove sebagai penyerap karbon perlu dilakukan analisis cadangan karbon pada hutan mangrove.

Pantai Permata Pilang merupakan area yang ditumbuhi oleh mangrove dengan keadaan paling rusak di sepanjang 12 km garis pantai Probolinggo (Gisela, 2022). Kawasan ini berubah menjadi hamparan pasir setelah terjadinya letusan Gunung Bromo tahun 2010. Hampir seluruh mangrove mati kekeringan karena tertutup abu vulkanik panas serta tidak adanya aliran air yang masuk dan mengenai kawasan tersebut. Upaya rehabilitasi terus dilakukan oleh kelompok masyarakat setempat hingga memunculkan ide pembukaan kawasan wisata dengan edukasi. Hingga saat ini luasan hutan mangrove pada kawasan Pantai Permata Pilang telah mencapai 60,6 ha.

Lokasi ini dipilih karena keunikan kondisi substrat serta alih fungsi lahannya sebagai kawasan wisata. Pembukaan kawasan wisata kerap kali memiliki potensi perubahan wilayah dari adanya pembangunan yang kurang memperhatikan kelestarian lingkungan. Hal ini ditunjukkan oleh penelitian (Utomo et al., 2018) bahwa penyebab kerusakan hutan mangrove disebabkan oleh pencemaran, konversi hutan mangrove yang kurang memperhatikan faktor lingkungan, dan penebangan yang berlebihan. Hilangnya atau rusaknya sebagian wilayah hutan mangrove dapat mempengaruhi kemampuannya dalam menyerap karbon di atmosfer. Hal ini karena hutan mangrove merupakan salah satu ekosistem yang sangat penting dalam menyerap karbon dari atmosfer dan menyimpannya dalam biomassa serta tanah di bawahnya. Oleh karena itu, perlu adanya kajian mengenai serapan karbon oleh hutan mangrove untuk membantu dalam memahami seberapa efektif hutan mangrove dalam mengurangi kadar CO₂ di atmosfer.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa besar serapan karbon yang tersimpan pada biomassa atas permukaan hutan mangrove di Pantai Permata Pilang, Probolinggo?
2. Berapa besar serapan karbon yang tersimpan pada biomassa bawah permukaan tanah di hutan mangrove Pantai Permata Pilang, Probolinggo?

3. Berapa besar serapan karbon organik tanah pada hutan mangrove Pantai Permata Pilang, Probolinggo?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengestimasi nilai serapan karbon pada biomassa atas permukaan hutan mangrove di Pantai Permata Pilang, Probolinggo.
2. Untuk mengestimasi nilai serapan karbon biomassa bawah permukaan tanah hutan mangrove di Pantai Permata Pilang, Probolinggo.
3. Untuk mengestimasi nilai serapan karbon organik tanah hutan mangrove di Pantai Permata Pilang, Probolinggo.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat penting, meliputi manfaat penting bagi lembaga pendidikan dalam referensi, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai sumber informasi dan pembelajaran mengenai serapan karbon pada hutan mangrove. Selain itu data yang diperoleh dari penelitian ini juga dapat menjadi informasi yang bermanfaat bagi pemerintah dalam pengolahan serta pemanfaatan lahan tepat guna dengan memperhatikan pentingnya ketersediaan lahan yang memadai untuk serapan karbon. Penelitian ini juga dapat menjadi tambahan wawasan baru bagi masyarakat wilayah pesisir mengenai besarnya peran hutan mangrove sebagai pelindung pantai serta habitat dari berbagai macam jenis flora dan fauna. Sehingga melalui penelitian ini masyarakat menjadi lebih sadar mengenai pentingnya menjaga kelestarian mangrove untuk mendukung keberlanjutan lingkungan.

1.5 Batasan Masalah

Data diameter yang digunakan merupakan data vegetasi mangrove pada kategori pohon.

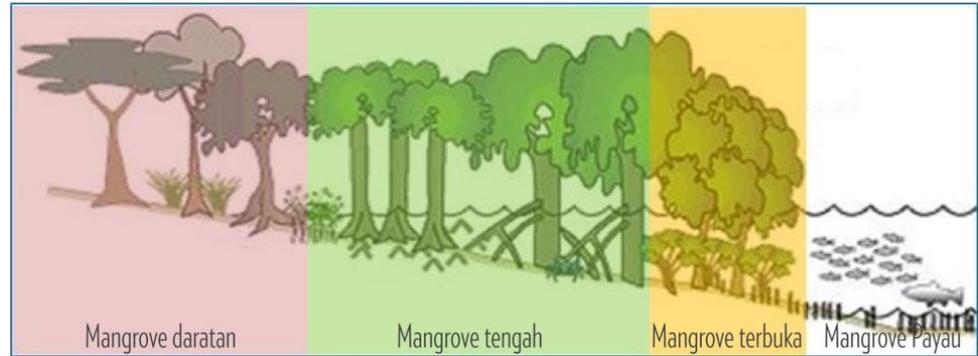
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hutan Mangrove

Perairan dengan pengaruh pasang surut merupakan habitat terbaik untuk pertumbuhan hutan mangrove, terutama pada daerah payau meliputi bagian pantai yang terlindung, laguna serta muara sungai. Arus laut dan terjangan ombak pada kawasan ini tidak terlalu kuat serta terlindung dari angin kencang (Astuti & Titah, 2020). Pasang surut menjadi faktor ketersediaan air payau pada habitat mangrove. Oleh karena itu mangrove sangat toleran terhadap salinitas tinggi hingga lebih dari 30 ppm. Lamanya waktu dan tinggi rendahnya genangan air pada habitat mangrove akan mempengaruhi keberagaman jenis spesies dalam suatu kawasan. Pada saat penggenangan akan mempengaruhi sistem perakaran mangrove dalam penyerapan oksigen. Pada tegakan atau semai, unsur hara dan fosfor tidak akan terangkut jika tergenang terlalu lama (Tefarani et al., 2019). Jenis serta keadaan substrat juga sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan mangrove karena mempengaruhi sistem perakaran dalam pengangkutan unsur hara. Mangrove tumbuh dengan baik pada beberapa jenis substrat seperti tanah lempung, berlumpur atau berpasir.

2.1.1 Zonasi Hutan Mangrove

Zonasi hutan mangrove terbagi berdasarkan keadaan lingkungan dan bentuk adaptasi dari hutan mangrove itu sendiri. Pada umumnya zonasi hutan mangrove dibagi dalam empat kelompok zona meliputi daerah payau, daerah terbuka, daerah tengah, dan daerah daratan seperti tampak pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1. Zonasi Hutan Mangrove (Muzaki et al., 2012)

a) Daerah Payau

Daerah ini merupakan wilayah dengan air payau atau hampir tawar. Daerah payau lebih mengarah pada wilayah estuari air tawar yang didominasi oleh jenis *Nypa* dan *Sonneratia sp.* (Sunarni et al., 2019).

b) Mangrove Terbuka

Daerah terbuka merupakan bagian yang berhadapan secara langsung dengan air laut atau bahkan akan terus menerus tergenang oleh air laut. Pada daerah ini didominasi oleh mangrove jenis *Sonneratia sp.* dan *Avicennia sp.* Terkadang jenis *Rhizophora mucronate* juga ditemukan pada daerah ini (Muzaki et al., 2012).

c) Mangrove Tengah

Mangrove tengah merupakan zona yang tepat berada pada belakan daerah mangrove terbuka. Bagiannya lebih tinggi dibandingkan daerah terbuka serta tidak terlalu tergenang, umumnya didominasi oleh *Rhizophora sp.* dan *Bruguiera sp.* (Astuti & Titah, 2020). Seperti beberapa jenis dari *Rhizophora mucronata* serta *B. cylindrica* (Samingan, 2016), *B. eriopetala*, *B. gymnorrhiza*.

d) Daerah Daratan

Zona ini merupakan zona terbelakang yang umumnya ditumbuhi oleh jenis mangrove asosiasi (Astuti & Titah, 2020). Zona daratan memiliki kekayaan jenis tertinggi dibanding dengan zona lainnya. Berdasarkan data Kantor Menteri Lingkungan Hidup, zona daratan

didominasi oleh berbagai jenis mangrove seperti *Ficus microcarpa*, *F. retusa*, *Intsia bijuga*, *Nypa fruticans*, *Lumnitzera racemosa*, *Pandanus sp.* dan *Xylocarpus moluccensis* (Sunarni et al., 2019).

2.1.2 Peran Hutan Mangrove

Hutan mangrove merupakan salah satu kawasan yang paling produktif di kawasan pesisir karena keberadaannya sebagai penyedia hara dan nutrien. Pelapukan serasah serta fauna yang mati dan terdekomposisi hingga terurai menyatu dalam tanah membentuk organik tanah. Tingginya kandungan nutrien dan hara dalam sedimen menyebabkan ekosistem hutan mangrove memiliki keanekaragaman hayati yang tinggi. Selain itu, hutan mangrove juga memiliki kemampuan sebagai pemecah ombak sekaligus pelindung serta stabilisasi garis pantai dengan mencegah atau mengurangi terjadinya abrasi yang cukup besar pada wilayah pesisir. Hal ini terjadi karena perakaran mangrove yang memiliki struktur kompleks sehingga dapat menahan abrasi dan erosi air laut dengan mengikat sedimen terlarut dalam air. Pada sebuah penelitian yang dilakukan oleh Sediadi (1991) dalam Julaikha & Sumiyati (1989) mengenai bencana erosi yang kerap kali menghampiri pesisir pantai Marunda, Jakarta sebelum dan sesudah ditanami mangrove. Beberapa penelitian terkait yang dilakukan oleh Anwar (1998) dalam Julaikha & Sumiyati (1989) menyebutkan bahwa mangrove membantu memperkecil laju akumulasi tanah karena adanya pengendapan sedimen oleh perakaran mangrove.

Hutan mangrove merupakan salah satu ekosistem hutan yang memiliki peran besar dalam mitigasi perubahan iklim global. Hutan mangrove masuk dalam kategori ekosistem lahan basah dengan penyimpanan karbon mencapai 800-1.200 ton/ha. Melalui proses fotosintesis, tegakan mangrove mengolah dan mengubah serapan CO₂ di atmosfer menjadi karbon organik dalam bentuk biomassa (Nedhisa & Tjahjaningrum, 2020).

Hutan mangrove memiliki peran yang sangat besar dalam pengelolaan lingkungan sebagai C-Sekuestrasi. Sekuestrasi merupakan jasa yang disediakan oleh tanaman untuk menangkap dan menyimpan atau

menimbun karbon dari atmosfer dalam jangka waktu yang lama pada bagian tubuh tumbuhan hidup (Rahayu 2007). Melalui sekuestrasi pengurangan efek pemanasan global dapat dikurangi karena serapan karbon oleh hutan mangrove pada tegakan dan tanah. Tanah merupakan reservoir karbon organik terbesar karena kemampuannya dalam penyimpanan karbon jangka panjang. Hal ini dikarenakan akumulasi karbon oleh tanah lebih besar dibandingkan pada biomassa tanaman dan atmosfer (Siringoringo, 2013).

Proses penyerapan dan pelepasan karbon oleh kantong karbon bersifat dinamis, yaitu seimbang antara bahan organik dan anorganik yang masuk atau keluar dari waktu ke waktu. Bentuk sekuestrasi karbon tanah tergantung pada beberapa hal meliputi jenis tanaman, tipe tanah, iklim, dan pengelolaha lahan. Selain itu perubahan dan pertumbuhan suatu vegetasi hutan juga akan sangat mempengaruhi akumulasi karbon dalam tanah. Kemampuan penyerapan karbon tanah tergantung pada kemampuan hutan dalam menyimpan komponen tanaman pada jangka waktu tertentu (Siringoringo, 2013).

Penyimpanan karbon tanah terutama pada wilayah tropis, rentan terhadap gangguan penggunaan lahan yang berakibat pada perubahan tata guna lahan. Periode pemulihan perubahan tata guna lahan secara bersamaan, antara fungsi gunanya seperti semula dan fungsinya sebagai serapan karbon terjadi dua kali lipat waktu yang dibutuhkan untuk pulih kembali.

Keadaan jenis tanah wilayah tropis 60-70% merupakan tanah yang kaya akan tanah liat dan lembab (Siringoringo, 2013). Sekuestrasi karbon dalam tanah paling cepat terjadi pada lapisan atas tanah. Hal ini karena partikel tanahnya menjaga senyawa organik yang lebih mudah terurai saat terjadinya dekomposisi oleh mikroorganisme pengurai. Beberapa hal yang dapat mempengaruhi kecepatan terjadinya sekuestrasi karbon tanah pada lapisan atas tanah ialah pertumbuhan biomassa akar dan pengolahan distribusi akar oleh tumbuhan secara vertikal. Pemilihan jenis tanaman dengan biomassa akar yang mempunyai kadar yang lebih tinggi dari senyawa lignin, tannin, cutan, dan suberin juga sangat penting (Lorenz et

al., 2005 dalam Siringoringo, 2013). selain itu ketersediaan air yang cukup disertai dengan suplai unsur hara pendukung pertumbuhan akar juga sangat mempengaruhi peningkatan akumulasi karbon organik tanah berkelanjutan dengan produksi tinggi.

Pada beberapa vegetasi pepohonan pada fase pertumbuhan memiliki kemampuan penyerapan karbon lebih besar dibandingkan dengan tumbuhan fase dewasa. Hal ini karena pepohonan fase dewasa telah melewati fase pertumbuhan dan mengalami fase pertumbuhan yang sangat kecil dibanding fase pertumbuhan, sehingga mempengaruhi kemampuan penyimpanan secara ekstra (Purwitasari, 2011). Semakin tinggi keanekaragaman hayati suatu hutan maka semakin tinggi pula serapan karbonnya, dibandingkan dengan keanekaragaman hayati yang rendah atau berkurang.

2.1.3 Hutan Mangrove Pantai Permata Pilang, Probolinggo

Lokasi penelitian berada pada hutan mangrove Pantai Permata Pilang, Probolinggo. Hutan mangrove ini terletak di tepi pantai bagian utara Laut Jawa pada wilayah Probolinggo, Jawa Timur. Hutan mangrove Pantai Permata Pilang merupakan hutan mangrove hasil rehabilitasi dimana kawasan ini sebelumnya telah ada dan terbentuk namun mengalami kerusakan parah karena tertutup abu vulkanik letusan Gunung Bromo tahun 2010 (Gisela, 2022). Pantai Permata dikenal karena keberadaan ekosistem hutan mangrovenya yang luas dan unik dengan keadaan alam serta keanekaragaman jenis hayati yang melimpah. Berdasarkan hasil survei lokasi yang sebelumnya dilakukan, pada kawasan hutan mangrove terdiri atas berbagai macam spesies mangrove serta berbagai macam jenis hewan, seperti burung, kepiting, ikan, dan moluska. Lingkungan di sekitar Pantai Permata sangat dipengaruhi oleh pasang-surut air laut. Sehingga hutan mangrove Pantai Permata Pilang memiliki peran penting sebagai benteng alami pelindung pantai dari abrasi dan erosi. Selain itu, hutan mangrove juga berperan dalam mengendalikan banjir, serta menyediakan sumberdaya alam yang penting bagi masyarakat sekitar.



Gambar 2. 2 Hutan Mangrove Pantai Permata Pilang, Probolinggo
(Dokumentasi peneliti, 2023)

Berdasarkan Gambar 2.2 hutan mangrove Pantai Permata Pilang memiliki kondisi substrat berupa pasir hitam. Pasir hitam terbentuk dari abu vulkanik hasil letusan Gunung Bromo. Pasir hitam memiliki karakteristik khusus, seperti ukuran butirannya yang cenderung lebih halus dengan warna yang lebih gelap dibandingkan dengan pasir biasa. Substrat jenis ini memiliki kemampuan aliran air yang baik, dimana pada jenis substrat ini memungkinkan air mengalir dengan lebih cepat melalui tanah. Sehingga dapat mempengaruhi ketersediaan air bagi mangrove, terutama selama musim kemarau panjang ketika pasokan air yang ada menjadi sangat terbatas.

2.2 Karbon

Seiring bertambahnya kemajuan zaman dan teknologi menyebabkan akumulasi emisi karbon di atmosfer semakin tinggi. Produksi karbon buangan di atmosfer paling banyak dalam bentuk karbon dioksida (CO_2). Gas CO_2 memiliki pengaruh paling tinggi dalam pemanasan global karena sifat dari CO_2 sendiri ialah menyerap radiasi sinar inframerah. Sehingga semakin tinggi gas CO_2 di atmosfer, peningkatan suhu juga menjadi semakin tinggi. Sektor yang paling tinggi dalam menyumbang gas buangan CO_2 ialah pembukaan lahan dengan pembakaran serta penggunaan bahan bakar fosil pada kendaraan bermotor dan mesin produksi dalam industri. Keseluruhan jumlah total emisi CO_2 hasil dari aktivitas manusia disebut dengan jejak karbon. Jejak karbon

tergolong dalam dua jenis, yaitu jejak karbon primer dan jejak karbon sekunder.

a) Jejak Karbon Primer

Jejak karbon primer merupakan bentuk dari akumulasi karbon di atmosfer yang sumbernya berasal dari proses pembakaran bahan bakar fosil. Jejak karbon primer meliputi pembakaran bahan bakar pada beberapa sektor industri, transportasi, maupun rumah tangga. Pada sektor industri dan transportasi, jenis pembakaran meliputi pembakaran bahan bakar pada penggunaan mesin pabrik dan mesin kendaraan bermotor. Pada rumah tangga pembakaran minyak tanah paling banyak digunakan untuk keperluan memasak pada kompor tradisional.

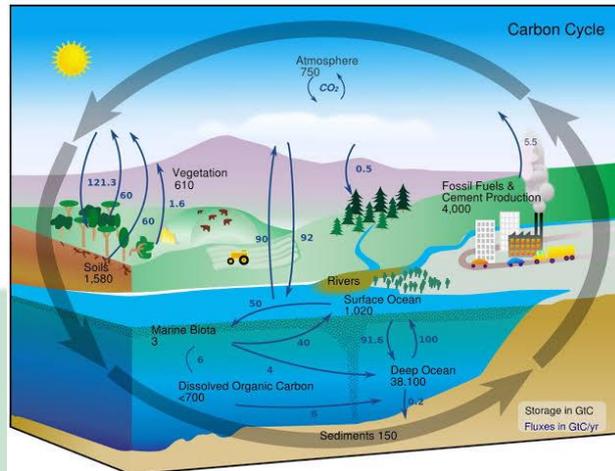
b) Jejak Karbon Sekunder

Jejak karbon sekunder merupakan jejak karbon yang berasal dari siklus produk yang digunakan oleh manusia, mulai dari produksi hingga penguraian. Salah satunya pemanfaatan beberapa jenis material bahan bangunan. Sebelum menjadi material yang siap digunakan, material-material tersebut mengalami proses pengolahan yang menghasilkan emisi. Adanya aktivitas pangan dari mulai produksi bahan pangan hingga pengolahan pangan yang berpotensi menjadi gunung sampah juga dapat memicu adanya jejak karbon. Jejak karbon terbentuk dari adanya aktivitas kimiawi suatu produk selama proses dekomposisi berlangsung.

2.2.1 Siklus Karbon

Siklus karbon disebut sebagai siklus biokimia yang berarti dalam prosesnya melibatkan beberapa komponen yang ada di bumi sebagaimana yang tampak pada **Gambar 2.3**. Keterlibatan beberapa komponen tersebut meliputi biosfer sebagai tempat tinggal makhluk hidup di bumi, geosfer bagian dari tanah dan bebatuan alam, hidrosfer yang mencakup semua lapisan air yang di bumi, dan yang terakhir adalah atmosfer. Terdapat beberapa tempat akumulasi karbon dalam siklus karbon yang meliputi laut, sedimen atau tanah, atmosfer, serta biosfer. Pertukaran karbon dari biosfer ke atmosfer atau sebaliknya umum terjadi dalam bentuk gas. Sedangkan

dalam sedimen terjadi karena adanya endapan. Karbon merupakan salah satu komponen terpenting kedua setelah oksigen. Karbon membentuk sebagian besar struktur organik biosfer hingga 96% (Firdaus & Wijayanti, 2019).



Gambar 2. 3. Siklus Karbon (Latief, 2008)

Siklus karbon menurut rentan waktu prosesnya terbagi dalam siklus pendek dan siklus panjang. Siklus karbon pendek merupakan pertukaran karbon yang terjadi setiap hari. Salah satu bentuk dari siklus karbon pendek ialah proses fotosintesis, dekomposisi, dan adanya perpindahan karbon dari udara ke laut. Tumbuhan dan fitoplankton merupakan pelaku utama dalam siklus karbon pendek. Tumbuhan atau fitoplankton akan menyerap CO_2 di atmosfer untuk proses fotosintesis. Selama proses fotosintesis berlangsung, tumbuhan atau fitoplankton akan mengolah CO_2 hingga menghasilkan O_2 dan gula dalam bentuk karbohidrat. Gula yang dihasilkan akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai energi bagi tumbuhan itu sendiri. Gula atau karbohidrat hasil fotosintesis juga akan berwujud buah yang dapat dimanfaatkan manusia atau hewan sebagai sumber energi.

Pada saat tumbuhan atau fitoplankton mati akan mengalami pembusukan dan terurai oleh organisme pengurai. Selama proses penguraian berlangsung, karbon yang terkandung dalam tubuh tumbuhan akan ikut terurai, begitu pula dengan hewan dan manusia. Saat proses respirasi berlangsung, hewan dan manusia membutuhkan O_2 dari hasil proses fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan dan mengeluarkan gas

buangan berupa CO₂. Gas buanagn CO₂ ini nantinya akan diserap kembali oleh tumbuhan atau fitoplankton untuk proses fotosintesis dan seterusnya hingga membentuk sebuah siklus yang dinamakan siklus karbon (Mahardika, 2020).

Sedangkan siklus karbon panjang merupakan proses perputaran karbon di bumi yang terjadi dalam kurun waktu hingga beratus tahun lamanya. Siklus karbon panjang umumnya merupakan siklus reaksi kimia yang berlangsung antara dua komponen dalam bentuk reaksi bolak balik. Reaksi bolak balik ialah reaksi kimia yang dapat berlangsung dalam dua arah. Tidak hanya reaktan (reaksi di sebelah kiri) yang dapat menjadi produk (reaksi bagian kanan), namun produk pun dapat berlaku sebagai reaktan. Pembentukan produk oleh reaktan yang sebelumnya merupakan produk pada reaksi pertama umunya terjadi karena proses penimbunan atau dekomposisi termal. Dekomposisi termal ialah suatu proses dekomposisi kimia yang terjadi karena adanya panas.

Siklus karbon panjang terjadi pada perpindahan karbon yang ada pada batuan, tanah, laut dan atmosfer dalam kurun waktu 100-200 juta tahun lamanya. Dalam siklus panjang, batuan mengalami pelapukan yang disebabkan oleh adanya reaksi dengan gas CO₂ di atmosfer hingga membentuk senyawa yang mengandung karbon. Salah satunya ialah reaksi kimia antara mineral silikat dengan CO₂. Hasil reaksi membentuk produk berupa kalsium karbonat yang merupakan komponen utama dalam pembentukan cangkang pada beberapa hewan bercangkang, seperti gastropoda dan Bivalvia. Serta menghasilkan produk berupa silika yang seringkali di temukan di alam dalam bentuk pasir atau kuarsa.

Produk yang dihasilkan dari reaksi kimia antara mineral silikat dengan CO₂ berupa kalsium karbonat ketika dipanaskan pada suhu $\pm 90^{\circ}\text{C}$ akan menghasilkan kalsium oksida atau yang dikenal dengan kapur tohor dan gas buangan berupa CO₂ ke atmosfer. Kapur tohor merupakan salah satu produk penting dalam industri sebagai reagen dalam proses penetralan pH air asam tambang dan industri pembuatan semen. Terbentuknya bahan bakar fosil juga merupakan salah satu dari adanya siklus karbon panjang.

Bahan bakar fosil terbentuk secara alami dari proses pembusukan makhluk hidup yang telah mati selama ratusan juta tahun lamanya. Terdapat tiga jenis bahan bakar fosil, yaitu minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Ketiga jenis tersebut memiliki perbedaan waktu dan komponen yang menyusunnya.

Minyak bumi dan gas alam berasal dari timbunan atau endapan jasad renik seperti gangga, alga, diatom, fitoplankton maupun zooplankton pada wilayah laut dalam. Adanya gerakan lempeng bumi membawa endapan jasad renik tersebut hingga sampai ke dasar kerak bumi. Selanjutnya akan terbentuk bahan bakar fosil berupa substansi minyak karena adanya tekanan yang cukup tinggi pada suhu ekstrem selama endapan tersebut berada pada kerak bumi berjuta tahun lamanya. Batu bara berasal dari vegetasi tanaman rawa yang mengalami pengendapan menjadi tanah gambut dan tertimbu selama jutaan tahun. Proses terbentuknya bahan bakar fosil di alam merupakan proses pengikatan CO₂ oleh alam. Sedangkan proses pelepasan CO₂ secara besar besaran ke atmosfer dimulai pada saat terjadi pengambilan bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhan manusia.

2.2.2 Simpanan Karbon

Tumbuhan menjadi konsumen pertama penyerap karbon di atmosfer. Secara tidak langsung secara berkala tumbuhan membantu mengurangi karbon dioksida di atmosfer. Penyerapan karbon yang dilakukan oleh tanaman merupakan sistem penyerapan sekaligus penyimpanan yang kerjanya lebih banyak menyerap daripada melepaskan karbon di atmosfer. Sehingga dalam hal ini tumbuhan dapat berperan sebagai cadangan karbon. Pada ekosistem darat, cadangan karbon tersimpan dalam tiga bagian. Cadangan karbon pertama adalah tanah, yaitu bahan organik dalam tanah yang mengalami penyatuan dengan tanah karena adanya proses dekomposisi. Bagian kedua ada nekromasa yang meliputi bagian-bagian yang telah mati, masih berwujud dan berada di atas permukaan tanah. Ketiga adalah biomassa, biomassa menjadi bagian dari cadangan karbon yang terdapat pada suatu vegetasi hidup. Sehingga keberadaannya di alam terbagi dalam dua macam, yaitu karbon di atas

permukaan tanah dan karbon di bawah permukaan tanah. Pendugaan simpanan karbon dapat dilakukan melalui persamaan 2.1.

$$\text{Carbon Storage} = \text{Biomassa} \times \text{Carbon content} \dots\dots\dots (2.1)$$

Melalui proses fotosintesis serapan karbon oleh tumbuhan akan diubah menjadi karbon organik dalam bentuk biomassa. Biomassa ialah jumlah total senyawa organik terkandung dalam suatu area yang dinyatakan dengan satuan ton berat kering per satuan luas. Clark (1997) menyebutkan beberapa bagian yang termasuk dalam biomassa, meliputi :

- Biomassa hutan ialah keseluruhan bagian dari suatu spesies. Bagian yang termasuk di dalamnya ialah pohon, semak, tegakan atau vegetasi lainnya.
- Pohon secara lengkap mulai dari daun, cabang, batang, tunggul, dan akar.
- Tunggul dan akar meliputi seluruh bagian dari akar suatu pohon serta tunggul pohon dengan ketinggian yang telah ditetapkan.
- Batang dibagi dalam tiga bagian yang meliputi batang di atas tunggul, batang yang diukur dari bagian batang di atas tunggul hingga pucuk pohon tanpa ranting atau cabangnya, dan yang terakhir ialah batang komersil yang diukur dari batang atas tunggul dengan diameter tertentu.
- Tajuk pohon merupakan bagian mulai dari pucuk pohon kebawah hingga diameter ujung minimal.
- Cabang merupakan bagian yang mencakup dari semua dahan maupun ranting tanpa daun.
- Dedaunan mencakup semua bagian pucuk dari tumbuhan meliputi daun, bunga hingga buah.

Biomassa hutan memiliki peran penting dalam siklus karbon. Hal ini dikarenakan 50% diantaranya tersimpan dalam vegetasi hutan (Nedhisa & Tjahjaningrum, 2020). Sedangkan kandungan karbon lainnya tersimpan dalam timbunan bahan bakar fosil. Simpanan karbon ini tidak masuk dalam siklus karbon di atmosfer karena keberadaannya tersimpan sangat jauh didalam bumi. Karbon dalam timbunan bahan bakar fosil akan masuk dalam

siklus karbon di atmosfer apabila bahan tersebut diambil dan diolah hingga menghasilkan karbon. Karbon dari hasil pembakaran bahan bakar fosil akan diserap oleh biomassa vegetasi hutan. Akumulasi karbon jangka panjang akan di simpan dalam tempat penyimpanan berupa kantong karbon. Terdapat empat bagian dari kantong karbon meliputi :

a) Biomassa di atas permukaan (*Above-Ground Biomass*)

Biomassa atas permukaan tanah meliputi beberapa bagian vegetasi serta material hidup yang berada di atas tanah. Termasuk didalamnya keseluruhan bagian dari pancang, tiang, dan pepohonan mulai dari batang, tunggul, kulit kayu, cabang, biji hingga daun baik yang berasal dari bagian pohon atau tumbuhan bawah di lantai hutan.

b) Biomassa di bawah permukaan (*Below-Ground Biomass*)

Biomassa di bawah permukaan tanah meliputi bagian dari tumbuhan yang tertanam dibawah tanah, seperti halnya biomassa dari akar tumbuhan yang hidup. Akar memiliki ukuran tertentu sebagai bagian dari biomassa bawah tanah. Hal ini karena terdapat beberapa macam akar yang memiliki bentuk dan ukuran hampir sama dengan bahan organik tanah lainnya. Namun pada umumnya akar vegetasi hutan memiliki diameter yang cukup besar.

c) Bahan Organik Mati

Bahan organik mati meliputi kayu mati dan serasah. Serasah meliputi berbagai macam bagian yang telah gugur dan mengalami dekomposisi sehingga memiliki diameter yang lebih kecil. Bagian yang tergolong serasah merupakan material yang masih terletak di permukaan tanah. Sedangkan untuk kayu mati merupakan keseluruhan bagian dari pohon seperti kayu dan cabang yang telah mati dan tidak lagi dapat melakukan proses fotosintesis. Umumnya kering tidak berdaun, bahkan dapat pula roboh atau terongkok di atas permukaan tanah atau bagian dari akar yang mati serta tunggul yang telah mengering. Biomassa pohon mati belum mengalami proses pelapukan dan masih utuh berwujud pohon di atas permukaan tanah.

d) Karbon organik tanah

Bahan organik tanah merupakan bahan-bahan organik dalam tanah yang berasal dari potongan tumbuhan yang telah jatuh atau mati. Bagian tersebut kemudian mengalami proses dekomposisi hingga menjadi partikel yang lebih kecil dan menyatu dengan tanah.

Pendugaan simpanan atau kandungan karbon oleh hutan mangrove dapat dilakukan secara destruktif maupun non-destruktif. Pengambilan sampel secara destruktif ialah proses pengambilan sampel dari suatu makhluk hidup dengan cara perusakan atau penghancuran yang tidak dapat dipulihkan. Pengambilan sampel jenis ini dapat meliputi beberapa hal seperti pemotongan, pengambilan bagian dari suatu specimen, atau pengumpulan sampel tanah dan batuan dari lingkungan yang mungkin dapat mengganggu keseimbangan lingkungan tersebut apabila pengambilannya dilakukan dalam jumlah yang besar. Sedangkan pengambilan sampel secara non-destruktif ialah proses pengambilan sampel yang tidak merusak atau menghancurkan suatu makhluk yang menjadi tujuan sampel. Penggunaan metode non-destruktif dalam pendugaan karbon dapat dilakukan dengan persamaan alometrik.

Persamaan alometrik mangrove untuk pengukuran biomassa telah dilakukan selama beberapa tahun, baik untuk jenis pohon bercabang majemuk atau pohon tunggal. Clought et al. (1997) dalam Komiyama et al. (2008) mengatakan bahwa persamaan alometrik dapat digunakan untuk memperkirakan biomassa batang pohon bercabang majemuk ataupun pohon kerdil. Dibanding dengan metode destruktif atau panen penggunaan persamaan alometri dari metode non-destruktif lebih ramah lingkungan serta lebih efisien untuk pengambilan data lapangan mengingat status hutan mangrove yang merupakan hutan rehabilitasi. Hal ini sejalan dengan pendapat Komiyama et al. (2008) bahwa pengukuran parameter diameter lebih praktis dan efisien dilakukan terutama pada hutan tertutup dan berkanopi tinggi sehingga tinggi pohonnya sulit diukur dengan akurat. Berat total dari sebuah individu pohon di hutan dewasa dapat mencapai hingga beberapa ton beratnya, sehingga metode panen tidak dapat dilakukan

dengan mudah serta tidak dapat direproduksi karena semua bagian dari pohonnya akan dirusak untuk dipanen (Komiyama et al., 2005). Sedangkan metode alometrik dapat memperkirakan perubahan temporal biomassa hutan serta seluruh atau sebagian berat pohon dari diameter yang terukur tanpa merusak.

Persamaan alometrik dapat digunakan untuk pendugaan biomassa atas permukaan maupun pendugaan biomassa bawah permukaan tanah. Pendugaan biomassa bawah permukaan tanah umumnya menggunakan ekstraksi dari akar mangrove yang secara langsung diambil pada kedalaman tertentu di bawah tanah atau hingga ujung akar terdalam. Hal ini karena seluruh akar hidup harus terambil untuk mendapatkan perhitungan yang akurat. Njana et al. (2015) akar dengan ukuran yang lebih besar memiliki kemungkinan besar mengalami patah pada beberapa bagiannya saat proses pengambilan atau beberapa bagian akar yang berukuran sedang dan lebih halus rawan patah saat tertarik sehingga dapat menyebabkan perhitungan yang kurang sempurna karena adanya bagian yang tidak terukur. Diperkuat oleh Komiyama et al. (2008) ekstraksi lengkap akar mangrove dalam tanah melalui proses yang sulit dan melelahkan, dimana akan ada kemungkinan akar patah dalam proses pencabutan, perlu adanya analisis horizontal terhadap kerapatan akar terutama pada spesies *Rhizophora sp.*, serta pengambilan akar yang mengharuskan pelonggaran akar dalam lumpur pada habitat hidup *Rhizophora sp.* menggunakan semburan air sehingga akar baru sulit regenerasi dengan cepat.

Penggunaan persamaan alometri lebih disarankan untuk pendugaan biomassa atas permukaan tanah dan biomassa bawah permukaan tanah dalam pengukuran selanjutnya. Akurasi data dengan persamaan alometrik didasarkan atas nilai diameter maksimal yang telah dituliskan oleh peneliti terdahulu. Selain itu persamaan alometrik antar jenis mangrove tidak berbeda jauh untuk spesies yang sama (Komiyama et al., 2008). Perbedaan hanya terletak pada kerapatan kayu yang signifikan untuk jenis mangrove yang berbeda spesies, namun signifikannya tidak jauh berbeda untuk individu sejenis dalam satu spesies (Komiyama et al., 2005).

2.2.3 Serapan Karbon

Hutan mangrove merupakan salah satu ekosistem hutan yang memiliki peran besar dalam mitigasi perubahan iklim global. Aye et al (2022) mengatakan bahwa secara global hutan mangrove menyumbang penyerapan karbon mencapai 3-4% dari luasan hutan tropis dunia. Hutan mangrove bahkan masuk dalam kategori ekosistem lahan basah dengan penyimpanan karbon mencapai 800-1.200 ton/ha (Nedhisa & Tjahjaningrum, 2020). Sehingga penyerapan karbon oleh hutan mangrove membantu mengurangi jumlah CO₂ di atmosfer, dimana CO₂ di atmosfer merupakan gas rumah kaca terbesar penyebab pemanasan global.

Hutan mangrove memiliki kemampuan yang signifikan dalam menyerap karbon di atmosfer. Tingginya produktivitas tumbuhan mangrove dalam menyerap CO₂ menyebabkan hutan mangrove mampu menghasilkan lebih banyak biomassa per hektarnya dibandingkan jenis hutan lainnya. Hong et al. (2016) mengatakan bahwa hutan mangrove memiliki kemampuan dalam menyimpan karbon lebih tinggi dibandingkan dengan hutan terrestrial, yakni mencapai 3 hingga 5 kali simpanan karbon hutan terrestrial. Melalui proses fotosintesis, hutan mangrove menyerap CO₂ di atmosfer dan mengubahnya menjadi biomassa yang terlokasikan pada beberapa bagian meliputi batang, daun, dan akar. Sebagian besar CO₂ yang tidak terpakai selama proses fotosintesis disimpan pada kolom karbon dalam jaringan tubuh tumbuhannya berupa biomassa. Biomassa tumbuhan sangat berkaitan erat dengan penyerapan CO₂. Sehingga semakin berat biomassa suatu tumbuhan semakin banyak pula kandungan karbon yang di serapnya. Karbon yang tersimpan akan terus berada dalam kolom karbon jaringan tubuhnya hingga karbon tersebut digunakan dan tersiklus kembali masuk dalam atmosfer. Oleh karena itu tingginya laju pertumbuhan vegetasi hutan mangrove akan menghasilkan peningkatan biomassa dan serapan karbon yang lebih besar.

Selain pada bagian pohonnya, tanah juga menjadi bagian dari simpanan karbon hutan mangrove. Proses penyerapan karbon tanah sangat dipengaruhi oleh tingginya vegetasi pohon serta kondisi suatu hutan. Hutan

dengan kondisi yang baik dimana memiliki kerapatan yang tinggi serta tutupan kanopi yang tinggi cenderung menyebabkan tingginya tumpukan material organik. Tumpukan material organik ini sebagian besar berasal dari daun yang berguguran dan terdekomposisi. Oleh karena itu tanah di sekitar akar cenderung mengandung karbon tersimpan jangka panjang. Hal ini dikarenakan kondisi tanah hutan mangrove merupakan tanah rendah oksigen. Sehingga menghambat adanya proses dekomposisi material organik dengan cepat, akibatnya karbon yang terkandung dalam material organik tersebut terperangkap dalam tanah dengan jangka waktu yang lebih lama. Sehingga kondisi hutan mangrove yang sehat akan menyebabkan tingginya kemampuan daya serap karbon di atmosfer. Purnobasuki (2012) mengatakan bahwa setiap tahunnya kemampuan hutan mangrove dalam menyimpan karbon dapat mencapai lebih dari 4 gigaton sampai 112 gigaton karbon.

Berdasarkan tingginya kemampuan mangrove dalam penyerapan karbon, tingginya kerusakan hutan mangrove menjadi penghambat dalam penyerapan karbon atmosfer. Tingginya pembangunan infrastruktur pada kawasan pesisir yang harusnya menjadi habitat hidup mangrove merupakan salah satu ancaman kerusakan hutan mangrove wilayah pesisir. Semakin tinggi pembangunan infrastruktur, penebangan bahkan penggundulan hutan mangrove akan mungkin terjadi. Selain itu tingginya pembukaan lahan tambak pada kawasan hutan mangrove wilayah pesisir yang dekat dengan laut lepas menjadi adanya ancaman lain kerusakan dan hilangnya serapan karbon oleh mangrove.

2.3 Penelitian Terdahulu

Jurnal 1

| | |
|--------------|--|
| Judul | Estimasi Serapan CO ₂ Berdasarkan Simpanan Karbon pada Hutan Mangrove Desa Tambakbulus, Demak, Jawa Tengah |
| Jenis jurnal | Journal Of Coastal and Marine Resources Management |
| Penulis | Mega Wahyu Susilowati, Pujiono Wahyu Purnomo, dan Anhar Solichin. |
| Tahun | 2020 |
| Tujuan | Menghitung simpanan karbon pada batang mangrove, serasah, dan sedimen serta mengestimasi serapan CO ₂ . |
| Metode | Pengambilan sampel dilakukan dengan transek berukuran 10x10 m untuk kategori pohon serta sub-plot 5x5 m untuk kategori pancang. Data yang diambil untuk estimasi simpanan karbon ialah data DBH. Selain pengambilan data pancang, pada sub-plot ukuran 5x5 m digunakan untuk pengambilan data serasah. Sedangkan pengambilan data sedimen dilakukan dengan menggunakan <i>sedimen core</i> berdiameter 5 cm dengan kedalaman 30 cm. Berdasarkan data yang didapat, analisis lebih lanjut pada batang digunakan persamaan alometrik sedangkan pada sedimen menggunakan metode pengabuan. |
| Hasil | Hasil simpanan karbon pada batang mangrove yaitu sebesar 125,39 ton/ha setara dengan serapan CO ₂ 460,21 ton/ha, simpanan karbon pada serasah sebesar 0,54 ton/ha setara dengan serapan CO ₂ 1,97 ton/ha dan simpanan karbon pada sedimen yaitu sebesar 57,74 ton/ha setara dengan serapan CO ₂ 211,89 ton/ha. Estimasi serapan CO ₂ pada hutan mangrove Desa Tambakbulusan berdasarkan ketiga sumber karbon yaitu 674,07 ton/ha dengan persentase serapan CO ₂ batang sebesar 68,27%, serasah sebesar 0,29% dan sedimen sebesar 31,44%. Penyimpanan karbon terbesar berada di batang mangrove dan terkecil pada serasah. |
| Perbedaan | Lokasi penelitian terdahulu merupakan area yang mengalami kerusakan sehingga mengalami penurunan luas area hutan mangrove, analisis serapan karbon dilakukan pada batang, serasah dan sedimen. Sedangkan penelitian yang akan dilakukan berlokasi pada kawasan hutan mangrove hasil rehabilitasi, kondisi hutan memiliki pertumbuhan dan kerapatan yang tinggi, analisis serapan karbon didasarkan kandungan karbon biomassa atas dan bawah permukaan tanah serta karbon organik tanah. |

Jurnal 2

| | |
|--------------|---|
| Judul | Stok Karbon mangrove Rehabilitasi di Pulau Harapan dan Kelapa, Taman Nasional Kepulauan Seribu, Jakarta |
| Jenis jurnal | J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis |
| Penulis | Grace Easteria, Zulhamsyah Imron, dan Gatot Yulianto |
| Tahun | 2022 |
| Tujuan | Mengestimasi potensi stok karbon pada mangrove rehabilitasi baik tegakan dan substrat; Menghitung valuasi ekonomi mangrove sebagai penyimpanan karbon. |
| Metode | Pengukuran struktur tegakan dilakukan dengan perhitungan lingkaran batang, kerapatan dan ketinggian tegakan. Pengukuran kerapatan dilakukan dengan metode <i>Hemispherical Photography</i> , untuk ketinggian vegetasi didapat dengan perbandingan trigonometri. Sedangkan pengambilan sampel sedimen dilakukan pada kedalaman 30 cm dengan subsample diambil 5 cm dari inti dan diekstraksi sebanyak 30-50 g massa sampel. Perhitungan karbon tanah dilakukan menggunakan perhitungan kadar C-organik dengan metode Walkley & Black. |
| Hasil | Estimasi potensi stok karbon pada ekosistem mangrove rehabilitasi di Pulau Harapan dan Kelapa sebesar 634,54 tonC/ha dengan kemampuan daya serap CO ₂ sebesar 2.328,75 ton/ha pada tipe sedimen pasir berlumpur. Sedangkan valuasi ekonomi mangrove sebagai penyimpan karbon di Pulau Harapan dan Kelapa Rp 375.202.308 untuk pasar bebas dan Rp 980.528.697 untuk pasar wajib CDM (<i>Clean Development Mechanism</i>). |
| Perbedaan | Pada penelitian terdahulu, lokasi pengambilan sampel terletak pada zona <i>reef flat</i> yang memiliki substrat berpasir dengan hamparan lamun dan merupakan kawasan rehabilitasi. Perhitungan stok karbon dilakukan untuk mengetahui estimasi stok karbon pada mangrove serta mendapatkan nilai valuasi ekonomi mangrove sebagai penyimpanan karbon. Sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan, pemilihan lokasi terletak pada beberapa hutan mangrove yang berada pada kawasan industri aktif dengan jenis substrat lempung. Fokus penelitian hanya terdapat pada kondisi dan nilai serapan karbon hutan mangrove. |

Jurnal 3

| | |
|--------------|--|
| Judul | Estimasi Biomassa, Stok Karbon dan Sekuestrasi Karbon Mangrove pada <i>Rhizophora mucronate</i> di Wonorejo Surabaya dengan Persamaan Allometrik |
| Jenis jurnal | JURNAL SAINS DAN SENI ITS |
| Penulis | Priadhitya Ilham Nedhisa dan Indah Trisnawati Tjahjaningrum |
| Tahun | 2019 |
| Tujuan | Untuk mengetahui estimasi biomassa, stok karbon dan sekuestrasi karbon mangrove Wonorejo Surabaya dengan persamaan allometrik |
| Metode | transek kuadrat dengan jarak antar plot 60 meter, dengan plot ukuran 10x10 untuk pohon, dan 5x5 untuk pancang. Pengukuran DBH dilakukan dengan jangka sorong, sedangkan rol meter digunakan untuk mengukur keliling setinggi dada. |
| Hasil | Nilai biomassa, stok karbon dan sekuestrasi karbon tertinggi yaitu di dekat muara khususnya pada habitus pohon sebanyak 32 individu dengan nilai biomassa sebesar 70,07 kg/individu, stok karbon sebesar 0,0350 ton/individu dan sekuestrasi karbon sebesar 0,1285 ton/individu |
| Perbedaan | Pada penelitian terdahulu pengukuran biomassa dan stok karbon dilakukan pada tegakan spesies <i>Rhizophora mucronata</i> sebagai spesies yang mendominasi, pengukuran dilakukan pada pancang dan pohon dengan analisis data menggunakan persamaan alometrik umum. Sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan, pengukuran biomassa dan serapan karbon dilakukan pada tegakan <i>Avicennia mucronate</i> sebagai spesies yang mendominasi, pengukuran dilakukan pada pohon menggunakan persamaan alometrik <i>Avicennia mucronate</i> . |

Jurnal 4

| | |
|--------------|--|
| Judul | Carbon stock estimation of mangrove forest in Sulaman Lake Forest Reserve, Sabah, Malaysia |
| Jenis Jurnal | BIODIVERSITAS |
| Penulis | Nurul Syakilah Suhaili, Jim Liew Jun Fei, Fauzan Wajdi Sha'ari, Muhammad Izzuddin Idris, Syahrir MHD Hatta, Julius Kodoh, Normah Arwang Besar |
| Tahun | 2020 |
| Tujuan | Mengukur stok karbon diatas di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah, dan di dalam tanah di Hutan Lindung Danau Sulaman, Sabah, Malaysia |
| Metode | Pengambilan data karbon di atas permukaan tanah dilakukan dengan metode non-destruktif melalui pengukuran DBH. Sedangkan pada pengambilan data karbon bawah permukaan dilakukan dengan pengambilan sampel sedimen menggunakan metode transek sepanjang 125 meter dengan setiap subplot dibuat melingkar. Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan pipa PVC pada empat kedalaman yang berbeda, yaitu pada 0-15 cm, 15-30 cm, 30-50 cm, 50-100 cm |
| Hasil | Total karbon tersimpan di lokasi penelitian sebesar 441,72 MgC/ha dan tanah memiliki nilai stok karbon tertinggi yaitu sebesar $351,98 \pm 11,73$ MgC/ha, diikuti oleh karbon di atas permukaan tanah sebesar $67,30 \pm 20,55$ MgC/ha, dan karbon bawah tanah sebesar $22,44 \pm 0,17$ MgC/ha. Studi ini menemukan adanya cadangan karbon tanah yang merupakan hampir 80% dari total cadangan karbon di hutan mangrove. Ekosistem hutan mangrove juga menunjukkan cadangan karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi lain, sehingga menekankan pentingnya memprioritaskan hutan mangrove dalam setiap upaya mitigasi perubahan iklim. |
| Perbedaan | Lokasi penelitian pada penelitian terdahulu dilakukan pada kawasan hutan lindung. Sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan, lokasi penelitian merupakan hutan mangrove pada kawasan industri aktif |

Jurnal 5

| | |
|--------------|--|
| Judul | Biomass and carbon stock in mangrove ecosystems of Kerala, southwest coast of India |
| Jenis Jurnal | Ecological Process |
| Penulis | K. M. Harishma, S. Sandeep, dan V. B. Sreekumar |
| Tahun | 2020 |
| Tujuan | Untuk mengevaluasi stok karbon ekosistem dan variasi spasialnya di ekosistem mangrove Kerala, india |
| Metode | Plot pengambilan sampel menggunakan ukuran 10x10 m sebanyak 30 petak. Pengambilan data tutupan mangrove dilakukan dengan <i>spherical crown densitometer</i> . Pengambilan sampel untuk Aboveground Biomass (AGB) dilakukan menggunakan metode non-destruktif dengan persamaan alometrik yang dikembangkan oleh Komiyama dkk. (2005) melalui pengukuran DBH tegakan pohon dengan lingkaran ≥ 10 cm. Sedangkan untuk Belowground Biomass (BGB) digunakan sampel sedimen yang didapatkan menggunakan pipa PVC dengan panjang 60 cm dan radius 2 cm dengan dua kedalaman berbeda, yaitu di kedalaman 0-30 cm dan 30-60 cm. Analisa kandungan karbon organik dilakukan dengan metode Walkley and Black. |
| Hasil | Biomassa rata-rata yang tersimpan di vegetasi mangrove Kerala adalah $117,11 \pm 1,02$ MgC/ha dengan $AGB = 80,22 \pm 0,80$, $BGB = 36,89 \pm 0,23$ t/ha. Enam jenis mangrove ditemukan tersebar di daerah penelitian. Diantaranya <i>Avicennia marina</i> dengan biomassa tertinggi yaitu 162,18 t/ha dengan biomassa terkecil ditemukan pada <i>Sonneratia alba</i> sebesar 0,61 t/ha. Stok karbon rata-rata ekosistem hutan mangrove di Kerala diperkirakan sebesar 139,82 t/ha atau setara dengan 513,13 t CO ₂ e/ha dengan vegetasi dan tanah masing-masing menyimpan sebesar 58,56 t C/ha dan 81,26 t C/ha. |
| Perbedaan | Fokus penelitian terdahulu terletak pada evaluasi stok karbon dan variasi spasial yang meliputi perbedaan jenis, ukuran dan tinggi pohon pada ekosistem hutan mangrove. Analisa kandungan karbon organik dilakukan dengan metode Walkley and Black. Sedangkan pada penelitian yang akan dilakukan fokus penelitian terletak pada nilai serapan hutan mangrove. Analisa kandungan karbon organik dilakukan dengan metode LOI. |

2.4 Integrasi Keislaman

Peningkatan gas rumah kaca di atmosfer telah terjadi sejak era revolusi industri salah satunya ialah emisi CO₂. Emisi CO₂ menjadi penyebab utama perubahan iklim yang menyebabkan terjadinya peningkatan suhu rata-rata di bumi. Peningkatan emisi CO₂ terjadi karena tingginya penggunaan bahan bakar fosil yang diimbangi dampak kemajuan teknologi. Seiring dengan kemajuan teknologi dan tingginya populasi, manusia membutuhkan banyak lahan dalam memenuhi kebutuhannya. Terjadi pembukaan lahan besar-besaran pada beberapa wilayah hutan di Indonesia. Salah satunya ialah dengan cara menggunduli hutan. Disisi lain hutan merupakan penyerap dan penyimpan karbon terbesar di bumi. Bahkan 50% diantaranya tersimpan dalam vegetasi hutan. Hal ini berarti, hutan terutama tumbuhan memiliki peran yang besar dalam adanya siklus karbon dan penyerapan karbon di bumi.

لِنُحْيِيَ بِهِ بَلْدَةً مَيِّتًا وَنُسَوِّيَهُ مِمَّا خَلَقْنَا أَنْعَامًا وَأَنَاسِيَّ كَثِيرًا ۝٤٩

Artinya :

“Agar (dengan air itu) Kami menghidupkan negeri yang mati (tandus), dan Kami memberi minum kepada sebagian apa yang telah Kami ciptakan, (berupa) hewan-hewan ternak dan manusia yang banyak.” Q.S al-Furqan (25): 49

Ayat di atas menjelaskan mengenai nikmat kelimpahan air yang menyuburkan hutan sehingga kesuburannya mendatangkan manfaat bagi hewan maupun manusia. Selain sebagai stok karbon dan penyerapan karbon dalam mengurangi emisi CO₂ penyebab pemanasan global, kesuburan hutan juga mendatangkan manfaat yang sangat besar bagi hewan. Sehingga kelestarian hutan mempengaruhi kelestarian berbagai jenis hewan dan menjaga dari kelangkaan.

وَلَقَدْ صَدَقْنَاَهُم بِبَيْتِهِمْ لِيَذْكُرُوا فَأَبَى أَكْثَرُ النَّاسِ إِلَّا كُفُورًا ۝٥٠

Artinya :

“Dan sesungguhnya Kami telah mempergilirkan hujan itu diantara manusia supaya mereka mengambil pelajaran (dari padanya); maka kebanyakan manusia itu tidak mau kecuali mengingkari (nikmat).”Q.S al-Furqan (25): 50

Ayat tersebut menjelaskan betapa serakahnya manusia dan terus merasa kurang dalam hal pemenuhan kebutuhan. Banyak hutan digunduli tanpa adanya pertimbangan dan reboisasi. Banyak lahan bekas perkebunan yang tidak lagi menghasilkan ditinggal tanpa adanya penanaman pohon kembali. Banyak lahan menjadi kering, tanah-tanah diperbukitan longsor bahkan air hujan dari dataran tinggi mengalir dengan deras pada daerah yang lebih rendah karena kurangnya lahan hijau dan resapan air. Sebagai makhluk Allah yang dilengkapi dengan akal pikiran, manusia sering kali memanfaatkan dan mengambil sumber daya yang ada melebihi batas hingga menyebabkan banyak kerusakan. Alangkah baiknya menggunakan sumber daya alam terutama lahan dengan secukupnya dan tetap melestarikan sebagaimana mestinya agar tetap terjaga keseimbangan di bumi. Sebagaimana yang dijelaskan dalam ayat berikut.

قُلْ أَرَأَيْتُمْ إِنْ أَصْبَحَ مَاؤُكُمْ غَوْرًا فَمَنْ يَأْتِيكُمْ بِمَاءٍ مَّعِينٍ (٣٠)

Artinya :

“Terangkanlah kepadaku jika sumber air kamu menjadi kering; maka siapakah yang akan mendatangkan air yang mengalir bagimu?”. Q.S. al-Mulk (67): 30

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ (٤١)

Artinya :

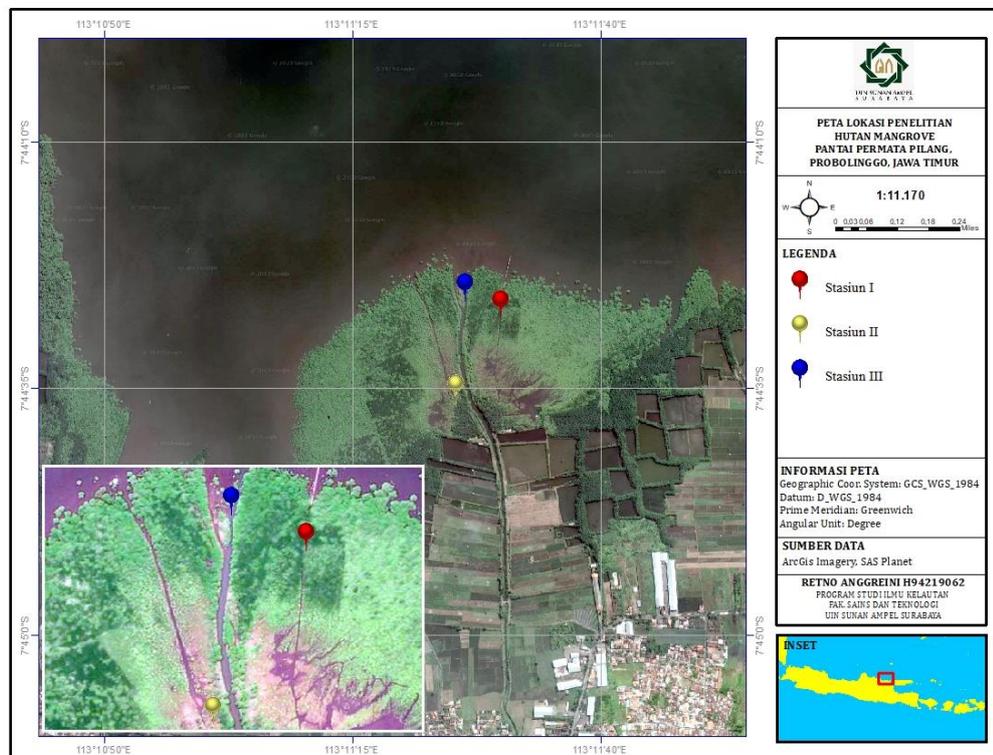
“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”. Q.S. ar-Rum (30):41

Berdasarkan dua ayat tersebut, kegiatan menjaga dan merawat lingkungan agar tetap lestari menjadi tanggung jawab bersama sebagai penghuni bumi. Pemberian Allah kepada manusia harus dijaga sebaik mungkin dan digunakan dengan penuh pertimbangan yang tanggung jawab terhadap lingkungan sebagai bentuk saling memberi terhadap nikmat yang Allah berikan dengan sangat melimpah.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Desember-Mei 2023 di kawasan hutan mangrove Pantai Permata Pilang, Probolinggo sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3.1. Pengujian sampel untuk mengetahui daya serap karbon dilakukan dengan pengolahan data tegakan dan sedimen hutan mangrove.



Gambar 3. 1. Lokasi Penelitian

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Analisis daya serap karbon oleh hutan mangrove memerlukan beberapa data yang meliputi biomassa atas permukaan dan karbon organik tanah. Pengambilan data dilakukan dengan beberapa peralatan penunjang yang dibutuhkan selama pengambilan data hingga pengolahan sampel. Beberapa peralatan penunjang serta bahan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3. 1. Alat

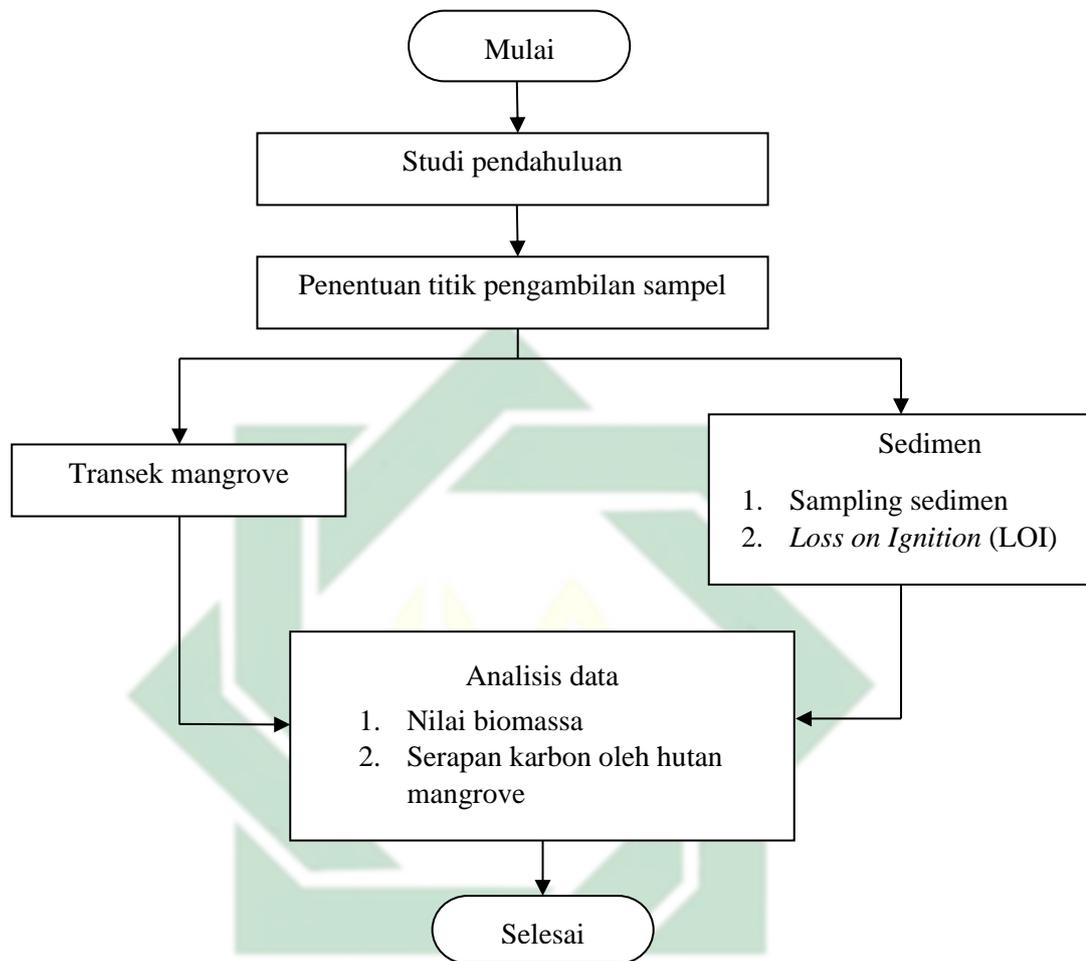
| No. | Alat | Fungsi |
|-----|-------------------------|--|
| 1 | GPS | Menandai titik lokasi pengambilan data |
| 2. | Roll meter | Mengukur panjang lokasi pengambilan data |
| 3. | Tali rafia | Membatasi setiap plot pengamatan |
| 4. | Pipa PVC | Mengambil sampel (modifikasi sedimen core) |
| 5. | <i>Plastic zip lock</i> | Menyimpan sampel |
| 6. | Kertas label | Menandai sampel |
| 7. | Timbangan | Menimbang sampel |
| 8. | Oven | Mengeringkan sampel |
| 9. | <i>muffle furnace</i> | Mengabukan sampel |

Tabel 3. 2. Bahan

| No. | Bahan | Fungsi |
|-----|------------------|-----------------------------|
| 1. | Sedimen mangrove | Sampel karbon organik tanah |

3.3 Alur Penelitian

Penelitian diawali dengan studi pendahuluan terhadap literatur terkait serta survei lokasi. Setelah dilakukan survei lokasi, dilanjut dengan penentuan titik pengambilan sampel serta pengumpulan data. Tahapan selanjutnya ialah analisis data dan penyusunan laporan. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2. Alur Penelitian

3.3.1 Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan dilakukan untuk mendapatkan gambaran mengenai lokasi yang cocok dengan penelitian yang akan dilakukan serta data-data yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Studi pendahuluan juga perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa penting penelitian mengenai serapan karbon untuk dilakukan pada wilayah tersebut. Pada penelitian yang dilakukan oleh Dewi et al. (2022) hanya mengkaji hubungan antara kualitas air dengan indeks ekologi biologi perairan pada area muara sungai Pantai Permata Pilang. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Syaifullah (2021) mengkaji mengenai kondisi vegetasi beserta laju dekomposisi serasah daun mangrove Pantai Permata Pilang.

Sehingga penelitian mengenai serapan karbon pada kawasan hutan mangrove Pantai Permata Pilang, Probolinggo perlu dilakukan karena pada kawasan tersebut belum terdapat penelitian yang membahas mengenai pentingnya peran mangrove dalam hal jasa lingkungan sebagai C-Sekuestrasi penyerapan karbon. Selain itu, pada kawasan tersebut merupakan kawasan wisata baru dengan kondisi ekologi yang unik. Pembukaan kawasan wisata memiliki potensi terjadinya perubahan wilayah karena pembangunan penunjang kenyamanan kepentingan wisata. Pembangunan wilayah pesisir dengan tujuan wisata sering kali tidak diimbangi pembangun yang berkelanjutan sehingga dapat merusak lingkungan sekitar. Hal ini ditunjukkan oleh penelitian (Utomo et al., 2018) bahwa penyebab kerusakan hutan mangrove disebabkan oleh pencemaran, konversi hutan mangrove yang kurang memperhatikan faktor lingkungan, dan penebangan yang berlebihan.

3.3.2 Titik pengambilan Sampel

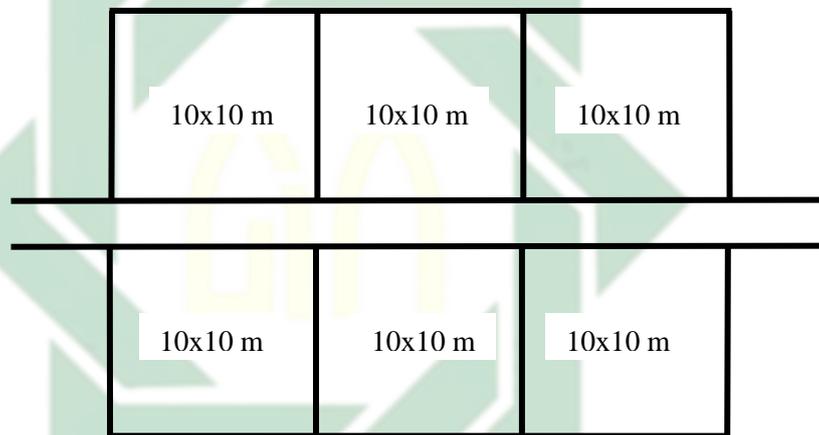
Pengambilan sampel dilakukan pada setiap stasiun yang terletak di kawasan hutan mangrove Pantai Permata Pilang, Probolinggo seperti yang terlihat pada Gambar 3.1. Penentuan titik pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan metode *purposive sampling*. Metode *purposive sampling* merupakan teknik pengambilan sampel berdasarkan kriteria-kriteria tertentu yang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Beberapa kriteria tersebut diantaranya ialah kerapatan hutan mangrove serta kondisi lingkungan yang mendukung data penelitian. Berdasarkan studi pendahuluan melalui pengamatan kondisi hutan mangrove melalui google earth, tampak dari google earth hutan mangrove di wilayah penelitian masuk dalam kriteria dengan kerapatan sedang-tinggi. Penentuan dan pertimbangan lokasi pengambilan sampel dilakukan berdasarkan pengamatan pada survei lapangan pendahuluan. Hasil survei lapangan mendapatkan 3 stasiun meliputi wilayah Pantai Permata yang dekat dengan laut sebagai stasiun I dengan titik koordinat -7.740611, 113.191639, bagian barat sungai atau wilayah darat dari Pantai Permata menjadi stasiun II, yaitu pada titik koordinat -7.743138, 113.190382, sedangkan area muara sungai

dengan titik koordinat -7.740192, 113.190671 sebagai stasiun III yang terlihat pada **Gambar 3.1**.

3.3.3 Pengambilan Data

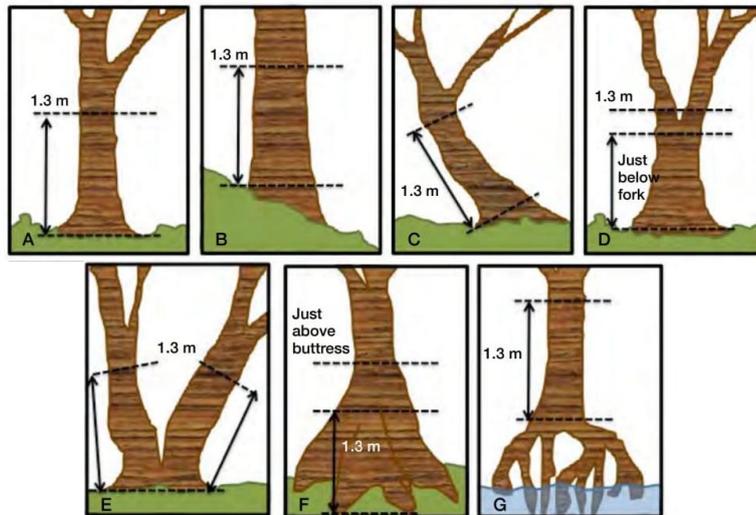
1. Transek Mangrove

Pengambilan sampel dan data dilakukan dengan transek kuadran pada setiap stasiun yang telah ditentukan. Pembuatan transek dilakukan pada 3 stasiun, dimana pada 1 stasiun terdiri dari 6 petak (plot) pengambilan sampel. Plot pengamatan dibuat dengan ukuran 10x10 meter seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Ilustrasi Petak Ukur di Lapangan

Pengukuran biomassa pada tegakan mangrove dilakukan dengan metode *non-destruktif*, yaitu pengambilan data sampel tanpa merusak keutuhan sampel. Pengambilan sampel dilakukan pada jenis vegetasi pohon dengan mengukur diameter pohon menggunakan rol meter. Diameter pohon atau dikenal dengan istilah *Diameter at Breast Height* (DBH) didapatkan dari pengukuran *Girth at Breast Height* (GBH). GBH merupakan istilah yang digunakan untuk mendefinisikan lingkaran batang atau keliling suatu batang yang diukur pada ketinggian dada orang dewasa pada ketinggian 1,37 m di atas permukaan tanah. Di lapangan terkadang dijumpai beberapa penyimpangan kondisi percabangan pohon atau permukaan batang yang bergelombang, banir pohon, sehingga penentuannya dapat didasarkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Ilustrasi pengukuran dan penentuan DBH batang Pohon (Howard et al., 2014)

Tingkatan pertumbuhan vegetasi mangrove dibedakan dalam 4 kategori dan kriteria seperti berikut (Iswahyudi et al., 2019) :

- a) Semai : vegetasi dengan tinggi < 1,5 m.
- b) Pancang : vegetasi dengan tinggi \geq 1,5 m dan diameter < 5 cm
- c) Tiang : vegetasi dengan kisaran diameter 5 hingga < 10 cm
- d) Pohon : vegetasi dengan diameter \geq 10 cm

2. Sedimen

A. Sampling Sedimen

Prosedur pengambilan sampel dilakukan dalam beberapa tahap kerja (Howard et al., 2014) meliputi :

1. Memastikan bagian atas tanah bersih dari sampah organik, jika terdapat sampah organik dan serasah di permukaan tanah dibersihkan terlebih dahulu. Pengambilan sampel sadimen dilakukan menggunakan pipa PCV yang telah dimodifikasi sehingga memiliki fungsi sama dengan *sediment core sampler*.
2. Pipa dimasukkan dalam tanah secara vertical hingga kedalaman mencapai pangkal pipa. Apabila tidak menembus kedalaman penuh (hingga pipa penuh dengan tanah), pindahkan pada lokasi

lainnya. Kemungkinan pada lokasi tersebut terdapat akar besar atau fragmen karang.



Gambar 3. 5. Pemilihan Lokasi Sampling

3. Setelah mencapai kedalaman penuh, pipa diputar untuk memotong akar halus yang terdapat dalam tanah. Tutup ujung atas (vakum) untuk mencegah hilangnya sampel saat penarikan. Tarik pipa secara memutar dengan perlahan agar sampel tetap penuh dan lengkap.



Gambar 3. 6. Pengambilan Sampel Sedimen

4. Sampel dibagi secara horizontal berdasarkan 5 kedalaman, yaitu 0-15 cm, 15-30 cm, 30-50 cm, 50-100 cm, dan > 100 cm.



Gambar 3. 7. Pembagian Berdasarkan Kedalam

5. Sampel yang didapatkan dimasukkan dalam *zip lock* dengan diberi label pada masing-masingnya.



Gambar 3. 8. Penyimpanan Sampel Sedimen

B. *Loss on Ignition* (LOI)

Kandungan karbon organik tanah dilakukan dengan metode LOI (*Loss On Ignition*) melalui penimbangan berat sampel yang hilang setelah dipanaskan pada suhu tinggi (Azzahra et al., 2020). Prinsip kerjanya, sampel dalam keadaan kering akan dipanaskan atau diabukan hingga berat konstan, sehingga sampel akan mengalami penurunan berat saat dipanaskan pada suhu tertentu. Penggunaan LOI dalam analisis kandungan karbon organik tanah dilakukan pada Laboratorium Balai Penelitian dan Konsultasi Industri. Berikut merupakan tahapan kerja yang dilakukan (Howard et al., 2014) meliputi

1. Sampel dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C (48 jam), atau menggunakan suhu di atas 100°C untuk mempercepat proses pengeringan sampel.



Gambar 3. 9. Hasil Pengeringan Dengan Oven

2. Sampel dihaluskan dengan mortal agar kondisi setiap sampel menjadi homogen.



Gambar 3. 10. Homogenisasi Sedimen

3. Masukkan sedimen (misalkan sebanyak ± 2 gram sedimen) yang telah dihaluskan, ditimbang kemudian diletakkan pada *crucible porcelain* untuk di masukkan dalam *muffle furnace*. Sampel

sedimen dibakar dengan suhu 450°C selama 4 jam. Setelah itu, sampel kembali ditimbang.



Gambar 3. 11. Hasil Pembakaran Suhu Tinggi

3.3.4 Analisis Data

1. Identifikasi Jenis Mangrove

Tahapan identifikasi jenis mangrove yang terdapat di hutan mangrove Pantai Permata Pilang, Probolinggo menggunakan morfologi yang dibandingkan dengan hasil dokumentasi atau hasil analisis dari buku “PANDUAN MONITORING STRUKTUR KOMUNITAS MANGROVE DI INDONESIA” karya I Wayan Eka Dharmawan, Suyarso, Yaya Ihya Ulumuddin, Bayu Prayudha, dan Pramudji pada tahun 2020, serta pada buku “PANDUAN PENGENALAN MANGROVE DI INDONESIA” karya Yus Rusila Noor, M. Khazali, dan I N. N. Suryadiputra pada tahun 2006.

2. Kerapatan Hutan Mangrove Pantai Permata

Kerapatan hutan mangrove mengarah pada sejauh mana pohon-pohon terdistribusi dan memiliki jarak yang saling berdekatan antar satu dengan yang lainnya pada suatu kawasan hutan mangrove. Kerapatan hutan mangrove memiliki dampak yang signifikan terhadap fungsi ekologi hutan mangrove. Semakin rapat jarak tumbuh antar pohon akan semakin baik pula kemampuan hutan mangrove dalam menjaga stabilitas pantai, menyediakan habitat, serta penyimpanan dan peyerapan karbon. Kerapatan hutan mangrove sangat bervariasi tergantung pada beberapa faktor meliputi jenis spesies yang mendominasi serta kondisi lingkungan. Perhitungan untuk mengetahui kerapatan hutan mangrove dapat dilakukan dengan Persamaan 3.1.

$$D_i = \frac{n_i}{A} \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan :

D_i : Kerapatan individu jenis ke-i (ind/m²)

n_i : Jumlah individu jenis ke-i yang diperoleh

A : Luas total area pengambilan data (m²)

3. Perhitungan Biomassa Atas dan Bawah Permukaan

Perhitungan biomassa atas meliputi perhitungan terhadap biomassa pada vegetasi serta perhitungan terhadap serasah daun mangrove. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan selama mengestimasi karbon pada vegetasi. Pertama, terlebih dahulu mengetahui jenis dari spesies vegetasi yang akan diambil. Kemudian dilanjut dengan pengambilan diameter batang setinggi dada (DBH) serta lokasi atau ID. Perhitungan karbon di atas tanah dilakukan dengan menggunakan persamaan allometrik. Penggunaan persamaan allometrik hanya bergantung pada diameter dan kerapatan (Howard et al., 2014). Persamaan allometrik yang digunakan untuk perhitungan biomassa yang digunakan tersaji dalam Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Tabel 3. 3. Persamaan Alometrik Biomassa Atas Permukaan Tanah

| Jenis | Persamaan Alometrik | Sumber Penelitian |
|-----------------------------|--|---------------------------|
| <i>Avicennia marina</i> | Y = 0,1848(D) ^{2,3524} $D_{max} = 35,2$ cm | Dharmawan & Siregar, 2008 |
| <i>Avicennia alba</i> | Y = 0,079211(D) ^{2,471} $D_{max} = 35$ cm | Sutaryo, 2009 |
| <i>Rhizophora mucronata</i> | Y = 0,1466(D) ^{2,3136} $D_{max} = 33$ cm | Dharmawan, 2010 |

Tabel 3. 4 Persamaan Alometrik Biomassa Bawah Permukaan Tanah

| Jenis | Persamaan Alometrik | Sumber Penelitian |
|-------------------------|--|---------------------------|
| <i>Avicennia marina</i> | Y = 0,1682(D) ^{1,7939} $D_{max} = 35,2$ cm | Dharmawan & Siregar, 2008 |

| Jenis | Persamaan Alometrik | Sumber |
|-----------------------------|--|------------------------|
| <i>Avicennia alba</i> | $Y = 0.199 \rho^{0.899} D^{2.22}$ $\rho = 0.506 \text{ g/cm}^3$ $D_{\max} = 45 \text{ cm}$ | Komiyama et al. (2005) |
| <i>Rhizophora mucronata</i> | $Y = 0.00974 (D^2H)^{1.05}$ $H = D/(0.02D+0.678)$ $D_{\max} = 40 \text{ cm}$ | Komiyama et al. (2008) |

Keterangan :

Y : Biomassa (ton/ha)

D : Diameter setinggi dada (cm)

ρ : wood density (g/cm³)

D_{\max} : Maksimal diameter pohon (cm)

Data diameter yang didapat dimasukkan kedalam persamaan alometrik tersebut hingga diperoleh nilai biomassa setiap pohonnya. Setelah itu seluruh nilai biomassa yang didapatkan dirata-rata untuk dapat mengetahui perhitungan serapan karbon per luasan area hutan mangrove melalui Persamaan 3.2.

$$W_{\text{rata-rata}} = \frac{\text{banyaknya nilai}}{\text{jumlah data}} \dots\dots\dots (3.2)$$

Karbon merupakan bagian terpenting penyusun biomassa karena 46-50% dari biomassa adalah karbon (Kauffman & Donoto, 2012 dalam Farahisah et al., 2021). Konsentrasi karbon yang terkandung dalam bahan organik umumnya sebesar 47% (IPCC, 2006). Sehingga estimasi kandungan karbon dapat dilakukan melalui konversi biomassa dalam bentuk karbon dengan mengalikan 0,47 melalui perhitungan pada Persamaan 3.3 (Brown 1997 dalam Prakoso et al., 2018).

$$C = W \times 0,47 \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan :

C : kandungan karbon (g)

W : Biomassa rata-rata tegakan (g)

Setelah didapatkan nilai rata-rata biomassa pada biomassa atas permukaan dan biomassa di bawah permukaan tanah dilakukan perhitungan kandungan karbon untuk mengetahui kandungan karbon setiap hektarnya, melalui Persamaan 3.4 (Badan Standarisasi Nasional, 2011).

$$Cn = \frac{c}{1000} \times \frac{10.000}{Lplot} \dots\dots\dots (3.4)$$

Keterangan :

Cn : Kandungan karbon (ton/ha)

C : Kandungan karbon setiap petak transek (g)

Lplot : Luas petak ukur/transek masing masing *carbon pool* (m²)

4. Perhitungan Karbon Organik Tanah

Perhitungan karbon organik tanah dilakukan dengan menganalisis kadungan karbon tanah yang didapatkan dari hasil pengabuan dengan metode *Loss on Ignition* (LOI). Perhitungan bahan organik dapat dilakukan dengan Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6 (Howard et al., 2014):

$$Bk = \frac{Wo-Wt}{Wo} \times 100 \dots\dots\dots (3.5)$$

Keterangan :

Bk : Bahan kering

Wo: Berat awal sebelum pembakaran (g)

Wt : Berat akhir setelah pembakaran (g)

$$Bd = \frac{m}{v} \dots\dots\dots (3.6)$$

Keterangan :

Bd : *Bulk density* atau densitas sedimen (g/cm³)

m : rata-rata berat kering (g)

v : volume sampel (cm³)

Setelah didapat nilai densitas sedimen dilanjutkan dengan perhitungan karbon tanah dengan menggunakan Persamaan 3.7 (Badan Standarisasi Nasional, 2011).

$$C_t = K_d \times B_d \times \%C\text{-organic} \dots\dots\dots (3.7)$$

Keterangan :

C_t : Karbon tanah (ton/ha)

K_d : Kedalaman tanah (cm)

%C-organic : faktor konversi kandungan karbon (0,47)

Setelah didapatkan nilai rata-rata bahan organic pada setiap layer kedalaman, dilakukan perhitungan kandungan karbon organic tanah untuk mengetahui kandungan karbon pada setiap hektarnya, melalui Persamaan 3.8 (Badan Standarisasi Nasional, 2011).

$$C_n = C \times 100 \dots\dots\dots (3.8)$$

Keterangan :

C_n : Kandungan karbon (ton/ha)

C : Rata-rata kandungan karbon organik

100 : Faktor konversi dari g/cm² ke ton/ha

5. Perhitungan Serapan Karbon

Setelah didapatkan nilai karbon dari masing-masing biomassa, dilakukan perhitungan kandungan karbondioksida untuk mengetahui serapan karbon menggunakan Persamaan 3.9 (Dharmawan & Siregar, 2008).

$$CO_2 = \frac{Mr\ CO_2}{Ar\ C} \times C \dots\dots\dots (3.9)$$

Keterangan :

CO₂ : Serapan karbon (ton/ha)

Mr CO₂ : Berat molekul relatif senyawa CO₂ (44)

Ar CO₂ : Berat molekul relative atom C (12)

C : Kandungan karbon (ton/ha)

Setelah didapatkan nilai serapan karbon per hektar dilakukan perhitungan untuk mengetahui kemampuan serapan karbon oleh hutan mangrove Pantai Permata melalui Persamaan 3.10.

$$\text{Serapan CO}_2 = \text{CO}_2 \times 60,6 \dots\dots\dots (3.10)$$

Keterangan :

CO₂ : serapan karbon per hektar (ton)

60,0 : luas hutan mangrove Pantai Permata Pilang (ha)



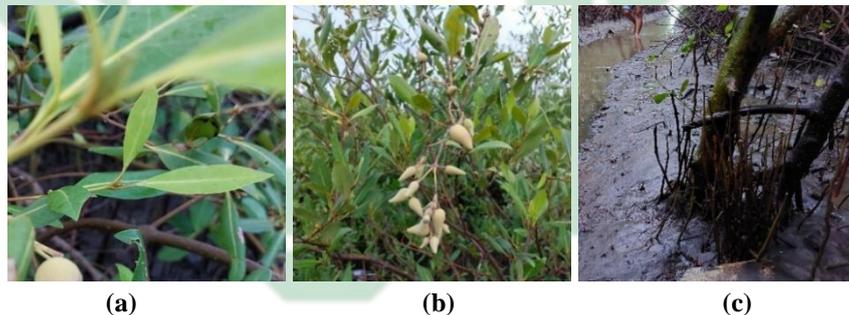
UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Vegetasi Mangrove Pantai Permata

Hutan mangrove memiliki keragaman spesies yang tinggi. Tingginya tingkat keragaman spesies mengacu pada jumlah dan variasi spesies yang ada dalam suatu ekosistem hutan mangrove. Keragaman spesies hutan mangrove dapat dilihat dari seberapa banyak jenis pohon mangrove yang tumbuh dalam kawasan tersebut. Berdasarkan hasil analisis dan identifikasi, terdapat 3 jenis mangrove pada 3 stasiun pengambilan sampel meliputi *Rhizophora mucronata*, *Avicennia alba*, dan *Avicennia marina*. Ketiga jenis mangrove ini diidentifikasi berdasarkan bentuk daun, buah, serta akarnya.

1. *Avicennia alba*



(a)

(b)

(c)

Gambar 4. 1. Mangrove Jenis *Avicennia alba*

(Dokumen Peneliti, 2023)

Avicennia alba merupakan jenis yang paling banyak ditemukan pada wilayah pesisir, yaitu disepanjang pantai yang berbatasan langsung dengan laut. Jenis ini tumbuh dengan baik pada daerah yang tergenang air atau wilayah pasang surut seperti halnya pada stasiun III yang merupakan daerah muara sungai. Berikut merupakan taksonomi *Avicennia alba* atau yang kerap kali disebut dengan api-api putih pada beberapa daerah tertentu di Indonesia,

Kingdom : Plantae

Filum : Magnoliophyta

Kelas : Magnoliopsida

Ordo : Lamiales

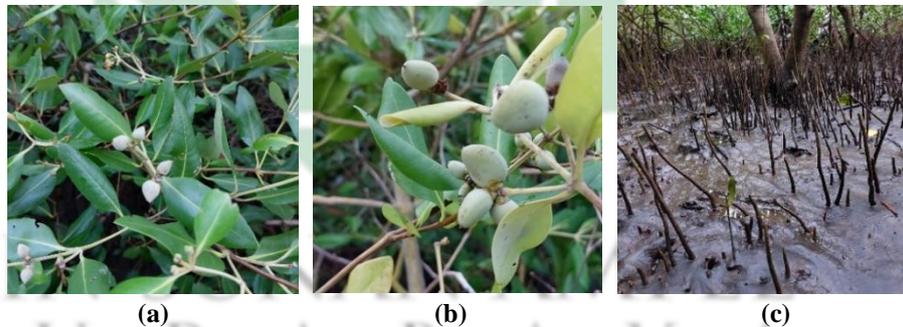
Famili : Avicenniaceae

Genus : Avicennia

Spesies : *Avicennia alba*

Gambar 4.1. pada bagian (a) merupakan gambar daun dari *Avicennia alba*. *Avicennia alba* memiliki bentuk daun yang lebih memanjang dengan lebar daun cenderung lebih sempit disertai ujung yang lebih meruncing. Daun jenis ini memiliki bagian ujung daun yang lebih meruncing dibanding dengan jenis *Avicennia sp.* pada jenis lainnya. Buah *Avicennia alba* berwarna kuning kecoklatan dengan bentuk bulat melonjong disertai ujung yang runcing sesuai dengan Gambar 4.1 pada bagian (b). Sedangkan tipe akar pada jenis *Avicennia alba* terlihat dari Gambar 4.1 pada bagian (c) yang berupa akar napas. Akar napas pada *Avicennia alba* cenderung muncul pada permukaan substrat tempat *Avicennia alba* tumbuh dengan jumlah yang lebih sedikit dibanding akar napas pada jenis *Avicennia marina*.

2. *Avicennia marina*



Gambar 4. 2. Mangrove Jenis *Avicennia marina*
(Dokumentasi Peneliti, 2023)

Avicennia marina merupakan jenis mangrove dengan nama lokal api-api. Memiliki bentuk daun yang cenderung lebih lebar di bagian tengah dan meruncing di ujungnya seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 bagian (a). *Avicennia marina* memiliki warna daun hijau tua dengan tekstur permukaan halus. Sedangkan buah *Avicennia marina* cenderung lebih bulat dengan ujung sedikit kerucut sebagaimana pada Gambar 4.2 pada bagian gambar (b). *Avicennia marina* juga memiliki

tipe akar napas yang sama dengan *Avicennia alba*, tetapi susunan tumbuhnya pada substrat cenderung lebih padat, yaitu tersebar mengelilingi area tumbuhnya *Avicennia marina* sebagaimana yang terlihat pada bagian (c) Gambar 4.2. Akar napas pada jenis *Avicennia sp.* berfungsi dalam membantu pengambilan oksigen dari udara, karena tanah lumpur di sekitar mangrove seringkali memiliki kadar oksigen yang rendah. Berikut merupakan taksonomi mangrove jenis *Avicennia marina* (Puspita, 2015),

Kingdom : Plantae
Filum : Thacheophyta
Kelas : Magnoliopsida
Ordo : Sapindales
Famili : Avicenniaceae
Genus : Avicennia
Spesies : *Avicennia marina*

3. *Rhizophora mucronata*



Gambar 4. 3. Bentuk Daun *Rhizophora mucronata*
(Dokumentasi Peneliti, 2023)

Rhizophora mucronata atau yang sering disebut dengan nama bakau merah ialah jenis mangrove yang cukup mendominasi pada beberapa titik lokasi pengambilan sampel. Berikut merupakan taksonomi mangrove *Rhizophora mucronata* (Puspita, 2015),

Kingdom : Plantae
Filum : Magnoliophyta
Kelas : Magnoliopsida
Sub Kelas : Rosidae
Ordo : Myrtales
Famili : Rhizophoraceae
Genus : Rhizophora
Spesies : *Rhizophora murconata*

Daun *Rhizophora mucronata* berbentuk elips dengan ujung runcing dimana pada bagian pangkalnya lebih lebar serta lebih meruncing di bagian ujungnya seperti yang terlihat pada Gambar 4.3. Memiliki warna daun hijau tua pada bagian atas dan lebih pucat di bagian bawah. Daun-daun *Rhizophora mucronata* tumbuh berpasangan di sepanjang batang, dimana posisi daun terletak pada batang dengan tangkai daun yang terhubung.



Gambar 4. 4. Bunga dan Buah *Rhizophora mucronata*
(Dokumentasi Peneliti, 2023)

Rhizophora mucronata memiliki bentuk bunga dan buah sebagai perwujudan struktur reproduksinya yang disebut propagul. Propagule berkembang dari bunga dengan bentuk yang khas, yaitu lonjong memanjang dengan bagian pangkal yang membulat. Bentuk propagul jenis *Rhizophora mucronata* memiliki ukuran yang paling panjang dibandingkan dengan buah pada jenis *Rhizophora sp.* lainnya. Warna dari propagul pada mangrove jenis ini ialah hijau seperti terlihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 5. Akar Jenis *Rhizophora mucronata*
(Dokumentasi Peneliti, 2023)

Rhizophora mucronata memiliki akar tunjang yang tumbuh dari cabang utama dan menjuntai ke bawah menuju tanah. Akar ini membantu pohon mangrove pada jenis *Rhizophora mucronata* dalam mendapatkan oksigen dan menstabilkan pohon dalam tanah berlumpur. Akar jenis ini merupakan bentuk adaptasi dari mangrove jenis *Rhizophora mucronata* terhadap lingkungan yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut.

4.2 Struktur Komunitas Hutan Mangrove Pantai Permata

Vegetasi hutan mangrove Pantai Permata Pilang merupakan hutan mangrove hasil rehabilitasi yang dilakukan sejak tahun 2012. Keberhasilan upaya rehabilitasi telah terlihat dari lebatnya vegetasi hutan dan tingginya kerapatan hutan mangrove pada kategori pohon serta besarnya luasan hutan yang mencapai hingga 60,6 ha. Berikut merupakan struktur komunitas yang teridentifikasi pada setiap titik pengambilan sampel pada hutan mangrove Pantai Permata Pilang,

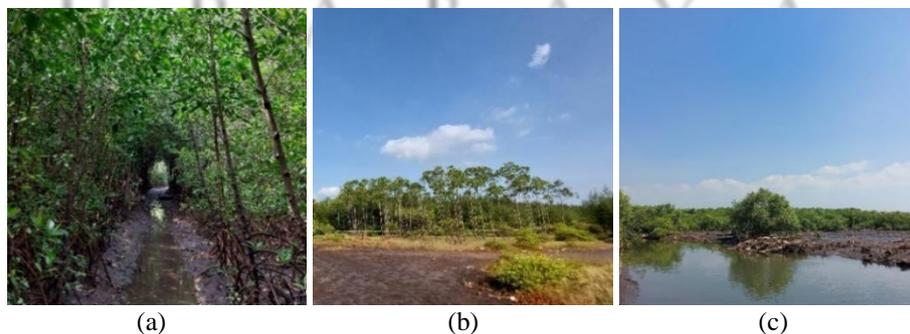
Tabel 4. 1. Struktur Komunitas Vegetasi Mangrove Pantai Permata

| Stasiun | Jenis | Jumlah (ind) | Kerapatan (ind/ha) |
|---------|-----------------------------|--------------|--------------------|
| I | <i>Avicennia marina</i> | 35 | 583.33 |
| | <i>Avicennia alba</i> | 32 | 533.33 |
| | <i>Rhizophora mucronata</i> | 273 | 4550 |
| II | <i>Avicennia marina</i> | 4 | 66.66 |
| | <i>Rhizophora mucronata</i> | 192 | 3200 |
| III | <i>Avicennia alba</i> | 130 | 2166.66 |
| | <i>Rhizophora mucronata</i> | 27 | 450 |

Berdasarkan hasil pengamatan dan identifikasi keragaman jenis mangrove di Pantai Permata, terlihat pada Tabel 4.1 terdapat 693 individu jenis mangrove pada hutan mangrove Pantai Permata. Pada masing-masing stasiun terdapat sebanyak 35 individu jenis *Avicennia marina* pada stasiun I dan 4 individu pada stasiun II, 32 individu jenis *Avicennia alba* pada stasiun I serta 130 individu dengan jenis *Avicennia alba* pada stasiun III, sedangkan untuk jenis *Rhizophora mucronata* ditemukan pada stasiun I dengan jumlah yang mencapai 273 individu jenis, pada stasiun II terdapat 192 individu, dan pada stasiun III sejumlah 27 individu.

Sedangkan dilihat berdasarkan kerapatan jenisnya, pada Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa jenis *Rhizophora mucronata* pada stasiun I dengan jumlah tegakan sebanyak 273 individu jenis memiliki nilai kerapatan tertinggi hingga mencapai 4550 ind/ha. Kerapatan terendah yaitu sebesar 66,66 ind/ha untuk jenis *Avicennia alba* pada stasiun II dengan jumlah tegakan 4 individu. Berdasarkan hal tersebut, tinggi rendahnya kerapatan dipengaruhi oleh tinggi rendahnya individu jenis dalam suatu area.

Jenis *Rhizophora mucronata* tersebar merata pada seluruh stasiun pengambilan sampel seperti yang terlihat dari Tabel 4.1. Hal ini disebabkan karena tingginya kemampuan adaptasi oleh jenis *Rhizophora mucronata* terhadap lingkungannya. Kartawinata (1979) dalam Usman dan Hamzah (2013) mengatakan bahwa *Rhizophora mucronata* merupakan jenis yang toleran terhadap substrat, pasang surut, pasokan nutrient, serta salinitas sehingga memiliki persebaran yang sangat luas di berbagai lokasi. Rahmah et al. (2015) mengatakan bahwa Jenis *Rhizophora mucronata* memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap salinitas, *Rhizophora mucronata* mampu hidup pada salinitas yang tinggi dibandingkan dengan jenis mangrove lainnya, yaitu dengan kisaran 32-34 ppt, sehingga jenis ini dapat tumbuh pada daerah asin maupun payau. Hal ini sesuai dengan pendapat Nedhisa & Tjahjaningrum (2019) bahwa diantara seluruh jenis *Rhizophora sp.* jenis *Rhizophora mucronata* memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi, selain toleran terhadap salinitas, jenis ini juga toleran terhadap substrat yang lebih keras seperti halnya pasir.



Gambar 4. 6 Stasiun Pengambilan Sampel
(Dokumentasi Peneliti, 2023)

Berdasarkan Gambar 3.1 dan Gambar 4.6 bagian (a) stasiun I merupakan wilayah dengan keadaan lingkungan yang selalu tergenang pada

saat pasang, dimana pasang tertingginya dapat mencapai hingga ± 100 cm disertai dengan kondisi substrat berlumpur. Pada stasiun ini ditemukan 3 jenis dari keseluruhan jenis mangrove yang teridentifikasi, yaitu *Rhizophora mucronata*, *Avicennia marina*, dan *Avicennia alba*. Sedangkan untuk stasiun II pada Gambar 4.6 bagian (b) berada pada sisi barat sungai dengan kondisi substrat pasir dan jauh dari Pantai Permata atau bagian daratan dari Pantai Permata. Bagian ini bahkan hampir tidak pernah terkena pasang surut air laut kecuali pada fase pasang tertinggi di setiap bulannya. Pada stasiun ini ditemukan 2 jenis mangrove, yaitu *Rhizophora mucronate* dan *Avicennia marina* dengan *Rhizophora mucronata* menjadi jenis yang paling banyak ditemukan pada stasiun tersebut. Stasiun III merupakan muara sungai dengan keadaan substrat berupa lumpur dan selalu dialiri air serta menjadi pertemuan antara aliran air dari daratan maupun laut. Spesies yang ditemukan pada stasiun ini meliputi jenis *Rhizophora mucronata* dan *Avicennia alba*. Dibandingkan dengan stasiun II, pada stasiun III jenis *Avicennia alba* menjadi jenis yang paling banyak ditemukan.



Gambar 4. 7. Perbedaan Akar Jenis *Rhizophore mucronata* berdasarkan Adanya Perbedaan Lokasi (Dokumentasi Peneliti, 2023)

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa tingginya perbedaan jumlah spesies pada masing-masing stasiun dapat dipengaruhi oleh beberapa hal. Proses rehabilitasi menjadi salah satu faktor pengaruh persebaran serta keanekaragaman jenis mangrove di Pantai Permata. Proses rehabilitasi memungkinkan adanya campur tangan manusia selama proses pengembalian ekosistem yang rusak. Selain itu pasang surut juga mempengaruhi tumbuh kembang mangrove dalam suatu ekosistem hutan

mangrove. Hal ini terlihat dari adanya perbedaan lokasi yang menyebabkan adanya perbedaan bentuk morfologi mangrove antara stasiun I, II, dan III. Sebagaimana yang telah disebutkan oleh Alwidakdo et,al (2014) dalam penelitiannya, mangrove memiliki morfologi khas yang berbeda-beda berdasarkan lokasi tumbuh, sebaran, dan jenisnya. Selain itu Alwidakdo et,al (2014) juga mengatakan bahwa kondisi pasang surut juga mempengaruhi terbentuknya zonasi mangrove, seperti halnya rentang atau tingginya pasang dan lamanya pasang. Rentang pasang surut dapat menjadi faktor penting dalam sistem perakaran mangrove (Kusmana, 1997 dalam Zakia & Lestari, 2022). Seperti yang terlihat Gambar 4.7 mengenai perbedaan tipe perakaran jenis *Rhizophora mucronata* pada dua titik sampling karena pengaruh pasang surut. Pada stasiun I tipe akar *Rhizophora mucronata* lebih memanjang dengan kondisi akar yang lebar, sedangkan pada stasiun II, ukuran akarnya lebih pendek dan jarang. Akar *Rhizophora sp.* menjadi lebih tinggi pada lokasi dengan pasang yang tinggi seperti halnya akar tunjang *Rhizophora sp.* pada stasiun I. Sedangkan lingkungan dengan kondisi pasang yang rendah menyebabkan pendeknya pertumbuhan akar tunjang pada jenis *Rhizophora sp.* sebagaimana yang terlihat pada stasiun II. Bentuk akar yang lebih panjang dan lebar pada jenis *Rhizophora mucronata* di stasiun I menggambarkan kondisi lingkungan dan substrat yang lembek dan dipenuhi dengan air. Pada kondisi tersebut perakaran mangrove yang panjang dan lebar berfungsi untuk stabilisasi struktur pohon di atasnya. Perakaran yang panjang memungkinkan *Rhizophora muconata* dalam menjangkau hingga mencapai lapisan yang lebih padat.

4.3 Karbon Organik Tanah

Pengumpulan data untuk analisa karbon organik tanah dilakukan dengan pengambilan sampel pada sedimen hutan mangrove. Jenis sedimen hutan mangrove pada area penelitian merupakan pasir hitam dengan tekstur halus. Pada area tertentu seperti daerah yang dekat dengan laut serta aliran sungai, jenis substratnya bercampur dengan lumpur halus.

Pengambilan sampel sedimen dilakukan dengan menggunakan pipa PVC yang telah dimodifikasi sehingga memiliki fungsi yang sama dengan

sediment core sampler. Ukuran pipa PVC yang digunakan ialah pipa PVC 2" atau berdiameter 5 cm dengan panjang 150 cm. Penggunaan pipa sepanjang 150 cm bertujuan sebagai parameter dalam melihat adanya hubungan antara kedalaman titik pengambilan sampel dengan serapan karbon organik tanah oleh hutan mangrove. Analisa serapan karbon dengan sampel sedimen dibagi menjadi 5 layer kedalaman, yaitu 0-15 cm, 15-30 cm, 30-50 cm, 50-100 cm, dan >100 cm.

Pengambilan sampel di lapangan hanya dapat dilakukan hingga kedalaman 50-100 cm. Hal ini dikarenakan tingginya sampah plastik serta kerapatan hutan yang tergolong tinggi sehingga menyulitkan pengambilan pada area yang kurang lapang. Namun pengambilan sampel sedimen pada area lapang atau bagian yang tidak terlalu ditumbuhi mangrove juga cukup sulit apabila menembus hingga kedalaman >100 cm. Hal ini dikarenakan tingginya kadar air yang terkandung dalam sedimen sehingga menyebabkan sedimen yang telah masuk dan terperangkap pada pipa kembali turun dan tidak terangkat sepenuhnya. Sedangkan pada daerah yang tidak terlalu mendapat pasokan air hingga memiliki sedimen yang cenderung kering juga cukup sulit dalam proses pengambilannya. Hal ini dikarenakan pada sedimen kering masuknya pipa lebih sulit dan lebih berat dibandingkan pada sedimen basah.

Setelah melakukan pemasangan transek, pipa ditancapkan pada beberapa bagian dalam petak transek hingga kedalaman tertentu. Pipa dimasukkan secara vertical dengan menggoyang-goyangkan pipa untuk mempermudah masuknya pipa dalam tanah. Pipa terus didorong semaksimal mungkin hingga pipa tidak dapat lagi digerakkan masuk. Setelah itu pada bagian ujung pipa ditutup agar sedimen yang telah terperangkap dalam pipa tidak kembali turun sehingga dapat terangkut seluruhnya. Proses pencabutan dilakukan dengan kembali menggoyang-goyangkan pipa secara perlahan. Sedimen selanjutnya dibagi berdasarkan kedalaman dan dimasukkan pada *plastic ziplock* untuk selanjutnya dianalisa pada laboratorium.

Analisa karbon organik tanah pada pengerjaan laboratorium dilakukan dengan metode *Loss on Ignition* (LOI) melalui penimbangan berat sampel

yang hilang setelah dipanaskan pada suhu tinggi (Azzahra et al., 2020). Pemanasan hingga suhu tinggi pada metode LOI telah digunakan secara luas untuk mengukur kandungan karbon pada suatu bahan organik. Prinsip dari metode ini ialah pemanasan pada suhu tertentu untuk membiarkan zat yang mudah menguap keluar. Oleh karena itu pada prinsip kerjanya sampel akan mengalami penurunan berat saat dipanaskan pada suhu tertentu. Pemilihan metode LOI dalam analisa karbon organik tanah ialah karena sedimen sendiri mengandung bahan organik dan anorganik khususnya mineral serta susunan kimia tanah. Senyawa organik tanah disusun dari unsur karbon dan hidrogen. Sedangkan senyawa anorganik penyusun utamanya ialah logam. Oleh karena itu pada saat proses pembakaran bahan organik akan menjadi CO₂ sedangkan logam menjadi oksidasi logamnya, sehingga masa yang hilang selama pembakaran merupakan bahan organik yang dapat dikonversikan menjadi C-organik (Azzahra et al., 2020).

Pada tahap pertama sampel basah terlebih dahulu di masukkan dalam oven suhu 120°C selama 2 jam. Saat sedimen dirasa masih memiliki tekstur yang berat dan sedikit berair, sampel kembali di panaskan pada suhu 105°C selama 4 jam. Pada pemanasan suhu 100°C menyebabkan air dan senyawa yang mudah menguap akan menguap. Setelah melalui tahap pemanasan pertama, sampel dikeluarkan dan didinginkan. Setelah dingin sampel kembali ditimbang dengan pemilihan berat 100 gram untuk selanjutnya dihomogenkan serta dihaluskan dengan mortal dan alu. Adanya kemungkinan kadar air tinggi pada sampel selama proses pengabuan sehingga digunakan sampel dengan berat 100 gram untuk menghindari tingginya kadar bahan organik yang hilang. Sampel ditempatkan dalam cawan platina dan dimasukkan dalam tungku atau *muffle furnace* pada suhu 450°C selama 6 jam. Setelah itu sampel kembali ditimbang hingga mendapatkan berat konstan.

4.4 Nilai Biomassa pada Setiap Stasiun

Berdasarkan status hutan mangrove yang merupakan hutan hasil rehabilitasi, pengambilan sampel harus benar-benar diperhatikan agar sifatnya tidak merusak keberlangsungan dan pertumbuhan setiap spesies yang ada. Oleh karena itu pengambilan sampel dilakukan secara non-destruktif,

yaitu model pengambilan sampel tanpa merusak bagian dari sampel yang akan digunakan. Non-destruktif dalam penelitian kali ini menggunakan persamaan alometrik pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5. Analisis serapan karbon dengan persamaan alometrik membutuhkan nilai biomassa serta data diameter batang. Data diameter batang pohon didapatkan dengan pengkonversian keliling batang pohon mangrove yang diukur setinggi dada atau 1,37 m dari atas tanah untuk jenis *Avicennia sp*, sedangkan pada jenis *Rhizophora sp*. pengukuran keliling pohon dilakukan setinggi dada atau setara dengan 1,37 m diatas banir atau 0,3 m di atas pangkal akar tertinggi.

Pengukuran diameter setinggi dada atau DBH dilakukan melalui pengukuran dengan transek. Transek mangrove ukuran 10x10 m² dibuat sebanyak 6 petak (plot) pada setiap stasiun dengan 3 petak yang saling berhadapan sebagaimana terlihat pada Gambar 3.3. Penggunaan petak ukur 10x10 m² dipilih karena pengambilan data DBH yang diperlukan merupakan vegetasi dengan kategori pohon. Hal ini karena biomassa suatu pohon sangat berpengaruh terhadap serapan karbon oleh hutan mangrove. Yaqin et al. (2022) Semakin tinggi biomasa terkandung pada suatu tegakan, akan semakin tinggi pula karbon yang terkandung di dalamnya. Irsyadi et al. (2017) juga mengatakan bahwa adanya peningkatan pada kandungan karbon yang terserap oleh hutan mangrove dipengaruhi oleh peningkatan biomasa suatu pohon.

Data diameter pohon yang didapatkan selanjutnya diolah dengan menggunakan perhitungan alometrik pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 hingga didapatkan data biomassa untuk setiap pohon dalam 3 stasiun penelitian. Berikut merupakan contoh perhitungan untuk analisis kandungan karbon pada biomassa atas dan bawah permukaan tanah menggunakan persamaan alometrik.

1) Perhitungan biomassa atas permukaan :

Jenis *Avicennia marina*

$$\begin{aligned} Y &= 0,1848(D)^{2,3524} \\ &= 0,1848 (5.09296)^{2,3524} \end{aligned}$$

$$= 7.64791 \text{ g}$$

Jenis *Avicennia alba*

$$\begin{aligned} Y &= 0,079211(D)^{2,471} \\ &= 0,1848 (7.32113)^{2,3524} \\ &= 10.8432 \text{ g} \end{aligned}$$

Jenis *Rhizophora mucronata*

$$\begin{aligned} Y &= 0,1466(D)^{2,3136} \\ &= 0,1466 (3.1831)^{2,3136} \\ &= 2.13564 \text{ g} \end{aligned}$$

2) Perhitungan Biomassa bawah permukaan (BGB)

Jenis *Avicennia marina*

$$\begin{aligned} Y &= 0,1682(D)^{1,7939} \\ &= 0,1682 (5.09296)^{1,7939} \\ &= 3.11932 \text{ g} \end{aligned}$$

Jenis *Avicennia alba*

$$\begin{aligned} Y &= 0.199 \rho^{0.899} D^{2.22} \\ &= 0.199 (0,506)^{0.899} (7.32113)^{2.22} \\ &= 8.95875 \text{ g} \end{aligned}$$

Jenis *Rhizophora mucronata*

$$\begin{aligned} Y &= 0.00974 (D^2H)^{1.05} \\ &= 0.00974 ((3.1831)^2 ((3.1831/(0,02(3.1831)) + 0,678))^{1.05} \\ &= 0.51147 \text{ g} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan data biomassa setiap pohon dilakukan penjumlahan dengan Persamaan 3.1 untuk mendapatkan nilai biomassa rata-rata. Dilanjutkan dengan perhitungan kandungan karbon per hektar dan serapan karbon oleh hutan mangrove Pantai Permata.

Biomassa atas permukaan tanah

Biomassa bawah permukaan tanah

$$\begin{aligned}
 C &= W \times 0,47 \\
 &= 9.50 \times 0,47 \\
 &= 4.46 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C &= W \times 0,47 \\
 &= 5.14 \times 0,47 \\
 &= 2.420 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_n &= \frac{C}{1000} \times \frac{10.000}{L_{plot}} \\
 &= \frac{4.46}{1000} \times \frac{10.000}{100} \\
 &= 0.44 \text{ ton/ha}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_n &= \frac{C}{1000} \times \frac{10.000}{L_{plot}} \\
 &= \frac{2.420}{1000} \times \frac{10.000}{100} \\
 &= 0.24 \text{ ton/ha}
 \end{aligned}$$

3) Perhitungan Biomassa Karbon Organik Tanah

Perhitungan biomassa karbon organik tanah dilakukan dengan data sampling sedimen berdasarkan layer kedalaman. Perhitungan biomassa dilakukan berdasarkan Persamaan 3.5. Dilanjut dengan mengitung nilai biomassa rata-rata dan didapatkan nilai sebesar 8,85 gram.

$$\begin{aligned}
 B_k &= \frac{W_o - W_t}{W_o} \times 100 \\
 &= \frac{100 - 91,78}{100} \times 100 \\
 &= 8,85 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_t &= K_d \times B_d \times \%C\text{-organic} \\
 &= 15 \times 0.011 \times 0.47 \\
 &= 0.07 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_n &= C \times 100 \\
 &= 0.079 \times 100 \\
 &= 7.94 \text{ ton/ha}
 \end{aligned}$$

4.4.1 Nilai Biomassa pada Masing-masing Jenis Mangrove

Biomassa merupakan hasil fotosintesis tumbuhan yang terlokasi dalam beberapa bagian pohon meliputi akar, batang, daun, dan ranting. Oleh karena itu kandungan biomassa pada suatu tegakan bertambah seiring dengan pertumbuhannya. Alongi (2014) mengatakan bahwa variasi curah hujan, pasang surut, gelombang, dan aliran sungai sangat menentukan biomassa suatu tegakan. Selain itu Alongi (2014) juga mengungkapkan bahwa adanya perbedaan lokasi dapat mempengaruhi biomasanya.

Tabel 4. 2. Struktur Komunitas Mangrove Pantai Permata Pilang

| Stasiun | Jenis | DBH (cm) | AGB | | BGB | |
|---------|-----------------------------|----------|--------------|------------|--------------|------------|
| | | | Biomassa (g) | Karbon (g) | Biomassa (g) | Karbon (g) |
| I | <i>Avicennia marina</i> | 5.96 | 12.39 | 5.82 | 4.29 | 2.01 |
| | <i>Avicennia alba</i> | 6.81 | 10.32 | 4.85 | 8.32 | 3.91 |
| | <i>Rhizophora mucronata</i> | 5.41 | 8.04 | 3.78 | 3.73 | 1.75 |
| II | <i>Avicennia marina</i> | 5.41 | 3.98 | 1.87 | 4.38 | 2.06 |
| | <i>Rhizophora mucronata</i> | 5.61 | 8.63 | 4.05 | 3.35 | 1.57 |
| III | <i>Avicennia alba</i> | 7.12 | 13.26 | 6.23 | 10.18 | 4.78 |
| | <i>Rhizophora mucronata</i> | 5.39 | 7.32 | 3.44 | 3.07 | 1.44 |

Berdasarkan Tabel 4.2 kandungan karbon tertinggi untuk biomassa di atas permukaan tanah atau *Above-Ground Biomass* (AGB) dan biomassa di bawah permukaan tanah atau *Below-Ground Biomass* (BGB) terletak pada stasiun III yang terletak di muara sungai, yaitu sebesar 6,23 gram dan 4,78 gram, disertai dengan biomasa rata-rata tertinggi sebesar 13,26 gram serta 10,18 gram pada AGB dan BGB. Tingginya kandungan karbon pada

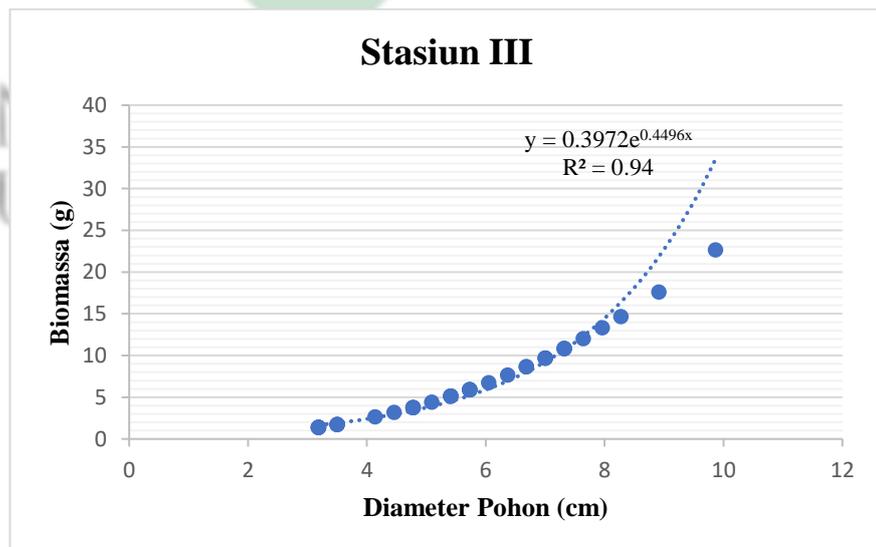
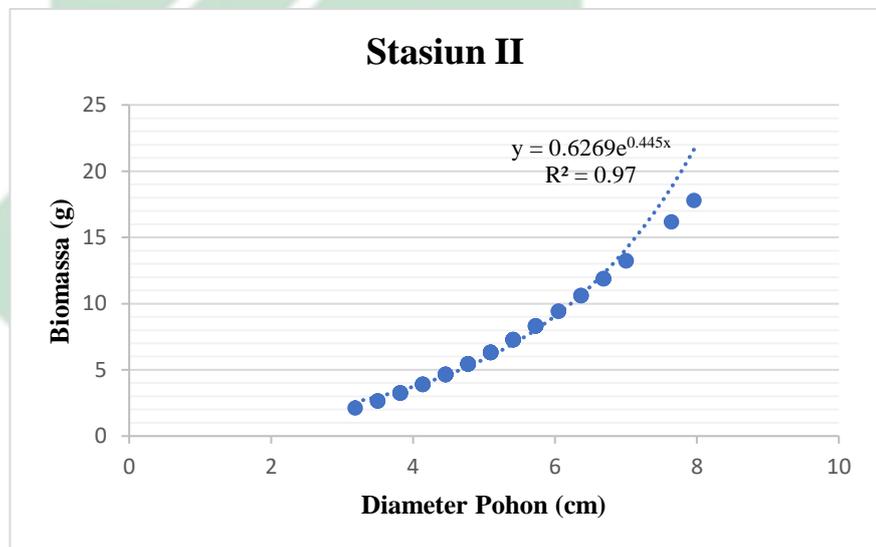
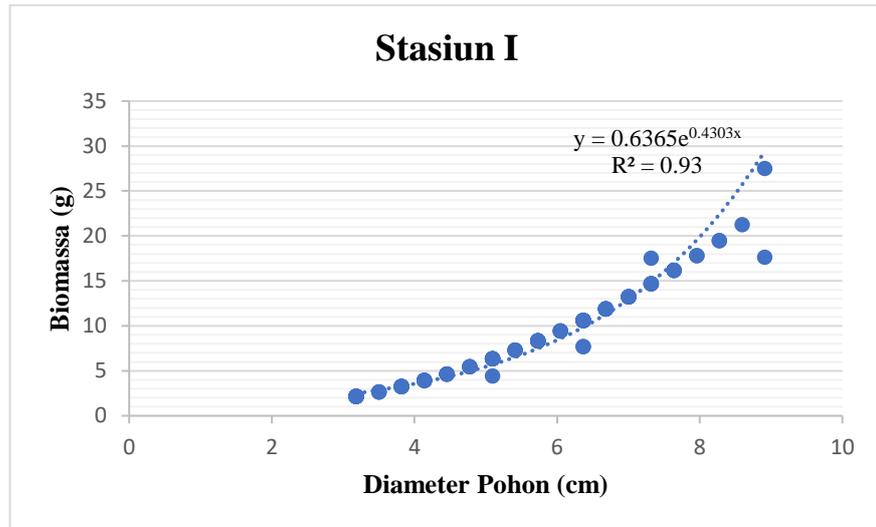
wilayah muara disebabkan karena muara merupakan wilayah dengan transport nutrient aktif yang bersumber dari sungai dan bermuara ke laut. Hal ini sesuai dengan pendapat Susilowati et al. (2020) yang mengatakan bahwa Perbedaan lokasi stasiun dapat mempengaruhi tingkat pertumbuhan suatu tegakan sehingga mempengaruhi kemampuan suatu tegakan dalam menyimpan karbon karena dipengaruhi tingkat kesuburan lingkungannya. Selain itu Latupapua (2010) dalam Susilowati et al. (2020) juga mengatakan bahwa muara sungai merupakan daerah tujuan akhir dari partikel-partikel organik, sehingga mempengaruhi kesuburan mangrove yang hidup pada perbatasan muara sungai.

Kandungan karbon terendah terletak pada stasiun II dengan nilai sebesar 1,87 gram pada AGB. Stasiun II merupakan wilayah daratan dengan sedimen kering karena daerahnya yang jauh dari laut lepas sehingga jarang terkena pasang surut air laut. Rendahnya kandungan karbon pada jenis *Avicennia marina* disebabkan oleh rendahnya jumlah populasi tegakan, berdasarkan hal tersebut dapat diketahui jika pasang surut sangat berpengaruh terhadap distribusi mangrove. Hal ini juga sejalan dengan pendapat Alwidakdo et,al (2014) yang mengatakan bahwa kondisi pasang surut dapat mempengaruhi terbentuknya zonasi mangrove. Selain itu kesuburan substrat juga berpengaruh terhadap pertumbuhan mangrove. Farahisah et al. (2021) Kesuburan tanah mempengaruhi besar kecilnya simpanan karbon oleh suatu tegakan. Oleh karena itu nilai diameter rata-rata jenis *Avicennia alba* pada stasiun II berkisar antara 5,41 cm, dimana hal ini memiliki nilai yang lebih besar dibanding dengan jenis *Rhizophora mucronata* pada stasiun III. Besarnya nilai diameter *Avicennia alba* pada stasiun II dapat dipengaruhi oleh kandungan mineral tanah yang merupakan tanah abu vulkanik. Achmad dan Hananto (2015) mengatakan bahwa, pasir abu vulkanik bermanfaat dalam penyuburan tanah dan memperbaiki sifat fisik tanah. Hal ini karena abu vulkanik mengandung mineral yang sangat dibutuhkan oleh tumbuhan, seperti Ca, Na, K, dan Mg, serta unsur makro P dan S, juga unsur mikro Fe, Mn, zn, dan Cu. Oleh karena itu, meskipun jenis *Avicennia alba* pada stasiun II tidak mendapatkan pengaruh genangan

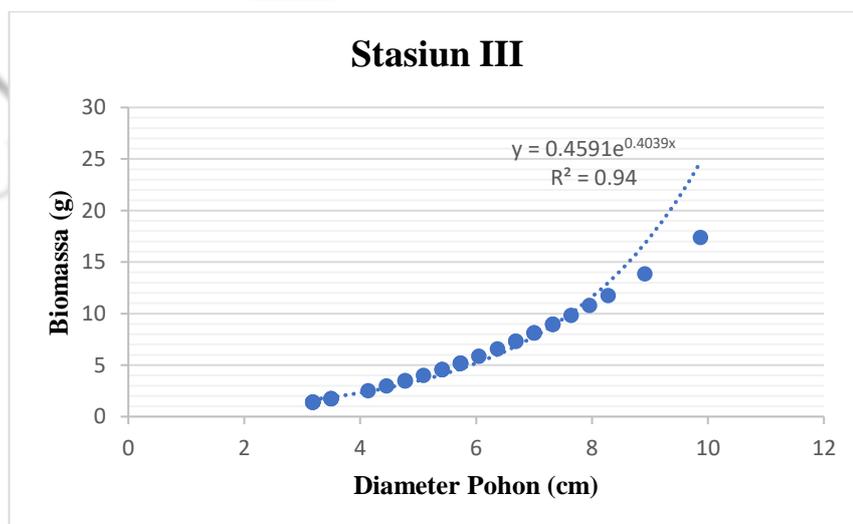
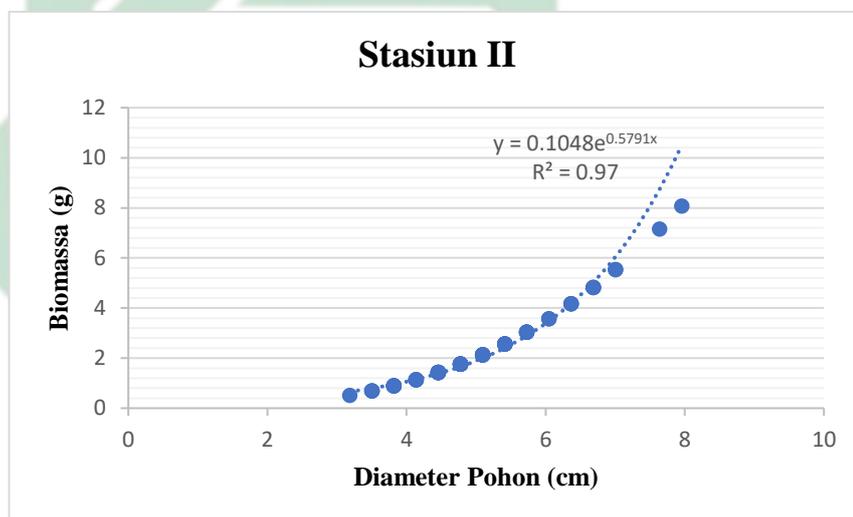
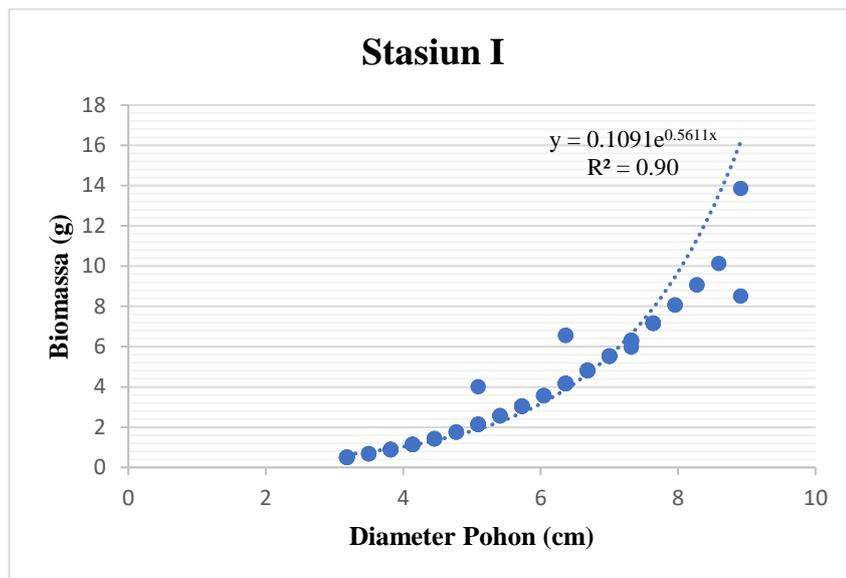
pasung surut air laut tetapi asupan nutriennya tetap terpenuhi. Sedangkan rendahnya nilai rata-rata diameter jenis *Rhizophora mucronata* pada stasiun III disebabkan karena pada daerah muara sungai jenis *Rhizophora mucronata* yang ditemukan sebagian besar merupakan mangrove pada kategori panjang atau semai, sedangkan jenis *Rhizophora mucronata* pada kategori pohon masih berada pada fase bertumbuh terlihat dari ukuran lingkar batang yang masih tergolong kecil pada beberapa individu.

4.4.2 Nilai Biomassa Hutan Mangrove Pantai Permata

Nilai biomassa hutan mangrove penting untuk digunakan dalam estimasi kandungan karbon yang tersimpan di dalamnya. Biomassa dan kandungan karbon memiliki hubungan yang erat, dimana biomassa mengacu pada massa total suatu pohon, sedangkan kandungan karbon mengacu pada jumlah karbon terkandung dalam biomassa suatu pohon. Sehingga semakin besar biomassa suatu pohon, akan semakin besar pula karbon yang tersimpan di dalamnya. Sedangkan tingginya biomassa suatu pohon dipengaruhi pertumbuhan diameter pohon tersebut. Hal ini sesuai dengan pendapat Walpone (1993) dalam Rahmah et al. (2015) yang mengatakan bahwa diameter pohon memiliki hubungan yang erat dengan dengan biomasnya. Biomassa suatu pohon mengalami peningkatan secara signifikan disertai dengan semakin besarnya diameter pohon tersebut (Catur & Sidiyasa, 2001 dalam Rahmah et al., 2015). Hariah & Rahayu (2007) dalam Lestariningsih et al. (2018) juga mengatakan bahwa ukuran diameter pohon berbanding lurus dengan nilai biomassa suatu pohon. Grafik yang menyatakan hubungan antara diameter pohon dengan biomassa dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 8. Grafik Hubungan antara Diameter Pohon dengan Biomassa di Atas Permukaan Tanah atau *Above-Ground Biomass* (AGB)

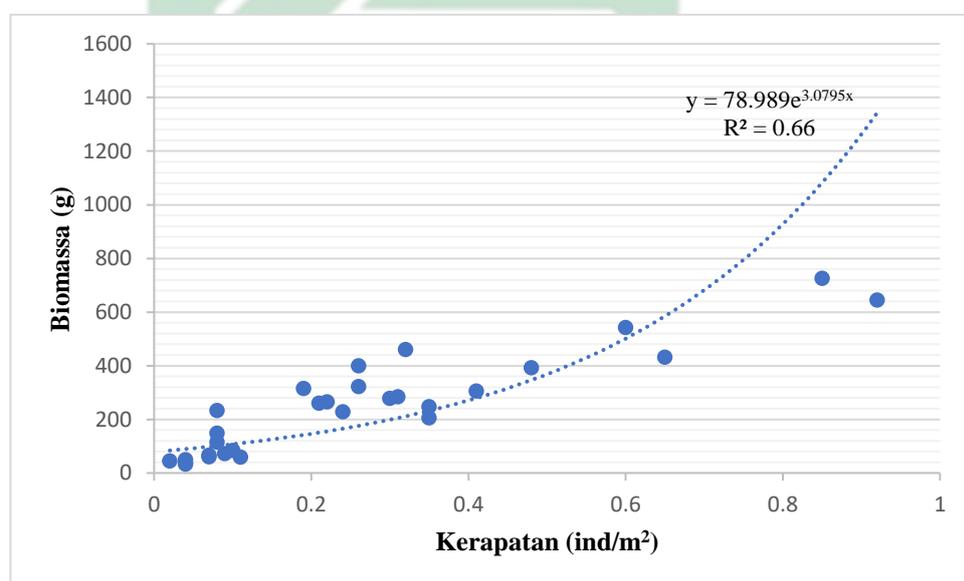


Gambar 4. 9. Grafik Hubungan antara Diameter Pohon dengan Biomassa di Bawah Permukaan Tanah atau *Below-Ground Biomass* (BGB)

Berdasarkan grafik hubungan antara diameter pohon dengan biomassa pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa hubungan antara diameter pohon dengan biomassa menunjukkan korelasi positif. Baik grafik pada Gambar 4.8 yang merupakan grafik hubungan diameter dengan biomassa atas permukaan tanah maupun Gambar 4.9 grafik hubungan diameter pohon dengan biomassa bawah permukaan tanah, keduanya menunjukkan korelasi positif. Artinya, semakin besar diameter pohon akan semakin besar pula biomasanya. Hal ini dikarenakan diameter pohon yang besar memiliki lebih banyak jaringan kayu. Pertumbuhan jaringan tumbuhan seperti kulit batang dan daun atau pertumbuhan pada pucuk akar tergantung pada lokasi tumbuh serta pasokan nutrient. Selain itu adanya proses pertumbuhan pada daerah kambium batang yang menyebabkan semakin bertambahnya lingkaran tahun menjadi faktor utama penyebab peningkatan diameter pohon dari waktu ke waktu (Jayanti, 2017). Menurut Aminudin (2008) dalam Irsadi et al. (2017) batang pohon merupakan bagian dari tumbuhan yang 50% tersusun atas selulosa. Selulosa merupakan komponen penyusun utama dinding sel kayu dimana komponennya terdiri atas gula linier berantai panjang yang tersusun atas carbon (Campbell et al., 2008 dalam Irsadi et al., 2017).

Berdasarkan Gambar 4.8 grafik hubungan antara diameter pohon dengan biomassa menunjukkan nilai koefisien determinasi pada angka 0,93 untuk stasiun I, 0,97 pada stasiun II, dan 0,94 pada stasiun III. Sedangkan pada Gambar 4.9 grafik hubungan antara diameter pohon dengan biomassa bawah permukaan tanah ditunjukkan dengan angka 0,90 untuk grafik hubungan pada stasiun I, 0,97 untuk stasiun II, dan 0,94 untuk stasiun III. Berdasarkan grafik hubungan antara diameter pohon dengan biomassa pada Gambar 4.8 diketahui bahwa ketiganya baik grafik pada biomassa atas permukaan tanah dan biomassa bawah permukaan tanah memiliki nilai koefisien determinasi mendekati 1. Sehingga menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara diameter pohon dengan biomassa. Nilai koefisien determinasi memiliki rentang antara 0 hingga 1, dimana semakin mendekati 1 maka semakin baik suatu variabel dalam menjelaskan

hubungan antar variable dalam suatu model (Ghozali, 2016). Berdasarkan tingginya nilai koefisien determinasi pada **Gambar 4.3** dapat diketahui bahwa diameter pohon merupakan indikator yang sangat baik untuk memperkirakan biomassa pohon. Sehingga pada saat kita mengetahui diameter suatu pohon maka dalam memperkirakan biomassa akan cukup akurat. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kepel et al (2017) di kawasan Kema, Sulawesi Utara, bahwa adanya keterkaitan yang erat antar lingkaran batang pohon dengan biomassa pohon, dimana diameter dan biomassa menunjukkan hubungan yang linier dengan koefisien determinasi sebesar 0,8.



Gambar 4. 10. Grafik Hubungan Antara Kerapatan Pohon dengan Biomassa

Berdasarkan grafik hubungan antara kerapatan pohon dengan biomassa pada Gambar 4.10 dapat diketahui bahwa keduanya memiliki korelasi positif. Terlihat bahwa nilai koefisien determinasi yang didapatkan dari adanya hubungan antara kerapatan pohon dengan biomassa bernilai 0,66. Hal ini berarti terdapat hubungan yang cukup kuat antara kerapatan pohon dengan biomassa hutan mangrove. Sehingga semakin tinggi kerapatan pohon pada suatu lokasi maka akan berpengaruh terhadap besarnya suatu biomassa pohon yang ada dalam hutan tersebut. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Irsadi et al. (2017) dimana hubungan

antara kerapatan mangrove dengan kandungan biomassa memiliki nilai korelasi positif yaitu $R^2 = 0,67$.

Kerapatan hutan mangrove menandakan tingginya kepadatan suatu jenis serta tingginya persaingan hidup antara satu dengan yang lainnya. Susuillowati et al. (2020) mengatakan bahwa semakin rendah kerapatan pohon pada suatu hutan akan menyebabkan rendahnya simpanan karbon hutan tersebut. Namun semakin tinggi kerapatan pohon pada suatu hutan, maka akan semakin tinggi pula kandungan karbon beserta serapannya (Adrianto et al., 2015 dalam Susuillowati et al., 2020). Tinggi rendahnya kerapatan pohon dapat dipengaruhi oleh beberapa hal meliputi cahaya matahari, pasokan air, dan nutrisi. Transport nutrient pada hutan mangrove sangat dipengaruhi oleh pasang surut yang menyebabkan perbedaan tipe substrat sedimen yang mendasari tumbuhnya suatu vegetasi mangrove. Sahami (2018) mengatakan bahwa kondisi substrat dengan banyak liat dan lanau memiliki komposisi tegakan yang tinggi dan lebih rapat. Hal ini karena substrat lanau memiliki kandungan bahan organik yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis lainnya (Lawerrisa et al., 2018). Hal ini didukung oleh Lestariningsih et al. (2018) sedimen berlumpur memiliki kandungan karbon organik yang lebih tinggi dibandingkan dengan substrat pasir.

4.5 Analisis Serapan CO₂ oleh Hutan Mangrove

Hutan mangrove memiliki kemampuan yang signifikan dalam menyerap CO₂ di atmosfer. Analisis serapan karbon hutan mangrove melibatkan pertumbuhan vegetasi mangrove serta penyimpanan karbon pada masing-masing kantong karbon dalam hutan mangrove. Penyimpanan karbon terdiri atas simpanan karbon yang terkandung dalam biomassa di atas dan di bawah permukaan tanah, serta simpanan karbon organik tanah pada sedimen mangrove. Simpanan karbon pada biomassa atas dan bawah permukaan umumnya terletak pada bagian biomassa dari suatu tegakan pada hutan mangrove. Sehingga pertumbuhan dari tegakan mangrove sangat mempengaruhi serapan CO₂ di atmosfer. Sedangkan pada karbon organik tanah, berasal dari akumulasi bahan organik pada kedalaman tertentu.

1) Perhitungan serapan karbon di atas permukaan :

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= \frac{\text{Mr CO}_2}{\text{Ar C}} \times \text{C} \\ &= 3,67 \times 0,44 \\ &= 1,63 \text{ ton/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Serapan CO}_2 &= \text{CO}_2 \times 60,6 \\ &= 1,63 \times 60,6 \\ &= 99,26 \text{ ton} \end{aligned}$$

2) Perhitungan serapan karbon di bawah permukaan :

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= \frac{\text{Mr CO}_2}{\text{Ar C}} \times \text{C} \\ &= 3,67 \times 0,24 \\ &= 0,88 \text{ ton/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Serapan CO}_2 &= \text{CO}_2 \times 60,6 \\ &= 0,88 \times 60,6 \\ &= 53,77 \text{ ton} \end{aligned}$$

3) Perhitungan serapan karbon organik tanah :

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= \frac{\text{Mr CO}_2}{\text{Ar C}} \times \text{C} \\ &= 3,67 \times 7,94 \\ &= 29,14 \text{ ton/ha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Serapan CO}_2 &= \text{CO}_2 \times 60,6 \\ &= 29,14 \times 60,6 \\ &= 1766,27 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel 4. 3. Daya Serap Karbon oleh Hutan Mangrove Pantai Permata

| Kantong Karbon | | Kandungan karbon (ton/ha) | Serapan Karbon per Hektar (ton/ha) | Serapan Karbon Hutan Mangrove (ton) |
|-----------------------------|---------------|----------------------------------|---|--|
| AGB | | 0,44 | 1,63 | 99,26 |
| BGB | | 0,24 | 0,88 | 53,77 |
| Karbon Organik Tanah | 0-15 | 513,62 | 29,14 | 1766,27 |
| | 15-30 | 541,07 | 30,70 | 1860,68 |
| | 30-50 | 569,99 | 64,69 | 3920,27 |
| | 50-100 | 606,68 | 114,75 | 6954,30 |

Berdasarkan Tabel 4.3 kandungan karbon suatu kantong karbon mempengaruhi daya serap karbon pada masing-masing kantong karbon hutan mangrove. Tingginya aktifitas fotosintesis oleh mangrove dalam mengubah CO₂ menjadi senyawa organik yang menyebabkan tingginya pertumbuhan biomassa pada tegakan tersebut karena sebagian besar karbon yang terkandung terletak dalam biomassa. Nedhisa & Tjahjaningrum (2020) mengatakan bahwa 50% kandungan biomassa merupakan karbon.

Pada kantong karbon biomassa atas permukaan tanah, perolehan kandungan karbonnya sebesar 0,44 ton/ha. Hal ini menunjukkan bahwa per tahunnya tegakan mangrove pada area hutan mangrove seluas 60,6 ha menghasilkan daya serap sebesar 99,26 ton. Sedangkan untuk kantong karbon bawah permukaan tanah dengan luas area hutan mencapai 60,6 ha menghasilkan serapan karbon sebesar 53,77 ton dengan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai serapan karbon pada biomassa atas permukaan tanah. Perolehan nilai serapan karbon hutan mangrove Pantai Permata Pilang pada tegakan tergolong rendah dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Easteria et al. (2022) pada tegakan hutan mangrove di Pulau Kelapa Barat, Taman Nasional Kepulauan Seribu, Jakarta dengan jumlah tertingginya terletak pada mangrove umur tanam 14 tahun memiliki nilai serapan karbon pada biomassa di atas permukaan tanah sebesar 129,45 ton/ha diikuti dengan nilai serapan karbon pada biomassa bawah permukaan sebesar 79,70 ton/ha. Sedangkan pada nilai terendahnya ialah pada Pulau Harapan Utara dengan umur tanam 13 tahun mampu menyerap karbon sebesar 79,71 ton/ha pada biomassa atas permukaan dan 51,81 ton/ha

untuk biomassa bawah permukaan tanah. Perolehan nilai serapan karbon pada hutan mangrove Pulau Kelapa Barat lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan umur tanam antara mangrove Pulau Kelapa dengan mangrove Pantai Permata. Tegakan mangrove Pantai Permata memiliki umur tanam yang masih berada pada usia 11 tahun. Sedangkan serapan karbon pada penelitian ini lebih besar dibandingkan serapan karbon atas permukaan tanah hutan mangrove Pulau Harapan Utara. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan substrat, dimana pada Pulau Harapan Utara memiliki substrat yang didominasi oleh *rubble* sedangkan pada Pantai Permata memiliki substrat berlumpur.

Pada kantong karbon organik tanah daya serap CO₂ semakin besar seiring dengan bertambahnya kedalaman tanah. Secara berturut-turut ialah 1766,27 ton pada kedalaman 0-15 cm, 1860,68 ton, 3920,27 ton, dan 6954,30 ton pada kedalaman 50-100 cm. Sesuai dengan perincian hasil serapan karbon pada Tabel 4.3 dapat diketahui bahwa daya serap karbon organik tanah lebih tinggi dibandingkan pada kantong karbon lainnya dalam hutan mangrove. Murdiyarto et al. (2015) dalam Hickmah et al. (2021) menjelaskan bahwa simpanan karbon tertinggi pada hutan mangrove ditemukan pada bagian sedimen. Simpanan karbon terbesar pada hutan mangrove terletak pada sedimennya (Azzahra et al., 2020). Guguran daun dan ranting menjadi salah satu sumber bahan organik pada sedimen mangrove. Sehingga kerapatan dan diameter suatu pohon sangat berpengaruh terhadap akumulasi bahan organik yang tertimbun dalam sedimen mangrove. Semakin besar diameter suatu pohon akan semakin tinggi kerapatan pohon hutan mangrove serta tutupan kanopinya. Syakir (2017) mengatakan bahwa tingginya nilai tutupan kanopi mangrove berbanding lurus dengan kandungan biomassa sedimen. Lorenz & Lal (2005) dalam Yaqin et al. (2022) mengatakan bahwa kandungan karbon organik tanah pada lapisan atas lebih cepat mengalami dekomposisi karena terjadi peningkatan aktivitas mikroba dekat permukaan, sedangkan pada lapisan bawah karbon organik tanah terlindung dalam agregat tanah sehingga mempunyai laju dekomposisi yang rendah.

Kemampuan daya serap karbon organik tanah Pantai Permata Pilang ialah sebesar 239,29 ton/ha. Serapan karbon organik tanah oleh Pantai Permata Pilang dapat dikatakan baik ditunjang dari luasnya yang mencapai 60,6 ha sehingga diperoleh serapan karbon organik tanah sebesar 14.501,54 ton. Pada penelitian yang dilakukan oleh Rahmah et al. (2015) dengan luas mangrove sebesar 36,9 ha serapan karbon organik tanahnya sebesar 55,31 ton/ha. Rendahnya serapan karbon pada kawasan ini disebabkan karena adanya kerusakan kondisi lingkungan akibat tsunami yang pernah melanda kawasan tersebut, disertai tingkat rehabilitasi yang belum memadai sehingga tingkat pertumbuhan pada kawasan tersebut masih rendah. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Azzahra et al. (2020) pada hutan mangrove Desa Bedono, Demak memiliki nilai yang cukup rendah dibandingkan daya serap karbon organik tanah pada Pantai Permata Pilang, yaitu sebesar 1.762,218 ton/ha. Kemampuan daya serap karbon organik tanah dalam penelitian yang dilakukan oleh Yaqin et al. (2022) pada kawasan hutan mangrove Desa Tugurejo, Semarang mendapat perolehan nilai 2.789,996 ton/ha dengan cakupan area hutan mangrove seluas 3 hektar serta kondisi hutan mangrove pada kerapatan jarang-padat. Tingginya serapan karbon organik tanah pada kawasan ini disebabkan karena adanya kegiatan penyuluhan, sosialisasi penanaman, serta monitoring yang rutin dilakukan.

Total nilai serapan karbon oleh hutan mangrove Pantai Permata Pilang seluas 60,6 ha ialah 14.654,57 ton dengan serapan karbon per hektarnya sebesar 241,79 ton/ha. Hutan mangrove Pantai Permata memiliki daya serap lebih rendah dibandingkan Mangrove Dukuh Tapak pada penelitian Irsadi et al. (2017) yaitu sebesar 2598,65 ton/ha. Hal ini dikarenakan hutan mangrove Dukuh Tapak merupakan hutan mangrove alami. Easteria et al. (2022) mengatakan bahwa mangrove alami memiliki kemampuan daya serap karbon lebih tinggi dibandingkan dengan hutan mangrove hasil rehabilitasi.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Hasil perhitungan nilai estimasi serapan karbon pada biomassa atas permukaan hutan mangrove di Pantai Permata Pilang, Probolinggo seluas 60,6 ha ialah sebesar 99,26 ton.
2. Hasil perhitungan nilai estimasi serapan karbon pada biomassa bawah permukaan hutan mangrove di Pantai Permata Pilang, Probolinggo seluas 60,6 ha ialah sebesar 53,77 ton.
3. Estimasi daya serap karbon organik tanah pada hutan mangrove seluas 60,6 ha berdasarkan kedalamannya ialah 1766,27 ton pada kedalaman 0-15 cm, 1860,68 ton pada kedalaman 15-30 cm, 3920,27 ton pada kedalaman 30-50 cm, dan 6954,30 ton pada kedalaman 50-100 cm.

5.2 Saran

1. Perlu adanya analisis lebih lanjut mengenai nilai serapan karbon organik tanah pada masing masing jenis spesies mangrove.
2. Perlu adanya analisis lebih lanjut mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya serapan karbon oleh hutan mangrove.
3. Perlu adanya kajian lebih lanjut mengenai kemampuan serapan karbon antara hutan mangrove rehabilitasi dengan hutan mangrove alami.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwidakdo, A., Azham, Z., & Kamarubayana, L. (2014). Studi pertumbuhan mangrove pada kegiatan rehabilitasi hutan mangrove di desa Tanjung Limau kecamatan Muara Badak kabupaten Kutai Kartanegara. *Agrifor: Jurnal Ilmu Pertanian dan Kehutanan*, 13(1), 11-18.
- Anand, A., Pandey, P. C., Petropoulos, G. P., Pavlides, A., Srivastava, P. K., Sharma, J. K., & Malhi, R. K. M. (2020). *Use of Hyperion for Mangrove Forest Carbon Stock Assessment in Bhitarkanika Forest Reserve : A Contribution Towards Blue Carbon Initiative*.
- Astuti, A. D., & Titah, H. S. (2020). *Studi Fitoremediasi Polutan Minyak Bumi di Wilayah Pesisir Tercemar Menggunakan Tumbuhan Mangrove (Studi Kasus: Tumpahan Minyak Mentah Sumur YYA-1 Pesisir Karawang Jawa Barat)*. 9(2).
- Aye, W. N., Tong, X., & Tun, A. W. (2022). *Species Diversity , Biomass and Carbon Stock Assessment of Kanhlyashay Natural Mangrove Forest*. 1–16.
- Azzahra, F. S., Suryanti, S., & Febrianto, S. (2020). *Estimasi Karbon pada Hutan Mangrove Desa Bedono, Demak, Jawa Tengah*.
- Dharmawan, I. W. S., & Siregar, C. A. (2008). Karbon Tanah dan Pendugaan Karbon Tegakan *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 5(4), 317–328.
- Dharmawan, I. W. E., Ulumuddin, Y. I., & Prayudha, B. (2020). *Panduan Monitoring Struktur Komunitas Mangrove di Indonesia*. PT Media Sains Nasional, Bogor, 94.
- Farahisah, H., & Yulianda, F. (2021). Struktur Komunitas, Cadangan Karbon, dan Estimasi Nilai Ekonomi Mangrove di Muara Sungai Musi. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(2), 228-234.
- Easteria, G., Imran, Z., & Yulianto, G. (2022). Estimasi Stok Karbon Mangrove Rehabilitasi Di Pulau Harapan Dan Kelapa, Taman Nasional Kepulauan Seribu, Jakarta. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 14(2).
- Firdaus, M. R., & Wijayanti, L. A. S. (2019). Fitoplankton Dan Siklus Karbon Global. *Oseana*, 44(2), 35–48. <https://doi.org/10.14203/oseana.2019.vol.44no.2.39>
- Hickmah, N., Maslukah, L., Wulandari, S. Y., Sugianto, D. N., & Wirasatriya, A. (2021). Kajian Stok Karbon Organik dalam Sedimen di Area Vegetasi Mangrove Karimunjawa. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(4), 419–426. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i4.12494>
- Hong, L. C., Hemati, Z., & Zakaria, R. M. (2016). *Carbon Stock Evaluation of Selected Mangrove Forests in Peninsular Malaysia and its Potential Market Value*.

- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Pidgeon, E., & Telszewski, M. (2014). *Coastal Blue Carbon*. *Ci*, 2–3.
- Irsadi, A., Martuti, N. K. T., & Nugraha, S. B. (2017). Estimasi Stok Karbon Mangrove Di Dukuh Tapak Kelurahan Tugurejo Kota Semarang. *Sainteknologi: Jurnal Sains dan Teknologi*, 15(2), 119-128.
- Iswahyudi, I., Kusmana, C., Hidayat, A., & Noorachmat, B. P. (2020). Lingkungan biofisik hutan mangrove di Kota Langsa, Aceh. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(1), 98-110.
- Julaikha, S., & Sumiyati, L. (1989). *Nilai Ekologis Ekosistem Hutan Mangrove*. 17(1), 33–35.
- Komiyama, A., Pongpan, S., & Kato, S. (2005). Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of tropical ecology*, 21(4), 471-477.
- Komiyama, A., Ong, J. E., & Pongpan, S. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic botany*, 89(2), 128-137.
- Latief, C. (2008). Perbedaan Sebaran Karbon Pada Atmosfer Permukaan Dan Menengah Bulan Desember 2007 Hasil Pengukuran Profil Vertikal Co2 Di Watukosek. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi, 2008(Snati)*, 5–8.
- Lestariningsih, W. A., Soenardjo, N., & Pribadi, R. (2018). Estimasi Cadangan Karbon pada Kawasan Mangrove di Desa Timbulsloko, Demak, Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(2), 121-130.
- Mahardika, D. P. K. (2020). Meninjau Peran Akuntan Dalam Menanggulangi Isu Perubahan Iklim. *Jurnal Akuntansi Multiparadigma*, 11(3), 581–599. <https://doi.org/10.21776/ub.jamal.2020.11.3.33>
- Murdiyarsa, D., Purbopuspito, J., Kaufman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., C., D., Donato, Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S., & Kurnianto, S. (2015). *The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation*. 1089–1092.
- Muzaki, F. K., Saptarini, D., Kuswitasari, N. D., & Suliesetyoro, A. (2012). Menjelajah Mangrove Surabaya. *Lppm*, 1–150.
- Nedhisa, P. I., & Tjahjaningrum, I. T. (2020). Estimasi Biomassa, Stok Karbon dan Sekuestrasi Karbon Mangrove pada *Rhizophora mucronata* di Wonorejo Surabaya dengan Persamaan Allometrik. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 8(2). <https://doi.org/10.12962/j23373520.v8i2.45838>
- Noor, Y. R., Khazali, M., & Suryadiputra, I. N. N. (2006). Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia. Wetlands International
- Pamudji, M. T. (2015). *Energy Sector GHG Emission Inventory Data*. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-data-inventory-emisi-grk-sektor-energi-.pdf>
- Prakoso, T. B., Afiati, N., & Suprpto, D. (2018). Biomassa Kandungan Karbon

- Dan Serapan Co₂ Pada Tegakan Mangrove Di Kawasan Konservasi Mangrove Bedono, Demak. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 6(2), 156–163. <https://doi.org/10.14710/marj.v6i2.19824>
- Purnobasuki, H. (2012). Pemanfaatan Hutan Mangrove sebagai Penyimpan Karbon. *Buletin PSL Universitas Surabaya*, 28(April 2012), 3–5.
- Puspita, C. L. A. R. A., & Nieke, K. (2014). Model Hubungan Karakteristik Vegetasi Mangrove Terhadap Atenuasi Gelombang (Studi Kasus di Wilayah Pantai Ujung Pangkah). In *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXII Program Studi MMT-ITS Surabaya* (Vol. 24).
- Rahman, M. M., Khan, M. N. I., Hoque, A. K. F., & Ahmed, I. (2015). *Carbon stock in the Sundarbans mangrove forest: spatial variations in vegetation types and salinity zones*. 269–283. <https://doi.org/10.1007/s11273-014-9379-x>
- Rahmah, F., Basri, H., & Sufardi, S. (2015). Potensi karbon tersimpan pada lahan mangrove dan tambak di kawasan pesisir kota Banda Aceh. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Lahan*, 4(1), 527-534.
- Rahmayanti, M. A., Jauhari, A., & Fitriani, A. (2021). Estimasi Stok Karbon Dan Serapan Co₂ Di Area Revegetasi Pit Mangkalapi Pt Arutmin Indonesia Tambang Batulicin. *Jurnal Sylva Scientiae*, 4(5), 902. <https://doi.org/10.20527/jss.v4i5.4213>
- Siringoringo, H. H. (2013). Potensi Sekuestrasi Karbon Organik Tanah pada Pembangunan Hutan Tanaman Acacia mangium Willd. *Jurnal Penelitian Hutan Dan Konservasi Alam*, 2, 193–213. <https://doi.org/10.20886/jphka.2013.10.2.193-213>
- Suhaili, N. S., Liew, J. I. M., Fei, J. U. N., Wajdi, F., Ari, S. H. A., Idris, M. I., Hatta, S. M. H. D., Kodoh, J., & Besar, N. A. (2020). *Carbon stock estimation of mangrove forest in Sulaman Lake Forest Reserve , Sabah , Malaysia*. 21(12), 5657–5664. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211223>
- Sunarni, Maturbongs, M. R., Arifin, T., & Rahmania, R. (2019). *Zonasi dan Struktur Komunitas Mangrove di Pesisir Kabupaten Merauke*.
- Susilowati, M. W., Purnomo, P. W., & Solichin, A. (2020). Estimasi serapan co₂ berdasarkan simpanan karbon pada hutan mangrove desa Tambakbulusan Demak Jawa Tengah. *Jurnal Pasir Laut*, 4(2), 86-94.
- Tefarani, R., Martuti, N. K. T., & Ngabekti, S. (2019). *Keanekaragaman Spesies Mangrove dan Zonasi di Wilayah Kelurahan Mangunharjo Kecamatan Tugu Kota Semarang*. 8(1), 41–53.
- Utomo, B., Budiastuty, S., & Muryani, C. (2018). Strategi Pengelolaan Hutan Mangrove Di Desa Tanggul Tlare Kecamatan Kedung Kabupaten Jepara. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 15(2), 117. <https://doi.org/10.14710/jil.15.2.117-123>
- TafsirQ.com. (2015, 01 April). Surat Al-Mulk Ayat 30. Diakses pada 26 Januari 2023, dari <https://tafsirq.com/topik/al-mulk+ayat+30>

- TafsirQ.com. (2015, 01 April). Surat Ar-Rum Ayat 30. Diakses pada 26 Januari 2023, dari <https://tafsirq.com/topik/ar-rum+41>
- TafsirQ.com. (2015, 01 April). Surat Al-Furqan Ayat 49. Diakses pada 26 Januari 2023, dari <https://tafsirq.com/25-al-furqan/ayat-49>
- TafsirQ.com. (2015, 01 April). Surat Al-Furqan Ayat 50. Diakses pada 26 Januari 2023, dari <https://tafsirq.com/25-al-furqan/ayat-50>
- Yaqin, N., Rizkiyah, M., Putra, E. A., Suryanti, S., & Febrianto, S. (2022). Estimasi Serapan Karbon pada Kawasan Mangrove Tapak di Desa Tugurejo Semarang. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(1), 19-29.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A