

Estimasi Total Simpanan Karbon Hutan Mangrove Teluk Gilimanuk, Bali

Ni Komang Putri Wulandari, Ni Made Ernawati*, Ni Luh Gede Rai Ayu Saraswati

Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana
Jl. Raya Kampus Unud, Kabupaten Badung, Bali 80361 Indonesia
Email: ernawati@unud.ac.id

Abstrak

Efek rumah kaca terjadi akibat meningkatnya emisi gas rumah kaca, terutama gas karbon dioksida (CO₂) di atmosfer bumi yang menyebabkan adanya perubahan iklim. Hutan mangrove mampu menyerap emisi karbon 3-5 kali lebih banyak daripada hutan tropis daratan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai simpanan karbon organik berdasarkan zona vegetasi utama hutan mangrove Teluk Gilimanuk pada bulan September-November 2023. Penelitian ini menggunakan metode transek kuadrat berukuran 10 m x 10 m. Data biomassa pohon dianalisis menggunakan metode alometrik dan sampel sedimen dianalisis di laboratorium menggunakan metode LOI. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh 6 zona vegetasi utama yaitu *Sonneratia*, *Ceriops*, *Bruguiera*, *Avicennia*, *Rhizophora* dan *Lumnitzera*. Total simpanan karbon didapatkan sebesar 193,91 ton C/ha. Nilai simpanan karbon atas tertinggi pada zona vegetasi *Ceriops* (66,03±17,66 ton C/ha), sedangkan terendah pada zona vegetasi *Bruguiera* (18,60±11,88 ton C/ha). Nilai simpanan karbon bawah tertinggi pada zona vegetasi *Rhizophora* (44,00±32,57 ton C/ha), sedangkan terendah pada zona vegetasi *Lumnitzera* (13,73±2,41 ton C/ha). Nilai simpanan karbon organik sedimen tertinggi pada zona vegetasi *Sonneratia* (237,51 ton C/ha), sedangkan terendah pada zona vegetasi *Avicennia* (78,28 ton C/ha). Hutan mangrove menunjukkan kemampuan penyerapan karbon yang berbeda pada setiap zona vegetasinya, dan nilainya dapat menunjukkan peran penting mangrove dalam mitigasi perubahan iklim.

Kata kunci: Hutan Mangrove Teluk Gilimanuk, Karbon, Mangrove, Zonasi

Abstract

Estimated Total Carbon Stock of Gilimanuk Bay Mangrove Forest, Bali

The greenhouse effect arises from the increased emission of greenhouse gases, particularly carbon dioxide (CO₂), into the Earth's atmosphere, leading to climate change. Mangrove forests can absorb 3-5 times more carbon emissions than terrestrial tropical forests. This study aimed to determine the organic carbon stock values based on the main vegetation zones of the Gilimanuk Bay mangrove forest in September-November 2023. The study employed a 10 m x 10 m quadrat transect method. Tree biomass data were analyzed using the allometric method, and sediment samples were analyzed in the laboratory using the LOI method. The study identified six main vegetation zones: *Sonneratia*, *Ceriops*, *Bruguiera*, *Avicennia*, *Rhizophora*, and *Lumnitzera*. The total carbon stock was found to be 193.91 ton C/ha. The highest aboveground carbon stock value was observed in the *Ceriops* vegetation zone (66.03±17.66 ton C/ha), while the lowest was in the *Bruguiera* vegetation zone (18.60±11.88 ton C/ha). The highest belowground carbon stock value was recorded in the *Rhizophora* vegetation zone (44.00±32.57 ton C/ha), while the lowest was in the *Lumnitzera* vegetation zone (13.73±2.41 ton C/ha). The highest organic carbon stock value in the sediment was found in the *Sonneratia* vegetation zone (237.51 ton C/ha), while the lowest was in the *Avicennia* vegetation zone (78.28 ton C/ha). Mangrove forests exhibit different carbon sequestration capacities across their vegetation zones, and these values highlight the crucial role of mangroves in mitigating climate change.

Keywords: Mangrove Forest of Gilimanuk Bay, Carbon, Mangrove, Zonation

PENDAHULUAN

Green house effect atau efek rumah kaca merupakan kondisi di mana suhu rata-rata permukaan bumi meningkat secara drastis. Efek rumah kaca disebabkan oleh naiknya konsentrasi gas karbon dioksida (CO₂) dan gas-gas lainnya di atmosfer. Meningkatnya suhu permukaan bumi dapat mengakibatkan adanya perubahan iklim yang sangat ekstrim (Pratama, 2019). Upaya mitigasi yang dapat dilakukan untuk mengurangi dampak pemanasan global dari efek rumah kaca yaitu dengan mengoptimalkan fungsi lahan basah dalam penyerapan karbon yang disebut *carbon sequestration*. *Carbon sequestration* merupakan istilah penangkapan dan penyimpanan karbon di atmosfer dalam vegetasi pada biomassa pohon (Husna *et al.*, 2019).

Carbon sequestration dapat dilakukan oleh ekosistem pesisir. Karbon yang telah tersimpan pada ekosistem pesisir dan laut disebut *blue carbon*. Ekosistem pesisir seperti hutan mangrove dan padang lamun dapat menyimpan karbon di bagian tumbuhan dan sedimennya (Lawrence, 2013). Sekitar 42%-99% dari seluruh total karbon pada ekosistem padang lamun tersimpan pada sedimen (LIPI, 2018). Sedangkan, pada ekosistem hutan mangrove sekitar 80% total karbon tersimpan pada sedimen, 18% tersimpan pada tegakan vegetasi, dan sisanya 2% pada akar (Sidik *et al.*, 2017). Tingginya simpanan karbon dikarenakan adanya pengaruh faktor hidrografis seperti arus, gelombang, dan pasang surut (Siregar *et al.* 2014). Faktor ini mempengaruhi kandungan karbon berkaitan dengan distribusi sedimen dan kandungan organik dari ekosistem yang berdekatan.

Hutan mangrove yang merupakan salah satu ekosistem pesisir dapat menyerap karbon dioksida dari atmosfer, kemudian diubah menjadi karbon organik dalam bentuk biomassa pada proses fotosintesis (Fitria & Dwiyanto, 2021). Di Indonesia, hutan mangrove memiliki kemampuan menyerap emisi karbon 3-5 kali lebih tinggi daripada hutan tropis daratan (Murdiyarso *et al.*, 2015). Hutan mangrove menyimpan sekitar 1.023 Mg C/ha. Selain pada biomassa pohon (*carbon above ground*), mangrove juga dapat menyimpan karbon pada sedimen (*carbon below ground*). Kandungan karbon tertinggi hutan mangrove sebesar 49-98% yang terdapat dalam sedimen dengan kedalaman 0,5 meter sampai lebih dari 3 meter (Donato *et al.*, 2011).

Hutan mangrove Teluk Gilimanuk masuk dalam kawasan konservasi Taman Nasional Bali Barat (TNBB). Berdasarkan penelitian Ma'aruf *et al.* (2022) Teluk Gilimanuk memiliki nilai kerapatan mangrove sebesar 2.390,32 ind/ha dengan tutupan mangrove rata-rata 83,84% yang dikategorikan baik (sangat padat). Berdasarkan penelitian Irsadi *et al.* (2017) terdapat hubungan positif antara kerapatan mangrove dan kandungan biomassa pohon. Hal ini berarti semakin padat populasi mangrove, semakin tinggi pula biomassa pohonnya. Peningkatan biomassa ini menjadi indikator penting, karena menunjukkan peningkatan kemampuan hutan mangrove dalam menyerap CO₂ dari atmosfer. Kondisi kerapatan dan tutupan mangrove tersebut mengindikasikan bahwa vegetasi hutan mangrove di Teluk Gilimanuk berpotensi sebagai agen mitigasi perubahan iklim. Penelitian mengenai estimasi simpanan karbon di atas sedimen pada hutan mangrove Karang Sewu, Teluk Gilimanuk telah dilaksanakan pada tahun 2021 dengan menggunakan metode sigma nought citra sentinel-1A polarisasi VH. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil estimasi simpanan karbon di atas sedimen sebesar 59,85 ton C/ha (Nuraini *et al.*, 2022). Namun, penelitian tersebut hanya sebatas menghitung jumlah simpanan karbon di atas sedimen dan tidak mencakup perhitungan total karbon. Perhitungan total karbon bertujuan untuk mengetahui seberapa besar hutan mangrove dapat menyimpan karbon pada seluruh *carbon pool*, sehingga pengelolaan hutan mangrove selanjutnya dapat dipertimbangkan dengan baik (Sutaryo, 2009). Oleh karena itu, penelitian mengenai estimasi total simpanan karbon pada hutan mangrove Teluk Gilimanuk penting untuk dilakukan.

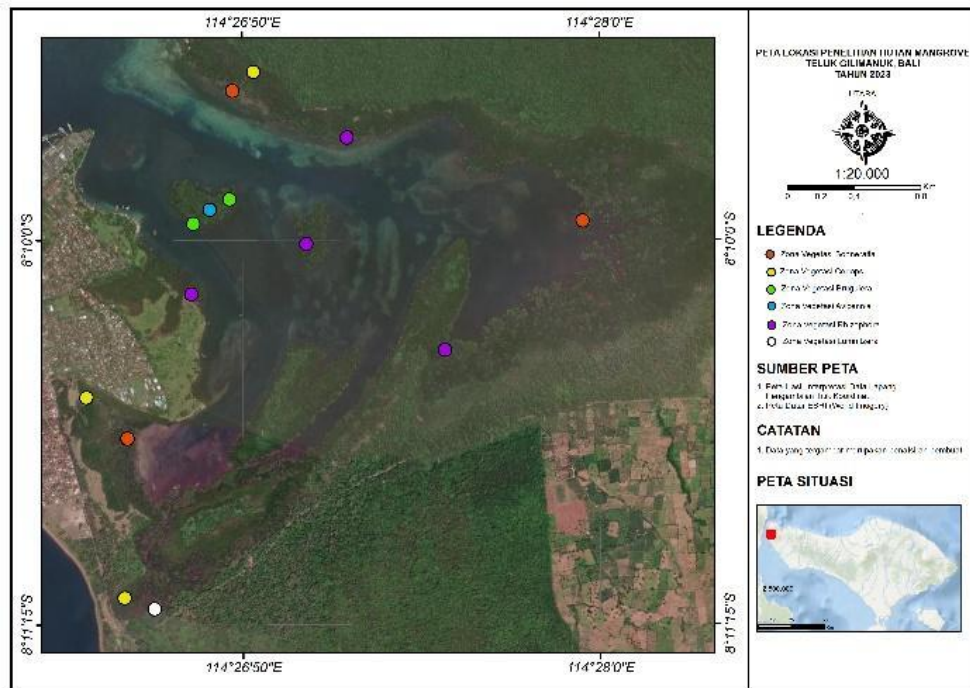
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di kawasan hutan mangrove Teluk Gilimanuk, Taman Nasional Bali Barat, yang pada tahun 2015 memiliki luas mencapai 265,1 hektar (Mafazi, 2016). Pengumpulan data penelitian berlangsung selama bulan September-November 2023, dengan kondisi air surut pada saat pengambilan data. Metode penentuan lokasi pada penelitian ini menggunakan metode *purposive sampling* dengan mempertimbangkan zona vegetasi utama dan kemudahan aksesibilitasnya sebagai kriteria pemilihan sampel. Pertimbangan zona vegetasi

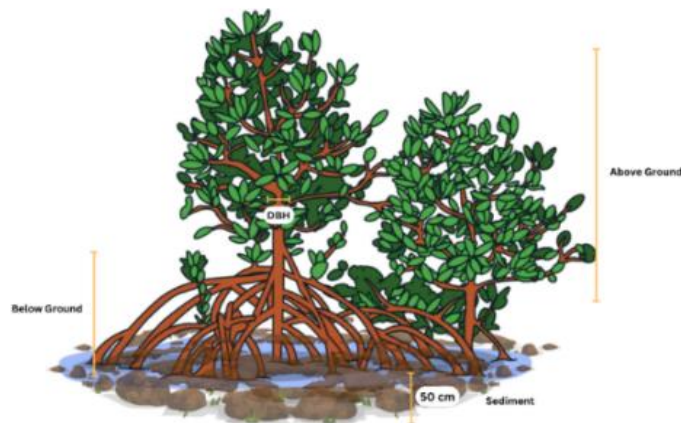
digunakan untuk melihat perbedaan penyimpanan karbon antara berbagai zona yang ditemukan pada kawasan ini. Terdapat 6 zona vegetasi yang diamati dalam penelitian ini yaitu *Sonneratia*, *Ceriops*, *Bruguiera*, *Avicennia*, *Rhizophora*, *Lumnitzera*, dengan masing-masing plot pengamatan tersebar di seluruh area hutan mangrove Teluk Gilimanuk (Gambar 1).

Hutan mangrove Teluk Gilimanuk memiliki nilai total kerapatan dari seluruh jenis sekitar 2.390,32 ind/ha, yang masuk dalam kategori kondisi mangrove baik (sangat padat) berdasarkan

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove. Terdapat 11 spesies mangrove yang ditemukan pada hutan mangrove ini yakni *Sonneratia alba*, *Ceriops tagal*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora stylosa*, *Rhizophora lamarckii*, *Lumnitzera racemose*, *Excoecaria agallocha*, *Aegiceras floridum*, *Osbornia octodonta*, *Xylocarpus granatum*, dan *Xylocarpus moluccensis* (Ma'aruf *et al.*, 2022).



Gambar 1. Lokasi Penelitian Hutan Mangrove Teluk Gilimanuk



Gambar 2. Ilustrasi Penyimpanan Karbon Pada Mangrove

Pengambilan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini mengacu pada panduan pengukuran dan perhitungan simpanan karbon SNI 7724:2011. Pengambilan data melalui beberapa tahapan, yaitu penentuan titik sampling, pendataan vegetasi spesies, pengukuran diameter pohon dan pengambilan sampel sedimen. Penelitian pada masing-masing stasiun dilakukan pada plot berukuran 10 m x 10 m, dimana jumlah plot pengamatan disebar pada 6 zona vegetasi utama di Teluk Gilimanuk (*Sonneratia*, *Ceriops*, *Bruguiera*, *Avicennia*, *Rhizophora* dan *Lumnitzera*). Data simpanan karbon atas dan bawah pohon didasarkan pada pengukuran diameter pohon. Kriteria pengukuran diameter vegetasi pohon yaitu diameter minimal 5 cm dan keliling minimal 16 cm (Komiyama *et al.*, 2005). Sampel sedimen diambil menggunakan *corer* pada kedalaman 50 cm dengan sub sampel pada interval 20-50 cm (Gambar 2).

Analisis Sampel

Estimasi kandungan karbon pohon dilakukan dengan memanfaatkan nilai biomassa yang diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan alometrik biomassa pohon (Tabel 1).

Penentuan kandungan karbon di dalam biomassa atas dan biomassa bawah dilakukan melalui perhitungan SNI 7724:2011:

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

Keterangan: C = Simpanan karbon biomassa (kg); B = Biomassa total (kg); % C organik = Persentase nilai karbon (0,47);

Catatan : Perhitungan simpanan karbon dilakukan pada biomasa pohon, mencakup bagian atas dan bawah permukaan tanah.

Estimasi bahan organik sedimen dilakukan dengan metode LOI (*loss on ignition*). Prinsip metode ini berdasarkan asumsi bahwa seluruh material organik mengalami *volatilisasi* (penguapan) saat dibakar pada suhu 550°C selama 4 jam. Komponen organik sedimen terdiri dari residu organisme (tumbuhan atau hewan) yang terendapkan dan mengalami proses dekomposisi di lapisan sedimen. Perhitungan kandungan bahan organik menggunakan rumus (Agus *et al.*, 2011):

$$\text{Bahan organik (\%)} = \frac{(\text{Berat awal} - \text{Berat sisa})}{\text{Berat sedimen}} \times 100\%$$

Kepadatan massa isi sedimen (*bulk density*) didefinisikan sebagai berat per satuan volume sedimen, termasuk pori-porinya. Terdapat hubungan yang erat antara *bulk density* dengan berbagai sifat fisik sedimen, termasuk kemudahan penetrasi akar, drainase, aerasi, dan aspek-aspek lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa *bulk density* merupakan parameter penting dalam memahami karakteristik sedimen secara menyeluruh. *Bulk density* dihitung menggunakan persamaan berikut (Agus *et al.*, 2011):

$$\text{Soil bulk density (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Oven - dry mass (g)}}{\text{Sample volume (cm}^3\text{)}}$$

Keterangan: *Oven-dry mass* = Massa sampel yang dikeringkan (g); *Sample volume* = Volume sampel kering (cm³)

Penentuan kadar C-organik dilakukan dengan rumus perhitungan (Agus *et al.*, 2011):

$$\text{Kadar C}_{\text{organik}} (\%) = \% \text{ Bahan organik} \times 0,58$$

Keterangan: %Bahan organik = Presentase hasil lab; 58/100 = Faktor Vanbemmelen

Persentase kandungan karbon organik dalam sedimen memerlukan data kedalaman sampel sedimen, rentang sub-pengambilan sampel dan kerapatan massa isi sedimen (*bulk density*) (Mahasani *et al.*, 2015). Kandungan karbon pada sedimen diestimasi dengan persamaan berikut SNI 7724:2011:

$$C_{\text{soil}} = \text{Bulk density} \times \text{SDI} \times \% C$$

Keterangan: C_{soil} = Simpanan karbon organik sedimen (kg); SDI = Nilai interval sampel yang diambil.

Penentuan kandungan karbon per hektar di atas permukaan sedimen didasarkan pada persamaan SNI 7724:2011 sebagai berikut:

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

Keterangan: C_n = Simpanan karbon pada tiap plot (ton C/ha); C_x = Kandungan karbon pada tiap plot (kg); l plot = Luas plot penelitian (m²).

Tabel 1. Persamaan Alometrik Biomassa Pohon Mangrove

Spesies Mangrove	Persamaan Biomassa Atas	Referensi
<i>Sonneratia alba</i>	Ba = 0,3841 * DBH ^{2,101} *p Bb = 0.199*p ^{0,899} *DBH ^{2,22} (p = 0,475)	Kauffman and Cole, 2010 Kauffman dan Donato, 2012
<i>Ceriops tagal</i>	Ba = 0,251*p *DBH ^{2,46} Bb = 0.199*p ^{0,899} *DBH ^{2,22} (p = 0,85)	Komiyama <i>et al.</i> 2005 Kauffman dan Donato, 2012
<i>Bruguiera gymnoriza</i>	Ba = 0,0754 *DBH ^{2,505} *p Bb = 0.199*p ^{0,899} *DBH ^{2,22} (p = 0,86)	Kauffman and Cole, 2010 Kauffman dan Donato, 2012 World Agroforestry Centre, 2011
<i>Avicennia marina</i>	Ba = 0,1848 *DBH ^{2,3524} Bb = 0,1682 *DBH ^{1,7939}	Dharmawan and Siregar, 2008
<i>Rhizophora stylosa</i>	Ba = 0,251 *p *DBH ^{2,46} Bb = 0.199*p ^{0,899} *DBH ^{2,22} (p = 0,94)	Komiyama <i>et al.</i> , 2005 Kauffman dan Donato, 2012 World Agroforestry Centre, 2011
<i>Rhizophora apiculata</i>	Ba = 0,0695 *DBH ^{2,644} *p Bb = 0.199*p ^{0,899} *DBH ^{2,22} (p = 1,050)	Kauffman and Cole, 2010 Kauffman dan Donato, 2012 World Agroforestry Centre, 2011
<i>Rhizophora mucronata</i>	Ba = 0,251*p *DBH ^{2,46} Bb = 0.199*p ^{0,899} *DBH ^{2,22} (p = 0,82)	Komiyama <i>et al.</i> 2005 Kauffman dan Donato, 2012
<i>Lumnitzera racemosahhh</i>	Ba = 0,251*p *DBH ^{2,46} Bb = 0.199*p ^{0,899} *DBH ^{2,22} (p = 0,870)	Komiyama <i>et al.</i> 2005 Kauffman dan Donato, 2012 Alongi, 2012
<i>Osbornia octodonta</i>	Ba = 0,251*p *DBH ^{2,46} Bb = 0.199*p ^{0,899} *DBH ^{2,22} (p = 0,9475)	Komiyama <i>et al.</i> 2005 Kauffman dan Donato, 2012
<i>Excoecaria agalloca</i>	Ba = 0,251*p *DBH ^{2,46} Bb = 0.199*p ^{0,899} *DBH ^{2,22} (p = 0,450)	Komiyama <i>et al.</i> 2005 Kauffman dan Donato, 2012
<i>Xylocarpus granatum</i>	Ba = 0,0823 *DBH ^{2,59} Bb = 0,145 * (DBH) ^{2,55}	Clought and Scott, 1989 Poungparn <i>et al.</i> , 2002

Keterangan: Ba (biomassa atas), Bb (biomassa bawah), DBH (*diameter at breast height*), p (berat jenis kayu)

Penghitungan simpanan karbon total didasarkan persamaan sebagai berikut SNI 7724:2011:

$$C_{plot} = (C_{bap} + C_{bbp} + C_{soil})$$

Keterangan: C_{plot} = Total simpanan karbon pada plot (ton C/ha); C_{bap} = Total simpanan karbon biomassa atas permukaan (ton C/ha); C_{bbp} = Total karbon biomassa bawah permukaan (ton C/ha); C_{soil} = Total simpanan karbon sedimen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Vegetasi Hutan Mangrove Teluk Gilimanuk

Hasil pengamatan vegetasi pada hutan mangrove Teluk Gilimanuk, ditemukan 12 spesies mangrove dari 9 genus yaitu *Sonneratia* (*Sonneratia alba*), *Ceriops* (*Ceriops tagal*), *Bruguiera* (*Bruguiera gymnoriza*), *Avicennia* (*Avicennia marina*), *Rhizophora* (*Rhizophora apiculata*, *Rhizophora stylosa*, *Rhizophora mucronata*), *Lumnitzera* (*Lumnitzera racemosa*), *Osbornia* (*Osbornia octodonta*), *Excoecaria*

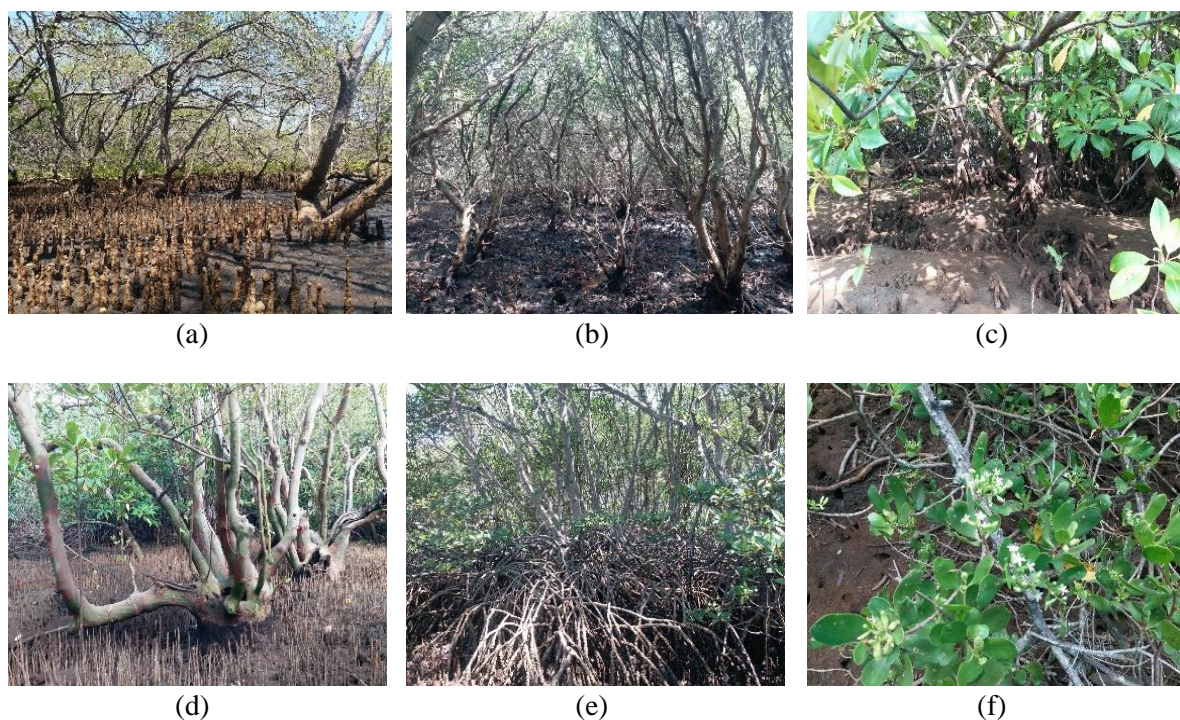
(*Exoecaria agalloca*), dan *Xylocarpus* (*Xylocarpus granatum*). Perhitungan simpanan karbon dilakukan berdasarkan 6 genus yang paling banyak ditemukan yaitu *Sonneratia*, *Ceriops*, *Bruguiera*, *Avicennia*, *Rhizophora*, dan *Lumnitzera* (Gambar 3). Lokasi stasiun pengamatan yang berbeda menyebabkan perbedaan dalam hasil penelitian sebelumnya oleh Ma'aruf *et al.* 2022. Salah satu perbedaannya yaitu tidak ditemukannya spesies *Aegiceras floridum* dan *Xylocarpus moluccensis*. Penelitian sebelumnya mencatat bahwa spesies tersebut merupakan spesies minor dengan kerapatan *Aegiceras floridum* 12,9 ind/ha dan *Xylocarpus moluccensis* 12,9 ind/ha (Ma'aruf *et al.*, 2022). Namun, penelitian ini menemukan spesies *Rhizophora mucronata* dan *Bruguiera gymnorrhiza*. Spesies *Rhizophora mucronata* ditemukan menyebar namun dalam jumlah sedikit sedangkan spesies *Bruguiera gymnorrhiza* hanya ditemukan pada wilayah Pulau Kalong, Teluk Gilimanuk.

Simpanan Karbon Atas

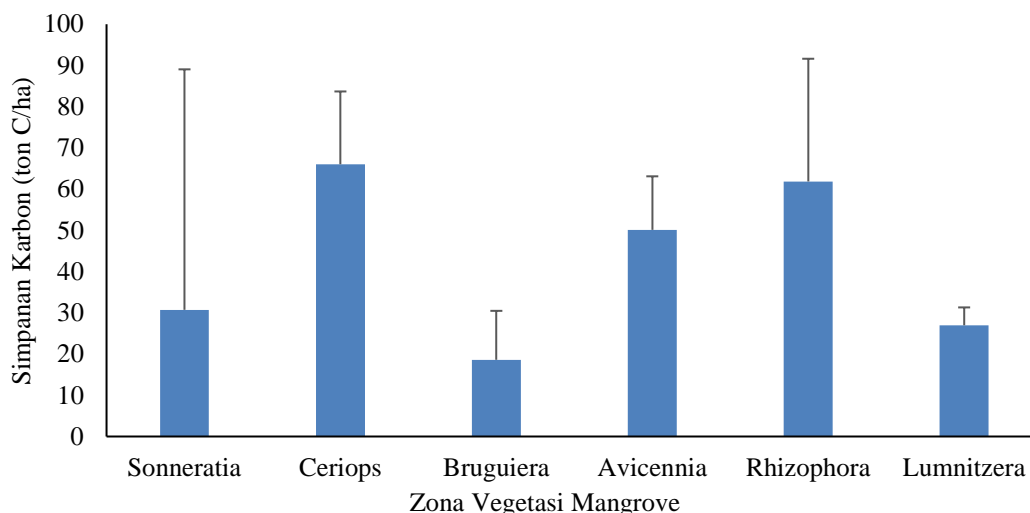
Hutan mangrove Teluk Gilimanuk menyimpan karbon atas pohon rata-rata $42,38 \pm 19,69$ ton C/ha, dengan variasi signifikan antar zona vegetasi. Hasil penelitian ini

menyebutkan bahwa zona vegetasi *Ceriops* memiliki simpanan karbon tertinggi mencapai $66,03 \pm 17,66$ ton C/ha dan zona vegetasi *Bruguiera* memiliki simpanan karbon terendah mencapai $18,60 \pm 11,88$ ton C/ha (Gambar 4). Keunggulan *Ceriops* terletak pada kerapatan pohonnya yang tinggi dan keberadaan hampir menyeluruh di kawasan Teluk Gilimanuk. Hal ini ditegaskan oleh Ma'aruf *et al.* (2022) yang menunjukkan bahwa *Ceriops* tagal memiliki kerapatan jenis tertinggi, mencapai 1.174,19 individu per hektar. Sebaliknya, kerapatan rendah dan distribusi terbatas di Pulau Kalong menjadi penyebab rendahnya simpanan karbon di zona *Bruguiera*. Temuan ini sejalan dengan penelitian Susilowati *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa penurunan kerapatan pohon berakibat langsung pada penurunan simpanan karbon.

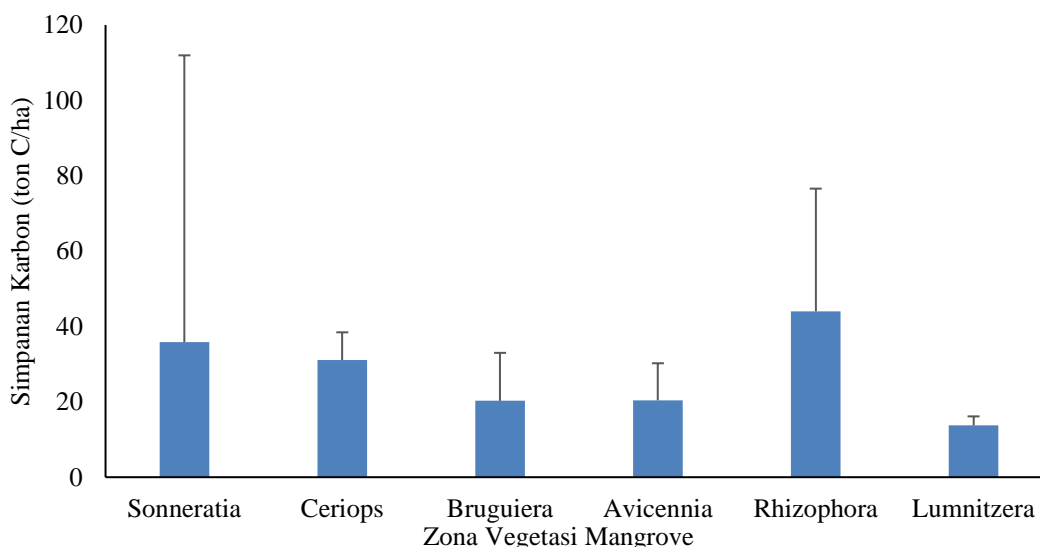
Penelitian ini menemukan kesesuaian dengan hasil penelitian Nuraini *et al.* (2022) yang meneliti hutan mangrove Karang Sewu. Simpanan karbon atas di kedua penelitian menunjukkan nilai yang berdekatan, dengan rata-rata 58,28 ton C/ha di hutan mangrove Karang Sewu. Di antara spesies mangrove, *Rhizophora apiculata* memiliki simpanan karbon atas tertinggi, dengan diameter batang rata-rata 29,24 cm, sedangkan *Lumnitzera*



Gambar 3. (a) Zona *Sonneratia*, (b) Zona *Ceriops*, (c) Zona *Bruguiera*, (d) Zona *Avicennia*, (e) Zona *Rhizophora*, (f) Zona *Lumnitzera*



Gambar 4. Rata-rata Simpanan Karbon Atas Hutan Mangrove Teluk Gilimanuk



Gambar 5. Rata-rata Simpanan Karbon Bawah Hutan Mangrove Teluk Gilimanuk

racemosa memiliki nilai terendah dengan diameter batang rata-rata 22,02 cm. Hal ini menunjukkan korelasi positif antara diameter pohon dan simpanan karbon, yang kemungkinan besar disebabkan oleh biomassa pohon yang lebih besar pada diameter yang lebih besar.

Simpanan Karbon Bawah

Simpanan karbon bawah hutan mangrove Teluk Gilimanuk didapatkan rata-rata 27,56±11,38 ton C/ha. Hasil penelitian ini menyebutkan bahwa zona vegetasi *Rhizophora* memiliki simpanan karbon bawah tertinggi mencapai 44,00±32,57 ton

C/ha, sedangkan zona vegetasi *Lumnizera* memiliki simpanan karbon bawah terendah mencapai 13,73±2,41 ton C/ha (Gambar 5).

Analisis penelitian terkait simpanan karbon atas dan bawah menunjukkan variasi nilai yang berbeda di berbagai zona. Zona dengan tingkat penyimpanan karbon tertinggi dan terendah pun teridentifikasi berbeda. Hal ini diduga karena tiap jenis mangrove memiliki jenis akar yang berbeda, sehingga jumlah penyerapannya pun berbeda. Simpanan karbon bawah tertinggi pada penelitian ini ditemukan pada zona vegetasi *Rhizophora*. Tingginya simpanan karbon bawah pada zona

vegetasi *Rhizophora* dikarenakan jenis ini memiliki ciri akar yang menjulang ke bawah dalam jumlah banyak. Hasil penelitian ini dapat dibandingkan dengan penelitian Emrinelson dan Warningsih (2023) di hutan mangrove di Pesisir Utara Pulau Cawan bahwa rata-rata simpanan karbon tertinggi yaitu sebesar 33,49 ton C/ha yang dipengaruhi oleh jenis mangrove *Excoecaria agallocha*. Akar jenis *Excoecaria agallocha* memiliki ciri yang menjalar di permukaan sedimen.

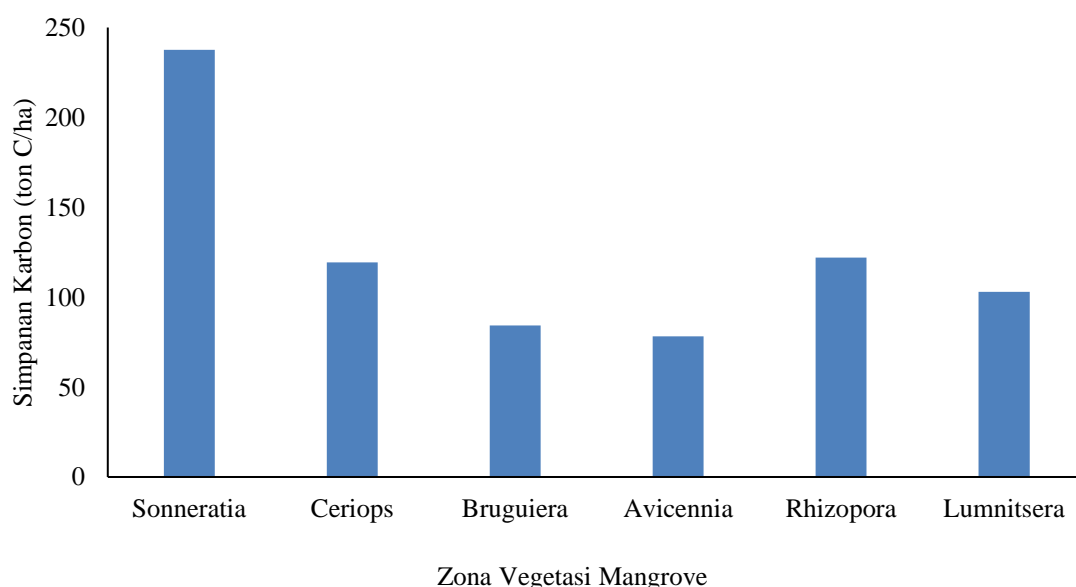
Rata-rata simpanan karbon bawah terendah pada penelitian Emrinelson dan Warningsih (2023) yaitu sebesar 1,31 ton C/ha, hasil ini berbeda jauh dengan penelitian di Teluk Gilimanuk. Hal ini dipengaruhi karena hutan mangrove Pesisir Pulau Cawan memiliki vegetasi mangrove sangat sedikit dan substrat berpasir yang menyebabkan sistem perakaran sulit berkembang dibandingkan jenis substrat berlumpur. Sedangkan, simpanan karbon terendah hutan mangrove Teluk Gilimanuk berada pada zona vegetasi *Lumnitzera* yang dekat dengan daratan. *Lumnitzera* memiliki ciri khas yang membedakannya dari jenis bakau lain, yaitu ketidakhadiran akar *pneumatofor*. Akar ini umumnya ditemukan pada bakau lain dan berfungsi untuk membantu pernapasan di lingkungan dengan oksigen rendah.

Simpanan Karbon Sedimen

Simpanan karbon organik dalam sedimen hutan mangrove Teluk Gilimanuk pada kedalaman 50 cm, didapatkan rata-rata $124,05 \pm 58,35$ ton

C/ha. Pada hasil penelitian ini zona vegetasi *Sonneratia* memiliki simpanan karbon tertinggi mencapai 237,5 ton C/ha, sedangkan zona vegetasi *Avicennia* memiliki simpanan karbon terendah mencapai 78,28 ton C/ha (Gambar 6). Hasil analisis ini sesuai dengan temuan Sugiana *et al.* (2024) yaitu simpanan karbon pada tanah rata-rata secara signifikan menyumbang lebih dari 50% terhadap total stok karbon di dalam ekosistem mangrove. Tingginya simpanan karbon pada wilayah ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh kondisinya yang berupa Teluk sehingga memiliki sirkulasi air yang terbatas dan menyebabkan bahan organik terakumulasi di wilayah teluk. Perbedaan tinggi rendahnya simpanan karbon pada sedimen mangrove sejalan dengan jumlah bahan organik yang terakumulasi pada sedimen.

Besarnya simpanan karbon sedimen diperkirakan karena genus *Sonneratia* berada di zona depan, yang artinya dipengaruhi oleh pasang surut dengan jenis sedimen berupa lumpur berpasir. Selain itu, wilayah Teluk Gilimanuk hanya mendapatkan input bahan organik dari laut sehingga bahan organik terakumulasi di zona depan. Hasil ini juga didukung oleh penelitian Tahir *et al.* (2023), pada hutan mangrove Kota Ternate Selatan dan Kota Tidore Kepulauan, yang menunjukkan bahwa sistem perakaran *Sonneratia* rapat dan memungkinkan menjadi salah satu determinan utama dalam mendasari tingginya akumulasi karbon organik di bawah tegakan pohon.



Gambar 6. Simpanan Karbon Sedimen Hutan Mangrove Teluk Gilimanuk

Tabel 2. Perbandingan Hasil Penelitian Simpanan Karbon di Indonesia

Area Penelitian	Tipe Mangrove Dominan	AGC (ton C/ha)	BGC (ton C/ha)	SCS (ton C/ha)	TCS (ton C/ha)	Referensi
Teluk Gilimanuk, Bali	<i>Sonneratia</i> , <i>Ceriops</i> , <i>Bruguiera</i> , <i>Avicennia</i> , <i>Rhizophora</i> , <i>Lumnitzera</i>	42,38±19,6 9	27,56±11,3 8	124,05±58,3 5	193,91	Penelitian ini
Teluk Benoa, Bali	<i>Bruguiera</i> , <i>Rhizophora</i> , <i>Sonneratia</i>	158,5±49,1	75,6±20,5	104,0±25,3	338,2±89,5	Sugiana <i>et al.</i> (2024)
Perancak, Bali	<i>Avicennia</i> , <i>Rhizophora</i>	28,71	19,23	119,75	167,69	Suryono <i>et al.</i> (2018)
Lembung Paseser, Jawa Timur	<i>Rhizophora</i> , <i>Avicennia</i> , <i>Sonneratia</i>	40,75	16,95	173,98	231,68	Ibrahim & Muhsoni. (2020)
Pesisir Utara Pulau Cawan	<i>Rhizophora apiculata</i>	34,56	16,41	32,91	83,98	Emrnelson & Wartiningsih (2023)
Pesisir Banda Aceh	<i>R.apiculata</i> , <i>R.mucronata</i> , <i>R.stylosa</i> , <i>A.alba</i> , <i>A. lanata</i> , dan <i>S.alba</i> .	16,50	6,92	32,91	89,24	Rahmah <i>et al.</i> (2015)
Desa Taddan, Jawa Timur	<i>Aegiceras corniculatum</i> , <i>Avicennia marina</i> , <i>Rhizophora apiculata</i> , <i>Rhizophora mucronata</i> , <i>Rhizophora stylosa</i> , <i>Sonneratia alba</i> .	103,1	59,3	-	-	Tsani & Muhsoni (2022)
Pesisir Desa Tantengesan, Sulawesi Utara	<i>Rhizophora apiculata</i> , <i>Rhizophora mucronata</i> , and <i>Bruguiera gymnorhiza</i>	32,46	39,22	-	-	Lumbu & Rumengan (2022)
Desa Tambakbulusan, Jawa Tengah	<i>Rhizophora mucronata</i> , <i>Avicennia marina</i> , <i>Avicennia alba</i> dan <i>Excoecaria agallocha</i>	125,39	-	57,74	-	Susilowati <i>et al.</i> (2020)

Sistem perakaran yang rapat tersebut mampu menjebak serasah dan sumber bahan organik lainnya dari luar kawasan mangrove saat pasang surut. Penelitian Hapsari *et al.* (2022) juga mendukung temuan ini dengan menyebutkan bahwa dinamika cadangan karbon organik di

sedimen mangrove dapat dipengaruhi oleh faktor oseanografi pasang surut. Pasang surut berperan dalam membawa bahan organik yang kemudian terperangkap di ekosistem mangrove.

Rendahnya simpanan karbon sedimen pada zona *Avicennia* dikarenakan jenis ini ditemukan

Tabel 3. Total Simpanan Karbon

Zona Vegetasi Mangrove	Simpanan Karbon (ton C/ha)		
	Atas	Bawah	Sedimen
<i>Sonneratia</i>	30,72±58,34	35,84±76,09	237,51
<i>Ceriops</i>	66,03±17,66	31,10±7,34	119,32
<i>Bruguiera</i>	18,60±11,88	20,26±12,73	84,25
<i>Avicennia</i>	50,12±12,99	20,40±9,84	78,28
<i>Rhizophora</i>	61,86±29,77	44,00±32,57	121,96
<i>Lumnitzera</i>	26,97±4,34	13,73±2,41	102,99
Rata-rata	42,38±19,69	27,56±11,38	124,05±58,35
Total Simpanan Karbon	193,91 ton C/ha		

pada Pulau Kalong dengan tipe substrat berupa pasir. Bahan organik di substrat pasir umumnya lebih sedikit dibandingkan dengan substrat lumpur. Pasir memiliki aerasi yang tinggi, dengan oksigen yang mudah masuk dan keluar. Tingginya kadar

Total Simpanan Karbon

Total simpanan karbon mengindikasikan seberapa besar hutan mangrove Teluk Gilimanuk dapat menyimpan karbon pada bagian atas pohon, bawah, dan sedimennya. Simpanan karbon atas pohon (batang) mangrove biasanya tergolong lebih tinggi karena sebanyak 46% dari biomassa suatu pohon adalah karbon (Hairiah dan Rahayu, 2007). Nilai kandungan biomassa mengikuti seiring dengan pertumbuhan pohon. Biomassa yang dihasilkan dari proses fotosintesis kemudian dialokasikan ke daun, ranting, batang dan akar menyebabkan pertumbuhan pohon. Rata-rata simpanan karbon atas pohon dalam penelitian ini 42,38±19,69 ton C/ha, lebih besar jika dibandingkan dengan Penelitian Rahmah *et al.*, (2015) di pesisir Banda Aceh sebesar 16,50 ton C/ha. Namun, penelitian ini berbeda jauh dibandingkan penelitian Tsani dan Muhsoni (2022) di Desa Taddan yang menghasilkan data simpanan karbon atas sebesar 103,1 ton C/ha, dikarenakan memiliki ukuran diameter batang yang berukuran besar dan merata (Tabel 2.)

Sedangkan, rata-rata simpanan karbon dalam akar cenderung lebih sedikit dibandingkan karbon atas karena media penyimpanan biomassa yang terbatas (Aqila, 2017). Biomassa bawah permukaan (akar) juga tergantung kepada ukuran diameter batang tanaman, semakin besar diameter batang maka semakin besar pula biomassa akar yang dihasilkan. Hasil simpanan karbon bawah (akar) rata-rata penelitian ini 27,56±11,38 ton

oksigen di substrat pasir dapat mempercepat proses dekomposisi bahan organik secara aerobik, menghasilkan lebih banyak karbon dioksida dan air dibandingkan dengan karbon yang disimpan (Lestariningsih *et al.*, 2018).

C/ha, lebih besar dibandingkan penelitian Lumbu dan Rumenang (2022) di Pesisir Desa Tatengesan yaitu sebesar 13,07 ton C/ha. Penelitian ini juga masih lebih besar dibandingkan dengan penelitian Emrinelson dan Warningsih (2022) yaitu sebesar 16,41 ton C/ha (Tabel 2). Hal ini dikarenakan simpanan karbon bawah (akar) sangat bergantung pada biomasanya, sehingga jumlah simpanan karbon pada tiap daerah berbeda-beda.

Salah satu penyimpanan karbon juga terdapat pada sedimen hutan. Tinggi rendahnya kandungan karbon organik sedimen berhubungan dengan kerapatan vegetasi yang berpengaruh terhadap masuknya bahan organik berupa serasah maupun sisa tumbuhan. Semakin tebal kepadatan sedimen maka semakin tinggi simpanan karbon di lahan tersebut (Prayitno *et al.*, 2013). Nilai rata-rata simpanan karbon sedimen mangrove pada penelitian ini sebesar 124,05±58,35 ton C/ha, nilai ini lebih besar dibandingkan hasil penelitian Susilowati *et al.* (2020), di Desa Tabakbulusan Demak Jawa Tengah sebesar 57,74 ton C/ha dan penelitian Rahmah *et al.* (2014), di kawasan pesisir Kota Banda Aceh sebesar 55,31 ton C/ha pada wilayah mangrove (Tabel 2). Tipe substrat berbeda serta merupakan kawasan teluk dapat menjadi penyebab tingginya simpanan karbon sedimen mangrove Teluk Gilimanuk dibandingkan pada masing-masing penelitian tersebut.

Total simpanan karbon yang didapatkan pada penelitian ini sebesar 193,91 ton C/ha (Tabel 3), dimana hasil ini lebih besar dibandingkan penelitian di pesisir Kota Banda Aceh oleh

Rahmah *et al.* (2015), sebesar 89,24 ton C/ha. Perbedaan ini dikarenakan hutan mangrove pesisir Kota Banda Aceh sudah dipengaruhi oleh adanya tambak yang menyebabkan deforestasi dan perubahan kondisi hutan mangrove di daerah tersebut. Namun, hal ini dapat berbanding terbalik dengan kondisi hutan mangrove Teluk Gilimanuk yang masuk dalam kawasan konservasi dan masih terjaga kelestariannya.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa setiap zona vegetasi memiliki jumlah simpanan karbon yang berbeda-beda. Total simpanan karbon didapatkan sebesar 193,91 ton C/ha. Nilai simpanan karbon atas hutan mangrove tertinggi terdapat pada zona vegetasi *Ceriops* yaitu sebesar 66,03±17,66 ton C/ha, dan terendah pada zona vegetasi *Bruguiera* sebesar 18,60±11,88 ton C/ha. Nilai simpanan karbon bawah hutan tertinggi terdapat pada zona vegetasi *Rhizophora* yaitu sebesar 44,00±32,57 ton C/ha, dan terendah pada zona vegetasi *Lumnitzera* sebesar 13,73±2,41 ton C/ha. Nilai simpanan karbon organik sedimen hutan tertinggi terdapat pada zona vegetasi *Sonneratia* sebesar 237,51 ton C/ha, dan terendah pada zona vegetasi *Avicennia* sebesar 78,28 ton C/ha. Estimasi simpanan karbon tidak memiliki pola zona yang sama pada simpanan karbon atas, bawah dan tanah. Hal ini dapat dikarenakan faktor adaptasi spesies serta kondisi lingkungan dan sedimentasi yang berbeda pada wilayah Teluk Gilimanuk.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F., Hairiah, K., & Mulyani A. 2011. Measuring carbon stock in peat soils: practical guidelines. Bogor, Indonesia: World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program, Indonesian Centre for Agricultural Land Resources Research and Development. 60p
- Alongi, D.M. 2012. Carbon Sequestration in Mangrove Forests. *Carbon management*, 3(3): 313-322.
- Aqila, N. 2017. Kuantifikasi Kandungan Karbon pada Hutan Rehabilitasi Mangrove Pasar Banggi, Rembang, Jawa Tengah [Doctoral dissertation]: Universitas Gadjah Mada
- Clough, B.F., & Scott, K. 1989. Allometric Relationships for Estimating Above-Ground Biomass in Six Mangrove Species. *Forest ecology and management*, 27(2): 117-127.
- Dharmawan, I.W.S., & Siregar, C.A. 2008. Karbon Sedimen dan Pendugaan Karbon Tegakan *Avicennia Marina* (Forsk.) Vierh. di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 5(4): 317-328.
- Donato, D.C., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. 2011. Mangroves Among the Most Carbon-Rich Forests in the Tropics. *Nature Geoscience*, 4(5): 293–297.
- Emrinelson, T., & Warningsih, T. 2023. Estimasi Simpanan Karbon Hutan Mangrove di Pesisir Utara Pulau Cawan, Indragiri Hilir. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 5: 58-68.
- Fitria, A., & Dwiyanto, G. 2021. Ekosistem Mangrove dan Mitigasi Pemanasan Global. *Jurnal Ekologi, Masyarakat & Sains*, 2(1): 29-34.
- Hairiah, K. & Rahayu, S. 2007. Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. World Agroforestry Centre. ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Indonesia
- Hapsari, F.N., Maslukah, L., Dharmawan, I.W.E., & Wulandari, S.Y. 2022. Simpanan Organik Dalam Sedimen Mangrove Terhadap Pasang Surut Di Pulau Bintan. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(1): 86-98.
- Husna, V.N. 2019. Estimasi Cadangan Karbon Biomassa di Atas Permukaan Pada Tegakan Mangrove Menggunakan Pengindraan Jauh di Tongke-Tongke, Sulawesi Selatan. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 9(2): 456-466.
- Ibrahim, A., & Muhsoni, F.F. 2020. Estimasi Stok Karbon Pada Ekosistem Hutan Mangrove di Desa Lembung Paseser, Kecamatan Sepuluh, Kabupaten Bangkalan. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 1(4): 498-507.
- 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.
- Kauffman, J.B., & Cole, T.G. 2010. Micronesian Mangrove Forest Structure and Tree Responses to a Severe Typhoon. *Wetlands*, 30: 1077-1084.
- Kauffman, J.B., & Donato, D. C. 2012. Protocols for the Measurement, Monitoring and

- Reporting of Structure, Biomass and Carbon Stocks in Mangrove Forests. CIFOR, Bogor, Indonesia: Working Paper 86. 40 hlm.
- 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.
- Lawrence, A. 2013. Karbon Biru. WWf Report.
- Lestariningsih, W.A., Soenardjo, N., & Priyadi, R. 2018. Estimasi Cadangan Karbon pada Kawasan Mangrove di Desa timbulsloko, demak, jawa tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(2): 121-130.
- LIPI [Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia]. 2018. Potensi Cadangan dan Serapan Karbon Ekosistem Mangrove dan Padang Lamun Indonesia. *Intisari Bagi Pengambil Kebijakan*. 330(7500): 1119-1120.
- Ma'ruf, M.S., Arthana, I.W., & Ernawati, N.M. 2022. Komposisi jenis dan kondisi mangrove di Teluk Gilimanuk, Taman Nasional Bali Barat. *Ecotrophic*, 16(2): 153–173.
- Mafazi, R. 2016. Analisis perubahan sebaran dan luasan hutan mangrove di Teluk Gilimanuk, Taman Nasional Bali Barat pada tahun 2006, 2011, dan 2015 dengan menggunakan Citra Satelit Spot 4 dan Spot 6 [Skripsi]. Malang; Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, 94 hlm.
- Mahasani, I.G.A.I., Widagti, N., & Karang, I.W.G.A. 2015. Estimasi Persentase Karbon Organik di Hutan Mangrove Bekas Tambak, Perancak, Jembrana, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 1(1): 14-18.
- Murdiyarso, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J.B., Warren, M.W., Sasmito, S.D., Donato, D.C., Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S., & Kurnianto, S. 2015. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 5(12): 1089–1092
- Nuraini, N.F., Karang, I.W.G.A., & Putra, I.N. G. 2022. Estimasi Simpanan Karbon di Atas Permukaan Menggunakan Citra Sentinel-1A di Hutan Mangrove Karang Sewu, Bali. *Journal of Marine Research and Technology*, 5(1): 21–28.
- Pongpan, S., Komiyama, A., Intana, V., Piriyaota, S., Sangtiean, T., Tanapermpool, P., Patanaponpaiboon, P. & Kato, S. 2002. A Quantitative Analysis on the Root System of a Mangrove, *Xylocarpus granatum* Koenig. *Tropics*, 12(1): 35-42.
- Pratama, R. 2019. Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi. *Buletin Utama Teknik*, 14(2): 120-127.
- Prayitno, M.B., Sabaruddin, S., Setyawan, D., & Yakup, Y. 2013. Pendugaan Cadangan Karbon Gambut pada Agroekosistem Kelapa Sawit. *Jurnal Agrista*, 17(3): 86-92.
- 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.
- Sidik, F., Supriyanto, B., & Lugina, M. 2017. Tingkat Rujukan Emisi Hutan Mangrove Delta Mahakam. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, 14(2): 93-104.
- Siregar, C.R.E., Handoyo, G., & Rifai, A. 2014. Studi Pengaruh Faktor Arus dan Gelombang Terhadap Sebaran Sedimen Dasar di Perairan Pelabuhan kaliwungu Kendal. *Journal of Oceanography*, 3(3): 338-346.
- SNI [Standar Nasional Indonesia]. 2011. Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (*Ground Based Forest Carbon Accounting*). Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Sugiana, I.P., Prartono, T., Rastina, R., & Koropitan, A.F. 2024. Ecosystem Carbon Stock and Annual Sequestration Rate From Three Genera-dominated Mangrove Zones in Benoa Bay, Bali, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 25(1): 287-299.
- Suryono, S., Soenardjo, N., Wibowo, E., Ario, R., & Rozy, E.F. 2018. Estimasi kandungan biomassa dan karbon di hutan mangrove Perancak Kabupaten Jembrana, Provinsi Bali. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(1): 1-8.
- 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.
- Sutaryo, D. 2009. Perhitungan Biomassa (Sebuah Pengantar Untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon. Bogor: Wetlands International Indonesia Programme. 48 hlm.
- Tahir, I., Mantiri, D.M., Rumengan, A.P., Muhammad, A., Ismail, F., Paembonan, R.E.,

& Harahap, Z.A. 2023. Simpanan Karbon Sedimen di Bawah Tegakan Spesies Mangrove Alami dan Mangrove Rehabilitasi. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 6(1): 803-814.

Tsani, A.A.R., & Muhsoni, F.F. 2022. Estimasi simpanan karbon mangrove di desa Taddan Kecamatan Camplong Kabupaten Sampang. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan*, 5(1): 475-485.