



**ECONUSA**  
NATURE • CULTURE • CONSERVATION

LAPORAN PENELITIAN:  
**STUDI PRA-FISIBILITAS  
PADA TAMBAK IKAN GUNA  
MEMPERTAHANKAN CADANGAN  
KARBON PADA AREA MANGROVE:**  
STUDI KASUS PESISIR KABUPATEN SUKAMARA,  
KALIMANTAN TENGAH, INDONESIA

© YAYASAN ECONUSA DAN PKSPL IPB, 2024.





LAPORAN PENELITIAN:

**STUDI PRA-FISIBILITAS PADA TAMBAK IKAN  
GUNA MEMPERTAHANKAN CADANGAN KARBON  
PADA AREA MANGROVE:**

**STUDI KASUS PESISIR KABUPATEN SUKAMARA,  
KALIMANTAN TENGAH,  
INDONESIA**

© ECONUSA FOUNDATION DAN PKSPL IPB, 2024.

**PENASEHAT:**

**BUSTAR MAITAR  
FERY KURNIAWAN  
JASON CARTER**

**PENULIS:**

**FERY KURNIAWAN  
ALIN RAHMA YULIANI  
MIDA SARAGIH  
EDO RAKHMAN**

**PENELITI LAPANG:**

**EDO RAKHMAN  
INDRI NOVIA  
PUTRI FEBRIANTIKA PERMATA SARI**

**GIS ANALIS:**

**MUHAMMAD IQRA PRASETYA**

**TRANSLASI DALAM BAHASA INDONESIA:**

**PUTRI FEBRIANTIKA PERMATA SARI**

**TATA LETAK:**

**RIEVKI PRAMUDA**

**UNTUK MENGUTIP:**

Kurniawan F, Yulianti AR, Saragih M, Rakhman E. 2024. Studi Pra-Fisibilitas Pada Tambak Ikan Guna Mempertahankan Cadangan Karbon Pada Area Mangrove: Studi Kasus Pesisir Kabupaten Sukamara, Kalimantan Tengah, Indonesia. Jakarta (ID): EcoNusa.

Publikasi ini tidak untuk diperjualbelikan. Substansi publikasi dapat dikutip dengan menyertakan keterangan sumber pustaka.

EcoNusa Foundation dan PKSPL IPB mengucapkan terima kasih kepada Sub-National Climate Fund atas kesempatan yang diberikan untuk melaksanakan penelitian ini. Tim Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu mewujudkan publikasi ini.



**DAFTAR ISI**

---

**DAFTAR GAMBAR**

---

**DAFTAR TABEL**

---

**DAFTAR LAMPIRAN**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Pendahuluan dan Ruang Lingkup</b>                                     | <b>09</b> |
| <b>2. Hasil yang Diharapkan</b>   | <b>11</b> |
| <b>3. Pendekatan untuk Mencapai Hasil yang Diharapkan (Metode)</b>          | <b>11</b> |
| 3.1. Kondisi Lingkungan   | 11        |
| 3.2. Kondisi Mangrove   | 11        |
| 3.3. Stok Karbon Mangrove dan Tambak  | 12        |
| 3.4. Analisis Data  | 15        |
| Kondisi Lingkungan  | 15        |
| Kondisi Mangrove  | 16        |
| Analisis Stok Karbon  | 17        |
| <b>4. Jadwal Kegiatan</b>   | <b>21</b> |
| <b>5. Hasil dan Pembahasan</b>  | <b>21</b> |
| 5.1. Kondisi Lingkungan   | 21        |
| 5.2. Kondisi Mangrove   | 22        |
| Komposisi Mangrove  | 22        |
| Komposisi Mangrove Secara Keseluruhan                                       | 23        |
| Indeks Keanekaragaman, Kekayaan, dan Kemerataan Mangrove                    | 26        |
| Indeks Keanekaragaman, Kekayaan, dan Kemerataan Mangrove Secara Keseluruhan | 27        |
| 5.3. Kondisi Tambak   | 28        |
| 5.4. Stok Karbon Mangrove dan Tambak  | 29        |
| Stok Karbon Mangrove  | 29        |
| Stok Karbon Tanah di Mangrove   | 32        |
| Stok Karbon Tanah di Tambak Ikan  | 34        |
| Total Ekosistem Karbon  | 34        |
| <b>6. Kesimpulan</b>  | <b>36</b> |
| <b>7. Daftar Pustaka</b>  | <b>39</b> |
| <b>Lampiran</b>   | <b>41</b> |

|                   |  |           |
|-------------------|--|-----------|
| <b>Gambar 01.</b> | <b>Contoh Bentuk Plot Lingkaran</b>  | <b>12</b> |
| <b>Gambar 02.</b> | <b>Mengukur Diameter Setinggi Dada dalam Berbagai Kondisi Pohon</b>  | <b>13</b> |
| <b>Gambar 03.</b> | <b>Tingkat Keutuhan Pohon Mati</b>   | <b>14</b> |
| <b>Gambar 04.</b> | <b>Kerapatan Massa Tanah (g/cm<sup>3</sup>) pada Mangrove dan Tambak Ikan Pada Berbagai Sampel Kedalaman</b> | <b>33</b> |
| <b>Gambar 05.</b> | <b>Kandungan Karbon Tanah (%) pada Mangrove dan Tambak Ikan Pada Berbagai Sampel Kedalaman</b>               | <b>33</b> |
| <hr/>             |  |           |
| <b>Tabel 01.</b>  | <b>Baku Mutu Air laut untuk Biota Laut di Indonesia: Pada Habitat Mangrove</b>                               | <b>15</b> |
| <b>Tabel 02.</b>  | <b>Persamaan Allometrik untuk Menduga Biomassa Pada Permukaan Tanah Di Hutan Mangrove</b>                    | <b>18</b> |
| <b>Tabel 03.</b>  | <b>Persamaan Allometrik untuk Menduga Biomassa di Bawah Permukaan Tanah di Habitat Mangrove</b>              | <b>18</b> |
| <b>Tabel 04.</b>  | <b>Kerapatan Spesies Mangrove</b>  | <b>18</b> |
| <b>Tabel 05.</b>  | <b>Kualitas Air di Lokasi Studi</b>  | <b>21</b> |
| <b>Tabel 06.</b>  | <b>Nilai Komposisi Spesies Pada Tingkat Semai di Tutupan Area Mangrove Kerapatan Tinggi</b>                  | <b>23</b> |
| <b>Tabel 07.</b>  | <b>Komposisi Spesies di Desa Sungai Pasir Berdasarkan Indeks Keanekaragaman, Kekayaan dan Kemerataan</b>     | <b>27</b> |
| <b>Tabel 08.</b>  | <b>Klasifikasi Area Mangrove pada Lokasi Studi</b>   | <b>30</b> |

|                     |  |           |
|---------------------|--|-----------|
| <b>Tabel 09.</b>    | <b>Cadangan Biomassa Karbon Di Atas Permukaan Tanah dan Penyerapan Karbon Pada berbagai Kerapatan Mangrove</b> | <b>30</b> |
| <b>Tabel 10.</b>    | <b>Biomassa di Bawah Permukaan Tanah pada Mangrove di Desa Sungai Pasir</b>                                    | <b>31</b> |
| <b>Tabel 11.</b>    | <b>Stok Karbon Tanah pada Berbagai Tutupan Mangrove</b>  | <b>32</b> |
| <b>Tabel 12.</b>    | <b>Stok Karbon Tanah pada Tambak Ikan di Desa Sungai Pasir</b>   | <b>34</b> |
| <b>Tabel 13.</b>    | <b>Stok Karbon Mangrove dan Tambak Ikan di Desa Sungai Pasir</b>   | <b>34</b> |
| <hr/>               |  |           |
| <b>Lampiran 01.</b> | <b>Peta Area Studi</b>   | <b>41</b> |
| <b>Lampiran 02.</b> | <b>Data Kualitas Air di Area Studi</b>   | <b>43</b> |
| <b>Lampiran 03.</b> | <b>Struktur Mangrove dan Analisis Komposisi</b>  | <b>44</b> |
| <b>Lampiran 04.</b> | <b>Berat, Berat Kering, dan C-organik AGB dari Semai mangrove</b>  | <b>47</b> |
| <b>Lampiran 05.</b> | <b>Kerapatan Massa Tanah dan C-organik</b>   | <b>47</b> |
| <b>Lampiran 06.</b> | <b>Dokumentasi Aktivitas Pengambilan Data Lapang</b>   | <b>49</b> |





# 1. PENDAHULUAN DAN RUANG LINGKUP

---

Ekosistem mangrove Indonesia dihadapkan pada tantangan yang kompleks mencakup tantangan dari aspek sosial, ekologi, dan ekonomi. Peta Mangrove Nasional yang dirilis oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada tahun 2021 menunjukkan bahwa total luas ekosistem mangrove Indonesia mencapai 3.364.076 ha atau 20,37% dari total luas mangrove dunia. Namun, sebagian besar dari ekosistem mangrove tersebut telah dikonversi untuk penggunaan lain atau terdegradasi.

Mangrove menyediakan berbagai jasa ekosistem, termasuk perlindungan pantai, habitat pembibitan perikanan dan penyerapan karbon. Potensi mangrove untuk menyimpan karbon lima kali lebih besar dibandingkan dengan hutan hujan tropis (Alongi, 2012). Mangrove merupakan salah satu tanaman yang paling produktif, dengan rata-rata produksi primer bersih sebesar 11,1 MgC/ha/tahun (Alongi, 2014). Alongi (2014) menambahkan bahwa cadangan karbon skala ekosistem rata-rata 956 tC/ha, atau setara dengan hutan tropis yang lembab dan selalu hijau. Murdiyarto et al. (2015) menjelaskan bahwa cadangan karbon tertinggi pada ekosistem mangrove terdapat pada sedimen mangrove. Sedimen mangrove memiliki kemampuan menyimpan karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan simpanan karbon pada pohon mangrove itu sendiri (Murray et al., 2011).

Tingginya nilai jasa dan produktivitas ekosistem mangrove membuat ekosistem ini rentan terhadap konversi lahan, terutama untuk tambak (akuakultur) (Pendleton et al., 2012). Indonesia telah kehilangan hutan mangrove sekitar 600.000 ha untuk tambak udang (Ilman et al., 2016).

Hal ini menyebabkan dan mempengaruhi cadangan dan penyerapan karbon (Rudianto et al., 2020). Selain itu, tambak ikan harus membongkar tanah di ekosistem mangrove. Padahal, sebagian besar cadangan karbon berada di sedimen (Alongi, 2014; Sidik, 2019). Emisi karbon dioksida dari konversi atau degradasi mangrove merupakan penyumbang emisi gas rumah kaca (GRK) global karena gangguan pada tanah menyebabkan peningkatan aktivitas mikroba ketika sedimen C tidak stabil dan terpapar oksigen (Lovelock et al., 2017; Pendleton et al., 2012). Dengan demikian, strategi yang perlu dilakukan untuk memitigasi perubahan iklim adalah dengan mencegah hilangnya mangrove dan menjalankan restorasi mangrove (Duarte et al., 2013; Pendleton et al., 2012).

Upaya restorasi mangrove, terutama untuk tambak yang ditinggalkan, telah memberikan dampak positif yang besar. Sidik et al. (2019) menyimpulkan bahwa setelah sepuluh tahun, hutan mangrove yang telah direstorasi mulai mencapai fungsi dan jasa ekosistem yang serupa dengan tegakan alami. Namun, hutan mangrove yang direstorasi memiliki respirasi tanah yang lebih rendah dibandingkan dengan hutan alami. Hutan mangrove yang direstorasi dan hutan mangrove alami memiliki komposisi NPP dan C tanah yang serupa. Perbedaannya terletak pada sedimen dari kolam budidaya ikan (Sidik et al., 2019). Oleh karena itu, penilaian karbon pada ekosistem mangrove dan tambak yang ditinggalkan perlu dihitung untuk mendapatkan nilai total dari suatu area. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat mengetahui simpanan karbon di tambak untuk mengetahui dampak dari pemanfaatan yang ada.



## 2. HASIL YANG DIHARAPKAN

---

**Hasil dari penelitian ini meliputi:**

1. Kondisi vegetasi mangrove, meliputi Indeks Nilai Penting (INP), indeks dominansi, indeks kekayaan jenis, indeks keanekaragaman jenis, dan indeks pemerataan.
2. Nilai cadangan karbon pada ekosistem mangrove, meliputi cadangan dan penyerapan di atas permukaan tanah, cadangan dan penyerapan di bawah permukaan tanah, dan tanah.
3. Cadangan karbon di tambak, yang mengukur cadangan karbon di dalam tanah.

## 3. PENDEKATAN UNTUK MENCAPAI HASIL YANG DIHARAPKAN (METODE)

---

### 3.1. KONDISI LINGKUNGAN

Kondisi lingkungan dalam penelitian ini dinilai dengan mengukur kualitas air di lokasi penelitian. Pengambilan sampel air dilakukan untuk mengetahui kualitas lingkungan pada 13 titik plot dengan rincian 7 plot tambak dan 6 plot mangrove.

Data yang diambil adalah salinitas air, potensial Hidrogen (pH), oksigen terlarut (DO) dan suhu. Sampel air yang diukur adalah genangan air yang berada paling dekat dengan titik pengambilan plot (titik koordinat plot). Alat yang digunakan antara lain refraktometer untuk mengukur salinitas air, pH meter untuk mengukur tingkat keasaman air, dan DO meter untuk memastikan kadar oksigen terlarut dalam air. Kegiatan pengambilan sampel air dilakukan pada pagi hingga sore hari (Pukul 07.49-15.40 WIB).

### 3.2. KONDISI MANGROVE

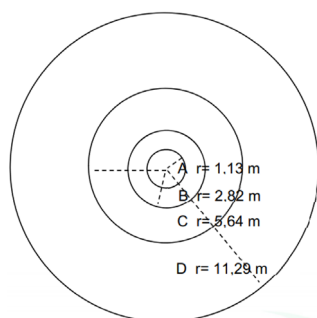
Lokasi pengumpulan data vegetasi dipilih secara acak untuk memastikan keterwakilan wilayah dan keragaman tutupan. Analisis drone menilai kondisi kawasan sebelum survei lapangan. Data hasil drone memberikan informasi penting mengenai jenis tutupan penggunaan lahan, keberadaan, lokasi, luasan, dan tingkat kerapatan vegetasi (Lampiran 1). Berdasarkan informasi yang diperoleh dari analisis foto drone, ditentukan lokasi pengambilan sampel vegetasi.

Pengumpulan data vegetasi mengikuti metodologi yang diuraikan oleh Soerianegara dan Indrawan (2002), sebuah pendekatan yang telah diakui untuk menilai kondisi vegetasi hutan. Metode ini dirancang untuk mengidentifikasi komposisi, kerapatan, dan tingkat keanekaragaman vegetasi hutan, yang dapat memberikan informasi mengenai kondisi dan stabilitas ekosistem secara keseluruhan.

Di lapangan, pengumpulan data menggunakan Global Positioning System (GPS) untuk penandaan lokasi plot yang akurat, kamera untuk dokumentasi, alat tulis, tali penanda plot, pita jahit (phi band) untuk pengukuran diameter, dan lembar penghitungan data flora. Proses dimulai dengan membuat plot melingkar menggunakan tali rafia, yang kemudian dibagi lagi untuk pengukuran yang tepat pada tahap pertumbuhan yang berbeda. Hal ini mencakup radius lingkaran 1,13 meter untuk menilai semai, serasah, dan tumbuhan bawah; 2,82 meter untuk anakan; 5,64 meter untuk pancang; dan 11,29 meter untuk pohon (lihat Gambar 1). Untuk setiap tahap pertumbuhan - semai, anakan, pancang, dan pohon dilakukan pencatatan jenis, tinggi, dan diameter, dengan mengikuti kriteria khusus yang ditetapkan untuk setiap tingkat pertumbuhan:

- **Semai:** Pohon muda dengan diameter kurang dari 2 cm.
- **Anakan:** Pohon muda (pohon kayu) dengan diameter 2 cm - kurang dari 10 cm.
- **Pancang:** Pohon dengan diameter 10 cm - kurang dari 20 cm.
- **Pohon:** Pohon dengan diameter  $\geq$  20 cm.

**Gambar 01. Contoh Bentuk Plot Lingkar.**



A adalah subplot untuk semai, serasah, dan tumbuhan bawah; B untuk subplot anakan; C untuk subplot pancang dan D untuk subplot pohon.

### 3.3. STOK KARBON MANGROVE DAN TAMBAK

Perhitungan cadangan karbon bergantung pada penilaian kandungan biomassa dan bahan organik di lima kolam karbon: biomassa di atas tanah, biomassa di bawah tanah, kayu mati, serasah, dan tanah. Penentuan ini dilakukan melalui metode non-destruktif dengan menggunakan rumus persamaan allometrik untuk estimasi yang akurat. Proses pengumpulan data difasilitasi dengan penggunaan GPS, alat pengukur diameter pohon (phi band), peralatan pengambilan sampel tanah (bor tanah, cool box, topi, plastik sampler, dan kain lap), peta kerja, gunting pangkas, dan alat tulis menulis.

Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah stratified systematic sampling atau simple random sampling, dengan tingkat kesalahan pengambilan sampel yang dapat diterima sebesar 20%. Jumlah minimum plot yang diperlukan dihitung dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti luas areal, biomassa rata-rata, standar deviasi biomassa, dan dimensi plot. Bentuk plot sampel yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan desain melingkar (Gambar 1), yang disesuaikan dengan kondisi lapangan yang spesifik.

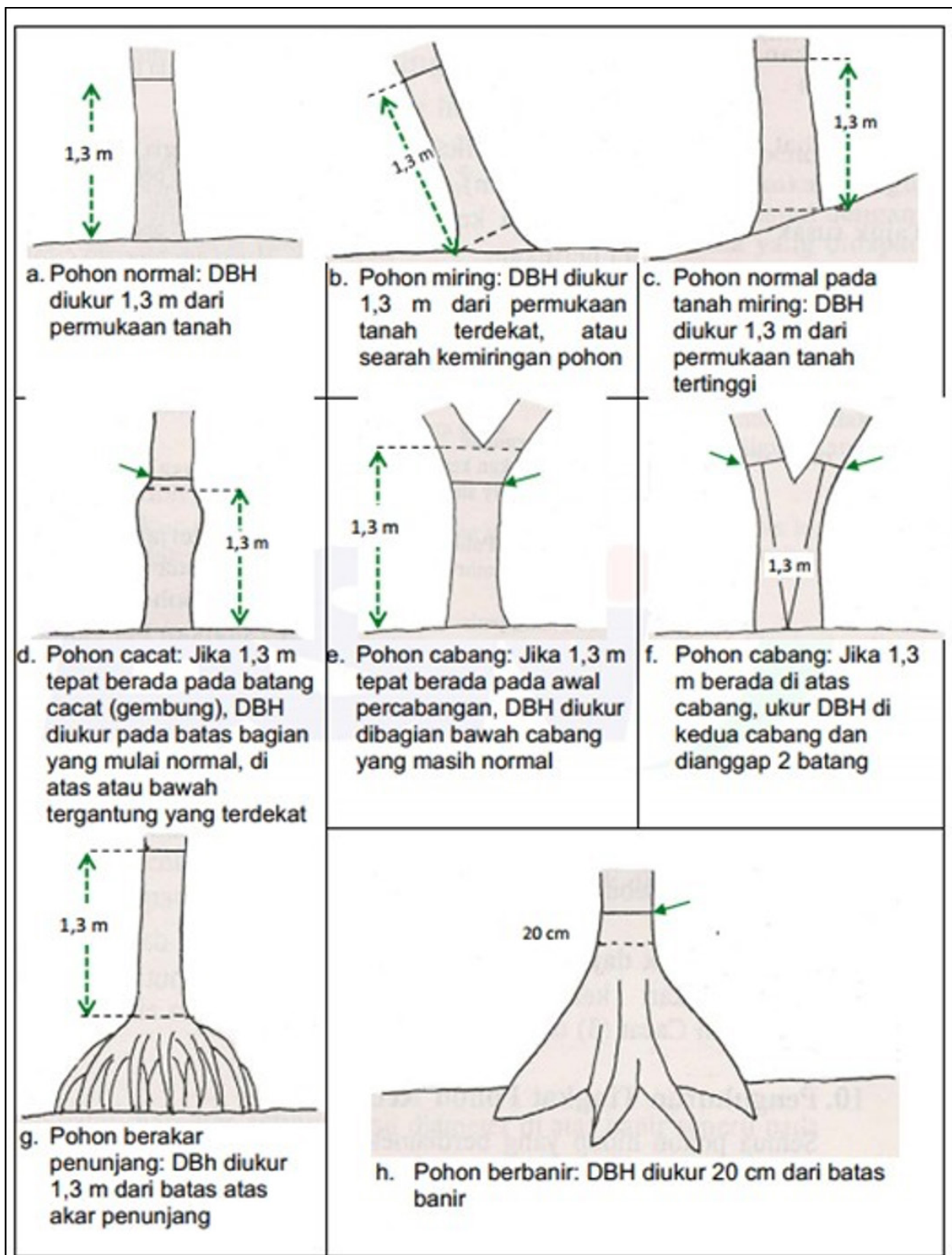
#### Biomassa Di Atas Tanah dan Di Bawah Tanah

##### *Biomassa vegetasi*

Proses pengukuran vegetasi anakan, pancang, dan pohon mengikuti prosedur analisis vegetasi standar. Proses ini meliputi identifikasi jenis vegetasi anakan, pancang, atau pohon, pengukuran diameter setinggi dada, dan pencatatan nilai-nilai tersebut secara teliti pada tally sheet.

Pengukuran diameter setinggi dada untuk berbagai tingkat anakan, pancang, dan pohon (tidak termasuk semai) di lapangan dirinci pada Gambar 2.

Figure 02. Measuring Diameter at Breast Height in Various Tree Conditions



(Sumber: SNI 7724, 2019)

### *Biomassa bibit dan tumbuhan bawah*

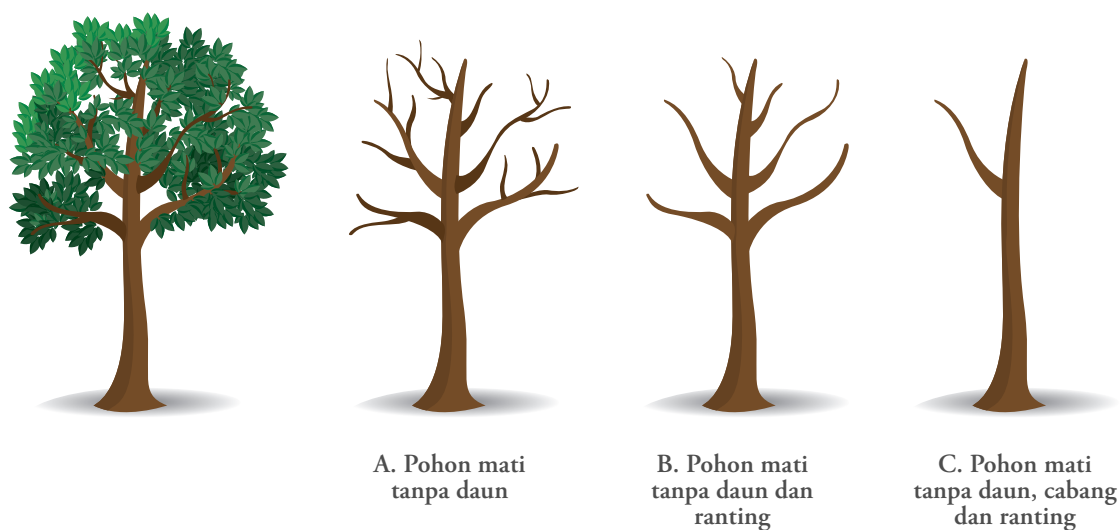
Pengukuran karbon pada semai dan tumbuhan bawah dilakukan dengan mengukur berat basah semai dan tumbuhan bawah. Total berat basah kemudian dicatat, dan sampel dengan berat sekitar  $\pm 300$  gram dipilih untuk dianalisis lebih lanjut di laboratorium.

### *Nekromassa*

Nekromassa adalah komponen tanaman yang telah mati yang berasal dari serasah, daun, ranting, cabang, akar, dan batang utama atau pohon yang telah mati. Jika ditemukan pohon mati di lapangan, maka dilakukan pengukuran diameter setinggi dada, tinggi pohon mati, dan keutuhan pohon mati, kemudian dihitung dengan persamaan volume allometrik. Bentuk integritas pohon mati dapat dilihat pada Gambar 3.

Sementara itu, pengukuran diameter pangkal dan ujung serta panjang total kayu mati dilakukan untuk pengukuran kayu mati yang telah roboh. Selanjutnya volume kayu mati dapat dihitung dengan rumus Brereton. Pengukuran kayu mati kecil dilakukan dengan cara mengumpulkan semua kayu mati pada plot pengukuran, menimbang total berat basah seluruh kayu mati, dan mengambil sampel berat basah sebanyak  $\pm 300$  gram. Sampel berat basah dibawa ke laboratorium untuk dikeringkan hingga mencapai berat konstan, dan berat kering sampel ditimbang.

**Gambar 03. Tingkat Keutuhan Pohon Mati**



Sumber: (Sumber: SNI 7724, 2019)

Gambar 3: Kriteria A adalah tingkat integritas dengan faktor koreksi yang diterapkan sebesar 0,9, B adalah tingkat integritas dengan faktor koreksi yang diterapkan sebesar 0,8, dan C adalah tingkat integritas dengan faktor koreksi yang diterapkan sebesar 0,7.

### *Biomassa Serasah*

Kuantifikasi serasah meliputi pengumpulan serasah di dalam plot yang telah ditentukan, diikuti dengan pengukuran berat basah total dan ekstraksi sampel yang representatif dengan berat sekitar 300 gram. Prosedur ini dilakukan sebelum penilaian biomassa tumbuhan bawah. Khususnya, pengukuran serasah tidak dilakukan di kawasan hutan mangrove karena pengaruh faktor pasang surut air laut, yang mengakibatkan representasi serasah yang berasal dari tegakan mangrove di lokasi tersebut tidak akurat.

Selanjutnya, sampel dengan berat basah dibawa ke laboratorium untuk dikeringkan secara menyeluruh hingga mencapai berat yang konsisten, dan pada saat itu berat kering sampel dicatat.

### *Karbon Tanah*

Cadangan karbon tanah dikumpulkan di 15 plot di setiap lokasi (hutan mangrove dan tambak ikan). Kedalaman tanah diukur dengan menggunakan bor gambut terbuka dengan radius 5 cm di sekitar pusat plot. Cadangan C tanah diukur dengan mengambil sampel tanah pada kedalaman sebagai berikut: 0-15 cm, 15 - 30 cm, 30 - 50 cm, 50 - 100 cm, 100 - 200 cm, 200 - 300 cm, dan 300 - 400 cm (Kauffman dan Donato, 2012). Sub-sampel berukuran 5 cm dikumpulkan pada setiap interval kedalaman untuk analisis laboratorium mengenai kerapatan massa tanah (bulk density) dan kandungan karbon dalam tanah. Dari semua sampel yang dikumpulkan, hanya sampel dari 3 plot dari setiap klasifikasi lahan (mangrove kerapatan tinggi, mangrove kerapatan sedang, mangrove kerapatan rendah, dan tambak) yang dianalisis, dengan mempertimbangkan keterbatasan waktu dan biaya.

## 3.4. ANALISIS DATA

### Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan dianalisis berdasarkan empat parameter air yaitu salinitas, pH, kadar oksigen terlarut, dan suhu air. Hasil pengukuran sampel air dibandingkan dengan nilai baku mutu air laut menurut Lampiran VIII Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (Tabel 1).

Uji statistik deskriptif dilakukan dengan menguji 16 plot pengukuran, sebagai sampel dan bertujuan untuk memberikan gambaran atau deskripsi statistik suatu data yang dilihat mulai dari nilai minimum, nilai maksimum, nilai rata-rata (*mean*), dan standar deviasi masing-masing variabel.

**Tabel 01. Baku Mutu Air laut untuk Biota Laut di Indonesia: Pada Habitat Mangrove**

| Parameter        | Satuan | Pelabuhan | Pariwisata Laut | Biota Laut |
|------------------|--------|-----------|-----------------|------------|
| Salinitas        | %      | Natural   | Natural         | s/d 34     |
| pH               | -      | 6,5 – 8,5 | 7 – 8,5         | 7 – 8,5    |
| Oksigen terlarut | mg/L   | -         | >5              | >5         |
| Suhu             | °C     | Natural   | Natural         | 28-32      |

Sumber: Lampiran VIII Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

## Kondisi Mangrove

Kondisi mangrove dalam penelitian ini dianalisis dengan menggunakan metode analisis vegetasi. Spesies tumbuhan diidentifikasi dengan menggunakan nama-nama lokal yang diberikan oleh masyarakat setempat. Selanjutnya, identifikasi ini dikonfirmasi dengan melakukan referensi silang antara foto-foto atau sampel herbarium daun, batang, buah, dan bunga dari jenis-jenis pohon yang ditemukan di lapangan dengan buku-buku referensi tentang pengenalan jenis-jenis mangrove di Indonesia.

### *Indeks Nilai Penting (INP)*

Indeks Nilai Penting (INP) digunakan untuk mengetahui komposisi jenis dan dominasi suatu jenis dalam suatu tegakan hutan atau vegetasi. Nilai INP dihitung dengan menjumlahkan nilai kerapatan relatif (RA), frekuensi relatif (RF), dan dominansi relatif (RD) suatu populasi (Soerianegara dan Indrawan, 2002).

$$IVI = RA + RF + RD$$

Kepadatan populasi, dominansi, kepadatan relatif, dominansi relatif, dan nilai penting spesies dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kerapatan} = \frac{\text{Jumlah Individu}}{\text{Total Area Sampel}}$$

$$\text{Nilai Kerapatan Relatif (RA - \%)} = \frac{\text{Kerapatan Spesies}}{\text{Total Kerapatan Dari Seluruh Spesies}} \times 100$$

$$\text{Frekuensi} = \frac{\text{Frekuensi Kejadian Spesies pada Plot}}{\text{Frekuensi Kejadian Spesies pada Seluruh Plot}}$$

$$\text{Frekuensi Relatif (RF - \%)} = \frac{\text{Frekuensi Spesies}}{\text{Frekuensi dari Seluruh Spesies}} \times 100$$

$$\text{Dominansi (m}^2 \text{ / ha)} = \frac{\text{Total Area Basal Pohon dari Spesies di Semua Plot}}{\text{Total Area Plot Terukur}}$$

$$\text{Dominansi Relatif (RD - \%)} = \frac{\text{Dominansi Spesies}}{\text{Total Spesies}} \times 100$$

### *Indeks Dominansi (D)*

Seperti yang dijelaskan oleh Odum (1993), indeks dominansi digunakan untuk menilai prevalensi spesies di dalam suatu komunitas, yang menunjukkan daerah-daerah yang memiliki dominansi terkonsentrasi. Indeks ini dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$D = \sum \left( \frac{n_i}{N} \right)^2$$



di mana, D adalah indeks dominansi, ni adalah jumlah individu per spesies, dan N adalah jumlah total individu per plot penelitian.

#### *Indeks Kekayaan Jenis Margalef (R)*

Untuk mengukur kekayaan jenis spesies, digunakan index Margalef (Ludwigs dan Reynold, 1988):

$$R = \frac{S - 1}{\ln(N)}$$

di mana, R adalah indeks kekayaan jenis spesies Margalef, S adalah jumlah spesies, dan N adalah jumlah total individu. Menurut Magurran (1988), nilai R di bawah 3,5 mengindikasikan kekayaan jenis spesies yang rendah, sedangkan nilai antara 3,5 dan 5,0 mengindikasikan kekayaan jenis spesies yang sedang. Nilai R yang melebihi 5,0 mengindikasikan kekayaan jenis spesies yang tinggi.

#### *Indeks Keanekaragaman Spesies (H')*

Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener (H') merupakan metrik yang digunakan secara luas dalam ekologi komunitas untuk menilai keanekaragaman spesies. Indeks ini memberikan informasi yang berharga mengenai keanekaragaman spesies di dalam suatu ekosistem (Ludwig dan Reynold, 1988). Indeks keanekaragaman dihitung sebagai berikut:

$$H' = - \sum_{i=1}^s \left[ \left( \frac{n_i}{N} \right) \ln \left( \frac{n_i}{N} \right) \right]$$

dimana, H' adalah keanekaragaman jenis Shannon-Wiener, s adalah jumlah jenis, ni adalah kerapatan jenis ke-i, dan N adalah kerapatan total. Dalam analisis indeks keanekaragaman spesies, ada tiga kriteria yang digunakan. Nilai H' < 2 dikategorikan sebagai rendah, sedangkan nilai antara 2 < H' < 3 menempatkannya dalam kategori sedang. Jika H' > 3, maka termasuk dalam kategori tinggi (Magurran, 2004)

#### *Indeks Kemerataan (J')*

Perhitungan indeks kemerataan menggunakan persamaan berikut:

$$J' = \frac{H'}{\ln(s)}$$

di mana J' adalah indeks kemerataan, H' adalah indeks keanekaragaman jenis, dan s adalah jumlah jenis. Menurut Magurran (2004), nilai J' kurang dari 0,3 menunjukkan tingkat kemerataan spesies yang rendah, sedangkan nilai antara 0,3 dan 0,6 menunjukkan kemerataan yang sedang, dan nilai yang lebih besar dari 0,6 menunjukkan tingkat kemerataan spesies yang tinggi.

### **Analisis Stok Karbon**

Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon tegakan mengikuti pedoman yang tercantum dalam Penyempurnaan Pedoman IPCC 2006 untuk Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional (2019), SNI 7724 (2019), Metode Karbon Biru Pesisir (2014), dan Kertas Kerja 86 (Kauffman dan Donato, 2012).

Analisis cadangan karbon tegakan dihitung untuk setiap tegakan atau tipe hutan, yang meliputi hutan gambut, hutan dataran rendah (terdiri dari hutan alam dan hutan tanaman), dan hutan mangrove di dalam wilayah studi. Analisis ini menggunakan persamaan allometrik untuk mengestimasi kandungan biomassa di atas dan di bawah permukaan tanah, yang meliputi biomassa di atas permukaan tanah dan biomassa di bawah permukaan tanah.

Beberapa persamaan allometrik untuk jenis mangrove yang dapat digunakan antara lain persamaan allometrik dari Dharmawan (2010), Komiyama et al. (2005), dan Kusmana et al. (2018) serta menggunakan referensi kerapatan kayu dari Komiyama et al. (2005).

Persamaan rumus allometrik yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Penentuan berat jenis kayu dilakukan dengan mengacu pada database berat jenis kayu ICRAF (Tabel 4). Setiap cadangan karbon di area studi mangrove dihitung dengan mengikuti metode yang diuraikan dalam SNI 7729 (2019).

Cadangan karbon ekosistem diestimasi dengan menjumlahkan seluruh penyimpanan karbon (carbon pool) (IPCC, 2006; Persamaan B.1).

**Tabel 02. Persamaan Allometrik untuk Menduga Biomassa Pada Permukaan Tanah Di Hutan Mangrove**

| Spesies                      | Persamaan Allometrik        | Sumber               |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| <i>Avicennia alba</i>        | $B = 0,251 \rho (D)^{2,46}$ | Komiyama et al. 2005 |
| <i>Sonneratia caseolaris</i> | $AGB = 0.258 (D)^{2.288}$   | Kusmana et al. 2018  |

Keterangan: B = biomassa;  $\rho$  = kerapatan kayu; D = diameter setinggi dada (dbh); AGB = biomassa di atas permukaan tanah.

**Tabel 03. Persamaan Allometrik untuk Menduga Biomassa di Bawah Permukaan Tanah di Habitat Mangrove**

| Spesies                      | Persamaan Allometrik                    | Sumber                 |
|------------------------------|---|------------------------|
| <i>Avicennia alba</i>        | $BGB = 0.199 (\rho)^{0.899} (D)^{2.22}$ | Komiyama et al. (2005) |
| <i>Sonneratia caseolaris</i> | $BGB = 0.230 \rho (D^2H)^{0.740}$       | Kusmana et al. (2018)  |

Keterangan: BGB = biomassa di bawah permukaan tanah;  $\rho$  = kerapatan kayu; D = diameter setinggi dada (dbh); H = berat pohon

**Tabel 04. Kerapatan Spesies Mangrove**

| Spesies               | Persamaan Allometrik | Sumber        |
|-----------------------|----------------------|---------------|
| <i>Avicennia alba</i> | 0.51                 | Komiyama 2005 |





## 4. JADWAL KEGIATAN

Penelitian ini dimulai dengan penyusunan kerangka acuan penelitian yang telah diselesaikan pada bulan Agustus 2023. Dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG), pada bulan September 2023, tim melakukan klasifikasi data spasial di lokasi penelitian dan digitasi data tutupan lahan seluas 27 hektar yang diperoleh dari foto aerial drone. Analisis data spasial juga mengklasifikasikan mangrove dengan kerapatan rendah, mangrove dengan kerapatan sedang, mangrove dengan kerapatan tinggi, dan tambak. Dari data spasial tersebut, tim peneliti menetapkan 30 titik sampling seluas 13,34 hektar, masing-masing 15 titik sampling di area tambak dan area mangrove.

Dari tanggal 5-11 Oktober 2023, tim peneliti mengumpulkan sampel di tiga carbon pool: biomassa di atas tanah, biomassa di bawah tanah dan karbon organik tanah. Setelah itu, penanganan dan persiapan sampel pasca-kerja lapangan dilakukan pada tanggal 13 Oktober 2023, rapat koordinasi dan tim pada tanggal 14-16 Oktober 2023, dan dilanjutkan dengan pengiriman sampel dan inisiasi analisis pada tanggal 18-23 Oktober 2023. Pengolahan data, analisis, dan penulisan laporan dilakukan dari tanggal 13 Oktober 2023 hingga minggu ke-3 bulan November

## 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1. KONDISI LINGKUNGAN

Secara umum, kondisi kualitas air di lokasi penelitian masih dalam kondisi baik dan dalam kriteria baku mutu, hanya beberapa stasiun saja yang tidak memenuhi baku mutu (Tabel 5 dan Lampiran 2). Untuk variabel salinitas, nilai terendah adalah 18, dan nilai tertinggi adalah 38, dengan rata-rata salinitas dari 16 data adalah 29,44. Nilai standar deviasi salinitas adalah 5,01, yang lebih rendah dari nilai rata-ratanya. Variabel pH menunjukkan nilai terkecil 6,52 dan nilai terbesar 8,52, dengan rata-rata 7,54. Nilai standar deviasi adalah 0,67, yang lebih rendah dari rata-rata. Variabel oksigen terlarut memiliki nilai terkecil 3,5 dan nilai terbesar 7,2, dengan rata-rata 5,44. Nilai standar deviasi sebesar 1,29 yang lebih rendah dari nilai rata-rata. Variabel suhu memiliki nilai terkecil 28 dan nilai tertinggi 34,3, dengan rata-rata 31,1. Nilai standar deviasi sebesar 2,25, lebih rendah dari nilai rata-rata.

Tabel 05. Kualitas Air di Lokasi Studi

| Variabel         | Min  | Max  | Rata-rata | Standar deviasi | Standar kualitas air dari air laut |
|------------------|------|------|-----------|-----------------|------------------------------------|
| Salinitas        | 18   | 38   | 29.44     | 5.01            | ± 34.00                            |
| pH               | 6.52 | 8.52 | 7.54      | 0.67            | 7.00 – 8.50                        |
| Oksigen terlarut | 3.5  | 7.4  | 5.44      | 1.29            | >5.00                              |
| Suhu             | 28   | 34.3 | 31.12     | 2.25            | 28.00-32.00                        |

Dibandingkan dengan standar baku mutu air laut yang diuraikan dalam Lampiran VIII Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, beberapa plot di lokasi penelitian tidak memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Namun, secara keseluruhan, kualitas air di lokasi penelitian memenuhi standar yang ditetapkan untuk air laut.

Salinitas, pH, kandungan oksigen terlarut, dan suhu, rata-rata berada dalam batas yang dapat diterima yang ditetapkan oleh standar kualitas air laut, dengan nilai yang tidak melebihi ambang batas yang ditentukan. Secara keseluruhan, kondisi ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan relatif kondusif bagi kehidupan mangrove. Namun demikian, disarankan untuk mengatasi genangan air untuk rehabilitasi yang efektif dengan menambahkan air untuk mengoptimalkan kondisi.

## 5.2. KONDISI MANGROVE

Terdapat beberapa jenis ekosistem mangrove di Sungai Pasir yang ditemukan di lokasi penelitian, yang terdiri dari empat jenis mangrove, yaitu api-api (*Avicennia alba*), nipah (*Nypa fruticans*), bakau (*Rhizophora mucronata*), dan rambai (*Sonneratia caseolaris*). Terdapat Indeks Nilai Penting (INP) yang digunakan untuk menentukan dominasi atau penguasaan suatu spesies. Selain itu, data vegetasi yang telah diperoleh melalui pengukuran kemudian diolah untuk mendapatkan Indeks Keanekaragaman Jenis Tumbuhan ( $H'$ ), Indeks Dominansi Jenis Tumbuhan (D), Indeks Kekayaan Jenis Tumbuhan (R), dan Indeks Kemerataan Jenis ( $J'$ ).

Uraian lengkap mengenai jenis-jenis dominan yang ditemukan di lokasi penelitian, meliputi komunitas tumbuhan bawah dan tingkat pertumbuhan (semai, anakan, pancang, dan pohon) pada tiga tipe tutupan lahan mangrove rapat, mangrove sedang, dan mangrove jarang-disajikan pada sub-bab berikutnya.

### • KOMPOSISI MANGROVE

Hasil pengumpulan data pada tingkat pertumbuhan yang berbeda pada tutupan lahan mangrove yang tinggi dapat dilihat pada Tabel 6. Jenis yang memiliki kelimpahan tinggi adalah *S. caseolaris*. yang ditemukan pada semua tingkat pertumbuhan mulai dari semai, anakan, pancang dan pohon. INP *A. alba* untuk tingkat semai sebesar 200%, dan INP untuk tingkat pancang dan pohon sebesar 300%. Jenis yang paling dominan pada tingkat semai adalah *S. caseolaris*., dengan nilai INP 178,25%, lebih tinggi dari jenis lainnya yaitu *R. mucronata* dan *A. speciosum*.

Demikian pula, *A. alba* terus menunjukkan dominasi di dalam hutan mangrove dengan kerapatan sedang, terutama pada tingkat anakan dan pancang, dengan nilai INP 200% dan 300%. Tren ini berlanjut pada tingkat semai, di mana *A. alba* mendominasi dengan nilai INP 165,00%, melebihi spesies *N. fruticans*. Namun, tingkat pertumbuhan pohon tidak teridentifikasi pada tutupan mangrove dengan kerapatan sedang.

Pada mangrove dengan kerapatan rendah, *A. alba* mendominasi pada semua tingkat pertumbuhan, termasuk semai dan anakan, sedangkan pancang dan pohon tidak teramati. Hal ini terlihat dari nilai INP untuk *A. alba* yang mencapai 162,82% pada tingkat semai dan 28,33% pada tingkat anakan, melebihi *S. caseolaris*.

- **KOMPOSISI MANGROVE SECARA KESELURUHAN**

Studi ini juga menyajikan data dominasi spesies dengan menggabungkan semua jenis tutupan lahan mangrove dengan kerapatan tinggi, sedang, dan rendah. Tujuannya adalah untuk menilai kondisi ekosistem mangrove secara keseluruhan (Lampiran 3). Nilai INP menunjukkan bahwa *A. alba* muncul sebagai spesies yang paling dominan di setiap tingkat pertumbuhan. Tingkat pancang dan pohon *A. alba* menunjukkan nilai INP sebesar 300%, sedangkan tingkat anakan menunjukkan nilai INP sebesar 192,72%, yang menunjukkan kemampuan beradaptasi yang sangat baik dibandingkan dengan *S. caseolaris* di lokasi penelitian. Demikian pula dengan tingkat semai *A. alba* yang menunjukkan INP sebesar 175,55%, lebih tinggi dibandingkan dengan jenis-jenis lainnya seperti *A. speciosum*, *N. fruticans*, *Rhizophora mucronata*, dan *S. caseolaris* (Tabel 6).

**Tabel 06. Nilai Komposisi Spesies Pada Tingkat Semai di Tutupan Area Mangrove Kerapatan Tinggi**

| Klasifikasi mangrove      | Level pertumbuhan | Spesies               | Family               | Indeks | Nilai indeks |
|---------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|--------|--------------|
| Mangrove kerapatan tinggi | Pohon             | <i>Avicennia alba</i> | <i>Avicenniaceae</i> | RA (%) | 100.00       |
|                           |                   |                       |                      | RF (%) | 100.00       |
|                           |                   |                       |                      | RD (%) | 100.00       |
|                           |                   |                       |                      | IVI    | 300.00       |
|                           | Pancang           | <i>Avicennia alba</i> | <i>Avicenniaceae</i> | RA (%) | 100.00       |
|                           |                   |                       |                      | RF (%) | 100.00       |
|                           |                   |                       |                      | RD (%) | 100.00       |
|                           |                   |                       |                      | IVI    | 300.00       |
|                           | Anakan            | <i>Avicennia alba</i> | <i>Avicenniaceae</i> | RA (%) | 100.00       |
|                           |                   |                       |                      | RF (%) | 100.00       |
|                           |                   |                       |                      | IVI    | 200.00       |
|                           | Semai             | <i>Avicennia alba</i> | <i>Avicenniaceae</i> | RA (%) | 98.25        |
| RF (%)                    |                   |                       |                      | 80.00  |              |
| IVI                       |                   |                       |                      | 178.25 |              |

| Klasifikasi mangrove      | Level pertumbuhan | Spesies                      | Family                | Indeks | Nilai indeks |
|---------------------------|-------------------|------------------------------|-----------------------|--------|--------------|
| Mangrove kerapatan tinggi | Semai             | <i>Rhizophora mucronata</i>  | <i>Rhizophoraceae</i> | RA (%) | 0.87         |
|                           |                   |                              |                       | RF (%) | 10.00        |
|                           |                   |                              |                       | IVI    | 10.87        |
|                           |                   | <i>Acrostichum speciosum</i> | <i>Acanthaceae</i>    | RA (%) | 0.87         |
|                           |                   |                              |                       | RF (%) | 10.00        |
|                           |                   |                              |                       | IVI    | 10.87        |
| Mangrove Kerapatan Sedang | Pancang           | <i>Avicennia alba</i>        | <i>Avicenniaceae</i>  | RA (%) | 100.00       |
|                           |                   |                              |                       | RF (%) | 100.00       |
|                           |                   |                              |                       | RD (%) | 100.00       |
|                           |                   |                              |                       | IVI    | 300.00       |
|                           | Anakan            | <i>Avicennia alba</i>        | <i>Avicenniaceae</i>  | RA (%) | 100.00       |
|                           |                   |                              |                       | RF (%) | 100.00       |
|                           |                   |                              |                       | IVI    | 200.00       |
|                           | Semai             | <i>Avicennia alba</i>        | <i>Avicenniaceae</i>  | RA (%) | 90.00        |
|                           |                   |                              |                       | RF (%) | 75.00        |
|                           |                   |                              |                       | IVI    | 165.00       |
|                           |                   | <i>Nypa fruticans</i>        | <i>Arecaceae</i>      | RA (%) | 10.00        |
|                           |                   |                              |                       | RF (%) | 25.00        |
| IVI                       |                   |                              |                       | 35.00  |              |
| Mangrove Kerapatan Rendah | Anakan            | <i>Avicennia alba</i>        | <i>Avicenniaceae</i>  | RA (%) | 96.15        |
|                           |                   |                              |                       | RF (%) | 66.67        |
|                           |                   |                              |                       | IVI    | 162.82       |



| Klasifikasi mangrove                     | Level pertumbuhan | Spesies                      | Family                | Indeks | Nilai indeks |
|--|-------------------|------------------------------|-----------------------|--------|--------------|
| Mangrove Kerapatan Rendah                | Anakan            | <i>Sonneratia caseolaris</i> | <i>Sonneratiaceae</i> | RA (%) | 3.85         |
|  |                   |                              |                       | RF (%) | 33.33        |
|  |                   |                              |                       | IVI    | 37.18        |
|  | Semai             | <i>Avicennia alba</i>        | <i>Avicenniaceae</i>  | RA (%) | 96.67        |
|  |                   |                              |                       | RF (%) | 75.00        |
|  |                   |                              |                       | IVI    | 171.67       |
|  |                   | <i>Sonneratia caseolaris</i> | <i>Sonneratiaceae</i> | RA (%) | 3.33         |
|  |                   |                              |                       | RF (%) | 25.00        |
|  |                   |                              |                       | IVI    | 28.33        |
| Tutupan Area Mangrove Secara Keseluruhan | Pohon             | <i>Avicennia alba</i>        | <i>Avicenniaceae</i>  | RA (%) | 100.00       |
|  |                   |                              |                       | RF (%) | 100.00       |
|  |                   |                              |                       | RD (%) | 100.00       |
|  |                   |                              |                       | IVI    | 300.00       |
|  | Pancang           | <i>Avicennia alba</i>        | <i>Avicenniaceae</i>  | RA (%) | 100.00       |
|  |                   |                              |                       | RF (%) | 100.00       |
|  |                   |                              |                       | RD (%) | 100.00       |
|  |                   |                              |                       | IVI    | 300.00       |
|  | Anakan            | <i>Avicennia alba</i>        | <i>Avicenniaceae</i>  | RA (%) | 99.39        |
|  |                   |                              |                       | RF (%) | 93.33        |
|  |                   |                              |                       | IVI    | 192.72       |

| Mangrove classification                  | Growth level          | Species                      | Family                | Index  | Index value |
|--|-----------------------|------------------------------|-----------------------|--------|-------------|
| Tutupan Area Mangrove Secara Keseluruhan | Anakan                | <i>Sonneratia caseolaris</i> | <i>Sonneratiaceae</i> | RA (%) | 0.61        |
|  |                       |                              |                       | RF (%) | 6.67        |
|  |                       |                              |                       | IVI    | 7.28        |
|  | Semai                 | <i>Acrostichum speciosum</i> | <i>Acanthaceae</i>    | RA (%) | 0.74        |
|  |                       |                              |                       | RF (%) | 5.56        |
|  |                       |                              |                       | IVI    | 6.30        |
|  |                       | <i>Avicennia alba</i>        | <i>Avicenniaceae</i>  | RA (%) | 97.77       |
|  |                       |                              |                       | RF (%) | 77.78       |
|  |                       |                              |                       | IVI    | 175.55      |
|  |                       | <i>Nypa fruticans</i>        | <i>Areaceae</i>       | RA (%) | 0.37        |
|  |                       |                              |                       | RF (%) | 5.56        |
|  |                       |                              |                       | IVI    | 5.93        |
|  |                       | <i>Rhizophora mucronata</i>  | <i>Rhizophoraceae</i> | RA (%) | 0.74        |
|  |                       |                              |                       | RF (%) | 5.56        |
|  |                       |                              |                       | IVI    | 6.30        |
| <i>Sonneratia caseolaris</i>             | <i>Sonneratiaceae</i> | RA (%)                       | 0.37                  |        |             |
|  |                       | RF (%)                       | 5.56                  |        |             |
|  |                       | IVI                          | 5.93                  |        |             |

Keterangan: RA = Relative Density, RF = Relative Frequency, RD = Relative Dominance, VI=Importance Value Index.

## • INDEKS KEANEKARAGAMAN, KEKAYAAN, DAN KEMERATAAN MANGROVE

Kondisi vegetasi mangrove pada penelitian ini juga dianalisis dengan menghitung nilai indeks keanekaragaman jenis ( $H'$ ), indeks dominansi ( $D$ ), indeks kemerataan jenis ( $J'$ ), dan indeks kekayaan jenis ( $R$ ). Data kondisi vegetasi untuk setiap tipe tutupan lahan mangrove ditunjukkan pada Tabel 7.

Nilai keanekaragaman, pemerataan, dan kekayaan jenis menunjukkan nilai yang rendah (disimbolkan dengan c) pada setiap tipe tutupan lahan (mangrove kerapatan rendah, kerapatan sedang, dan kerapatan tinggi) dan pada setiap tingkat pertumbuhan mulai dari semai, anakan, pancang, dan pohon. Sementara itu, indeks dominansi (D) pada setiap tingkat pertumbuhan semai, anakan, pancang, dan pohon menunjukkan nilai yang tinggi (a) dengan angka yang bervariasi berkisar antara 0,22 - 1,00, yang berarti nilai tersebut menunjukkan adanya pemusatan jenis-jenis tumbuhan pada komunitas mangrove yang tidak tersebar secara merata. Data tersebut menunjukkan bahwa A. alba memiliki indeks dominansi tertinggi di antara jenis-jenis lainnya, yang menunjukkan kemampuan adaptasi yang luar biasa dibandingkan dengan jenis-jenis lainnya.

Indeks keanekaragaman jenis ( $H'$ ) pada tingkat semai dan tumbuhan bawah dihitung sebesar 0,1365, yang menempatkannya dalam kategori rendah. Selain itu, kekayaan jenis (R) untuk tingkat semai dan tumbuhan bawah dikategorikan rendah, dengan nilai R sebesar 0,715. Angka pemerataan jenis ( $J'$ ) mencapai 0,0848, yang mengindikasikan tingkat yang relatif rendah.

- **INDEKS KEANEKARAGAMAN, KEKAYAAN, DAN KEMERATAAN MANGROVE SECARA KESELURUHAN**

Indeks keanekaragaman jenis ( $H'$ ), kekayaan (R), dan pemerataan ( $J'$ ) pada semua tingkat pertumbuhan termasuk dalam kategori rendah, dengan kisaran 0,00-0,14 untuk  $H'$ , 0,00-0,72 untuk R, dan 0,00-0,08 untuk  $J'$  (lihat Tabel 7). Indeks dominansi pada semua tingkat pertumbuhan berkisar antara 0,00-1,00, dengan A. alba tercatat memiliki nilai tertinggi di antara jenis-jenis lainnya, yang mengindikasikan bahwa jenis ini mendominasi ekosistem.

**Table 07. Species Composition in Sungai Pasir Village Based on the Diversity, Richness, and Evenness Index**

| Klasifikasi Mangrove      | Indeks | Level Pertumbuhan |                   |                   |                     |
|---------------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
|                           |        | Pohon             | Pancang           | Anakan            | Semai               |
| Mangrove Kerapatan Tinggi | $H'$   | 0.00 <sup>c</sup> | 0.00 <sup>c</sup> | 0.00 <sup>c</sup> | 0.1001 <sup>c</sup> |
|                           | D      | 0.22 <sup>c</sup> | 1.00 <sup>a</sup> | 1.00 <sup>a</sup> | 0.9654 <sup>a</sup> |
|                           | $J'$   | 0.00 <sup>c</sup> | 0.00 <sup>c</sup> | 0.00 <sup>c</sup> | 0.09 <sup>c</sup>   |
|                           | R      | 0.00 <sup>c</sup> | 0.00 <sup>c</sup> | 0.00 <sup>c</sup> | 0.368 <sup>c</sup>  |
| Mangrove Kerapatan Sedang | $H'$   |                   | 0.00 <sup>c</sup> | 0.00 <sup>c</sup> | 0.33 <sup>c</sup>   |
|                           | D      |                   | 1.00 <sup>a</sup> | 1.00 <sup>a</sup> | 0.82 <sup>a</sup>   |
|                           | $J'$   |                   | 0.00 <sup>c</sup> | 0.00 <sup>c</sup> | 0.47 <sup>c</sup>   |
|                           | R      |                   | 0.00 <sup>c</sup> | 0.00 <sup>c</sup> | 0.43 <sup>c</sup>   |

| Klasifikasi Mangrove                     | Indeks | Level Pertumbuhan |                   |                     |                     |
|--|--------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
|  |        | Pohon             | Pancang           | Anakan              | Semai               |
| Mangrove Kerapatan Rendah                | H'     |                   |                   | 0.163 <sup>c</sup>  | 0.1461 <sup>c</sup> |
|  | D      |                   |                   | 0.926 <sup>a</sup>  | 0.9356 <sup>a</sup> |
|  | J'     |                   |                   | 0.24 <sup>c</sup>   | 0.21 <sup>c</sup>   |
|  | R      |                   |                   | 0.31 <sup>c</sup>   | 0.294 <sup>c</sup>  |
| Tutupan Area Mangrove secara Keseluruhan | H'     | 0.00 <sup>c</sup> | 0.00 <sup>c</sup> | 0.0372 <sup>c</sup> | 0.1365 <sup>c</sup> |
|  | D      | 1.00 <sup>a</sup> | 1.00 <sup>a</sup> | 0.9879 <sup>a</sup> | 0.9560 <sup>a</sup> |
|  | J'     | 0.00 <sup>c</sup> | 0.00 <sup>c</sup> | 0.0536 <sup>c</sup> | 0.0848 <sup>c</sup> |
|  | R      | 0.00 <sup>c</sup> | 0.00 <sup>c</sup> | 0.1961 <sup>c</sup> | 0.7150 <sup>c</sup> |

Keterangan: a = tinggi; b= sedang; c= rendah; H' = indeks keanekaragaman spesies; D = indeks dominansi; J' = indeks pemerataan; dan R = indeks kekayaan .

### 5.3. KONDISI TAMBAK

Masyarakat lokal di Desa Sungai Pasir mulai mengenal budidaya tambak pada tahun 1993 ketika masyarakat suku Jawa yang berasal dari Pulau Jawa, diperkenalkan dan menetap di Sungai Pasir. Masyarakat suku Jawa tersebut memperkenalkan tambak kepada masyarakat setempat, sehingga mendorong mereka untuk mengalokasikan sebagian lahan mangrove mereka secara gratis untuk dijadikan tambak ikan bandeng dan udang. Awalnya masyarakat ragu akan kesesuaian lahan mangrove untuk dijadikan tambak, namun lambat laun mereka menyadari prospek bisnis tambak yang menjanjikan. Akhirnya, masyarakat setempat menerima usaha ini dan dengan sukarela mengubah lahan mereka menjadi tambak.

Ada dua jenis tambak yang ada di Sungai Pasir, yaitu tambak modern dan tambak tradisional. Fokus dari penelitian ini adalah tambak tradisional yang dibangun oleh masyarakat. Tambak-tambak ini terletak di sepanjang pantai di Desa Sungai Pasir, dibangun dengan membuka lahan mangrove yang berjarak 150 meter dari garis pantai. Pembangunan satu blok tambak membutuhkan biaya sekitar Rp 60.000.000 yang mencakup seluruh proses, mulai dari pembukaan lahan tambak hingga operasional.

Operasional tambak telah berlangsung sepanjang tahun sejak tahun 1993, dan tambak dibersihkan setiap kali selesai panen dengan cara dikeringkan dan diberi larutan, termasuk racun dari akar tuba untuk persiapan penebaran benih. Luasan setiap blok tambak berkisar antara 2 hingga 4 ha dengan kedalaman dataran tengah 60 cm. Sebuah tanggul mengelilingi setiap kolam dengan ketinggian sekitar 80 cm dari dasar kolam. Selain itu, parit selebar 1-2 meter dengan kedalaman 80 - 100 cm dibangun di sekeliling tepi bawah tanggul. Desain ini memastikan pengumpulan air selama musim kemarau yang berkepanjangan, terutama di tepi kolam yang kedalamannya lebih besar daripada bagian tengah kolam.

Komoditas yang dibudidayakan di tambak ini adalah udang dan bandeng. Di tambak tradisional, sebagian besar orang membudidayakan bandeng, dengan hanya sebagian kecil yang membudidayakan udang windu karena relatif lebih mudah dan hasilnya lebih tinggi. Di sisi lain, udang vannamei sebagian besar dibudidayakan di tambak modern yang disebut sebagai tambak udang vaname. Sekali panen bandeng dapat menghasilkan hingga 1 ton, dengan harga jual Rp 18.000 per kilogram. Sementara itu, sekali panen udang windu dapat mencapai 100 kg, dengan harga jual Rp. 100.000 per kilogram. Baik udang maupun bandeng biasanya dipanen dua kali dalam setahun, sekitar 4-5 bulan sekali. Hasil panen biasanya dijual ke pasar atau tengkulak. Benih udang dan bandeng untuk budidaya didatangkan dari Pulau Jawa, dengan harga pembelian sekitar Rp. 200 per ekor. Jumlah benih yang didistribusikan dalam satu kolam bervariasi dari 6.000 hingga 10.000 ekor, tergantung pada ukuran kolam. Selain budidaya ikan, masyarakat juga telah menerapkan praktik inovatif dengan membudidayakan berbagai jenis sayuran seperti cabai, labu, jagung, dan semangka di sepanjang pematang tambak.

## 5.4. STOK KARBON MANGROVE DAN TAMBAK

### Stok Karbon Mangrove

Tumbuhnya kesadaran akan hutan sebagai jasa ekosistem yang tak ternilai sangat erat kaitannya dengan meningkatnya keprihatinan global akan perubahan iklim, yang disebabkan oleh meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Hutan sangat penting dalam menyediakan oksigen dan menyerap karbon dioksida, sehingga hutan berperan penting dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Karbon disimpan dalam empat kelompok utama di dalam ekosistem hutan: biomassa di atas tanah, biomassa di bawah tanah, bahan organik mati, dan karbon organik tanah. Tercatat, hampir 50% biomassa vegetasi hutan terdiri dari karbon.

Hutan mangrove muncul sebagai penyimpan karbon yang sangat efektif, melebihi hutan tropis dataran rendah sebanyak tiga hingga lima kali lipat (Kauffman dan Donato, 2012). Selain itu, hutan mangrove memiliki kapasitas yang lebih tinggi untuk menyerap unsur karbon dari atmosfer dibandingkan dengan jenis hutan lainnya (Imiliyana et al., 2012). Mengingat fungsi jasa lingkungannya yang luar biasa, maka menilai potensi penyimpanan karbon hutan mangrove menjadi sangat penting. Selama kegiatan penghitungan karbon yang dilakukan di Desa Sungai Pasir, ada empat spesies mangrove yang teridentifikasi: *A. alba*, *N. fruticans*, *R. mucronata*, dan *S. caseolaris*, dengan *A. alba* sebagai spesies yang dominan. Perhitungan tersebut mempertimbangkan stok karbon di tiga kelompok karbon: biomassa di atas tanah, biomassa di bawah tanah, dan karbon organik tanah. Perlu dicatat bahwa dalam ekosistem mangrove, serasah dan tumbuhan bawah tidak diperhitungkan dalam perhitungan. Penilaian penyimpanan karbon dilakukan untuk tiga klasifikasi tutupan lahan: mangrove dengan kerapatan rendah, mangrove dengan kerapatan sedang, dan mangrove dengan kerapatan tinggi. Cakupan area spesifik untuk setiap jenis tutupan lahan di lokasi studi dirinci pada Tabel 8.

**Tabel 08. Klasifikasi Area Mangrove pada Lokasi Studi**

| Kategori Tutupan Lahan    | Area (ha)   |
|---------------------------|-------------|
| Mangrove kerapatan rendah | 1.49        |
| Mangrove tutupan sedang   | 0.34        |
| Mangrove rapat            | 2.41        |
| <b>Total</b>              | <b>4.24</b> |

Perhitungan stok karbon untuk vegetasi mangrove di Desa Sungai Pasir yang dikategorikan ke dalam tiga tipe tutupan mangrove menunjukkan bahwa kawasan ini memiliki rata-rata stok karbon di atas permukaan tanah sebesar 18,18 ton C/ha, yang berkontribusi pada penyerapan karbon di atas permukaan tanah sebesar 66,72 ton CO<sub>2</sub>e/ha (Tabel 9). Hasil tersebut menggambarkan bahwa ekosistem mangrove di lokasi ini dapat menyimpan 18,18 ton C/ha di dalam batang, cabang, ranting, dan daun mangrove.

Di antara berbagai tipe tutupan mangrove, cadangan karbon tertinggi teridentifikasi pada mangrove yang lebat, yaitu 27,98 ton karbon per hektar. Sebaliknya, mangrove dengan kerapatan rendah menunjukkan cadangan karbon terendah, hanya 4,33 ton C/ha. Biomassa pada mangrove yang lebat melebihi kerapatan lainnya karena diameter rata-rata yang lebih besar dan jumlah individu yang lebih banyak. Perlu dicatat bahwa diameter tanaman yang lebih besar berkorelasi dengan peningkatan biomassa dan penyimpanan karbon yang lebih besar (Amira, 2008).

**Tabel 09. Cadangan Biomassa Karbon Di Atas Permukaan Tanah dan Penyerapan Karbon Pada berbagai Kerapatan Mangrove**

| Kategori Tutupan Lahan    | Stok Karbon di atas Permukaan Tanah (ton C/ha) | Penyerapan CO <sub>2</sub> di atas Permukaan Tanah (ton CO <sub>2</sub> e/ha) |
|---------------------------|--|---|
| Mangrove kerapatan rendah | 4.41   | 16.19   |
| Mangrove tutupan sedang   | 28.05  | 102.93  |
| Mangrove rapat            | 22.09  | 81.06   |
| <b>Total</b>              | <b>18.18</b>                                   | <b>66.72</b>  |

Mengenai cadangan karbon di bawah permukaan tanah vegetasi mangrove, rata-rata cadangan karbon di bawah permukaan tanah dihitung sebesar 8,34 ton karbon per hektar, yang berkontribusi terhadap karbon di bawah permukaan tanah sebesar 30,61 ton karbon dioksida ekuivalen per hektar (Tabel 10). Hasil ini menunjukkan bahwa dalam satu hektar, ekosistem mangrove di lokasi ini dapat menyimpan 8,34 ton karbon per hektar di dalam akar mangrove. Sama seperti biomassa di atas tanah, cadangan karbon di bawah tanah tertinggi ditemukan pada mangrove dengan kerapatan tinggi, yaitu 12,52 ton karbon per hektar. Sebaliknya, mangrove dengan kerapatan rendah menunjukkan cadangan karbon terendah.

**Tabel 10. Biomassa di Bawah Permukaan Tanah pada Mangrove di Desa Sungai Pasir**

| Kategori Tutupan Lahan    | Stok Karbon di atas Permukaan Tanah (ton C/ha) | Penyerapan CO <sub>2</sub> di atas Permukaan Tanah (ton CO <sub>2</sub> e/ha) |
|---------------------------|--|---|
| Mangrove Kerapatan Rendah | 2.40   | 8.82  |
| Mangrove Kerapatan Sedang | 10.10  | 37.06   |
| Mangrove Kerapatan Tinggi | 12.52  | 45.96   |
| Rata-rata                 | 8.34   | 30.61   |

Analisis cadangan karbon di ekosistem mangrove, berdasarkan area penyimpanan karbon atau carbon pool, memiliki tujuan untuk mengidentifikasi sumber utama penyerapan karbon di setiap *carbon pool*. P

endekatan ini sangat penting dalam meminimalkan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) ke atmosfer dan menjaga cadangan karbon yang vital ini. Setelah meninjau data yang dihitung untuk dua *carbon pool*, terbukti bahwa penyimpanan karbon di atas tanah (AGB) secara umum melebihi penyimpanan karbon di bawah tanah (BGB). Fenomena ini dapat dikaitkan dengan kontribusi substansial dari batang dan cabang terhadap biomassa di atas tanah.

Dominasi komponen-komponen ini menyebabkan total biomassa di atas tanah menjadi lebih tinggi. Pada tegakan dewasa, biomassa akar biasanya merupakan sekitar 15-17% dari biomassa di atas permukaan tanah (Komiyama, 2008). Namun, pada kasus spesies *Rhizophora*, diamati bahwa BGB melebihi AGB karena fungsi akar *Rhizophora* yang mendukung, sehingga menghasilkan biomassa yang hampir setara dengan biomassa cabang.

Nilai simpanan karbon kumulatif AGB dan BGB pada mangrove di lokasi ini rata-rata sebesar 26,52 ton C/ha atau setara dengan 97,34 ton CO<sub>2</sub>e/ha.

Dengan mempertimbangkan luas area mangrove sebesar 4,24 ha, maka rata-rata penyimpanan karbon mencapai 112,46 ton C (412,72 ton CO<sub>2</sub>e).

Perlu dicatat bahwa perhitungan ini tidak termasuk nilai karbon tanah. Dibandingkan dengan hutan mangrove yang sebagian besar terdiri dari *A. marina* di Kerala, India, yang mencatat penyimpanan karbon sebesar 117,11 ± 1,02 ton C/ha (Harishma et al., 2020), temuan dari studi Sungai Pasir menghasilkan angka yang lebih rendah. Kecenderungan ini konsisten dengan penelitian Arifanti et al. (2020), yang menegaskan bahwa total cadangan karbon pada ekosistem sampel yang didominasi oleh *Avicennia spp.* secara signifikan lebih rendah ( $P < 0,05$ ) dibandingkan dengan tegakan yang didominasi oleh marga lain (418 Mg C/ha dibandingkan dengan >900 Mg C/ha).

Rendahnya cadangan karbon yang teramati di lokasi penelitian mungkin disebabkan oleh usia tegakan yang relatif muda dan selanjutnya diameter rata-rata yang lebih kecil, yang menyebabkan berkurangnya biomassa. Banyak faktor yang mempengaruhi penyimpanan karbon di dalam biomassa mangrove, termasuk produksi primer, laju respirasi, hidrologi, laju sedimentasi, perubahan siklus hara, pergeseran suhu dan permukaan air laut, serta lokasi geografis di sepanjang gradien pasang surut dan komposisi spesies (McLeod et al., 2011).

## • STOK KARBON TANAH DI MANGROVE

Parameter yang diukur untuk menghitung cadangan karbon di dalam tanah meliputi kerapatan massa tanah dan kandungan karbon organik tanah. Studi yang dilakukan di Sungai Pasir menunjukkan bahwa di lokasi ini, kerapatan massa tanah cenderung meningkat seiring dengan kedalaman tanah, baik di tambak maupun di hutan mangrove (Gambar 4).

Pada hutan mangrove dengan kerapatan sedang dan rendah, kerapatan massa tanah meningkat pada kedalaman 0-100 cm. Namun, pada kedalaman 100-200 cm, kerapatan massa tanah menurun pada hutan mangrove dengan kerapatan rendah, meningkat lagi pada hutan mangrove dengan kerapatan sedang, dan menurun lagi pada hutan mangrove dengan kerapatan tinggi. Sementara itu, pada hutan mangrove dengan kerapatan tinggi, kerapatan massa tanah menurun pada kedalaman 200-300 cm dan meningkat lagi pada kedalaman 300-400 cm.

Untuk parameter karbon organik tanah, kandungan karbon organik pada ketiga klasifikasi tutupan lahan cenderung menurun seiring dengan kedalaman tanah. Selain itu, Gambar 5 mengilustrasikan bahwa mangrove dengan kerapatan tinggi memiliki kandungan karbon organik yang lebih tinggi dibandingkan dengan mangrove dengan kerapatan sedang dan rendah.

Nilai karbon organik pada mangrove dengan kerapatan tinggi berkisar antara 7,24% hingga 13,42%, pada mangrove dengan kerapatan sedang antara 2,24% hingga 11,80%, dan pada mangrove dengan kerapatan rendah antara 1,41% hingga 11,20%. Hasil analisis menunjukkan nilai karbon organik rata-rata untuk mangrove dengan kerapatan tinggi, kerapatan sedang, dan kerapatan rendah adalah 10,02 g/cm<sup>3</sup>, 8,30 g/cm<sup>3</sup>, dan 7,91 g/cm<sup>3</sup>.

Pengukuran karbon tanah di ekosistem mangrove Sungai Pasir pada kedalaman 0-400 cm menghasilkan total cadangan karbon tanah sebesar 2.273,54 ton C/ha pada mangrove dengan kerapatan rendah, 2.320,91 ton C/ha pada mangrove dengan kerapatan sedang dan 2.601,78 ton C/ha pada mangrove dengan kerapatan tinggi, yang setara dengan kontribusi penyerapan karbon dioksida sebesar 8.343,90 ton CO<sub>2</sub>e/ha, 8.517,74 ton CO<sub>2</sub>e/ha dan 9.548,55 ton CO<sub>2</sub>e/ha. Pengukuran dilakukan pada rentang kedalaman 0-400 cm terdapat 7 kelas kedalaman yakni: 0-15 cm, 15-30 cm, 30-50 cm, 50-100 cm, 100-200 cm, 200-300 cm, dan 300-400 cm.

Hasil pengukuran pada 7 kelas kedalaman tersebut ditampilkan pada Tabel 11. Rata-rata cadangan karbon di lokasi tersebut diperkirakan sebesar 2.398,75 ton C/ha dan kontribusi penyerapan 8.803,40 ton CO<sub>2</sub>e/ha. Cadangan karbon yang diamati dalam penelitian ini melebihi rata-rata cadangan karbon tanah di Delta Mahakam (879 ton C/ha; Arifanti et al., 2019), melebihi rata-rata cadangan karbon di Indonesia (849 ton C/ha; Murdiyarso et al., 2015), dan lebih tinggi daripada rata-rata cadangan karbon global yang dilaporkan oleh IPCC (2014) yaitu 471 ton C/ha.

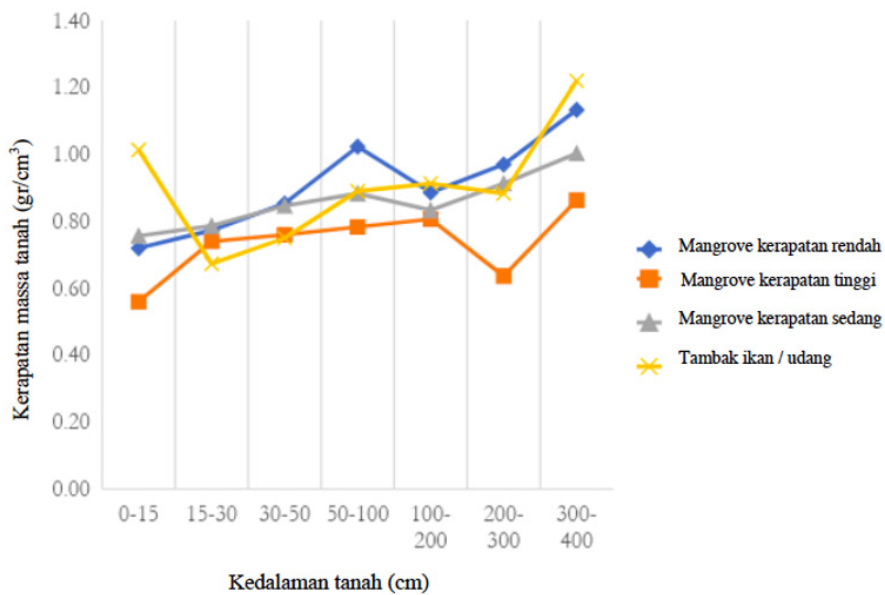
Perbedaan yang signifikan ini kemungkinan disebabkan oleh pengambilan sampel tanah yang lebih dalam pada penelitian ini, yaitu mencapai 400 cm, dibandingkan dengan kedalaman 300 cm pada penelitian di Delta Sungai Mahakam.



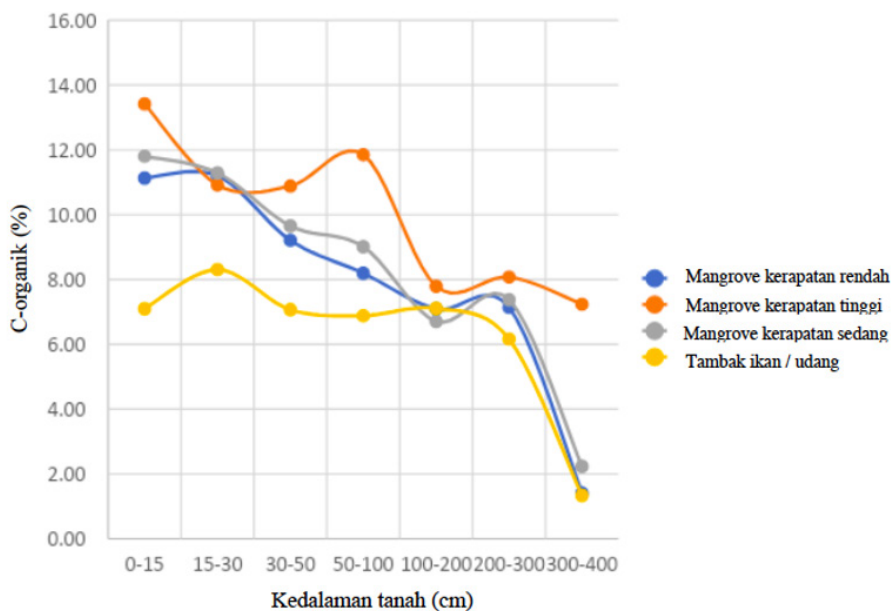
Tabel 11. Stok Karbon Tanah Pada Berbagai Tutupan Mangrove

| Kategori tutupan lahan    | Stok Karbon Tanah | Stok Karbon Tanah (ton CO <sub>2e</sub> /ha) |
|---------------------------|-------------------|--|
| Mangrove kepadatan rendah | 2,273.54          | 8,343.90                                     |
| Mangrove kepadatan sedang | 2,320.91          | 8,517.74                                     |
| Mangrove padat            | 2,601.78          | 9,548.55                                     |
| Rata-rata                 | 2,398.75          | 8,803.40                                     |

Gambar 04. Kerapatan Massa Tanah (g/cm<sup>3</sup>) pada Mangrove dan Tambak Ikan pada berbagai Sampel Kedalaman.



Gambar 05. Kandungan Karbon Tanah (%) pada Mangrove dan Tambak Ikan pada Berbagai Sampel Kedalaman.



## • STOK KARBON TANAH DI TAMBAK IKAN

Berdasarkan analisis citra drone yang dilakukan, luas tambak di lokasi penelitian seluas 13 ha, lebih besar dari luas mangrove yang ada yaitu 4,24 ha. Berbeda dengan mangrove, tambak ikan menunjukkan peningkatan densitas pada kedalaman 0-15 cm, mencapai 1.013 g/cm<sup>3</sup>, diikuti dengan penurunan pada kedalaman 15-30 cm menjadi 0,673 g/cm<sup>3</sup>. Densitas kemudian secara bertahap meningkat, mencapai 1.220 g/cm<sup>3</sup> pada kedalaman 300-400 cm. Kandungan C-organik di tambak lebih rendah dibandingkan dengan mangrove, berkisar antara 1,34% hingga 8,31%, dengan rata-rata kandungan C-organik sebesar 6,28%. Pengukuran karbon tanah pada tambak ikan di Desa Sungai Pasir pada kedalaman 4 meter menghasilkan total cadangan karbon tanah sebesar 1.938,06 ton/ha (Tabel 12) atau setara dengan cadangan karbon dioksida sebesar 7.112,68 CO<sub>2</sub>e/ha.

**Tabel 12. Stok Karbon Tanah pada Tambak Ikan di Desa Sungai Pasir**

| Kategori dari Tutupan Lahan | Stok Karbon Tanah (ton C/ha) | Stok Karbon Tanah (ton CO <sub>2</sub> e/ha) |
|-----------------------------|------------------------------|--|
| Tambak Ikan                 | 1,938.06                     | 7,112.68                                     |

## • TOTAL EKOSISTEM KARBON

Terdapat perbedaan total cadangan karbon antara ekosistem hutan mangrove dan tambak ikan di Desa Sungai Pasir. Rata-rata total cadangan karbon ekosistem di hutan mangrove adalah 2.424,83 ton C/ha dengan kisaran antara 2.280,35 ton C/ha hingga 2.636,39 ton C/ha di tiga tutupan lahan yang berbeda. Namun, rata-rata cadangan karbon ekosistem untuk tambak ikan adalah 1.938,06 ton C/ha (lihat Tabel 13). Karbon tanah di hutan mangrove dan tambak ikan berkontribusi sebesar 87% hingga 99% dan 100% dari total cadangan karbon ekosistem.

**Table 13. Stok Karbon Mangrove dan Tambak Ikan di Desa Sungai Pasir**

| Kategori tutupan lahan    | Karbon di atas Permukaan Tanah (ton C/ha) | Karbon di bawah permukaan tanah (ton C/ha) | Total karbon dari vegetasi (ton C/ha) | Karbon tanah (ton C/ha) | Total karbon ekosistem (ton C/ha) |
|---------------------------|---|--|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| Mangrove kerapatan rendah | 4,41                                      | 2,4  | 6,81                                  | 2.273,54                | 2.280,35                          |
| Mangrove kerapatan sedang | 28,05                                     | 10,1                                       | 38,14                                 | 2.320,91                | 2.359,05                          |
| Mangrove kerapatan tinggi | 22,09                                     | 12,52                                      | 34,61                                 | 2.601,78                | 2.636,39                          |
| Tambak ikan               | 0   | 0  | 0                                     | 1.938,06                | 1.938,06                          |



## 6. KESIMPULAN

---

Spesies mangrove yang ditemukan di wilayah penelitian meliputi *Acrostichum speciosum*, *Avicennia alba*, *Nypa fruticans*, *Rhizophora mucronata*, dan *Sonneratia caseolaris*. Nilai INP tertinggi adalah 175,55 untuk semai, 192,72 untuk anakan, serta 300 untuk pancang dan pohon. Komposisi mangrove di Sungai Pasir didominasi oleh spesies mangrove *Avicennia alba* dengan keanekaragaman, kekayaan dan pemerataan yang rendah. Luas total mangrove mencapai 4,24 ha, dan tambak ikan mencapai 13 ha. Nilai cadangan karbon di atas permukaan tanah rata-rata diperkirakan mencapai 18,18 ton C/ha dan penyerapan CO<sub>2</sub> sebesar 66,72 ton CO<sub>2</sub>e/ha. Sementara itu, rata-rata cadangan karbon di bawah permukaan tanah sebesar 8,34 ton C/ha dan penyerapan CO<sub>2</sub> sebesar 30,61 ton CO<sub>2</sub>e/ha.

Rata-rata cadangan karbon tanah di lokasi tersebut diperkirakan sebesar 2.398,75 ton C/ha, atau setara dengan 8.803,40 ton CO<sub>2</sub>e/ha. Hal ini menghasilkan total rata-rata cadangan karbon ekosistem di hutan mangrove sebesar 2.425,27 ton C/ha atau setara dengan 8.900,73 ton CO<sub>2</sub>e/ha. Selain itu, stok karbon ekosistem rata-rata untuk tambak ikan diperkirakan mencapai 1.938,06 ton C/ha, dengan 100% dari nilai ini berasal dari karbon tanah.







**DAFTAR PUSTAKA**

---

**LAMPIRAN**

- Alongi, DM. 2012. Carbon Sequestration in Mangrove Forests. *Carbon Management*. 3:313-322.
- Alongi, DM. 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 6: 195-219.
- Amira, S. 2008. Pendugaan Biomassa Jenis *Rhizophora apiculata* Bl. di Hutan Mangrove Batu Ampar Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat.[Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2019. SNI 7724: Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon – Pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon berbasis lahan (land-based carbon accounting). Jakarta (ID): BSN.
- Dharmawan I W E, Suyarso, Ulumudin Y I, Prayudha B, Pramudji. 2020. Panduan Monitoring Struktur Komunitas Mangrove di Indonesia. Bogor (ID): PT Media Sains Nasional.
- Dharmawan I W S dan Siregar C, A. 2008. Karbon Tanah dan Pendugaan Karbon Tegakan *Avicennia marina* (Forsk) Vierh. Di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* . 4: 317-328.
- Dharmawan I W S. 2010. Pendugaan Biomassa Karbon Di Atas Tanah Pada Tegakan *Rhizophora mucronata* di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 15(1): 50-56.
- Duarte, C M, Losada, I J, Hendriks, I E, Mazarrasa, I, Marbà, N. 2013. The role of coastal plant communities for climate change mitigation and adaptation. *Nature Climate Change* 3: 961-968. doi:10.1038/nclimate1970.
- Gevana DT, Im S. 2016. Allometric Models for *Rhizophora Stylosa* Griff. in Dense Monoculture Plantation in The Philippines. *The Malaysian Forester*. 79(1&2): 39-53.
- Ilman, M, Dargusch, P, Dart, P, Onrizal, A. 2016. Historical analysis of the drivers of loss and degradation of Indonesia's mangroves. *Land Use Policy* 54, 448–459, doi:10.1016/j.landusepol.2016.03.010.
- Imiliyana A. Muryono M, Purnobasuki H. 2012. Estimasi Stok Karbon Pada Tegakan Pohon *Rhizophora Stylosa* di Pantai Camplong, Sampang-Madura. Jurusan Biologi, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember. <https://www.researchgate.net/publication/257957226>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2019. Refinement on Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2006 Guidelines. IPCC, Geneva. <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories>
- International Panel on Climate Change (IPCC). 2014. Coastal Wetlands. In: Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M., Troxler, T.G. (Eds.), 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. IPCC, Switzerland, pp. 1–55.

International Panel on Climate Change (IPCC). 2003. IPCC guidelines for nation greenhouse gas inventories. Japan: IPCC National Green House Gas Inventories Programme. IGES.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2006 Guidelines, Volume 1 and Volume 4 (Agriculture, forestry, & other land use), Annex 2 (Summary of equations). IPCC, Geneva. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.

Howard J, Hoyt S, Isensee K, Telszewski M, Pidgeon E. 2014. Coastal blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA.

Kauffman, J.B., Donato, D.C., 2012. Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forest. Working Paper 86. CIFOR, Bogor, Indonesia.

Komiyama A, S. Pongpan, S. Kato. 2005. Common allometric equation for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*. 21: 471-477. Doi. 10.1017/S0266467405002476. Cambridge University Press.

Krebs, C. J. 1989. *Ecological methodology*. New York: Hoper and Row Publisher.

Kusmana C, Hidayat T, Tiryana T, Rusdiana O, Istomo. 2018. Allometric models for above- and below-ground biomass of *Sonneratia* spp. *Global Ecology and Conservation*. 15: e00417. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00417>.

Krisnawati H, Adinugroho W. C, Immanudi R, 2012. *Monograf Model-Model Alometrik Untuk Pendugaan Biomassa Pohon pada Berbagai Tipe Ekosistem Hutan di Indonesia*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi. Kementerian Kehutanan.

Lovelock, C E, Atwood, T, Baldock, J, Duarte, C M, Hickey, S, Lavery, P S, Masque, P, Macreadie, P I, Ricart, A M, Serrano, O, Steven, A. 2017. Assessing the risk of carbon dioxide emissions from blue carbon ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment* 15: 257-265. doi:10.1002/fee.1491.

Magurran AE. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Oxford (UK): Blackwell Publishing.

McLeod E, Chmura GL, Bouillon S, Salm R, Björk M, Duarte CM, Silliman BR. 2011. A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9: 552 – 560.

Murdiyarto, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J.B., Warren, M.W., Sasmito, S.D., Donato, D. C., Kurnianto, S., 2015. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change* (July): 8–11. <https://doi.org/10.1038/nclimate2734>.

Odum, E. P. 1993. *Dasar-dasar ekologi edisi ke-iii* (S. Tjahjono, Terjemahan). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.



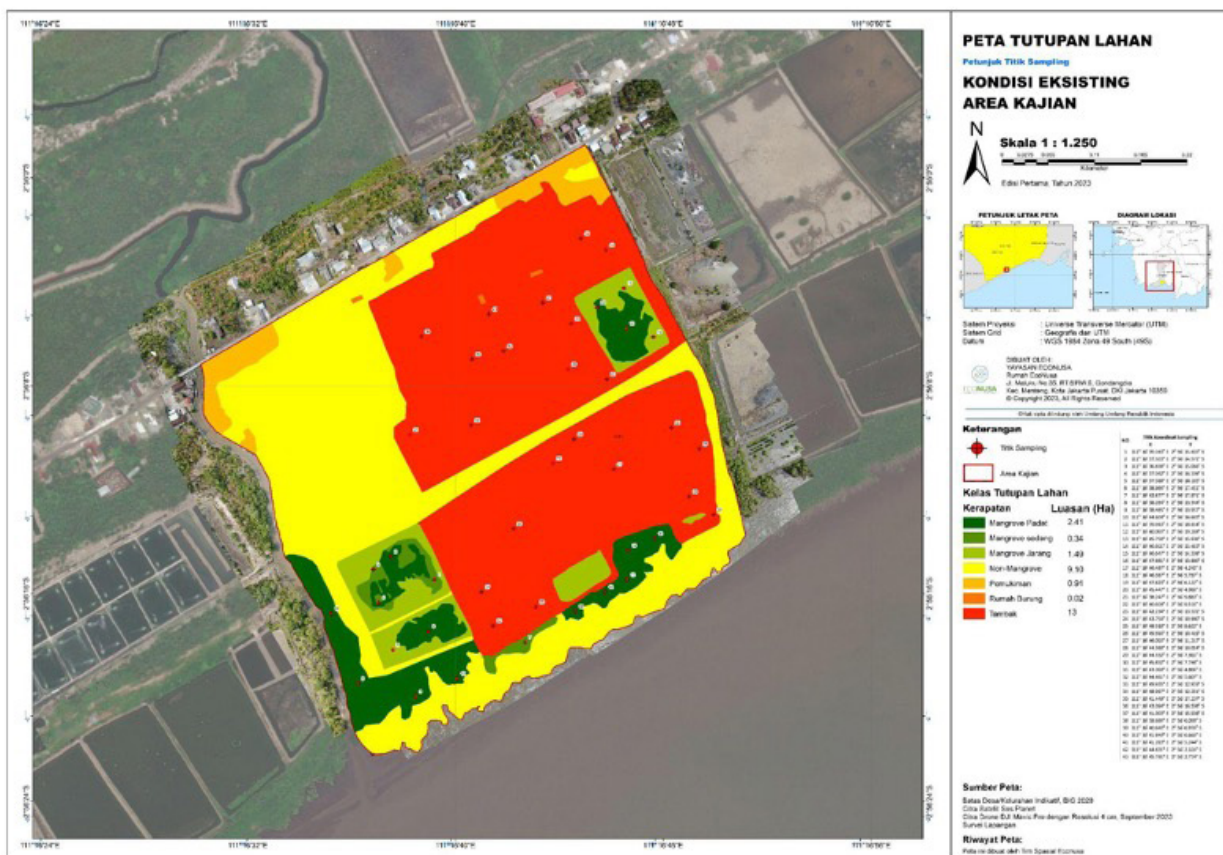
Pendleton, L, Donato, D C, Murray, B C, Crooks, S, Jenkins, W A, Sifleet, S, Craft, C, Fourquran, J W, Kauffman, J B, Marba, N, Megonigal, P, Pidgeon, E, Herr, D, Gordon, D, Baldera, A. 2012. Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. PLoS ONE 7(9): e43542. doi:10.1371/journal.pone.0043542.

Rudianto, R, Bengen, D G, Kurniawan, F. 2020. Causes and effects of mangrove ecosystem damage on carbon stocks and absorption in East Java, Indonesia. Sustainability 12: 319; doi:10.3390/su122410319.

Sidik, F, Adame, M F, Lovelock, C E. 2019. Carbon sequestration and fluxes of restored mangroves in abandoned aquaculture ponds. Journal of the Indian Ocean Region 15(2): 177-192. DOI: 10.1080/19480881.2019.1605659.

Soerianegara I, Indrawan A. 2002. Ekologi Hutan Indonesia. Bogor (ID): Fakultas Kehutanan IPB.

### Lampiran 01. Peta Area Studi





**PETA TUTUPAN LAHAN**  
 Petunjuk Titik Sampung  
**KONDISI EKSTING AREA KAJIAN**  
 Skala 1 : 1.250  
 Edisi Pertama, Tahun 2023

**PETUNJUK LETAK PETA** **DIAGRAM LOKASI**

Sistem Proyeksi : UTM  
 Sistem Grid : Geografis dan UTM  
 Datum : WGS 1984 Zona 49 South (49S)

DISKAMPUS DEKAS  
 WIPASANYECONOMIKA  
 Rumpun Cagar Budaya  
 Jl. Merdeka No. 35 Rt 01 RW 05, Samarinda  
 Kab. Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur, Indonesia 75155  
 © Copyright 2023, All Rights Reserved

Dimaklumi oleh: **Keterangan**

- Titik Sampung
- Area Kajian

**Kelas Tutupan Lahan Luasan (Ha)**

| Kelas Tutupan Lahan | Luasan (Ha) |
|---------------------|-------------|
| Mangrove Padat      | 2,41        |
| Mangrove sedang     | 0,34        |
| Mangrove jarang     | 1,49        |
| Non-Mangrove        | 9,93        |
| Pemukiman           | 0,91        |
| Rumah Durung        | 0,02        |
| Terbekas            | 13          |

**Sumber Peta:**  
 Badan Desa/Kelurahan Individu, BMD 2020  
 Citra Satelit: Sat-Flare  
 Citra Drone: DJI Mavic Pro-Drone, Resolusi 4 cm, September 2023  
 Survei Lapangan

**Riwayat Peta:**  
 Peta ini dibuat oleh Tim Spasial Ekowisata



**PETA ORTHOPHOTO**  
 Petunjuk Titik Sampung  
**KONDISI EKSTING AREA KAJIAN**  
 Skala 1 : 1.250  
 Edisi Pertama, Tahun 2023

**PETUNJUK LETAK PETA** **DIAGRAM LOKASI**

Sistem Proyeksi : UTM  
 Sistem Grid : Geografis dan UTM  
 Datum : WGS 1984 Zona 49 South (49S)

DISKAMPUS DEKAS  
 WIPASANYECONOMIKA  
 Rumpun Cagar Budaya  
 Jl. Merdeka No. 35 Rt 01 RW 05, Samarinda  
 Kab. Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur, Indonesia 75155  
 © Copyright 2023, All Rights Reserved

Dimaklumi oleh: **Keterangan**

- Titik Sampung
- Area Kajian

**Sumber Peta:**  
 Badan Desa/Kelurahan Individu, BMD 2020  
 Citra Satelit: Sat-Flare  
 Citra Drone: DJI Mavic Pro-Drone, Resolusi 4 cm, September 2023  
 Survei Lapangan

**Riwayat Peta:**  
 Peta ini dibuat oleh Tim Spasial Ekowisata

Lampiran 02. Tabel. Data Kualitas Air di Area Studi

| No. Plot | Koordinat                         | Waktu pengambilan contoh | Salinitas (%) | pH   | DO (mg/L) | Temperatur (°C) |
|----------|-----------------------------------|--------------------------|---------------|------|-----------|-----------------|
| T40      | -2°56'07.11" S<br>111°16'42.01" E | 07.49                    | 26            | 6.71 | 5         | 30.8            |
| T25      | -2°56'09.17" S<br>111°16'48.17" E | 08.40                    | 28            | 7.70 | 5.4       | 30.8            |
| T34      | -2°56'12.15" S<br>111°16'49.05" E | 08.49                    | 32            | 7.65 | 4.9       | 34.1            |
| T27      | -2°56'11.18" S<br>111°16'46.20" E | 09.12                    | 35            | 8.52 | 7.2       | 33.2            |
| T28      | -2°56'10.09" S<br>111°16'44.51" E | 09.21                    | 38            | 8.51 | 7.2       | 32.9            |
| T36      | -2°56'16.62" S<br>111°16'43.13" E | 09.58                    | 33            | 8.24 | 4.2       | 33.7            |
| T38      | -2°56'06.00" S<br>111°16'38.54" E | 10.31                    | 33            | 7.99 | 7.4       | 34.3            |
| M12      | -2°56'18.6" S<br>111°16'40.1" E   | 14.54                    | 26            | 6.93 | 3.8       | 30.5            |
| M07      | -2°56'17.8" S<br>111°16'42.6" E   | 15.40                    | 18            | 7.65 | 5.4       | 29.4            |
| M13      | -2°56'15.9" S<br>111°16'45.8" E   | 12.52                    | 30            | 7.42 | 6.3       | 28.0            |
| M14      | -2°56'15.5" S<br>111°16'46.6" E   | 12.55                    | 28            | 7.41 | 5.8       | 28.8            |
| M15      | -2°56'14.6" S<br>111°16'46.7" E   | 13.03                    | 30            | 6.52 | 4.6       | 29.0            |
| M16      | -2°56'13.7" S<br>111°16'47.9" E   | 13.13                    | 26            | 6.73 | 3.5       | 29.0            |

### Lampiran 03. Struktur Mangrove dan Analisis Komposisi

#### MANGROVE KERAPATAN RENDAH

##### SEMAI

| Nama lokal | Nama ilmiah                  | Kerapatan (ind/ha) | RA (%) | RF (%) | IVI    | D    | H'   | R    | J'   |
|------------|------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|------|------|------|------|
| Api-api    | <i>Avicennia alba</i>        | 24,167.00          | 96.67  | 75.00  | 171.67 | 0.93 | 0.03 |      |      |
| Rambai     | <i>Sonneratia caseolaris</i> | 833.00             | 3.33   | 25.00  | 28.33  | 0    | 0.11 |      |      |
| Total      |                              | 25,000.00          | 100    | 100.00 | 200.00 | 0.94 | 0.15 | 0.29 | 0.21 |

##### ANAKAN

| Nama lokal | Nama ilmiah                  | Kerapatan (ind/ha) | RA (%) | RF (%) | IVI    | D    | H'   | R    | J'   |
|------------|------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|------|------|------|------|
| Api-api    | <i>Avicennia alba</i>        | 3,333.33           | 96.15  | 66.67  | 162.82 | 0.92 | 0.04 |      |      |
| Rambai     | <i>Sonneratia caseolaris</i> | 133.33             | 3.85   | 33.33  | 37.18  | 0.00 | 0.13 |      |      |
| Total      |                              | 3,466.67           | 100    | 100    | 200    | 0.93 | 0.16 | 0.31 | 0.24 |

#### MANGROVE KERAPATAN SEDANG

##### SEMAI

| Nama lokal | Nama ilmiah           | Kerapatan (ind/ha) | RA (%) | RF (%) | IVI | D    | H'   | R    | J'   |
|------------|-----------------------|--------------------|--------|--------|-----|------|------|------|------|
| Api-api    | <i>Avicennia alba</i> | 5,625              | 90     | 75     | 165 | 0.81 | 0.09 |      |      |
| Nipah      | <i>Nypa fruticans</i> | 625                | 10     | 25     | 35  | 0.01 | 0.23 |      |      |
| Total      |                       | 6,250              | 100    | 100    | 200 | 0.82 | 0.33 | 0.43 | 0.47 |

### ANAKAN

| Nama lokal | Nama ilmiah           | Kerapatan (ind/ha) | RA (%) | RF (%) | IVI    | D    | H'   | R    | J'   |
|------------|-----------------------|--------------------|--------|--------|--------|------|------|------|------|
| Api-api    | <i>Avicennia alba</i> | 4,000.00           | 100.00 | 100.00 | 200.00 | 1.00 | 0.00 |      |      |
| Total      |                       | 4,000.00           | 100    | 100    | 200    | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

### PANCANG

| Nama lokal | Nama ilmiah           | Kerapatan (ind/ha) | RA (%) | RF (%) | IVI  | D      | H'     | R    | J'   |
|------------|-----------------------|--------------------|--------|--------|------|--------|--------|------|------|
| Api-api    | <i>Avicennia alba</i> | 175.00             | 100.00 | 100.00 | 2.77 | 100.00 | 300.00 |      |      |
| Total      |                       | 175                | 100    | 100    | 2.77 | 100    | 300    | 1.00 | 0.00 |

### MANGROVE KERAPATAN TINGGI

#### SEMAI

| Nama lokal   | Nama ilmiah                  | Kerapatan (ind/ha) | RA (%) | RF (%) | IVI    | D    | H'   | R    | J'   |
|--------------|------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|------|------|------|------|
| Api-api      | <i>Avicennia alba</i>        | 70,313.00          | 98.25  | 80.00  | 178.25 | 0.97 | 0.02 |      |      |
| Bakau        | <i>Rhizophora mucronata</i>  | 625.00             | 0.87   | 10.00  | 10.87  | 0.00 | 0.04 |      |      |
| Rumput piyai | <i>Acrostichum speciosum</i> | 625.00             | 0.87   | 10.00  | 10.87  | 0.00 | 0.04 |      |      |
| Total        |                              | 71,563.00          | 100.00 | 100.00 | 200.00 | 0.97 | 0.10 | 0.37 | 0.09 |

### ANAKAN

| Nama lokal | Nama ilmiah           | Kerapatan (ind/ha) | RA (%) | RF (%) | IVI    | D    | H'   | R    | J'   |
|------------|-----------------------|--------------------|--------|--------|--------|------|------|------|------|
| Api-api    | <i>Avicennia alba</i> | 4,900.00           | 100    | 100    | 200.00 | 1.00 | 0.00 |      |      |
| Total      |                       | 4,900.00           | 100    | 100    | 200.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

### PANCANG

| Nama lokal | Nama ilmiah           | Kerapatan (ind/ha) | RA (%) | RF (%) | IVI  | D      | H'     | R    | J'   |
|------------|-----------------------|--------------------|--------|--------|------|--------|--------|------|------|
| Api-api    | <i>Avicennia alba</i> | 425.00             | 100    | 100    | 5.58 | 100.00 | 300.00 |      |      |
| Total      |                       | 425.00             | 100    | 100    | 5.58 | 100.00 | 300.00 | 1.00 | 0.00 |

### POHON

| Nama lokal | Nama ilmiah           | Kerapatan (ind/ha) | RA (%) | RF (%) | IVI  | D      | H'     | R    | J'   |
|------------|-----------------------|--------------------|--------|--------|------|--------|--------|------|------|
| Api-api    | <i>Avicennia alba</i> | 6.25               | 100    | 100    | 0.22 | 100.00 | 300.00 |      |      |
| Total      |                       | 6.25               | 100    | 100.   | 0.22 | 100.00 | 300.00 | 1.00 | 0.00 |

Keterangan: RA = kerapatan relatif, RF = frekuensi relatif, IVI = indeks nilai penting, D = indeks dominansi, H' = indeks keanekaragaman spesies, R = indeks kekayaan spesies, and J' = indeks pemerataan spesies.

#### Lampiran 04. Berat, Berat Kering, dan C-organik AGB dari Semai Mangrove

| Kategori Tutupan Lahan    | Berat Basah Total (gram) | Berat Kering Total (gram) | Berat Basah Contoh (gram) | C-Organik Gravimetri/LOI (%) |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Mangrove Kerapatan Rendah | 227.59 ± 34.64           | 67.47 ± 7.90              | 227.59 ± 34.64            | 44.77 ± 0.12                 |
| Mangrove Kerapatan Sedang | 196.69 ± 111.05          | 58.99 ± 39.11             | 196.69 ± 111.05           | 45.12 ± 4.18                 |
| Mangrove Kerapatan Tinggi | 164.94 ± 119.77          | 41.85 ± 28.51             | 245.13 ± 19.68            | 45.40 ± 2.19                 |
| <b>Total</b>              | <b>196.50 ± 97.39</b>    | <b>57.13 ± 32.23</b>      | <b>213.69 ± 85.64</b>     | <b>45.10 ± 2.19</b>          |

#### Lampiran 05. Kerapatan Massa Tanah dan C-organik

| Tutupan Lahan Mangrove           | Kerapatan Massa Tanah (g/cm <sup>3</sup> ) | Rata-rata C-organik (%) |
|----------------------------------|--|-------------------------|
| <b>Mangrove Kerapatan Rendah</b> |  |                         |
| 0-15                             | 0.72 ± 0.24                                | 11.13 ± 3.76            |
| 15-30                            | 0.77 ± 0.21                                | 11.20 ± 3.61            |
| 30-50                            | 0.85 ± 0.08                                | 9.21 ± 3.04             |
| 50-100                           | 1.02 ± 0.15                                | 8.19 ± 1.93             |
| 100-200                          | 0.89 ± 0.08                                | 7.09 ± 1.56             |
| 200-300                          | 0.97 ± 0.00                                | 7.14 ± 0.56             |
| 300-400                          | 1.13 ± 0.21                                | 1.41 ± 1.08             |

| Tutupan Lahan Mangrove           | Kerapatan Massa Tanah (g/cm <sup>3</sup> ) | Rata-rata C-organik (%) |
|----------------------------------|--|-------------------------|
| <b>Mangrove Kerapatan Sedang</b> |  |                         |
| 0-15                             | 0.76 ± 0.07                                | 11.80 ± 1.26            |
| 15-30                            | 0.79 ± 0.04                                | 11.29 ± 0.98            |
| 30-50                            | 0.85 ± 0.07                                | 9.65 ± 1.19             |
| 50-100                           | 0.88 ± 0.15                                | 9.01 ± 0.31             |
| 100-200                          | 0.83 ± 0.09                                | 6.71 ± 2.11             |
| 200-300                          | 0.91 ± 0.06                                | 7.38 ± 0.68             |
| 300-400                          | 1.00 ± 0.29                                | 2.23 ± 1.83             |

| Tutupan Lahan Mangrove           | Kerapatan Massa Tanah (g/cm <sup>3</sup> ) | Rata-rata C-organik (%) |
|----------------------------------|--|-------------------------|
| <b>Mangrove Kerapatan Tinggi</b> |  |                         |
| 0-15                             | 0.56 ± 0.04                                | 13.42 ± 2.10            |
| 15-30                            | 0.74 ± 0.03                                | 10.92 ± 0.18            |
| 30-50                            | 0.76 ± 0.10                                | 10.88 ± 2.21            |
| 50-100                           | 0.78 ± 0.11                                | 11.85 ± 0.66            |
| 100-200                          | 0.81 ± 0.13                                | 7.79 ± 3.28             |
| 200-300                          | 0.64 ± 0.05                                | 8.08 ± 0.69             |
| 300-400                          | 0.86 ± 0.08                                | 7.24 ± 0.27             |



## Lampiran 06. Dokumentasi Aktivitas Pengambilan Data Lapangan



