

Estimasi Stok Karbon dan Valuasi Ekonomi Ekosistem Mangrove di Kabupaten Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara

Carbon Stock Estimation and Economic Valuation of Mangrove Ecosystem in Central Tapanuli Regency, North Sumatera Province

R. Diddin Mifdhol Hafli^{1*}, Joko Samiaji¹, Windarti¹

¹Magister Ilmu Kelautan, Pascasarjana, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Riau, Pekanbaru 28293 Indonesia
email: r.diddin7055@grad.unri.ac.id

(Diterima/Received: 06 Januari 2025; Disetujui/Accepted: 09 Februari 2025)

ABSTRAK

Hutan mangrove memegang peranan penting pada ekosistem pesisir dengan fungsinya sebagai penyerap karbon. Degradasi lingkungan dan alih guna lahan di Indonesia yang tidak terkendali mengancam eksistensi ekosistem mangrove. Penyerapan dan penyimpanan karbon di ekosistem mangrove merupakan jasa ekosistem 'karbon biru' pesisir yang penting bagi mitigasi perubahan iklim. Riset ini bertujuan untuk menilai kondisi ekosistem mangrove dan potensi cadangan karbon yang tersimpan guna menentukan valuasi ekonominya di Pesisir Kabupaten Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara. Pengambilan data mangrove dilakukan pada 3 stasiun. Metode non-destruktif dengan menggunakan persamaan alometrik untuk pendugaan biomassa digunakan pada riset ini. Hasil riset menunjukkan bahwa rata-rata biomassa dan karbon yang tersimpan pada ekosistem mangrove adalah sebesar 264,49 ton/ha dan 124,31 ton C/ha. Sedangkan rata-rata potensi serapan karbon adalah sebesar 7,95 ton CO₂/ha. Dengan total luas ekosistem mangrove sebesar ± 6.931 ha, maka estimasi nilai ekonomi karbon mangrove di Kabupaten Tapanuli Tengah adalah sebesar Rp. 3.804.131.272 (Nilai Ekonomi Karbon Indonesia pada *Emissions Trading Scheme*) dan Rp. 42.743.048.000 (*Global Social Cost of Carbon*).

Kata Kunci: Karbon Biru, Stok Karbon, Valuasi Ekonomi, Ekosistem Mangrove

ABSTRACT

Mangrove forests play an important role in coastal ecosystem dynamics with their ability to absorb carbon. Environmental degradation and uncontrolled land use change in Indonesia threaten the existence of the mangrove ecosystem. Carbon sequestration and storage in mangroves is an essential coastal 'blue carbon' ecosystem service for climate change mitigation. This research aims to assess the condition of the mangrove ecosystem and the potential of carbon storage to determine its economic valuation on the coast of Central Tapanuli Regency, North Sumatera Province. Data were collected from three mangrove sites from January to April 2024. A non-destructive method using allometric equations for biomass estimation was used in this research. The results showed that biomass and stored carbon averages were 264,49 tons/ha and 124,31 tons C/ha, respectively. Meanwhile, the average potential of carbon sequestered was 7.95 tons CO₂/ha. With a total mangrove ecosystem area of ±6,931 ha, the economic value of carbon generated from mangroves in Central Tapanuli Regency is estimated at IDR3,804,131,272 (Indonesia Economic Value of Carbon in Emissions Trading Scheme) and IDR42,743,048,000 (Global Social Cost of Carbon).

Keywords: Blue Carbon, Carbon Stock, Economic Valuation, Mangrove Ecosystem.

1. Pendahuluan

Ekosistem mangrove merupakan elemen utama yang berada di antara ekosistem lautan dan daratan yang berperan penting untuk

mendukung kesehatan lingkungan, sumber makanan dan keanekaragaman hayati (Azmat *et al.*, 2020). Saat ini, salah satu potensi menjadi perhatian dunia adalah kemampuan

ekosistem mangrove dalam menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah yang besar. Emisi karbon telah menjadi perhatian utama di seluruh dunia karena peningkatannya yang cepat di atmosfer yang memicu pemanasan global.

Ekosistem mangrove merupakan kawasan hutan dengan potensi simpanan karbon yang paling tinggi di kawasan tropis. 25 lokasi hutan mangrove di kawasan Indo-Pasifik diketahui menyimpan hingga empat kali lebih banyak karbon per hektar dari pada kebanyakan hutan tropis lainnya di seluruh dunia. Mangrove melakukan penyerapan karbon (*carbon sequestration*) di atmosfer yang kemudian disimpan dalam bentuk biomassa dan sedimen melalui proses fotosintesis (Baderan, 2017). Kemampuan hutan mangrove di Indonesia rata-rata menyerap karbon sebesar 52,85 ton CO₂/ha (LIPI, 2018). Fungsi ekologis ekosistem mangrove sebagai penyerap dan penyimpan karbon yang sangat baik tersebut menjadi aspek penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim dunia.

Di Indonesia, tingkat degradasi dan hilangnya hutan mangrove cukup tinggi yaitu hampir 50-60% yang disebabkan oleh aktivitas antropogenik, seperti penebangan, pemukiman, pertambangan, budidaya perikanan, dan proyek industri lainnya (Malik et al., 2015). Permasalahan tersebut menyebabkan pengelolaan mangrove untuk konservasi wilayah pesisir menjadi sangat rumit, terutama pada persoalan alih fungsi lahan serta tekanan penduduk terhadap ekosistem mangrove.

Mengetahui stok karbon mangrove merupakan hal penting dalam menyelamatkan dan melestarikan ekosistem mangrove secara berkelanjutan dan melindungi area ini dari berbagai aktivitas antropogenik berupa deforestasi dan degradasi dalam beberapa dekade terakhir. Selain itu urbanisasi yang cepat, tata kelola yang lemah, dan ekspansi kegiatan marikultur yang berlebihan juga mengancam eksistensi hutan mangrove (Friess et al., 2019). Potensi hutan mangrove dalam menyerap karbon merupakan layanan ekosistem yang esensial di tengah-tengah era perubahan iklim global. Data dan informasi mengenai cadangan dan serapan karbon ekosistem mangrove dapat digunakan untuk penghitungan target penurunan emisi gas

rumah kaca (GRK). Hingga saat ini target penurunan emisi nasional masih dititikberatkan pada sektor daratan (*land base sector*), sedangkan sektor pesisir dan laut belum mendapat perhatian yang serius (LIPI, 2018)

Penentuan nilai penting terhadap ekosistem tidak hanya dilakukan melalui pendekatan ekologi saja tetapi juga melalui valuasi ekonomi. Nilai simpanan karbon sebagai salah satu jasa ekosistem dari mangrove, diperhitungkan dengan skema pembayaran jasa ekosistem (*Payment for Ecosystem Services*) sebagai kredit karbon (Hidayah et al., 2023). Di Indonesia sendiri belum banyak dilakukan penilaian potensi nilai ekonomi ekosistem mangrove terutama dari sektor perdagangan karbon.

Salah satu kawasan yang telah melakukan perlindungan terhadap ekosistem mangrove adalah Kabupaten Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara. Melalui Surat Keputusan Gubernur Sumatera Utara No. 188.44/629/KPTS/2017 serta dalam Peraturan Daerah Provinsi Sumatera Utara No. 4 Tahun 2019 Kawasan Konservasi Perairan Daerah Kabupaten Tapanuli Tengah (KKPD Kabupaten Tanapuli Tengah) menjadi salah satu kawasan konservasi perairan daerah yang ada di Provinsi Sumatera Utara. Sebagian besar wilayah kecamatan di Kabupaten Tapanuli Tengah berbatasan dengan lautan. Luas keseluruhan hutan mangrove Kabupaten Tapanuli Tengah mencapai 6.931 Ha, namun luasannya di kawasan konservasi perairan daerah di Kabupaten Tapanuli Tengah sebesar ±1.011 ha dengan kondisi tutupan kanopi berkisar 75%, dikategorikan dalam kondisi baik (Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Perizinan Terpadu Satu Pintu Kabupaten Tapanuli Tengah, 2020).

Kabupaten Tapanuli Tengah yang berada di pesisir barat Pulau Sumatera merupakan salah satu kawasan perlindungan ekosistem mangrove yang faktanya mengalami tekanan antropogenik cukup besar dan secara signifikan memberi dampak terhadap ekosistem pesisir. Industri perikanan skala kecil dan menengah, ekspansi usaha marikultur, limbah domestik dan alih guna lahan mangrove merupakan berbagai tekanan yang teridentifikasi di sana. Dengan tekanan yang cukup besar terhadap ekosistem pesisirnya, Kabupaten Tapanuli Tengah yang merupakan salah satu penggerak industri perikanan di pantai barat Pulau

Sumatera menjadi terancam keberlanjutannya. Berdasarkan hal tersebut, riset ini dilakukan bertujuan untuk mengestimasi stok karbon dan menghitung valuasi ekonomi karbon ekosistem mangrove di Kabupaten Tapanuli Tengah Provinsi Sumatera Utara.

2. Metode Penelitian

2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari s/d Mei 2024 di pesisir Kabupaten Tapanuli Tengah, Provinsi Sumatera Utara.

2.2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode survei dengan menggunakan teknik *purposive sampling*. Perhitungan biomassa mangrove dengan metode *non-destructive* menggunakan persamaan allometric.

2.3. Prosedur

Penelitian ini menggunakan 3 stasiun dimana setiap stasiun merepresentasikan karakteristik hutan mangrove yang berbeda. Perbedaan karakteristik masing-masing stasiun penelitian dapat dilihat pada Tabel 1. Masing-masing stasiun terdiri dari 3 plot berukuran 10 x 10 m. Parameter yang diukur meliputi data kerapatan dan biomassa mangrove. Metode pengambilan data tegakan mangrove yang digunakan adalah metode *non-destructive*, kemudian perhitungan biomassa untuk analisis stok dan serapan karbon mangrove dilakukan menggunakan persamaan alometrik.

Tabel 1. Karakteristik Stasiun Penelitian

Stasiun	Karakteristik Lokasi
1	Kelurahan Hajoran
2	Kelurahan Kalangan Pantai
3	Pandaratan Kelurahan Pondok Batu

Pengambilan data biomassa tegakan mangrove dilakukan dengan mengukur diameter setinggi dada (*diameter at breast height, DBH*), dimana data tersebut digunakan pada perhitungan biomassa tegakan mangrove. Berikut ini merupakan tahapan pengukuran biomassa tegakan mangrove, yaitu: (a) Jenis mangrove yang berada dalam sampling plot diidentifikasi, karena setiap jenis pohon memiliki kemampuan berbeda dalam menyerap karbon; (b) Posisi tegakan pohon diestimasi yang dianggap masuk ke dalam batas plot ataupun di luar plot; (c) Pohon yang berdiameter ≥ 5 cm diukur dengan menggunakan pita meter pada bagian setinggi dada; (d) Data yang telah didapat dicatat berdasarkan jenis pohon ke dalam *tally sheet*.

2.4. Analisis Data

Data vegetasi yang telah diukur berupa tingkat kerapatan mangrove dan jumlah biomassa bagian atas (*aboveground biomass*) dan biomassa bagian bawah (*belowground biomass*). Perhitungan biomassa dilakukan dengan menggunakan persamaan alometrik seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Persamaan Alometrik yang Digunakan untuk Perhitungan Biomassa Mangrove

No	Jenis	Model Alometrik		Referensi
		Aboveground	Belowground	
1	<i>Rhizophora apiculata</i>	$B = 0,043 * D^{2,63}$	$B = 0,0698 * D^{2,61}$	Amira (2008)
2	<i>Rhizophora mucronata</i>	$B = 0,1466 * D^{2,3136}$	$B = 0,00974 * D^2 * H^{1,05}$	Dharmawan (2008)
3	<i>Xylocarpus granatum</i>	$B = 0,1832 * D^{2,21}$	$B = 0,145 * D^{2,55}$	Poungparn et al. (2002)
4	<i>Sonneratia alba</i>	$B = 0,3841 * D^{2,10} * \rho$	$B = 0,199 * \rho^{0,899} * D^{2,22}$	Kauffman & Cole (2010)
5	<i>Thespesia populnea</i>	$B = 0,251 * \rho * D^{2,46}$	$B = 0,199 * \rho^{0,899} * D^{2,22}$	Komiyama et al. (2005)

Keterangan: B : Biomassa pohon (kg); D : Diameter setinggi dada (cm); H : Tinggi pohon (cm); ρ : Densitas batang (g/cm²)

Kerapatan (*density*) memberikan gambaran jumlah individu per meter persegi dihitung menggunakan rumus yang mengacu pada Badan Standarisasi Nasional No. 7724 sebagai berikut:

$$K = \frac{ni}{A} \tag{1}$$

Keterangan:

- K : Kerapatan suatu jenis (individu/m²)
- ni : Jumlah individu
- A : Luas seluruh plot (m²)

Kriteria baku kerusakan mangrove yaitu: 1) Mangrove dengan kerapatan < 1000 dikategorikan pada kondisi rusak dengan kerapatan jarang; 2) Mangrove dengan

kerapatan ≥ 1000 - < 1500 dikategorikan pada kondisi baik dengan kerapatan sedang; dan 3) Mangrove dengan kerapatan ≥ 1500 dikategorikan pada kondisi baik dengan kerapatan sangat padat (KLH, 2004).

Selanjutnya, perhitungan karbon pada tegakan menggunakan persamaan sebagai yang mengacu pada SNI 7724 (2011) yaitu:

$$C_b = B \times \% C_{organik} \quad (2)$$

Keterangan:

- C_b : Kandungan karbon dari biomassa tegakan mangrove (kg)
- B : Total biomass (kg)
- $\% C_{organik}$: Nilai kandungan karbon, sebesar 0,47 atau menggunakan nilai $\% C$

Perhitungan cadangan karbon per hektare untuk tegakan mangrove menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_{tegakan} = \frac{C_{total}}{1.000} \times \frac{10.000}{I_{plot}} \quad (3)$$

Keterangan:

- $C_{tegakan}$: Kandungan karbon per hektare pada masing-masing carbon pool pada tiap plot (ton/ha)
- C_{total} : Kandungan karbon pada masing-masing carbon pool pada tiap plot (kg)
- I_{plot} : Luas plot pada masing-masing carbon pool (m²).

Selanjutnya, perhitungan serapan gas karbondioksida (CO₂) mengacu pada rumus Bismark et al. (2008) dan konversi serapan CO₂ dilakukan mengacu pada persamaan 3. Rumus perhitungan serapan CO₂ yaitu sebagai berikut:

$$S_{CO_2} = \frac{Mr_{CO_2}}{Ar_C} \times Kc$$

Keterangan :

- S_{CO_2} : Serapan gas karbondioksida (kg)
- Mr_{CO_2} : Massa molekul relatif atom C sebesar 44.
- Ar_C : Atom relatif atom C sebesar 12.
- Kc : Kandungan karbon (kg).

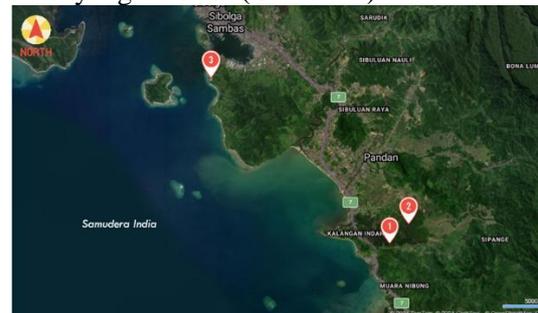
Estimasi harga karbon yang digunakan dalam menentukan valuasi ekonomi mangrove mengacu pada *Global Social Cost of Carbon*. Harga yang ditetapkan yaitu sebesar 50 USD

per ton karbon. Jika dikonversikan 1 USD saat ini adalah sebesar Rp.15.500. Selain itu estimasi harga karbon juga mengacu pada Nilai Ekonomi Karbon Indonesia pada *Emissions Trading Scheme* sebesar 4,45 USD per ton karbon.

3. Hasil dan Pembahasan

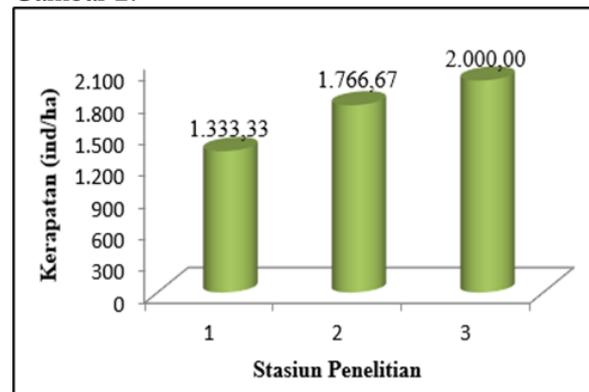
3.1. Kerapatan Mangrove

Penelitian ini dilakukan di ekosistem mangrove Kabupaten Tapanuli Tengah menggunakan 3 stasiun pengamatan dengan masing-masing stasiun memiliki karakteristik lokasi yang berbeda (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi Stasiun Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian ditemukan 5 spesies mangrove dari seluruh staisun yaitu *Rhizophora mucronata*, *R. apiculata*, *Xylocarpus granatum*, *Sonneratia alba* dan *Thespesia populnea*. Adapun hasil dari perhitungan data tingkat kerapatan masing-masing stasiun penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tingkat Kerapatan Mangrove pada Setiap Stasiun

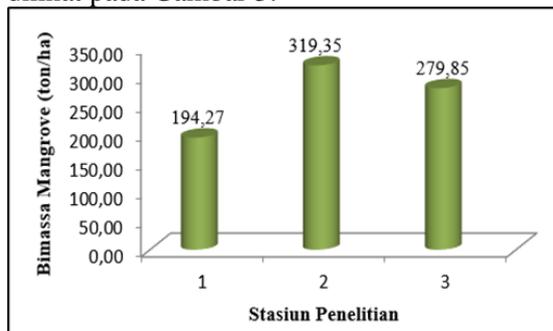
Berdasarkan perhitungan kerapatan yang telah dilakukan pada ketiga stasiun di lokasi penelitian diketahui bahwa rata-rata kerapatan mangrove adalah sebesar 1.700,00 ± 338,29 ind/ha. Kerapatan mangrove pada stasiun 3 lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun 1 dan

stasiun 2 dikarenakan karakteristik yang berbeda pada ketiga wilayah tersebut. Stasiun 3 merupakan mangrove yang berada di kawasan ekowisata bahari Pantai Pandaratan namun berada dekat dengan kawasan industri Kota Sibolga. Pemanfaatan hutan mangrove tergolong minim serta habitatnya tertutup dari pengaruh langsung gelombang menyebabkan semai dapat tumbuh dengan baik, sedangkan stasiun 1 yang berada sangat dekat dengan pemukiman penduduk dan mengalami tekanan yang tinggi dari ekspansi tambak udang di area tersebut. Habitatnya yang berada di dekat muara sungai juga mempengaruhi kondisi arus pada kawasan tersebut, kondisi arus yang lebih kuat menyebabkan keberhasilan semai tumbuh menjadi rendah dan tidak optimal.

Rendahnya kerapatan mangrove pada suatu kawasan disebabkan besarnya pengaruh antropogenik yang mengubah habitat mangrove untuk kepentingan lain seperti pembukaan lahan untuk pemukiman dan pertambangan sehingga ekosistem mangrove mengalami tekanan dan kondisinya mengalami penurunan. Selain itu jenis mangrove yang lebih bervariasi juga menentukan tinggi atau rendahnya nilai kerapatan suatu ekosistem mangrove (Kharisma et al., 2023).

3.2. Biomassa Mangrove

Hasil perhitungan biomassa mangrove pada masing-masing stasiun penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



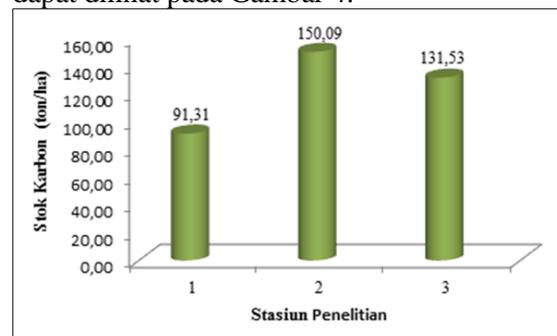
Gambar 3. Biomassa mangrove (ton/ha) pada Setiap Stasiun

Berdasarkan hasil perhitungan biomassa pada ketiga stasiun penelitian, diketahui bahwa rata-rata biomassa mangrove pada semua stasiun adalah sebesar 264,49 ton/ha. Perbedaan jumlah biomassa tersebut dikarenakan tingkat kerapatan mangrove di stasiun 3 lebih tinggi dari pada stasiun 1 dan stasiun 2, serta berdasarkan ukuran diameter

pohon di stasiun 3 secara umum memiliki ukuran diameter lebih besar dibandingkan dengan ukuran diameter pohon di stasiun 1. Nilai biomassa selain dipengaruhi oleh kerapatan pohon juga dipengaruhi oleh besarnya diameter pohon itu sendiri, hal ini dikarenakan semakin besar diameter suatu pohon maka nilai biomasanya juga akan semakin besar (Mandari et al., 2016).

3.3. Stok Karbon Mangrove

Totak stok karbon pada tegakan mangrove (*aboveground* dan *belowground biomass*) dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Total Stok Karbon (ton/ha) pada Setiap Stasiun

Berdasarkan hasil perhitungan stok karbon pada tegakan mangrove menggunakan persamaan alometrik *aboveground* dan *belowground biomass*, pada ketiga stasiun penelitian diketahui bahwa stok karbon tegakan mangrove di pesisir Kabupaten Tapanuli Tengah rata-rata sebesar 124,31 ton/ha. Hasil ini membuktikan bahwa kerapatan mangrove dan jumlah biomassa menentukan tinggi atau rendahnya kandungan stok karbon ekosistem mangrove.

Penambahan kandungan biomassa akan diikuti oleh penambahan kandungan stok karbon. Hal ini menjelaskan bahwa karbon dan biomassa memiliki hubungan yang positif sehingga apapun yang menyebabkan peningkatan ataupun penurunan biomassa maka akan menyebabkan peningkatan atau penurunan kandungan stok karbon. Potensi stok karbon dapat dilihat dari biomassa tegakan yang ada. Besarnya stok karbon tiap bagian pohon dipengaruhi oleh biomassa (Martuti et al., 2017).

Berdasarkan temuan hasil penelitian tersebut, stok karbon mangrove di pesisir Kabupaten Tapanuli Tengah tersebut lebih rendah dibandingkan dengan stok karbon hutan

mangrove Dukuh Tapak Kelurahan Tugurejo Kota Semarang dengan rata-rata stok karbon yaitu sebesar 141,64 ton/ha (Irsadi *et al.*, 2017). Hasil tersebut juga lebih rendah jika dibandingkan dengan stok karbon mangrove di Desa Sungaitohor Kabupaten Kepulauan Meranti Provinsi Riau dengan rata-rata sebesar 670,89 ton/ha (Hasibuan *et al.*, 2018). Rendahnya potensi karbon tersimpan pada tegakan mangrove di lokasi penelitian bukan menunjukkan kemampuan mangrove menyerap dan menyimpan karbon rendah, ini tentu saja dipengaruhi oleh kandungan biomassa mangrovenya. Salah satu faktor penentunya adalah umur mangrove dan ukuran diameter batang atau DBH, dimana masing-masing ekosistem mangrove tentunya memiliki karakteristik mangrove yang berbeda. Total stok karbon ekosistem mangrove juga ditentukan oleh potensi simpanan karbon pada sedimen mangrove tersebut.

3.4. Potensi Serapan CO₂

Selanjutnya, penyerapan gas CO₂ diestimasi berdasarkan hasil stok karbon pada masing-masing stasiun. Nilai rata-rata potensi serapan CO₂ hutan mangrove di lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Potensi Rata-rata Serapan CO₂ Hutan Mangrove

Stasiun	Rerata Serapan CO ₂ (ton CO ₂ /ha)
1	8,38 ± 10,09
2	10,39 ± 19,32
3	6,11 ± 5,77

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa rata-rata potensi serapan CO₂ mangrove di lokasi penelitian yaitu 7,95 ton/ha. Ini sesuai dengan hasil penelitian stok karbon pada hutan mangrove di pesisir India, bahwa kemampuan rata-rata ekosistem mangrove menyerap CO₂ adalah berkisar antara 6 - 8 ton CO₂/ha (Harishma *et al.*, 2020). Perbedaan potensi serapan CO₂ pada masing-masing stasiun tersebut salah satunya disebabkan oleh nilai biomassa mangrove pada stasiun 2 lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun 1 dan stasiun 2. Stasiun 2 memiliki kerapatan yang lebih tinggi sehingga nilai biomassa dan stok karbon yang tersimpan lebih banyak dibandingkan dengan stasiun lainnya. Faktor lain yang juga menentukan adalah jenis mangrove, dimana masing-masing jenis

memiliki kemampuan menyerap CO₂ yang berbeda-beda.

3.5. Valuasi Ekonomi Karbon Mangrove

Ekosistem mangrove di Kabupaten Tapanuli Tengah Provinsi Sumatera Utara memiliki luasan sekitar ±6.931 ha. Estimasi valuasi ekonomi ekosistem mangrove dilakukan berdasarkan luasan tersebut. Maka estimasi nilai ekonomi karbon mangrove di Kabupaten Tapanuli Tengah adalah sebesar Rp. 3.804.131.272 berdasarkan Nilai Ekonomi Karbon Indonesia pada *Emissions Trading Scheme* serta berdasarkan harga *Global Social Cost of Carbon* adalah sebesar Rp. 42.743.048.000. Harga ini telah dikonversikan ke dalam rupiah berdasarkan kurs yang berlaku pada awal tahun 2024 ini (US\$ 1 = Rp 15.500). Nilai ekonomi karbon ini dapat menjadi salah satu acuan untuk menghitung kompensasi atas kerugian akibat berkurang atau hilangnya suatu kawasan ekosistem mangrove.

Perhitungan valuasi ekonomi ekosistem mangrove ini akan makin bertambah bila jasa ekosistem lainnya juga diperhitungkan seperti karbon sedimen, penangkapan biota bernilai ekonomis, pemanfaatan mangrove sebagai kayu bakar, penahan abrasi dan biodiversitas. Penilaian ekonomi terhadap hutan mangrove merupakan salah satu cara untuk mengetahui seberapa besar nilai kegunaan sumber daya alam hutan mangrove dalam perspektif ekonomi (Daily & Matson, 2008). Selain itu, dengan mengukur valuasi ekonomi hutan mangrove dapat diketahui pula seberapa besar kerugian ekonomi yang ditimbulkan dari kerusakan dan deforestasi hutan mangrove tersebut. Antusiasme yang besar untuk solusi sebagai bentuk *win-win solution* dalam debat konservasi dan pembangunan.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan bahwa rata-rata biomassa dan stok karbon pada ekosistem mangrove Kabupaten Tapanuli Tengah Provinsi Sumatera Utara adalah sebesar 264,49 ton/ha dan 124,31 ton C/ha. Sedangkan rata-rata potensi serapan karbon adalah sebesar 7,95 ton CO₂/ha. Dengan total luas ekosistem mangrove di Kabupaten Tapanuli Tengah sekitar ± 6.931 ha, maka estimasi nilai ekonomi karbon mangrove adalah sebesar Rp. 3.804.131.272 (Nilai Ekonomi Karbon Indonesia pada *Emissions*

Trading Scheme) dan Rp. 42.743.048.000 (*Global Social Cost of Carbon*).

Rekomendasi yang diberikan untuk memperkuat hasil penelitian ini adalah diperlukannya analisis spasial menggunakan metode penginderaan jauh agar mendapatkan data pada ekosistem mangrove yang sulit dijangkau.

Daftar Pustaka

- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Standar Nasional Indonesia (SNI) 7724:2011, Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon–Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting)*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [DPMPTSP] Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Perizinan Terpadu Satu Pintu Kabupaten Tapanuli Tengah. (2020). *Profil Potensi Pulau-Pulau Kecil*.
- [KLH] Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. (2004). Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut.
- [LIPI] Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. (2018). *Potensi Cadangan dan Serapan Karbon Ekosistem Mangrove dan Padang Lamun Indonesia*. Dokumen Intisari Versi a 1.0.
- Amira, S. (2008). *Pendugaan Biomassa Jenis Rhizophora apiculata di Hutan Mangrove Batu Ampar Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat*. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.
- Azmat, A., Kazmi, J.H., Shahzad, A., & Shaikh, S. (2020). Mapping Change in Spatial Extent and Density of Mangrove Forest at Karachi Coast Using Object-based Image Analysis. *International Journal of Economic and Environmental Geology*, 11(1):118-122.
- Baderan, D.W.K. (2017). *Serapan Karbon Hutan Mangrove Gorontalo Ed.1*. Deepublish. Yogyakarta.
- Bismark, M., Subiandono, E., & Herianto, N. M. (2008). Keragaman dan Potensi Jenis serta Kandungan Karbon Hutan Mangrove di Sungai Subelen Siberut, Sumatera Barat. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 5(3): 297-306.
- Daily, G.C., & Matson PA. (2008). “Ecosystem Services: From Theory to Implementation,” United States: *Proc Natl Acad Sci USA*, 37-39.
- Dharmawan, I.W.S., & Siregar, C.A. (2008). Karbon Tanah dan Pendugaan Karbon Tegakan *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 5 (4): 317-328.
- Friess, D.A., Kerrylee, R., Lovelock, C.E., Krauss, K.W., Hamilton, S.E., Lee, S.Y., Lucas, R., & Shi, S. (2019). The State of the World’s Mangrove Forests: Past, Present, and Future. *Annual Review of Environment and Resources*, 44(1): 89–115.
- Harishma, K.M., Sandeep, S., & Sreekumar, V. B. (2020). Biomass and Carbon Stocks in Mangrove Ecosystems of Kerala, Southwest Coast of India. *Ecological Processes*, 9, 1-9.
- Hasibuan, M.W., Samiaji, J., & Amin, B. (2018). *Pengaruh Kerapatan Mangrove terhadap Simpanan Karbon di Pesisir Desa Sungai Tohor Kabupaten Kepulauan Meranti*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Riau.
- Hidayah, F.N., Subagiyo, S., & Santoso, A. (2023). Nilai Simpanan dan Harga Karbon Ekosistem Mangrove Desa Pasar Banggi, Rembang, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 12(2): 187-195.
- Isradi, A., Martuti, N.K.T., & Nugraha, S.B. (2017). Estimasi Stok Karbon Mangrove di Dukuh Tapak Kelurahan Tugurejo Kota Semarang. *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*, 15(2), 119-128.
- Kauffman, J.B., & Cole, T. (2010). Micronesian Mangrove Forest Structure and Tree Response to a Severe Typhoon. *Wetlands* 30: 1077-1084.
- Kharisma, G.N., Mandaya, I., Sidiq, A., Mursyid, H., & Prasetya, A. (2023). Studi Kerapatan dan Perubahan Tutupan Mangrove Menggunakan Citra Satelit di Kecamatan Lasalepa, Kabupaten Muna. *Majalah Ilmiah Globe*, 25(1): 13-20.
- 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.

- Malik, A., Fensholt, R., & Mertz, O. (2015). Mangrove Exploitation Effects on Biodiversity and Ecosystem Services. *Biodiversity and Conservation*, 24: 3543-3557.
- Mandari, D.Z., Gunawan, H., & Isda, M.N. (2016). Penaksiran Biomassa dan Karbon Tersimpan pada Ekosistem Hutan Mangrove di Kawasan Bandar Bakau Dumai. *Jurnal Riau Biologia*, 1(1): 17-23.
- Martuti, N.K.T., Soesilowati, E., & Na'am, M.F. (2017). Pemberdayaan Masyarakat Pesisir Melalui Penciptaan Batik Mangrove. *Jurnal Abdimas*, 21: 65-74.
- Poungparn, S., Komiyama, A., Intana, V., Piriyaota, S., Sangtiew, T., Tanapermpool, P., ... & Kato, S. (2002). A quantitative Analysis on The root system of a mangrove, *Xylocarpus granatum* Koenig. *Tropics*, 12(1): 35-42.