

Struktur Komunitas, Cadangan Karbon, dan Estimasi Nilai Ekonomi Mangrove di Muara Sungai Musi

(Community Structure, Potential Carbon Stocks, and Economic Value of Mangroves in Musi River Estuary)

Harum Farahisah^{1*}, Fredinan Yulianda², Hefni Effendi²

(Diterima Februari 2020/Disetujui Februari 2021)

ABSTRAK

Ekosistem mangrove, di samping memiliki fungsi ekologis bagi sektor perikanan, juga memiliki fungsi regulasi sebagai penyerap dan penyimpan karbon dalam mitigasi perubahan iklim. Muara sungai Musi yang berada di Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan memiliki potensi hutan mangrove sebagai cadangan karbon. Tujuan penelitian ini ialah menganalisis struktur komunitas, potensi cadangan karbon, dan nilai ekonomi mangrove di Muara Sungai Musi. Pengambilan data menggunakan metode transek kuadrat seluas 100 m² secara vertikal pada garis pantai dengan 5 titik stasiun. Pengolahan data mencakup persamaan allometrik untuk mengetahui biomassa dan simpanan karbon serta nilai ekonomi simpanan karbon. Terdapat empat jenis mangrove di Muara Sungai Musi, yaitu *Sonneratia alba*, *Nypa fruticans*, *Sonneratia casiolearis*, dan *Rhizophora apiculata*. Jenis mangrove yang memiliki peranan penting dalam keberlangsungan ekosistem adalah jenis *Nypa fruticans* dan *Sonneratia alba* dengan masing-masing INP adalah 145,6 dan 101,28. Cadangan karbon mangrove di muara sungai Musi adalah sebesar 107,34 tonC/ha dan serapan karbon dioksida sebesar 393,59 tCO₂/ha dengan luasan mangrove sebesar ± 5276 ha. Estimasi nilai ekonomi simpanan karbon mangrove di Muara Sungai Musi adalah sebesar Rp174.441.016.895,00 (pasar bebas) dan Rp455.872.524.151,00 (CDM).

Kata kunci: karbon, mangrove, muara Sungai Musi

ABSTRACT

Mangrove ecosystem services, aside for the fisheries sector, also have ecosystem services in mitigating climate change as carbon sinks and storage. Musi river estuary located in Banyuasin Regency, South Sumatra has the potential of mangrove forests as carbon reserves. The purpose of the study is to analyze the community structure, potential carbon stocks, and economic value of mangroves in the Musi River Estuary. Data were collected at five stations using the 100 m quadratic transect method vertically to the coastline. Data analysis was conducted based on the allometric equation for biomass information, carbon storage, and the economic value of carbon stores. Mangrove ecosystems in the Musi River estuary are *Sonneratia alba*, *Nypa fruticans*, *Sonneratia casiolearis*, and *Rhizophora apiculata*. Mangrove species that have important roles in the sustainability of ecosystems are *Nypa fruticans* and *Sonneratia alba* each with INP of 145.6 and 101.28, respectively. Carbon storage of mangrove in the Musi river estuary is 107.34 tonC / ha and carbon dioxide absorption is 393.59 tCO₂ / ha with a mangrove area of ± 5276 ha. The total estimated economic value of carbon generated from mangrove are Rp174.441.016.895 (free market) and Rp455.872.524.151 (CDM).

Keywords: carbon, mangrove, Musi river estuary

PENDAHULUAN

Mangrove memiliki jasa lingkungan di antaranya sebagai jasa penyedia untuk sektor perikanan, habitat aneka biota perairan, juga memiliki jasa regulasi sebagai pelindung dan pencegah abrasi air laut, serta sebagai pengatur iklim mikro. Selain itu, mangrove juga memiliki jasa ekosistem sebagai penyerap karbon

(Rachmawati *et al.* 2014; Suman 2018). Pemanasan global merupakan hal yang terjadi karena peningkatan emisi karbon ke atmosfer dan akhirnya akan berakibat pada perubahan iklim. Menurut GCA (2019), pada tahun 2018 Indonesia berada pada urutan kesepuluh sebagai negara penghasil emisi karbon terbesar, yaitu sebesar 615 MtCO₂.

Indonesia sendiri memiliki komitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dengan dikeluarkannya Kepres No. 61 Tahun 2011 mengenai Rencana Aksi Nasional Penurunan Gas Rumah Kaca. Indonesia menjadi negara penting yang dapat mengurangi emisi karbon akibat deforestasi dan degradasi hutan karena memiliki hutan tropis terluas di dunia. Mitigasi untuk mengurangi emisi karbon dan pemanasan global dapat dilakukan dengan mengendalikan emisi karbon dan

¹ Sekolah Pascasarjana, Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

² Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

* Penulis Korespondensi:

Email: harum_farah@apps.ipb.ac.id

melestarikan ekosistem untuk penyerapan karbon. Salah satu sumber daya ekosistem pesisir Indonesia yang melimpah adalah ekosistem mangrove.

Penurunan luas area mangrove di muara pesisir Kabupaten Banyuasin dari tahun ke tahun semakin tinggi. Menurut Agussalim (2012), mangrove di wilayah pesisir Banyuasin telah mengalami perubahan menjadi rawa, lahan terbuka, tambak, sawah, dan semak belukar. Selain itu, telah terjadi penurunan kualitas lingkungan hutan mangrove dan pengurangan luas hutan mangrove sebagai akibat dari reklamasi pembangunan Tanjung Api-api, Kabupaten Banyuasin yang mengakibatkan terjadi pengurangan karbon tersimpan (Purwiyanto & Agustriani 2017; Reflis 2017). Di lain hal, Kabupaten Banyuasin juga berada dalam urutan kedua dalam penghasil emisi karbon terbesar pada sektor berbasis lahan di Provinsi Sumatera Selatan, yaitu sebesar 1.087.147 TonCO_{2eq} (Pemprov Sumsel 2018).

Perubahan penggunaan lahan mangrove yang terjadi akan menyebabkan pengurangan serapan karbon, meskipun ekosistem mangrove termasuk ekosistem yang memiliki peranan penting sebagai *carbon sink*. Mangrove di muara Sungai Musi, Kabupaten Banyuasin berpotensi menjadi salah satu solusi dalam penyerapan emisi karbon di Sumatera Selatan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur komunitas, potensi cadangan karbon, dan nilai ekonomi mangrove di Muara Sungai Musi. Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan peranan ekosistem mangrove di muara Sungai Musi dalam mengurangi emisi karbon.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan April–Mei 2019. Lokasi penelitian bertempat di muara Sungai Musi, Sumatera Selatan (Gambar 1).

Analisis Vegetasi

Pengambilan data vegetasi mangrove dilakukan pada 5 stasiun (Tabel 1) dengan metode transek garis dan petak contoh (Bengen 2000) dan identifikasi mengacu pada Noor *et al.* (2006). Untuk setiap stasiun diambil satu transek garis dari arah laut ke darat atau sebaliknya dengan tiga petak contoh.

Perhitungan struktur komunitas mangrove menggunakan nilai kerapatan jenis relatif (R_{di}), frekuensi jenis relatif (R_{fi}), penutupan jenis relatif (R_{ci}), dan indeks nilai penting (English *et al.* 1997). Dengan persamaan sebagai berikut:

$$RD_i = \left(\frac{n_i}{\sum n} \right) \times 100$$

$$RF_i = \left(\frac{F_i}{\sum F} \right) \times 100$$

Tabel 1 Koordinat stasiun

St	Longitude	Latitude
1	104.9083	-2.33915
2	104.9197	-2.35693
3	104.932	-2.36509
4	104.9035	-2.37621
5	104.9291	-2.33914



Gambar 1 Lokasi penelitian di muara Sungai Musi, Sumatera Selatan.

$$RC_i = \left(\frac{C_i}{\sum C} \right) \times 100$$

$$INP_i = RD_i + RC_i + RF_i$$

Keterangan:

- ni = Jumlah spesies i
 n = Total jumlah spesies
 Fi = Frekuensi jenis I
 F = Total jumlah frekuensi
 Ci = Tutupan jenis I
 C = Total jumlah tutupan
 INP = Indeks nilai penting

Biomassa Mangrove

Pengukuran biomassa mangrove menggunakan cara nondestruktif (tidak merusak tanaman) dengan mengukur diameter pada setiap pohon dan dilakukan perhitungan menggunakan persamaan model *allometrik* (Tabel 2).

Cadangan Karbon

Cadangan karbon atau stok karbon diestimasi dari biomasanya. Menurut Kauffman & Donato (2012), 46–50% dari biomassa adalah karbon. Perhitungan cadangan karbon dilakukan berdasarkan SNI 7724-2011.

$$C = 0,47 \times B$$

Keterangan:

- C = Cadangan karbon (kg)
 B = Biomassa (kg)
 0,47 = Fraksi karbon

Analisis Serapan CO₂

Untuk mengetahui serapan karbon dioksida (CO₂), maka hasil perhitungan karbon (C) di atas dikonversikan ke dalam bentuk CO₂ (Kauffman & Donato 2012).

$$CO_2 = (MrCO_2 / Ar.C) \times Cn$$

Keterangan:

- CO₂ = Serapan karbon dioksida (ton/ha)
 Mr.CO₂ = Bobot molekul relatif senyawa CO₂ (44)
 Ar.C = Bobot molekul relatif atom C (12)
 Cn = Cadangan karbon (ton/ha).

Valuasi Ekonomi Karbon

Dalam mengestimasi harga karbon digunakan *social cost of carbon* menurut Environmental Defense Fund, yaitu sebesar 50 USD per ton karbon. Harga konversi 1\$ adalah sebesar Rp14.000. Selain itu, digunakan juga harga karbon berdasarkan Kepel *et al.* (2017), yaitu harga yang berlaku di pasar sukarela dan pasar wajib *Clean Development Mechanism* masing-masing sebesar Rp84.000,00/ tCO_{2e} dan Rp219.520,00/tCO_{2e}. Harga karbon per ton diambil dari data global market 2010 (Ullman *et al.* 2012) dengan konversi Rp14.000,00.

Harga pasar sukarela (*voluntary market*) merupakan permintaan hanya karena adanya keinginan bersama untuk mengurangi emisi karbon, bukan karena adanya kewajiban akan hal tersebut. Sementara itu, pasar wajib terbentuk karena ada kebijakan yang mewajibkan pengurangan dan/atau pembatasan jumlah emisi gas rumah kaca yang tercantum dalam Protokol Kyoto (DNPI 2013).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Komunitas Mangrove

Ekosistem mangrove di muara Sungai Musi terdiri atas empat jenis mangrove, yaitu *Sonneratia alba*, *Nypa fruticans*, *Sonneratia caseolaris*, dan *Rhizophora apiculata* (Tabel 3). Pada lokasi pengambilan sampel ditemukan beberapa mangrove dengan jenis yang sama, seperti *Nypa fruticans* yang ditemukan di stasiun 1, 2, 4, dan 5. *Sonneratia alba* juga ditemukan di stasiun 1 dan stasiun 3. Jenis nipah dominan

Tabel 2 Model *allometrik* tegakan atas beberapa jenis mangrove (Suryono *et al.* 2018)

Jenis spesies	Model allometrik	Sumber
<i>A. alba</i>	$B = 0,079211 * D^{2,470895}$	Tue <i>et al.</i> (2014)
<i>A. Marina</i>	$B = 0,1848 * D^{2,3524}$	Dharmawan dan Siregar (2008)
<i>R. apiculata</i>	$B = 0,043 * D^{2,63}$	Amira (2008)
<i>R. mucronata</i>	$B = 0,1466 * D^{2,3136}$	Dharmawan (2013)
<i>Sonneratia spp</i>	$B = 0,258D^{2,287}$	Kusmana <i>et al.</i> (2018)
Mangrove secara umum	$B = 0,251 * \rho * D^{2,46}$	Komiyama <i>et al.</i> (2005)

Keterangan: B= Biomassa (kg); D= dbh (cm); ρ = wood density (g/cm²).

Tabel 3 Distribusi jenis mangrove pada setiap stasiun pengamatan

Jenis mangrove	Distribusi				
	S1	S2	S3	S4	S5
<i>Sonneratia alba</i>	+	-	+	-	-
<i>Nypa fruticans</i>	+	+	-	+	+
<i>Sonneratia caseolaris</i>	-	+	-	-	-
<i>Rhizophora apiculata</i>	-	+	-	+	-

Keterangan: ditemukan (+); tidak ditemukan (-); dan S = Stasiun.

ditemukan di stasiun 5, karena stasiun 5 merupakan daerah permukiman sehingga banyak mengalami tekanan antropogenik. Pada stasiun 1, 2, dan 4 hanya beberapa batang nipah saja yang ditemukan. Nipah merupakan jenis mangrove yang banyak ditemukan di muara sungai karena kondisinya yang dipengaruhi oleh air tawar. Mangrove memiliki morfologi khas yang berbeda-beda berdasarkan lokasi tumbuh, sebaran, dan jenisnya. Carugati *et al.* (2018) mengemukakan bahwa ekosistem mangrove menyediakan habitat bagi banyak spesies dan merupakan penyedia barang dan jasa utama bagi manusia sehingga apabila keadaan ekosistem mangrove rusak maka 20% keanekaragaman hayati bentuk dan 80% laju dekomposisi oleh mikroba akan hilang.

Struktur komunitas mangrove di muara Sungai Musi (Tabel 4) menunjukkan bahwa spesies *Nypa fruticans* memiliki tingkat kerapatan relatif tertinggi, yaitu 43% dan *Sonneratia alba* 26%. Hal ini diduga karena jumlah pohon yang ditemukan dan diameter tegakan yang diukur yang paling banyak adalah dua jenis mangrove tersebut. Kerapatan adalah jumlah individu tegakan dalam suatu luasan mangrove. Semakin tinggi kerapatan mangrove maka semakin bagus kondisi ekosistem mangrove tersebut dan berpengaruh pada biota yang hidup di dalam dan di sekitarnya. *Nypa fruticans* memiliki tutupan 52% dan tutupan *Sonneratia alba* adalah 41%, diikuti *Rhizophora apiculata* dan *Sonneratia casiolaris* yang memiliki tutupan di bawah 10%. Peranan penting suatu spesies di dalam ekosistem ditunjukkan oleh Indeks nilai penting. Hasil analisis menunjukkan bahwa jenis mangrove *Nypa fruticans* dan *Sonneratia alba* memiliki peran yang penting dalam keberlangsungan ekosistem di lokasi penelitian dengan nilai INP masing-masing sebesar 145 dan 101. Kedua jenis mangrove ini tumbuh di habitat muara sungai dan berlumpur. Nipah tumbuh dengan baik di daerah muara atau laguna yang dangkal, dan nipah juga membentuk koloni di daerah pasang yang mencapai sungai, dan daerah berlumpur (Tsuji *et al.* 2011). Sementara itu, menurut Sahromi (2011), jenis *Sonneratia* sp yang sering disebut pedada atau pedado merupakan jenis mangrove yang tumbuh pada daerah dengan salinitas rendah, tanah berlumpur, dan sering tumbuh di sepanjang sungai, dan juga terpengaruh oleh pasang surut. Hasil penelitian Eddy *et al.* (2019) menyatakan bahwa kawasan hutan mangrove yang didominasi oleh *Nypa fruticans* merupakan kawasan yang terganggu, dan spesies ini akan berada di zona dekat daratan atau zona transisi dan bisa menginvasi semua zona hutan mangrove.

Tabel 4 Struktur komunitas mangrove muara Sungai Musi

Spesies	RDi	Rfi	RCi	INP
<i>Sonneratia alba</i>	33,60	26,09	41,60	101,28
<i>Nypa fruticans</i>	49,60	43,48	52,52	145,60
<i>Sonneratia casiolaris</i>	8,00	13,04	3,50	24,55
<i>Rhizophora apiculata</i>	8,80	17,39	2,38	28,57

Keterangan: RDi = Kerapatan jenis; Rfi = Frekuensi jenis; RCi = Tutupan Jenis; dan INP= Indeks nilai penting.

Potensi Serapan Karbon

Total biomassa dan simpanan karbon hutan mangrove di muara Sungai Musi adalah 228,39 ton/ha dan 107,34 tonC/ha. Nilai simpanan karbon ini relatif lebih tinggi dibandingkan dengan nilai karbon di Pulau Kemujan-Karimun Jawa, yaitu sebesar 91,31 tonC/ha (Cahyaningrum *et al.* 2014; Hartoko *et al.* 2015). Akan tetapi, ada beberapa ekosistem mangrove lain yang memiliki simpanan karbon yang lebih tinggi, seperti Taman Nasional Sembilang, yaitu sebesar 153,4 tonC/ha (Sinaga 2015) dan di kawasan Kema Sulawesi Utara, yaitu sebesar 133,76 tonC/ha (Kepel *et al.* 2017). Hubungan antara biomassa dan nilai karbon lebih dipengaruhi oleh diameter pohon serta jumlah kerapatan jenisnya. Ati *et al.* (2014) dan Kepel *et al.* (2017) juga menyatakan bahwa biomassa dan diameter pohon menunjukkan hubungan yang linear dengan koefisien determinasi di atas 0,8. Semakin besar nilai koefisien determinasi maka semakin erat kaitan lingkaran batang pohon dengan biomassa suatu pohon. Di samping itu, kesuburan tanah dan daya serap vegetasi tersebut juga dapat memengaruhi besar kecilnya simpanan karbon.

Mangrove berkontribusi secara signifikan pada siklus karbon global. Penyimpanan dan sekuestrasi karbon telah dikenal sebagai jasa lingkungan lainnya yang disediakan oleh ekosistem mangrove. Pada penelitian ini, biomassa yang diukur adalah biomassa tegakan atas dengan menggunakan model persamaan allometrik. Duke (2013) menyatakan bahwa pengukuran menggunakan persamaan allometrik merupakan cara yang lebih mudah dan nondestruktif untuk mengukur biomassa. Berdasarkan citra spasial total mangrove muara Sungai Musi yang tersebar di pesisir sungai dan muara adalah 5276,23 ha sehingga apabila dikonversi maka biomassa dan stok karbon di muara Sungai Musi akan mencapai 1.205.036,04 ton dan 566.366,94 tonC.

Jasa lingkungan mangrove dapat berupa serapan karbon dioksida serta nilai ekonomi (Tabel 5). Serapan CO₂ oleh ekosistem mangrove di muara Sungai Musi mencapai 393,59 tCO₂/ha. Jika dikonversi dengan luasan mangrove sebesar 5276 ha, serapan CO₂ mangrove di muara Sungai Musi mencapai 2.076.678,77 tCO₂. Dari nilai serapan CO₂ yang didapat, dapat juga diestimasi nilainya dalam mata uang. Valuasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *social cost of carbon*. Nilai serapan CO₂ di muara Sungai Musi berdasarkan *social cost* adalah sebesar Rp275.513.837,00. Merujuk pada luasan mangrove total nilainya dapat mencapai lebih kurang

Tabel 5 Jasa lingkungan mangrove per hektar (/ha)

Parameter	Per hektar	Kawasan (\pm 5276 ha)
Biomassa (ton)	228,39	1205036,04
C (ton C)	107,34	566.366,94
CO ₂ (ton CO ₂)	393,59	2.076.678,77
Social cost (Rp)	75.513.837	1.453.675.140.788
Pasar sukarela (Rp)	33.061.660	174.441.016.895
CDM (Rp)	86.401.139	455.872.524.151

Keterangan: CDM = *Clean Development Mechanism*.

Rp1.453.675.140.788,00. Nilai sosial karbon menunjukkan seberapa besar kemauan membayar masyarakat untuk menghindari kerusakan yang disebabkan oleh kenaikan emisi karbon (Price *et al.* 2007 dalam Jerath *et al.* 2016).

Nilai ekonomi karbon pada vegetasi mangrove juga dapat dihitung dengan menggunakan nilai pasar sukarela dan pasar wajib *Clean development mechanism* (CDM). Berdasarkan nilai tersebut nilai ekonomi karbon mangrove di muara Sungai Musi adalah Rp33.061.660,00 (pasar sukarela) dan Rp86.401.139,00 (CDM). Nilai ini lebih rendah daripada hasil penelitian Kepel *et al.* 2017 di Kema Sulawesi Utara, yaitu sebesar Rp39.762.835,00 (pasar sukarela) dan Rp103.913.543,00 (CDM).

Harga pasar sukarela (*voluntary market*) merupakan permintaan hanya karena adanya keinginan bersama untuk mengurangi emisi karbon, bukan karena adanya kewajiban akan hal tersebut. Pasar wajib terbentuk karena ada kebijakan yang mewajibkan pengurangan dan/atau pembatasan jumlah emisi gas rumah kaca yang tercantum dalam Protokol Kyoto. Pada Protokol Kyoto, negara maju/industri diwajibkan untuk menurunkan emisi GRK rata-ratanya dalam periode tahun 2008-2012 (periode komitmen pertama) sebesar 5% di bawah tingkat emisi tahun 1990 (DNPI 2013). Menurut Cames *et al.* (2016) *Clean Development Mechanism* atau mekanisme pembangunan bersih merupakan komitmen bersama antara negara maju untuk mengurangi emisi karbon dan negara berkembang diharapkan melakukan pengurangan emisi (misal: reboisasi dan rehabilitasi hutan) dan mendapatkan sertifikasi (*certified emission reducer/CER*) dan akan diperjualbelikan dalam perdagangan karbon.

Nilai ekonomi mangrove sebagai penyerap karbon juga telah diteliti di beberapa wilayah lain di Indonesia. Di antaranya adalah di kawasan mangrove suaka marga satwa Karang Gading, Sumatera Utara sebesar Rp83.187.215.641,00 (Barus dan Kuswanda 2016), di Kuala Langsa sebesar Rp2.344.745.000,00 (Zurba 2017), Rp18.174.149.373,00 di Kabupaten Gorontalo Utara (Triyanto *et al.* 2017), dan Rp2.762.461.692.000,00 untuk mangrove di Kecamatan Mandah Riau (Mandela *et al.* 2020). Dalam hal ini dapat dilihat bahwa mangrove memiliki jasa lingkungan sebagai penyerap karbon yang besar dan memiliki nilai ekonomi yang tinggi.

Menurut Palacz *et al.* (2013), perubahan iklim secara signifikan dipengaruhi oleh gas dominan rumah kaca, yaitu emisi CO₂. Serapan karbon dioksida oleh mangrove di muara Sungai Musi adalah sebesar 393,59 tCO₂/ha, dan nilai ini lebih besar jika dibandingkan dengan serapan CO₂ di pesisir kota Banda Aceh (Rahmah *et al.* 2015), yaitu sebesar 61,84 tCO₂/ha. Sebaliknya, serapan karbon muara Sungai Musi lebih kecil dibandingkan dengan serapan karbon mangrove di Kubu Raya, Kalimantan Barat, dengan nilai 805,68 tCO₂/ha (Heriyanto dan Subiandono 2016). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan jumlah dan kerapatan pohon mangrove yang terdapat di kedua lokasi tersebut.

Hasil penelitian para ahli menunjukkan bahwa hutan mangrove dapat menyimpan karbon atau dapat berperan sebagai *carbon sink*. Luasan hutan mangrove di Indonesia mencapai 22,4% atau sebanding dengan 3,22 juta ha dari mangrove dunia, dan secara keseluruhan, hutan mangrove Indonesia memiliki potensi penyerapan karbon sebesar 170,18 MtCO₂/tahun (LIPI 2018). Fargione *et al.* (2018) melalui penelitiannya menyatakan bahwa solusi perubahan iklim (mitigasi emisi karbon) di Amerika Serikat yang paling potensial adalah melalui peningkatan sekuestrasi karbon dengan biomassa tumbuhan, yang dapat mengurangi emisi karbon dunia sebesar 63%.

KESIMPULAN

Terdapat empat jenis mangrove di muara Sungai Musi, yaitu *Nypa fruticans*, *Sonneratia alba*, *Rhizophora apiculata*, dan *Sonneratia casiolaris* dengan indeks nilai penting masing-masing adalah 145,60 ; 101,28; 28,57 dan 24,55. Cadangan karbon muara Sungai Musi adalah 107,34 tonC/ha dan serapan CO₂ 393,59 tCO₂/ha. Nilai ekonomi atau jasa lingkungan mangrove muara Sungai Musi mencapai Rp174.441.016.895,00 untuk pasar sukarela dan Rp455.872.524.151,00 untuk pasar wajib *Clean Development Mechanism*.

Masyarakat dan pihak terkait diharapkan terus menjaga ekosistem mangrove di muara Sungai Musi untuk terus mendapatkan manfaat langsung maupun tidak langsung dari ekosistem mangrove tersebut. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai informasi awal perumusan kebijakan pengelolaan ekosistem mangrove secara lestari dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agussalim A. 2012. Pemanfaatan citra Landsat TM/ETM+ dan sistem informasi geografis untuk kajian kerusakan hutan mangrove di daerah pesisir Banyuasin Provinsi Sumatera Selatan [tesis]. Yogyakarta (ID):Universitas Gadjah Mada.
- Ati RNA, Rustam A, Kepel TL, Sudirman N, Astrid M, Daulat A, Mangindaan P, Salim HL, Hutahaean AA. 2014. Stok karbon dan struktur komunitas mangrove sebagai blue carbon di Tanjung Lesung, Banten. *Jurnal Segara*. 10(2): 98–171. <https://doi.org/10.15578/segara.v10i2.21>
- Barus S, Kuswanda W. 2016. Nilai ekonomi jasa lingkungan hutan mangrove di suaka margasatwa Karang Gading, Sumatera Utara. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 13(1): 29–41.
- Bengen DG. 2000. *Teknik pengambilan contoh dan analisis data biofisik sumber daya pesisir*. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan. Bogor (ID): IPB.
- Cahyaningrum, ST, Hartoko A, Suryanti. 2014. Biomassa karbon mangrove pada kawasan mangrove Pulau Kemujan Taman Nasional Karimunjawa. *Diponegoro Journal of Maquares*. 3(3): 34–42. <https://doi.org/10.14710/marj.v3i1.4287>
- Cames M, Harthan RO, Fussler J, Lazarus M, Lee CM, Erickson P, Spalding-Fetcher R. 2016. *How additional is the Clean development Mechanism?*. Berlin (ND): Oeko Institute.
- Carugati L, Gatto B, Rastelli E, Martire ML, Coral C, Greco A, Danovaro R. 2018. Impact of mangrove forest degradation on biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*. 8: 13298. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31683-0>
- Duke N. 2013. *MESCAL Mangrove Biomass Report*. Centre for tropical water & aquatic ecosystem research (TropWATER). Townsville (AU): James Cook University
- [DNPI] Dewan Nasional Perubahan Iklim. 2013. *Mari Berdagang Karbon: Pengantar Pasar Karbon untuk Pengendalian Perubahan Iklim*. Jakarta (ID).
- Eddy S, Ridho MR, Iskandar I, Mulyana A. 2019. Species composition and structure of degraded mangrove vegetation in the Air Telang Protected Forest, South Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*. 20(8): 2119–2127. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200804>
- English S, Wilkinson C, Baker V. 1997. *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. 2th ed. Townsville: Australian Institute of Marine Science.
- Fargione JE, Bassett S, Boucher T, Bridgam SD, Conant RT, Cook-Paton SC, Ellis PW, Falcucci A, Fourqurean JW, Gopalakrishna T. 2018. Natural climate solutions for the United States. *Science Advance*. 4(11): 1–14. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat1869>
- [GCA] Global Carbon Atlas. 2018. CO₂ Emissions [Internet]. [diunduh 2018 Okt 20]. Tersedia pada: <http://www.globalcarbonatlas.org/en/outreach?q=home>.
- Hartoko A, Cahyaningrum S, Febrianti DA, Ariyanto D, Suryanti. 2015. Carbon biomassa algorithms development for mangrove vegetation in Kemujan, Parang Island Karimunjawa National Park and Demak Coastal Area-Indonesia. *Procedia Environmental Sciences* 23: 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.007>
- Heriyanto NM, Subiandono E. 2016. Peran biomasa mangrove dalam menyimpan karbon di Kubu Raya, Kalimantan Barat. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*. 13(1): 1–12. <https://doi.org/10.20886/jakk.2016.13.1.1-12>
- Jerath M, Bhat M, Rivera-Monroy VH, Castañeda-Moya E, Simard M, Twilley RR. 2016. The role of economic, policy, and ecological factors in estimating the value of carbon stocks in Everglades mangrove forests, South Florida, USA. *Environmental Sciences & Policy*. 66: 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.09.005>
- Kauffman JB, Donato DC. 2012. *Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests*. Working Paper 86. CIFOR. Bogor (ID): Indonesia.
- Kepel TL, Suryono DD, Ati RN. 2017. Nilai penting dan estimasi nilai ekonomi simpanan karbon vegetasi mangrove di Kema, Sulawesi Utara. *Jurnal Kebijakan Nasional*. 12(1): 19–26. <https://doi.org/10.15578/jkn.v12i1.6170>
- Kusmana C, Hidayat T, Tiryana T, Rusdiana O, Istomo. 2018. Allometric models for above- and below-ground biomass of *Sonneratia* spp. *Elsevier: Global Ecology and Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00417>
- [LIPI] Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. 2018. Potensi cadangan dan serapan karbon ekosistem mangrove dan padang lamun Indonesia. *Intisari Bagi Pengambil Kebijakan*. [Internet]. [diunduh 2018 Nov 28];330(7500): 1119-1120. Tersedia pada: <http://oceanografi.lipi.go.id/haspen/01.%20Summary%20for%20policy%20maker-layout-20%20Juli-versi%20alfa%201.0%20release.pdf>.
- Mandela H, Fahrudin A, Yulianto G. 2020. Valuasi ekonomi jasa ekosistem mangrove di Kecamatan Mandah. *Journal of Economic and Social of Fisheries and Marine*. 7(2): 142–156.

- Noor YR, Khazali M, Suryadiputra INN. 2006. *Panduan Pengenalan Mangrove di Indonesia*. Bogor (ID): PHKA/WI-IP.
- Palacz AP, St. John MA, Brewin RJW, Hirata T, Gregg WW. 2013. Distribution of phytoplankton functional types in high-nitrate, low-chlorophyll waters in a new diagnostic ecological indicator model. *Biogeosciences*. 10(11): 7553–7574. <https://doi.org/10.5194/bg-10-7553-2013>
- [Pemprov Sumsel] Pemerintah Provinsi Sumatera Selatan. 2018. *Rencana Aksi Daerah (RAD) Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Provinsi Sumatera Selatan Tahun 2010-2030*. Palembang (ID): Pemerintah Provinsi Sumatera Selatan.
- Purwiyanto AIS, Agustriani F. 2016. Assessment of carbon status in marine protected area of Payung Island waters, South Sumatera Province, Indonesia. *Ilmu Kelautan*. 22(1): 1–6. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.22.1.1-6>
- Rahmah F, Basri H, Sufardi. 2015. Potensi karbon tersimpan pada lahan mangrove dan tambak di kawasan pesisir kota Banda Aceh. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Lahan*. 4(1): 527–534
- Rachmawati D, Setyobudiandi I, Hilmi E. 2014. Potensi estimasi karbon tersimpan pada vegetasi mangrove di wilayah pesisir muara gembong Kabupaten Bekasi. *Omni-Akuatika*. 10(2): 85–91.
- Reflis. 2017. Reklamasi dan restorasi ekologi kawasan Tanjung Api-Api Provinsi Sumatera Selatan. *Agrisep*. 16(1): 57–70. <https://doi.org/10.31186/jagrisep.16.1.57-70>
- Sahromi. 2011. *Sonneratia caseolaris*: Jenis mangrove yang hidup di kebun raya bogor. *Warta Kebun Raya*. 11(1): 22–27.
- Suryono, Soenardjo N, Wibowo E, Ario R, Rozy EF. 2018. Estimasi kandungan biomassa dan karbon di hutan mangrove Perancak Kabupaten Jembrana, Provinsi Bali. *Buletin Oseanografi Marina*. 7: 1–8. <https://doi.org/10.14710/buloma.v7i1.19036>
- Sinaga AD. 2015. Pengembangan kawasan Taman Nasional Sembilang untuk mendukung peningkatan cadangan karbon dan kesejahteraan masyarakat [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Suman DO. 2018. Mangrove Management: Challenges and Guidelines. *Coastal Wetlands*. 1055–1079. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63893-9.00031-9>
- Triyanto R, Firdaus M, Pramoda R. 2017. Total nilai ekosistem mangrove di Kabupaten Gorontalo Utara, Provinsi Gorontalo. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*. 14(3): 219–236. <https://doi.org/10.20886/jpsek.2017.14.3.219-236>
- Tsuji K, Ghazali MNF, Ariffin Z, Nordin MS, Khaidizar MI, Dullo ME, Sebastian LS. 2011. Biological and ethnobotanical characteristics of Nipa Palm (*Nypa fructicans* Wurmb.): A Review. *Sains Malaysiana*. 40(12):1 407–1412.
- Ullman R, Bilbao-Bastida V, Grimsditch G. 2012. Including blue carbon in climate market mechanisms. *Elsevier*. 30:1–4.
- Zurba N. 2017. Pengelolaan potensi sumberdaya ekosistem mangrove di Kuala Langsa, Aceh. [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor