



Strategi Pengelolaan Ekosistem Mangrove Sebagai Upaya Adaptasi Perubahan Iklim di Pesisir Tanjungpiayu Kota Batam

Mangrove Ecosystem Management Strategies as a Climate Change Adaptation Effort on the Coast of Tanjungpiayu, Batam City

Rahima Zakia¹, Febrianti Lestari^{1,2}✉, Dony Apdillah¹, Andi Zulfikar²

¹ Magister Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang, Indonesia 29111

² Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang, Indonesia 29111

Info Artikel:

Diterima: 15 Juli 2024

Revisi: 15 Agustus 2024

Disetujui: 23 September 2024

Dipublikasi: 11 November 2024

Keyword:

Biomassa Mangrove, Perubahan Iklim, Penyerapan Karbon, Stok Karbon, Strategi Pengelolaan

Penulis Korespondensi:

Febrianti Lestari

Magister Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang, Indonesia 29111

Email: febi_lestary@umrah.ac.id



This is an open access article under the [CC-BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.

Copyright © 2024 by Authors.

Published by Program Studi

Manajemen Sumberdaya Perairan Universitas Maritim Raja Ali Haji.

How to cite this article:

Zakia, R., Lestari, F., Apdillah, D., & Zulfikar, A. (2024). *Strategi Pengelolaan Ekosistem Mangrove Sebagai Upaya Adaptasi Perubahan Iklim di Pesisir Tanjungpiayu Kota Batam*. *Jurnal Akuatiklestari*, 8(1): 13-21. DOI: <https://doi.org/10.31629/akuatiklestari.v8i1.7005>

ABSTRAK. Penelitian ini dilakukan dari September 2023 hingga Mei 2024 di kawasan hutan mangrove pesisir Tanjungpiayu Kota Batam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis potensi biomassa, stok karbon, dan serapan karbon di kawasan hutan mangrove Tanjungpiayu, menghitung nilai ekonomi karbon hutan mangrove Tanjungpiayu, serta untuk merumuskan pengelolaan ekosistem mangrove dalam upaya adaptasi perubahan iklim di pesisir Tanjungpiayu Kota Batam. Lokasi penelitian ditentukan melalui metode survei, dimana titik sampling dipilih secara *purposive sampling*. Untuk menghitung biomassa pohon dilakukan tanpa merusak (*nondestructive*), dengan mengukur diameter batang setinggi dada (*Diameter at Breast Height/DBH*) yang diambil pada ketinggian sekitar 1,3 m dari permukaan tanah. Selanjutnya, perhitungan dilakukan dengan model allometrik untuk menghitung potensi biomassa dan penyimpanan karbonnya. Penentuan strategi pengelolaan menggunakan metode AHP dengan responden sejumlah 7 orang sebagai informan kunci. Berdasarkan hasil analisis data nilai total biomassa, stok karbon dan serapan CO₂ pada lokasi penelitian adalah sebesar 150,32 ton/ha, 70,65 ton/ha dan 259,06 tonC/ha. Hal ini menunjukkan bahwa mangrove Tanjungpiayu memiliki potensi sebagai penyerap karbon atmosfer. Berdasarkan perhitungan nilai ekonomi karbon mangrove di pesisir Tanjungpiayu adalah Rp 25.054.254,16 (pasar sukarela) dan Rp 65.475.117,55 (CDM). Berdasarkan perolehan skor tertinggi aspek saintek menjadi prioritas dalam mempertimbangkan alternatif strategi pengelolaan ekosistem mangrove. Alternatif prioritas dengan skor tertinggi untuk pengelolaan ekosistem mangrove di pesisir Tanjungpiayu berupa pendampingan peningkatan keterampilan masyarakat dalam pengelolaan ekosistem mangrove berbasis adaptasi perubahan iklim.

ABSTRACT. This research was conducted from September 2023 to May 2024 in the coastal mangrove forest area of Tanjungpiayu, Batam City. The objectives of this study were to analyze the potential biomass, carbon stock, and carbon sequestration in Tanjungpiayu mangrove forest area, to calculate the carbon economic value of Tanjungpiayu mangrove forest, and to formulate mangrove ecosystem management in climate change adaptation efforts in Tanjungpiayu coastal Batam City. The research location was determined through the survey method, where sampling points were selected by purposive sampling. To calculate the biomass of trees, nondestructive measurements were made by measuring the trunk's diameter at breast height (*Diameter at Breast Height/DBH*) taken at a height of about 1.3 m from the ground. Subsequently, calculations were made using an allometric model to calculate the potential biomass and carbon storage—determination of management strategies using the AHP method with 7 respondents as key informants. Based on the results of data analysis, the value of total biomass, carbon stock, and CO₂ uptake at the research site is 150,32 tons/ha, 70,65 tons/ha, and 259,06 tons/ha. This shows that the Tanjungpiayu mangrove has potential as an atmospheric carbon sink. Based on the calculation of the economic value of mangrove carbon in coastal Tanjungpiayu is Rp.25.054.254,16 (voluntary market) and Rp65.475.117,55 (CDM). Based on the highest score, scientific aspects are prioritized in considering alternative mangrove ecosystem management strategies. Priority alternatives with the highest score for mangrove ecosystem management in coastal Tanjungpiayu in the form of assistance to improve community skills in mangrove ecosystem management based on climate change adaptation.

1. PENDAHULUAN

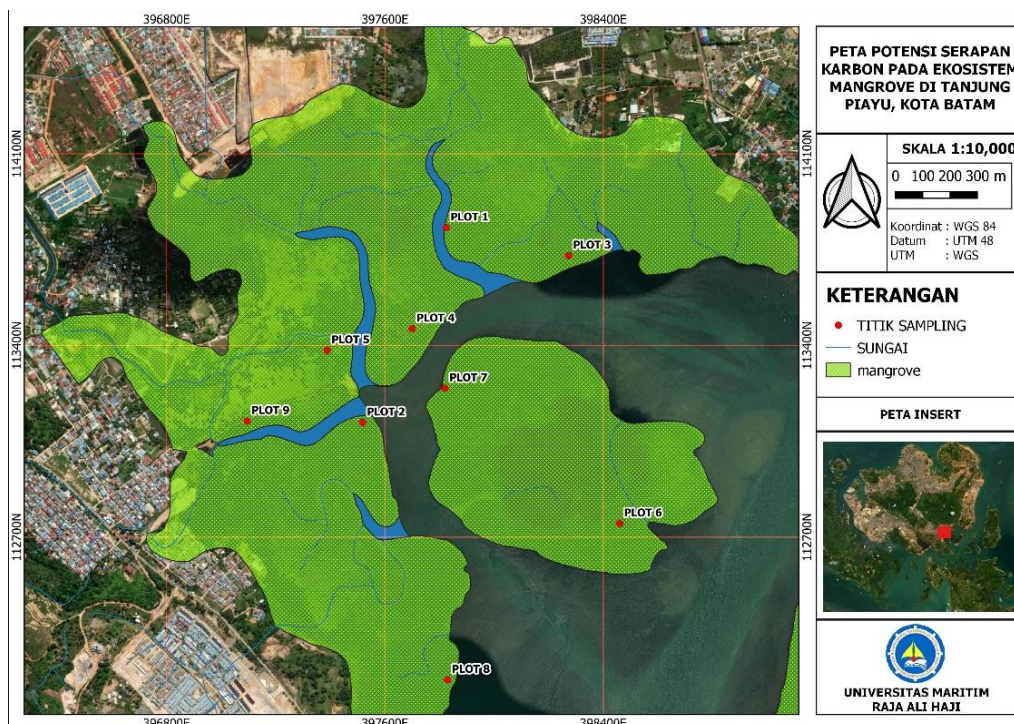
Pemanasan global muncul akibat dari peningkatan suhu di atmosfer yang disebabkan oleh aktivitas gas rumah kaca (Rizki *et al.*, 2016). Penggunaan bahan bakar fosil dan perubahan dalam penggunaan lahan merupakan faktor yang menyebabkan perubahan iklim. Aktivitas pembakaran, merokok, dan melepaskan metana (CH_4) dari gas alam serta emisi gas rumah kaca seperti HFC (hidrofluorokarbon) atau PFC (perfluorokarbon) berkontribusi pada peningkatan konsentrasi gas karbon di lingkungan (Purnobasuki, 2006). Karena pemanasan global, permukaan air laut naik, bentuk garis pantai berubah, perubahan jalan, dataran rendah air, dan peningkatan erosi adalah semua hasilnya. Di sisi lain, keberadaan badai, peningkatan jumlah curah hujan, dan evapotranspirasi adalah beberapa contoh dampak perubahan iklim (Lopulalan, 2015). Suatu tindakan yang dapat dilakukan saat ini untuk mengurangi efek perubahan iklim adalah meningkatkan kemampuan menyerap karbon atau mengurangi jumlah emisi karbon. Hutan memiliki peran krusial dalam proses menyerap karbon dioksida (CO_2) di atmosfer (Mawardi *et al.*, 2022).

Hutan mangrove berperan sebagai penyerap karbon, memiliki kapasitas penyimpanan karbon yang melebihi sebagian besar hutan di dunia (Dinilhuda *et al.*, 2018). Kemampuan pohon dalam menyimpan karbon melalui fotosintesis mempengaruhi potensi penyerapan karbon yang akan disimpan dalam bentuk biomassa (Rachmawati *et al.*, 2014). Sebagai area pesisir yang paling efektif dalam menyerap karbon, hutan mangrove memainkan peran yang sangat signifikan dalam upaya untuk mengurangi dampak perubahan iklim (Liu *et al.*, 2017). Hutan mangrove mampu menyalurkan dan menyerap karbon dalam jumlah 3 hingga 5 kali lebih tinggi dibandingkan dengan hutan tropis di daratan (Fitria & Dwiyanto, 2021). Sejak Pulau Batam dan beberapa pulau di sekitarnya dibangun menjadi tempat industri, perdagangan, alih kapal, dan pariwisata, wilayah Kota Batam terus berkembang. Terutama, sektor industri besar dengan lebih dari 100 pekerja meningkat dari tahun 1999 hingga 2003 (Jumali *et al.*, 2017). Menurut hasil analisis Ratri *et al.* (2023) Kota Batam memiliki nilai rata-rata, emisi CO adalah 1,7146437330 g/km, HC sebesar 0,2094346840 g/km, NOx sebesar 1,0205328145 g/km, serta SPM dengan nilai 0,1516939445 g/km. Nilai tersebut telah melebihi nilai baku mutu dimana nilai baku mutu untuk masing-masing emisi CO, HC, NOx, dan SPM adalah 0,74 g/km, 0,07 g/km, 0,39 g/km, dan 0,06 g/km. Sebagai ruang terbuka hijau yang dimiliki Kota Batam tentunya hutan mangrove memiliki peranan penting dalam penurunan emisi karbon diudara. Berdasarkan analisis spasial oleh Irawan & Malau (2023) hutan mangrove yang ada di Kecamatan Sei Beduk dari total luasan sebesar 484,06 ha, Tanjungpiayu memiliki luasan sebesar 296,95 ha, dimana hal ini dapat berpotensi besar dalam menyerap karbon di Kota Batam. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi biomassa, stok karbon, dan serapan karbon di kawasan hutan mangrove Tanjungpiayu, menghitung nilai ekonomi karbon hutan mangrove Tanjungpiayu merumuskan strategi pengelolaan ekosistem mangrove sebagai upaya adaptasi perubahan iklim di pesisir Tanjungpiayu Kota Batam.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan dari bulan September 2023 hingga Mei 2024 di kawasan ekosistem mangrove pesisir Tanjungpiayu Kota Batam. Peta sebaran lokasi penelitian disajikan dalam Gambar 1.



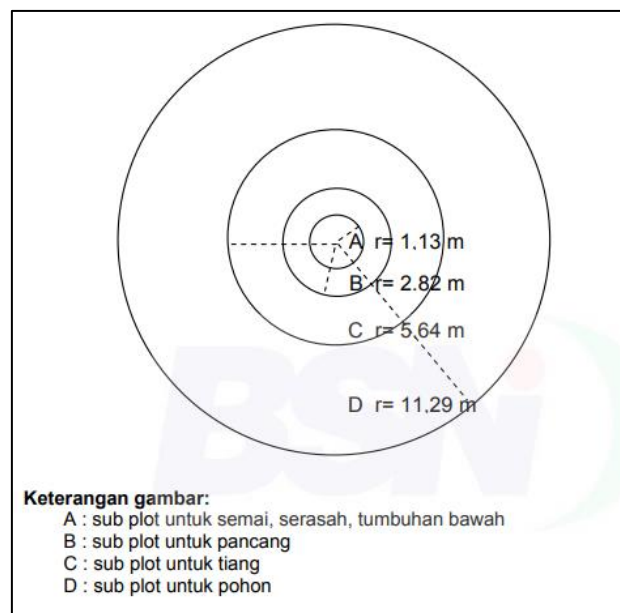
Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian di Ekosistem Mangrove Pesisir Tanjungpiayu Kota Batam

2.2. Alat dan Bahan

Alat serta bahan yang digunakan selama penelitian ini berupa tali rafia yang digunakan untuk pembuatan plot pengamatan, buku identifikasi untuk membantu dalam mengidentifikasi jenis mangrove, GPS Garmin Map 78S sebagai alat navigasi untuk menentukan lokasi pengamatan, meteran kain untuk mengukur lingkaran pohon, rollmeter sebagai alat ukur pembuatan plot pengamatan, jangka sorong untuk mengukur diameter batang semai mangrove, alat tulis untuk mencatat hasil pengamatan, kamera untuk dokumentasi lapangan, dan laptop digunakan sebagai alat untuk menganalisis data dan menulis hasil penelitian.

2.3. Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode survei dengan pengambilan lokasi pengamatan ditentukan dengan teknik *purposive sampling*. Pemilihan lokasi penelitian mempertimbangkan keberadaan ekosistem mangrove sebagai kawasan hijau yang menjadi paru-paru Kota Batam, khususnya Tanjungpiayu. Untuk plot pengamatan biomassa karbon mangrove dilakukan dengan menggunakan metode jelajah/eksplorasi, di mana jalur yang dapat mewakili ekosistem mangrove di kawasan yang diamati dijelajahi. Plot pengamatan dibentuk dalam bentuk lingkaran, sebagaimana disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi Plot Pengamatan

2.4. Teknik Pengumpulan Data

Estimasi biomassa pohon dilakukan tanpa merusak atau menebang pohon (*nondestructive*) dimana prosedur pengukuran sampel vegetasi di lapangan mengacu pada pedoman yang tercantum dalam SNI 2011: 7724 tentang Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon dengan cara melakukan pengukuran diameter batang setinggi dada (*Diameter at Breast Height/DBH*) pada ketinggian sekitar 1,3 m dari permukaan tanah.

Strategi pengelolaan diperoleh dari wawancara responden yang berjumlah 7 orang sebagai informan kunci yang terdiri dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Kepulauan Riau (1 orang), Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Seijang Durian Kang (1 orang), Dinas Lingkungan Hidup Kota Batam (1 orang), Balai Konservasi Sumberdaya Alam wilayah II Batam (1 orang), Kesatuan, Pengelolaan Hutan Lindung Kota Batam (1 orang), Pemerintah Desa/Kelurahan Tanjungpiayu (1 orang), LSM (Akar Bhumi) (1 orang).

2.5. Analisis Data

2.5.1. Analisis Data Karbon Mangrove

Pengukuran biomassa diatas permukaan jika menggunakan pendekatan model persamaan alometrik dilakukan berdasarkan kriteria ketersediaan informasi model alometrik untuk suatu jenis vegetasi mangrove. Hasil perhitungan total biomassa pada setiap sampel pohon digunakan sebagai dasar untuk memproyeksikan kandungan biomassa menggunakan persamaan berikut:

$$Y = aX^b$$

Keterangan: Y = variabel bergantung, berupa total biomassa pohon bagian atas tanah (batang, cabang/dahan/ranting atau daun), X = variabel bebas, berupa diameter batang (D), a, b = konstanta.

Adapun beberapa contoh model persamaan alometrik yang digunakan untuk menghitung nilai biomassa dibawah permukaan pada vegetasi mangrove disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Model Persamaan Alometrik untuk Jenis Vegetasi Mangrove

Jenis	Persamaan <i>Bellow Ground Biomass</i>	P
<i>Aegiceras 16ucronate16e*</i>	WR = 0,199p ^{0,899} D ^{2,22}	0,64
<i>Avicennia alba</i>	WR= 1,28*DBH ^{1,17}	
<i>Avicennia lanata</i>	WR= 1,28*DBH ^{1,17}	
<i>Avicennia officinalis</i>	WR = 1,28*DBH ^{1,17}	
<i>Bruguiera cylindrica</i>	WR = 0,0188(D ² H) ^{0,909}	
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	WR = 0,0188(D ² H) ^{0,909}	
<i>Ceriop tagal*</i>	WR = 0,199p ^{0,899} D ^{2,22}	
<i>Heritiera littoralis*</i>	WR = 0,199p ^{0,899} D ^{2,22}	0,98
<i>Lumnitzera littorea*</i>	WR = 0,199p ^{0,899} D ^{2,22}	
<i>Rhizophora apiculata</i>	WR = 0,00698*DBH ^{2,61}	
<i>Rhizophora 16ucronate</i>	WR = 0,00698*DBH ^{2,61}	
<i>Sonneratia alba</i>	WR = 0,199p ^{0,899} D ^{2,22}	
<i>Sonneratia caseolaris*</i>	WR = 0,199p ^{0,899} D ^{2,22}	0,5
<i>Xylocarpus granatum</i>	WR = 0,145*D ^{2,55}	
<i>Xylocarpus moluccensis*</i>	WR = 0,199p ^{0,899} D ^{2,22}	0,74

Keterangan: * = Persamaan umum

Sumber : Komiyama *et al.* (2005), Clought & Scout (1989) , Hidayati *et al.* (2023)

Keterangan: Wag = Biomasa di atas permukaan tanah (jumlah biomasa yang berada di atas permukaan tanah), WR = Nilai biomassa bawah permukaan (ton/ha), D/DBH= diameter batang setinggi dada (1,3 m), P = Bulk density/kepadatan masal (kg/cm³).

Perhitungan massa karbon menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Cb = B \times \% C - organik$$

Keterangan: Cb = Massa karbon/ kandungan karbon dari biomassa (kg atau ton), B = Biomassa (kg atau ton), % Corganik = Persentase kandungan karbon sebesar 0,47 atau menggunakan hasil %C yang diperoleh dari hasil analisis laboratorium.

Cadangan karbon per hektar biomassa di atas permukaan tanah dihitung menggunakan persamaan berikut (SNI, 2011):

$$Cn = \frac{cx}{1000} \times \frac{10000}{l_{plot}}$$

Keterangan: Cn = kandungan karbon ton per hektar pada tiap plot (ton/ha), Cx = kandungan karbon pada tiap plot (kg), Lplot = luas plot area penelitian (m²)

Serapan karbondioksida setiap spesies mangrove dapat dihitung dari hasil data kalkulasi stok karbon. Menurut Banuwa *et al* (2019), serapan karbondioksida dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Serapan } CO_2 = \frac{MrCO_2}{ArC} \times \text{Karbon}$$

Keterangan: Mr CO₂= 12 + (16 x 2) = 44 (Massa molekul relatif), Ar C = 12 (Massa atom relatif)

2.5.2. Nilai Ekonomi Karbon Mangrove

Untuk menentukan harga karbon mangrove, penelitian ini menggunakan dua pendekatan berupa harga yang berlaku di pasar sukarela (*voluntary market*) dan pasar wajib (*regulated market*). Harga ini diperoleh dari data pasar global tahun 2010, dengan nilai masing-masing \$6 per ton CO₂^e dan \$15.68 per ton CO₂^e (Ullman *et al.*, 2013). Harga konversi yang digunakan adalah Rp 16.000.

2.5.3. Analisis Strategi Pengelolaan Ekosistem Mangrove Berbasis Mitigasi Perubahan Iklim Pulau- Pulau Kecil

Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) digunakan untuk menentukan strategi untuk mengelola ekosistem mangrove. Kuesioner digunakan untuk menentukan tingkat strategi alternatif (Warningsih *et al.*, 2021). Proses *Analytical Hierarchy Process* (AHP) digunakan untuk memperoleh pilihan langkah operasional berdasarkan perspektif stakeholder tentang pengelolaan ekosistem mangrove. AHP memungkinkan penyelesaian sebuah masalah dalam kerangka yang terstruktur sehingga dapat dikomunikasikan secara efektif untuk mendukung pengambilan keputusan yang efektif atas masalah tersebut (Sodikin, 2018). Nilai konsekuensi diperoleh dengan menggunakan aplikasi R-studio untuk menghitung rata-rata geometrik. Hasil menunjukkan bahwa strategi mitigasi perubahan iklim adalah pilihan terbaik untuk mengelola mangrove di pulau-pulau kecil.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi Ekosistem Mangrove Tanjungpiayu Kota Batam

Kawasan ekosistem mangrove di Perairan Estuari Kelurahan Tanjungpiayu terdiri dari beberapa aliran sungai yang berfungsi sebagai pemisah antara beberapa bagian kawasan mangrove. Kawasan Tanjungpiayu, Kota Batam, memiliki mangrove dengan kategori kerapatan sangat padat, dengan rata-rata lebih dari 1500 pohon per ha dan sebagian besar memiliki ketebalan lebih dari 1 km (Kamarudin et al., 2023). Masyarakat di sekitar perairan estuari Kelurahan Tanjungpiayu memanfaatkan kawasan mangrove untuk kegiatan seperti pembuatan tambak udang, kegiatan memancing, serta mencari ikan sebagai sumber mata pencaharian mereka. Data mengenai jumlah tegakan yang ditemukan untuk setiap jenis dan rata-rata diameter tegakan disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah dan Rata-Rata Diameter per Jenis

Jenis Mangrove	Jumlah Tegakan (ind)	Rata-Rata Diameter (cm±stdv)
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	3	4,30 ± 1,11
<i>Lumnitzera littorea</i>	1	5,41 ± -
<i>Rhizophora apiculata</i>	380	5,70 ± 2,30
<i>Rhizophora mucronata</i>	25	8,04 ± 2,43
<i>Xylocarpus granatum</i>	3	5,73 ± 3,59

Sumber: Data Lapangan (2024)

Berdasarkan hasil penelitian *Rhizophora apiculata* (Gambar 3) merupakan jenis yang mendominasi dan dijumpai pada seluruh lokasi pengamatan. Hal ini dikarenakan karakteristik substrat yang dijumpai di lapangan berupa lumpur berpasir yang disenangi oleh mangrove jenis *Rhizophora* sp. Hal ini juga sesuai dengan penelitian Zakia et al. (2024), di Kawasan Pesisir Tanjungpiayu ditemukan dua jenis mangrove yang dominan yaitu *Rhizophora mucronata* dan *Rhizophora apiculata*. Substrat memiliki peranan yang signifikan dalam mendukung pertumbuhan ekosistem mangrove, khususnya pada tahap semai, di mana perkembangan akar sangat dipengaruhi oleh tipe substrat (Zakia & Lestari, 2022).



Gambar 3. Kondisi Tegakan Mangrove pada Lokasi Penelitian yang Didominasi oleh *Rhizophora apiculata*

3.2. Biomassa, Stok Karbon dan Estimasi Serapan Karbon Bawah Permukaan pada Ekosistem Mangrove Tanjungpiayu Kota Batam

Jika dibandingkan dengan hutan tropis, ekosistem mangrove memainkan peran yang sangat penting sebagai penyerap karbon. Proses pemindahan karbon dari atmosfer dan penyimpanannya dalam kantong karbon, atau tempat penyimpanan karbon, dikenal sebagai sekuestrasi karbon (Alviana et al., 2023). Hasil analisis nilai biomassa berdasarkan sebaran jenis yang ditemukan pada masing-masing stasiun pengamatan disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Biomassa Bawah Permukaan Masing-masing Jenis

Jenis Mangrove	Rata-Rata Diameter (cm±stdv)	Below Ground Biomass (ton/ha)
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	4,30 ± 1,11	1,84
<i>Lumnitzera littorea</i>	5,41 ± -	2,57
<i>Rhizophora apiculata</i>	5,70 ± 2,30	109,92
<i>Rhizophora mucronata</i>	8,04 ± 2,43	13,90
<i>Xylocarpus granatum</i>	5,73 ± 3,59	22,09

Sumber: Analisis Data (2024)

Hasil analisis stok karbon mangrove berdasarkan jenis mangrove yang ditemukan di seluruh lokasi penelitian disajikan dalam Tabel 4.

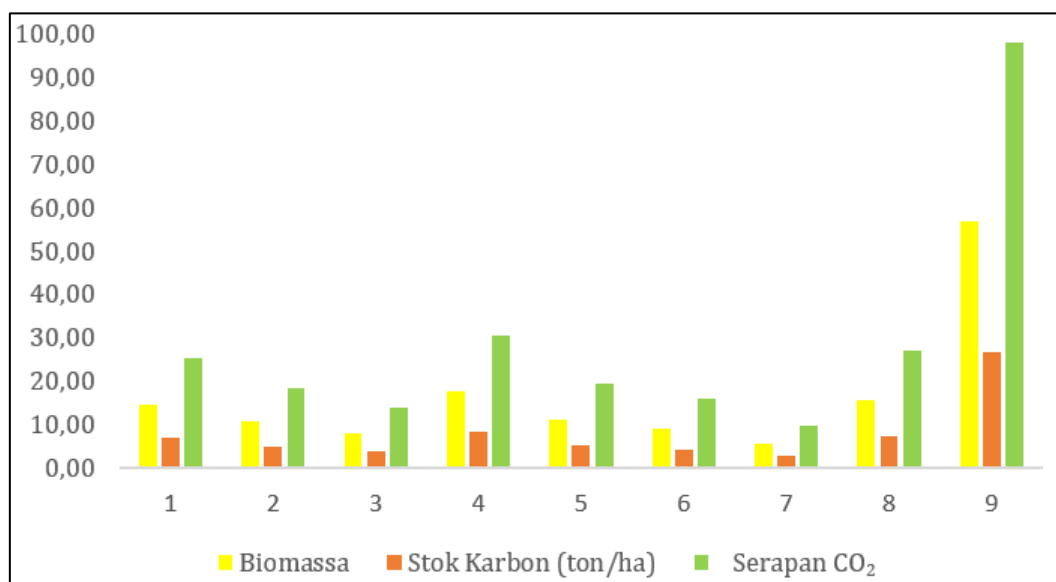
Tabel 4. Nilai Stok Karbon Bawah Permukaan yang Tersimpan pada Masing-masing Jenis yang Dijumpai di Seluruh Lokasi Pengamatan

Jenis Mangrove	Jumlah Tegakan (ind)	Below Ground Biomass (ton/ha)
<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	3	0,86
<i>Lumnitzera littorea</i>	1	1,21
<i>Rhizophora apiculata</i>	380	51,66
<i>Rhizophora mucronata</i>	25	6,53
<i>Xylocarpus granatum</i>	3	10,38

Sumber: Analisis Data (2024)

Berdasarkan nilai pada Tabel 4 di atas, *Rhizophora apiculata* memiliki nilai tertinggi untuk stok karbon bawah permukaan tanah dengan nilai 51,66 ton/ha. Hal ini dipengaruhi oleh jumlah tegakan *Rhizophora apiculata* yang lebih banyak bila dibandingkan dengan jenis lainnya. Berdasarkan hasil penelitian Siwi *et al.* (2022) hutan mangrove Desa Parida di Kecamatan Lasalepa Kabupaten Muname memiliki potensi serapan CO₂ rata-rata 1057,49 ton per ha. Hasil ini menunjukkan bahwa banyak pohon tidak selalu memiliki kandungan karbon yang tinggi. Nilai biomassa dan simpanan karbon untuk setiap jenis vegetasi mangrove berbeda, tergantung pada massa kayu.

Hasil analisis biomassa, stok karbon dan estimasi serapan CO₂ pada pada masing-masing stasiun pengamatan disajikan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Biomassa, Stok Karbon dan Estimasi Serapan CO₂ Bawah Permukaan Tanah Mangrove pada Masing-masing Lokasi Pengamatan

Nilai total estimasi serapan CO₂ pada lokasi penelitian sebesar 259,06 tonC/ha dengan nilai tertinggi serapan CO₂ di bawah permukaan pada stasiun 9 sebesar 98,12 tonC/ha. Berdasarkan hasil penelitian Hidayati *et al.* (2023) ekosistem mangrove di Kepulauan Riau memiliki nilai biomassa sebesar 1.854,54 ton/ha, estimasi stok karbon sebesar 2.052,78 tonC/ha, dan kemampuan menyerap CO₂ sebesar 7.527,52 tonC/ha. Hasil penelitian Alviana *et al.* (2023) di Desa Pengudang menunjukkan nilai biomassa total 498,77 ton/ha, nilai stok karbon 1203,27 ton/ha, dan nilai sekuestrasi karbon 4.412,05 ton/ha. Berdasarkan hasil penelitian terdapat perbedaan nilai stok karbon pada masing-masing lokasi penelitian dimana stok karbon yang ada di Tanjungpiayu lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil penelitian Alviana *et al.* (2023), dan Hidayati *et al.* (2023). Perbedaan pada hasil penelitian ini dengan penelitian sebelumnya dikarenakan pada penelitian ini hanya menghitung jumlah serapan karbon pada bawah permukaan tanah (BGB) tanpa menghitung nilai atas permukaan tanah (AGB). Nilai AGB (biomassa di atas permukaan) lebih tinggi daripada BGB (biomassa di bawah permukaan) berdasarkan analisis allometrik. Ini karena AGB mencakup lebih banyak sumber biomassa daun, cabang, dan batang daripada BGB yang hanya berasal dari biomassa akar (Heriyanto *et al.*, 2020).

Perbedaan stok karbon pada beberapa lokasi penelitian dapat dipengaruhi oleh sebaran jenis mangrove, jumlah tegakan dan diameter batang suatu jenis mangrove dalam satu plot pengamatan. Kemampuan pohon dalam menyimpan karbon dicerminkan oleh karbon yang tersimpan pada pohon tersebut, dimana besarnya bergantung pada jumlah biomassa yang dimiliki oleh pohon tersebut (Ngidu *et al.*, 2023, Luhulima *et al.*, 2020). Selain itu, pohon dengan diameter yang lebih besar juga memiliki potensi lebih besar pula dalam menyimpan karbon (Sribianti *et al.*, 2022).

3.3. Nilai Ekonomi Karbon Mangrove

Hasil perhitungan nilai ekonomi karbon mangrove di pesisir Tanjungpiayu Kota Batam disajikan dalam Tabel 5.

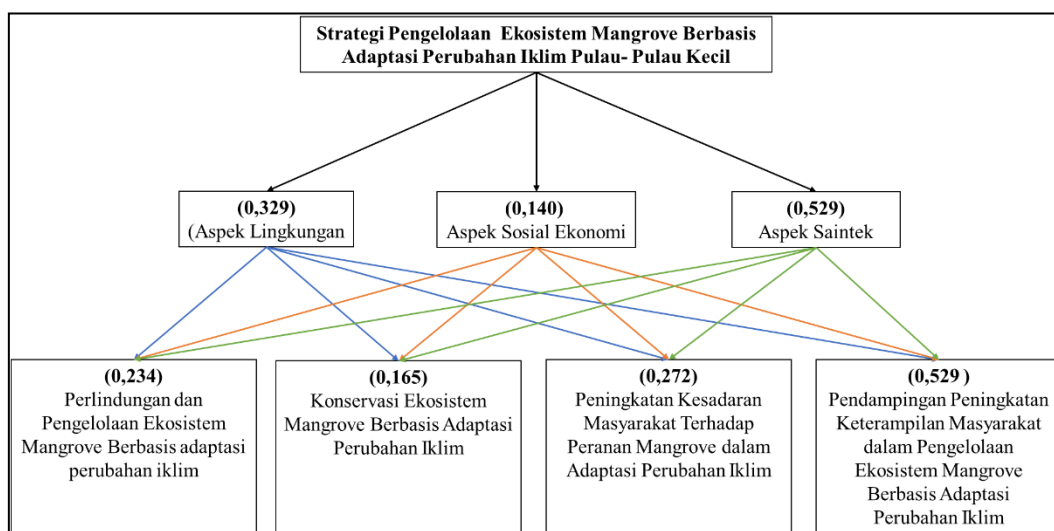
Tabel 5. Nilai Ekonomi Karbon Vegetasi Mangrove dengan Perbandingan Harga Pasar Karbon Bebas dan Pasar Wajib–CDM

Lokasi	Parameter	Per hektar (Rp)	Keterangan
Tanjungpiayu	Pasar sukarela	25.054.254,16	Data hasil penelitian 2024
	Pasar wajib (CMD)	65.475.117,55	
Sungai Musi	Pasar sukarela	33.061.660,00	Hasil penelitian Farahisah, et al (2021)
	Pasar wajib (CMD)	86.401.139,00	
Kema, Sulawesi Utara	Pasar sukarela	39.762.835,00	Hasil penelitian Kepel, et al. (2017)
	Pasar wajib (CMD)	103.913.543,00	

Berdasarkan perhitungan menggunakan nilai pasar sukarela dan pasar wajib *Clean development mechanism* (CDM) (Ullman et al., 2013), nilai ekonomi karbon mangrove di pesisir Tanjungpiayu adalah Rp 25.054.254,16 (pasar sukarela) dan Rp 65.475.117,55 (CDM). Nilai ini lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil penelitian Farahisah et al. (2021) di muara Sungai Musi dengan serapan karbon sebesar 393,59 tonC/ha, yaitu Rp33.061.660,00 (pasar sukarela) dan Rp86.401.139,00 (CDM), serta penelitian Kepel et al. (2017) dengan total serapan karbon 490,89 tonC/ha, yaitu Rp39.762.835,00 (pasar sukarela) dan Rp103.913.543 (CDM). Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan nilai serapan karbon dimana penelitian ini hanya mencakup serapan karbon bawah permukaan serta adanya perbedaan luasan pada masing-masing lokasi penelitian.

3.4. Strategi Pengelolaan Ekosistem Mangrove sebagai Upaya Adaptasi Perubahan Iklim di Pesisir Tanjungpiayu Kota Batam

Pengelolaan ekosistem mangrove dalam upaya adaptasi perubahan iklim memiliki beberapa aspek yang perlu diperhatikan seperti aspek lingkungan, sosial ekonomi dan saintek. Aspek-aspek ini kemudian menjadi pilihan bagi para *stakeholders* untuk menentukan prioritas dalam strategi pengelolaan ekosistem mangrove berbasis upaya adaptasi perubahan iklim di pesisir Tanjungpiayu. Sebagai upaya adaptasi perubahan iklim dalam konteks strategi pengelolaan, berbagai variabel dan aspek memainkan peran penting. Aspek lingkungan seperti kapasitas penyerapan karbon, perlindungan pesisir, dan regulasi iklim pertimbangan penting (Winanti et al., 2022). Selain itu, aspek sosial ekonomi seperti keterlibatan masyarakat, peningkatan kesejahteraan ekonomi, dan pengembangan ekowisata sangat penting untuk pengelolaan berkelanjutan. Selain itu, aspek saintek, meliputi pemanfaatan teknologi, pengembangan infrastruktur, dan kerangka hukum, memberikan kontribusi signifikan terhadap adaptasi strategi yang efektif. Memahami dampak perubahan iklim pada ekosistem bakau, mempromosikan keterlibatan masyarakat, meningkatkan peluang ekonomi, dan memanfaatkan teknologi serta dukungan hukum adalah komponen kunci dalam mengembangkan strategi pengelolaan bakau yang komprehensif dan berkelanjutan untuk adaptasi perubahan iklim (Tjahjono et al., 2022). Berdasarkan hasil analisis aspek saintek memiliki nilai skor yang lebih tinggi dibandingkan dengan dua aspek lainnya, dimana skor pada aspek saintek sebesar 0,529, kemudian diikuti oleh aspek lingkungan sebesar 0,329 dan aspek sosial ekonomi dengan skor 0,140. Hal ini menunjukkan aspek saintek merupakan aspek prioritas yang meliputi berbagai strategi dan teknologi yang digunakan dalam mempertimbangkan alternatif pengelolaan ekosistem mangrove berbasis adaptasi perubahan iklim. Berdasarkan Gambar 5 dengan nilai tertinggi skor 0,529 menjadi prioritas untuk tingkatan alternatif/strategi berupa pendampingan peningkatan keterampilan masyarakat dalam pengelolaan ekosistem mangrove berbasis adaptasi perubahan iklim.



Gambar 5. Diagram Hierarki Prioritas

Salah satu bentuk dari peningkatan kemampuan masyarakat dalam pengelolaan ekosistem mangrove dapat dilakukan dengan memperhatikan pandangan mereka terhadap ekologi, ekonomi, serta budaya dan sosial (Nanlohy *et al.*, 2020). Program adaptasi yang dilakukan melibatkan kolaborasi antara komunitas masyarakat dan pemerintah dalam merumuskan langkah-langkah adaptasi. Keterlibatan komunitas masyarakat menjadi kunci dalam meningkatkan ketahanan masyarakat terhadap dampak bencana, dengan demikian memperkuat tradisi lokal untuk melestarikan dan menjaga mangrove agar tetap lestari (Koem, 2019). Hal-hal penting yang ditekankan dalam meningkatkan kapasitas masyarakat termasuk: proses perencanaan dasar dengan menganalisis informasi, mengidentifikasi tindakan dan pihak yang relevan, serta memprioritaskan dan mengimplementasikan mereka (Mayunita *et al.*, 2023).

4. SIMPULAN

Nilai total biomassa, stok karbon dan serapan CO₂ pada lokasi penelitian adalah sebesar 150,32 ton/ha, 70,65 ton/ha dan 259,06 tonC/ha. Hal ini menunjukkan bahwa mangrove Tanjungpiayu memiliki potensi sebagai penyerap karbon atmosfer. Berdasarkan perhitungan nilai ekonomi karbon mangrove di pesisir Tanjungpiayu adalah Rp 25.054.254,16 (pasar sukarela) dan Rp 65.475.117,55 (CDM). Berdasarkan perolehan skor tertinggi aspek saintek menjadi prioritas dalam mempertimbangkan alternatif strategi pengelolaan ekosistem mangrove. Alternatif prioritas dengan skor tertinggi untuk pengelolaan ekosistem mangrove di pesisir Tanjungpiayu berupa pendampingan peningkatan keterampilan masyarakat dalam pengelolaan ekosistem mangrove berbasis adaptasi perubahan iklim.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih Penulis ucapkan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Maritim Raja Ali Haji yang telah melaksanakan penelitian ini melalui Program *Matching Fund* UMRAH Tahun 2023; BPDASHL Sei Jang Duriangkang sebagai mitra program MF 2023; Kecamatan Sei Beduk, Kelurahan Tanjungpiayu; LSM Akar Bhumi; kelompok KTH Tambak Tanjungpiayu dan masyarakat pengelola hutan mangrove.

6. REFERENSI

- Alviana, D., Anggraini, R., Hidayati, J.R., Karlina, I., Lestari, F., Apdillah, D., Syakti, A.D., & Sihite, D. (2023). Estimasi Cadangan Karbon Pada Ekosistem Mangrove di Desa Pengudang Kecamatan Teluk Sebong Kabupaten Bintan. *Jurnal Kelautan Tropis*. 26(3): 464-472. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i3.18326>
- Banuwa, I.S., Afriliyanti, R., Utomo, M., Yusnaini, S., Riniarti, M., Sanjaya, P., Suroso, E., & Hidayat, W. (2019). Short Communication: Estimation of The Above and Below-Ground Carbon Stocks in University of Lampung, Indonesia. *Biodiversitas*. 20(3): 676-681. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200309>
- Clought, B.F., & Scott K. (1989). Allometric relationship for estimating above ground biomass in six mangrove species. *Forest Ecology and Management*. 27(2): 117-127. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(89\)90034-0](https://doi.org/10.1016/0378-1127(89)90034-0)
- Dinilhuda, A., Akbar, A.A., & Jumiati, J. (2018). Peran Ekosistem Mangrove Bagi Mitigasi Pemanasan Global. *Jurnal Teknik Sipil*. 18(2): 191-198. <https://doi.org/10.26418/jtst.v18i2.31233>
- Fitria, A., & Dwiyanoto, G. (2021). Ekosistem Mangrove dan Mitigasi Pemanasan Global. *Jurnal Ekologi, Masyarakat & Sains*. 2(1): 29-34. <https://doi.org/10.55448/ems.v2i1.20>
- Heriyanto, T., Amin, B., Rahimah, I., & Ariani, F. (2020). Analisis Biomassa dan Cadangan Karbon pada Ekosistem Mangrove di Kawasan Pantai Berpasir Desa Kawal Kabupaten Bintan. *Jurnal Manajemen Riset dan Teknologi Universitas Karimun (JURNAL MARITIM)*. 2(1): 31-41. <http://dx.doi.org/10.51742/ojsm.v2i1.104>
- Hidayati, J.R., Alviana, D., Anggraini, R., Karlina, I., Febriansyah, P., Fajri, M., Lestari, F., Apdillah, D., Syakti, A.D., & Sihite D. (2023). Estimation of Potential Carbon Stocks in Mangrove Ecosystems in the Riau Islands. *BIO Web of Conferences*. 70(02013). <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237002013>
- Irawan, S., & Malau, A.O. (2016). Analisis Persebaran Mangrove di Pulau Batam Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh. *Jurnal Integrasi*. 8(2): 80-87.
- Jumali, J., Farhan, N., Razma, O., Amalia, N.F., & Sudarmiati, S. (2017). Peran Pemerintah Daerah dalam Mengoptimalkan Penanganan Pencemaran Lingkungan di Wilayah Pesisir Kota Batam. *Jurnal Selat*. 5(1): 25-35.
- Kamarudin, Lestari, F., Azizah, D., Zahid, A., Susiana, & Kurniawan, D. (2023). Tingkat Kesesuaian Dan Daya Dukung Ekosistem Mangrove Untuk Kegiatan Sylvo-Ekowisata Di Kawasan Pesisir Tanjung Piayu Kota Batam. *JPPD (Jurnal Perikanan Darat dan Pesisir)*. 4(2): 19-27
- Koem, S. (2019). Membangun Ketahanan Berbasis Komunitas dalam Mengurangi Risiko Bencana di Desa Pilomou Kabupaten Gorontalo. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*. 4(2): 211-222. <https://doi.org/10.30653/002.201942.143>
- 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. <https://doi.org/10.1017/S0266467405002476>
- Liu, K., Wang, J., Zeng, W., & Song, J. (2017). Comparison and Evaluation of Three Methods for Estimating Forest Above Ground Biomass Using TM and GLAS Data. *Remote Sensing*. 9(4): 341. <https://doi.org/10.3390/rs9040341>
- Lopulalan, M.C. (2015). *Penentuan Faktor Emisi Spesifik untuk Estimasi dan Pemetaan Tapak karbon dari Sektor Transportasi dan Industri di Kabupaten Banyuwangi*. [Tesis]. Institut Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Luhulima, S.H., Osok, R.M., & Kaya, E. (2020). Simpanan Karbon Di Atas Permukaan Pada Berbagai Penggunaan Lahan Di Hutan Lindung Sirimau, Pulau Ambon. *Jurnal Budidaya Pertanian*. 16(2):215-223. <https://doi.org/10.30598/jbdp.2020.16.2.215>
- Mawardi, I., Winanti, W.S., Sudinda, T.W., & Alimin, A. (2022). Analisis Capaian Nol Bersih Emisi Karbon Sebagai Acuan Indonesia dalam Pemenuhan Komitmen Mitigasi Perubahan Iklim. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*. 16(2): 71-89. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012058>

- Mayunita, S., Gazalin, J., & Fida, W.N. (2023). Peningkatan Kapasitas Masyarakat Dalam Upaya Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim pada Ekosistem Hutan Mangrove di Teluk Lasongko Kabupaten Buton. *SOROT (Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat)*. 2(1): 24-31. <https://doi.org/10.32699/sorot.v2i1.412>
- Ngidu, E.Y., Astiani, D., & Ekamawanti, H.A. (2023). Estimasi Kandungan Karbon Mangrove pada Areal Penanaman Tahun 2012 di Kawasan Hutan Mangrove Setapak Besar Singkawang Utara. *Jurnal Hutan Lestari*. 11(4): 962-974. <https://doi.org/10.26418/jhl.v11i4.72327>
- Nanlohy, H., Ambaryanto, Bambang, A.N., & Hutabarat, S. (2017). Adaptasi Perubahan Iklim dalam Pengelolaan Ekosistem Bakau Melalui Pendekatan Ekologi, Ekonomi dan Sosial Budaya Masyarakat di Teluk Kotania. *Jurnal PAPALELE*. 1(1): 16-21. <https://doi.org/10.30598/papalele.2017.1.1.16>
- Purnobasuki, H. (2006). Peranan Mangrove Dalam Mitigasi Perubahan Iklim. *Buletin PSL Universitas Surabaya*. 18: 9-10.
- Rachmawati, D., Setyobudiandi, I., & Hilmi, E. (2014). Potensi Estimasi Karbon Tersimpan Pada Vegetasi Mangrove Di Wilayah Pesisir Muara Gembong Kabupaten Bekasi. *Omni-Akuatika: Journal of Fisheries and Marine Research*. 10(2): 85-91. <https://doi.org/10.20884/1.oa.2014.10.2.22>
- Ratri, A.A., Firdausiyah, N., & Sutikno, F.R. (2023). Evaluasi Perubahan Kualitas Udara Akibat Pergerakan Angkutan Barang pada Jalan Yos Sudarso Kota Batam. *Planning for Urban Region and Environment*. 12(1): 65-76.
- Rizki, G.M., Bintoro, A., & Hilmanto, R. (2016). Perbandingan Emisi Karbon Dengan Karbon Tersimpan Di Hutan Rakyat Desa Buana Sakti Kecamatan Batanghari Kabupaten Lampung Timur. *Jurnal Sylva Lestari*. 4(1): 89-96. <https://doi.org/10.23960/jsl1489-96>
- Siwi, L.O., Basrudin., Kandari, A.M., Kahirun, Hidayat, H., & Irsan, M. (2022). Analisis Kemampuan Serapan CO₂ dan Simpanan Karbon Pada Hutan Mangrove Di Desa Parida Kecamatan Lasalepa Kabupaten Muna. *BioWallacea : Jurnal Penelitian Biologi (Journal of Biological Research)*. 9(2): 112-123. <https://doi.org/10.33772/biowallacea.v9i2.28662>
- SNI. (2011). Pengukuran dan penghitungan cadangan karbon – pengukuran lapangan untuk penaksiran cadangan karbon hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting), SNI 7724.
- Sodikin. (2018). *Pemodelan spasial dinamis perubahan hutan mangrove dan strategi rehabilitasinya di Kabupaten Indramayu, Provinsi Jawa Barat*. [Disertasi]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sribianti, I., Daud, M., & Abdullah, A.A. (2022). Estimasi biomassa, Cadangan Karbon, Produksi O₂ dan Nilai Jasa Lingkungan Serapan CO₂ Tegakan Hutan di Taman Hutan Raya Abdul Latief. *Jurnal Hutan dan Masyarakat*. 4(1): 12-26. <https://doi.org/10.24259/jhm.v14i1.18022>
- Tjahjono, A., Adi Intyas, C., & Fattah, M. (2022). Mangrove Management Strategy for Sustainable Business Based On Indonesian Ecological Products. *GeoJournal of Tourism and Geosites*. 43(3): 1045-1055. <https://doi.org/10.30892/gtg.43325-919>
- Ullman, R., Bilbao-Bastida, V., & Grimsditch, G. (2013). Including Blue Carbon in climate market mechanisms. *Ocean & Coastal Management*. 83: 15-18. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.02.009>
- Warningsih, T., Kusai, Bathara, L., Zulkarnain, Ramadona, T., & Deviasari. (2021). Strategi Pengelolaan Ekosistem Mangrove Di Kabupaten Siak, Provinsi Riau, Indonesia. *ECSOFiM: Journal of Economic and Social of Fisheries and Marine*, 9(01): 60-71. <https://doi.org/10.21776/ub.ecsofim.2021.009.01.05>
- Winanti, W.S., Sudinda, T.W., Oktivia, R., Ihsan, I.M., Ikhwanuddin, M., Amru, K., Anjani, R., & Aryantie, M.H. (2022). Barrier Analysis to Leverage the Climate Change Mitigation Adaptation Implementation Action in Mangrove Forest and its Surrounding Community Villages. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 1201(2022): 012062. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1201/1/012062>
- Zakia, R., Lestari, F., Azizah, D., & Raza'i, T.S. (2024). Analisis Indeks Ekologi Ekosistem Mangrove di Kawasan Pesisir Tanjungpiayu Kota Batam. *Jurnal Akuatiklestari*. 7(2): 164-170. <https://doi.org/10.31629/akuatiklestari.v7i2.6704>