

Estimasi Cadangan Karbon Mangrove Berdasarkan Perbedaan Tahun Tanam Rehabilitasi Mangrove (2005, 2008, 2011, 2014 dan 2017) di Kawasan Ekowisata Mangrove Pandansari, Kabupaten Brebes

Yasser Ahmed^{1,2*}, Cahyadi Adhe Kurniawan³, Ganis Riyan Efendi³, Rudhi Pribadi⁴,
Frans Alexander Nainggolan⁵, Mohamad Bangkit Gunung Surya Samudra⁶

¹Yayasan KEHATI Jakarta

Jl. Benda Alam I No.73, RW.4, Cilandak Tim., Ps. Minggu, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta

²Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam As-Syafiiyah

Jl. Raya Jatiwaringin No.12, RT.006/RW.005, Jaticempaka, Kec. Pd. Gede, Kota Bekasi, Jawa Barat

³Yayasan IKAMaT

Jl. Kelapa Gading V, Blok AM No. 14, Jl. Bukit Kencana Jaya, Meteseh, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50271 Indonesia

³Yayasan IKAMaT

Jl. Kelapa Gading V, Blok AM No. 14, Jl. Bukit Kencana Jaya, Meteseh, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50271 Indonesia

⁴Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia

⁵KeSEMaT

Jl. Mulawarman Sel. Dalam II No.113B, RT.4, Kramas, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50278

⁶KMPHP Mangrovesari Brebes

Pandansari, Desa Kaliwlingi, Kecamatan Brebes, Kabupaten Brebes, Jawa Tengah 52212 Indonesia

Email: yasser_marine@yahoo.co.id

Abstrak

Ekosistem mangrove sangat rentan terhadap kerusakan yang ditimbulkan baik oleh bencana alam maupun karena ulah manusia. Salah satu kegiatan yang dapat dilakukan untuk memperbaiki kondisi ekosistem mangrove adalah dengan melakukan rehabilitasi mangrove. Hal ini cukup penting dilakukan mengingat ekosistem mangrove sangat baik dalam proses penyerapan gas CO₂ diudara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar hutan mangrove di pesisir Desa Kaliwlingi mampu menyerap karbon dari udara berdasarkan tahun tanam rehabilitasi mangrove. Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2021 dengan menggunakan metode deskriptif. Metode pengambilan data karbon mangrove mengacu pada panduan pengukuran dan penghitungan cadangan karbon dari Standar Nasional Indonesia (SNI 7724:2011) tahun 2011. Pengambilan data karbon meliputi karbon atas permukaan (*above ground*), bawah permukaan (*below ground*) dan sedimen. Perhitungan nilai kandungan biomassa berdasarkan rumus *allometrik* tiap spesies dan uji laboratorium untuk sampel sedimen. Nilai total estimasi cadangan karbon atas permukaan (*above ground*) dan bawah (*below ground*) yaitu sebesar 660,38 ton/ha dan 417,93 ton/ha, sedangkan untuk estimasi cadangan karbon berdasarkan spesies mangrove yang didominasi oleh *Rhizophora mucronata* yaitu sebesar 312,075 ton/ha. Nilai total kandungan karbon pada sedimen paling tinggi sebesar 289,08 ton/ha pada stasiun tanam 2005 dan kedalaman 5-10 cm memiliki nilai total karbon paling tinggi sebesar 335,23 ton/ha.

Kata kunci: Mangrove, Karbon, Rehabilitasi, Konservasi.

Abstract

Mangrove ecosystems are very vulnerable to damage caused by both natural and human-made disasters. One of the activities that can be done to improve the condition of the mangrove ecosystem is to carry out mangrove rehabilitation. This is quite important considering that the mangrove ecosystem is very good at absorbing CO₂ gas in the air. This study aims to determine how much mangrove forest on the coast of Kaliwlingi Village can absorb carbon from the air based on the planting year of mangrove rehabilitation. This research was

conducted in January 2021 using a descriptive method. Method of mangrove carbon data collection refers to the guideline for measuring and calculating carbon stocks from the Indonesian National Standard (SNI 7724:2011) in 2011. Carbon data collection includes above ground (above ground), below ground (below ground), and sediment. The calculation of the value of the biomass content is based on the allometric formula for each species and laboratory tests for sediment samples. The total value of the estimated above-ground and below-ground carbon stocks is 660.38 tons/ha and 417.93 tons/ha, while the estimated carbon stocks are based on mangrove species dominated by *Rhizophora mucronata* are 312.075 tons./Ha. The highest total value of carbon content in sediments was 289.08 tons/ha at the 2005 planting station and a depth of 5-10 cm had the highest total carbon value of 335.23 tons/ha.

Keywords: Mangrove, Carbon, Rehabilitation, Conservation.

PENDAHULUAN

Sumberdaya ekosistem mangrove dikenal tidak hanya bagi lingkungan tetapi juga bermanfaat bagi masyarakat sekitar (Prasetyo *et al.*, 2016). Pemanfaatan sumberdaya ekosistem mangrove secara berlebihan, maka akan memberikan dampak yang kurang menguntungkan dalam jangka panjang (Indrayanti *et al.*, 2015). Salah satu dampak negatif dari pemanfaatan mangrove secara berlebihan adalah berkurangnya luasan ekosistem mangrove sebagai salah satu agen penyerap karbon dioksida (Manuri *et al.*, 2011). Hal ini menyebabkan meningkatnya gas CO₂ di atmosfer sehingga munculah fenomena pemanasan global yang terjadi saat ini. Hutan mangrove berperan sangat penting dalam menyerap dan menyimpan karbon, sehingga bisa menjadi solusi dalam mengatasi pemanasan global (Yuniawati *et al.*, 2011). Kauffman dan Donato (2012) dalam penelitiannya menyatakan bahwa mangrove dapat menyimpan karbon 3 (tiga) kali banyak daripada hutan lainnya.

Ekosistem mangrove berperan penting dalam upaya mitigasi pemanasan global dengan mengurangi konsentrasi CO₂ (Sondak, 2015). Menurut Rachmawati *et al.* (2014), nilai karbon yang terkandung pada vegetasi mangrove merupakan potensi dari mangrove dalam menyimpan karbon (stok karbon) dalam bentuk biomassa. Hutan mangrove merupakan ekosistem hutan yang berfungsi sebagai penyimpan karbon tertinggi pada daerah tropis dan berguna dalam mengurangi kadar CO₂ di udara (Hartoko *et al.* 2013). Perhitungan stok karbon dalam suatu ekosistem mangrove dapat digunakan untuk mengetahui kemampuan ekosistem mangrove tersebut dalam menyerap gas-gas yang menyebabkan pemanasan global. Adanya upaya yang dilakukan untuk mengendalikan konsentrasi

karbon di atmosfer, maka dapat digunakan untuk mengurangi jumlah CO₂ di atmosfer (Chanan, 2012).

Kabupaten Brebes, Provinsi Jawa Tengah pada tahun 1983 memiliki garis pantai sepanjang 65,48 km dan telah ditumbuhi vegetasi mangrove seluas 2.327 ha. Namun, pada tahun 2008 luasan mangrove tersebut tinggal 257,11 ha (Suyono, 2015). Perubahan luasan ekosistem mangrove dapat berpengaruh terhadap penyerapan CO₂ dari atmosfer. Hal tersebut juga akan berpengaruh terhadap jumlah CO₂ yang terserap. Hasil penelitian di Ciasem, Purwakarta oleh Dharmawan dan Siregar (2008) menjelaskan bahwa penurunan luasan ekosistem mangrove berhubungan dengan penyerapan dan penyimpanan karbon guna pengurangan kadar CO₂ di udara. Upaya rehabilitasi mangrove sudah sejak lama dilakukan oleh kelompok masyarakat yang berada di Desa Kaliwlingi, hal ini dilakukan agar tidak terjadi abrasi di sepanjang pesisir di kawasan tersebut.

Adapun dampak dari kegiatan rehabilitasi tersebut adalah menimbulkan perubahan lahan di Kabupaten Brebes. Adanya perubahan luasan tersebut, maka penelitian mengenai estimasi stok karbon mangrove penting dilakukan untuk mengetahui seberapa besar hutan mangrove di pesisir Desa Kaliwlingi mampu menyerap karbon dari udara berdasarkan tahun tanam rehabilitasi mangrove. Hasil penelitian ini dapat menunjang kegiatan pengelolaan kawasan konservasi secara berkelanjutan dan lestari dalam kaitannya dengan pengurangan dampak perubahan iklim.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini mengambil lokasi di kawasan hutan mangrove Pandansari, Kabupaten Brebes yang dilaksanakan pada bulan Januari 2021. Data yang diperlukan meliputi data primer

dan data sekunder. Data primer merupakan data yang langsung diambil lokasi penelitian yaitu data keanekaragaman mangrove, kerapatan mangrove, parameter lingkungan dan sedimen. Data sekunder ini berupa data pasang surut air laut, keadaan demografi dan geografi. Analisa kandungan karbon pada sampel sedimen dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu Universitas Gajah Mada.

Pada penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan teknik survei. Metode tersebut dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran dan sifat populasi mangrove hasil rehabilitasi yang diambil dari sebagian populasi mangrove sehingga dapat diasumsikan mewakili keseluruhan populasi mangrove hasil rehabilitasi di tiap tahun yang berbeda di Desa kaliwlingi, Kecamatan Brebes, Kabupaten Brebes kemudian data tersebut dapat dideskripsikan secara sistematis (Sugiyono, 2013). Lokasi penelitian ini dibagi berdasarkan usia mangrove, yaitu dengan memperhatikan tahun penanaman, yaitu penanaman tahun 2005, 2008, 2011, 2014 dan 2017.

Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data karbon mangrove mengacu pada panduan pengukuran dan penghitungan cadangan karbon dari Standar Nasional Indonesia (SNI 7724:2011) tahun 2011. Materi penyusun untuk mengestimasi cadangan karbon mangrove dalam penelitian ini terbagi menjadi karbon bagian atas (*above ground*) permukaan tanah yang meliputi biomassa pohon (tidak termasuk akar di bawah permukaan tanah), dan karbon bagian bawah (*below ground*) serta permukaan tanah yang meliputi karbon organik tanah (sedimen).

Bentuk dan ukuran plot pengambilan sampel (Gambar 1), di mana plot ukuran 10 x 10 m

digunakan untuk mengukur diameter batang pohon hidup dan pengambilan sedimen (SNI 7724:2011). Prediksi posisi pohon dilihat dari atas dan penentuan pohon yang dianggap di dalam plot dan di luar plot; tegakan nomor 1-4 secara absolut dianggap di dalam plot, tegakan nomor 5 dianggap di luar plot karena sebagian besar biomassa pohon mangrove ada di luar plot, pohon nomor 6 dan 7 sudah jelas di luar sehingga tidak dihitung. Sementara pohon nomor 8 dan 9 dianggap masuk di dalam plot karena sebagian atau separuh dari biomassa pohon mangrovenya berada di dalam plot.

Pengambilan sampel sedimen menggunakan *Sediment Core*/bor gambut yang kemudian digunakan dalam pengukuran estimasi cadangan karbon pada ekosistem mangrove (Kauffman dan Donato, 2012). Sampel sedimen dianalisis estimasi kandungan karbonnya di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu Universitas Gajah Mada dengan menggunakan metode gravimetri. Kauffmann dan Donato (2012) mengembangkan metode pengukuran karbon di ekosistem mangrove, termasuk karbon tanah. Berbeda dengan tanah mineral, sampel sedimen pada ekosistem mangrove diambil dari berbagai kedalaman antara lain 5–10 cm; 72,5–77,5 cm dan 197,5–202,5 cm (Gambar 2).

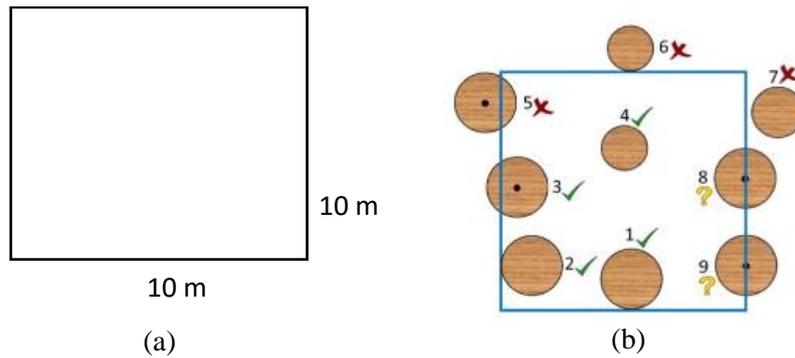
Perhitungan Biomassa

Pengukuran biomassa pohon dilakukan menggunakan persamaan allometrik yang telah dikembangkan. Menurut Sutaryo (2009) dalam studi biomassa hutan / pohon, persamaan allometrik digunakan untuk mengetahui hubungan antara ukuran pohon (diameter atau tinggi) dengan berat (kering) pohon secara keseluruhan. Persamaan allometrik untuk menentukan biomassa pohon mangrove disajikan pada Tabel 1.

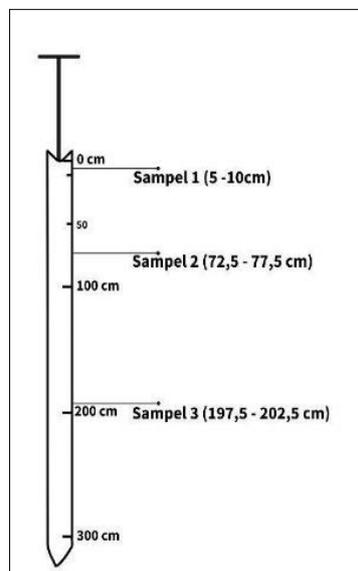
Tabel 1. Model Allometrik Spesies Mangrove

Spesies Mangrove	Model Allometrik	Sumber
<i>Avicennia marina</i>	$B = 0,1848 * D^{2,3524}$	Dharmawan dan Siregar, 2008
<i>Rhizophora apiculata</i>	$B = 0,043 * D^{2,63}$	Amira, 2008
<i>Rhizophora mucronata</i>	$B = 0,1466 * D^{2,3136}$	Dharmawan, 2013

Keterangan: B = Biomassa bagian atas (Kg); D = Diameter batang (cm).



Gambar 1. (a) Bentuk dan Ukuran Plot Pengambilan Sampel. (b) Prediksi Posisi Pohon dilihat dari atas dan Penentuan Pohon yang dianggap di dalam Plot dan di luar Plot.



Gambar 2. Kedalaman Sampel Sedimen yang diambil menggunakan Bor.

Estimasi Cadangan Karbon

Potensi cadangan karbon dalam biomassa bagian atas (*above ground*) dan bagian bawah (*below ground*) permukaan tanah adalah berdasarkan pada gram berat basah (gbb), gram berat kering (gbk) dikonversi dalam gram karbon per satuan luas (gbb m^{-2} , gbk m^{-2} dan gC m^{-2}). Konsentrasi karbon dalam bahan organik sekitar 47% (IPCC, 2006).

$$\text{Cadangan Karbon} = \text{Biomassa persatuan luas} \times 0,47 \text{ (IPCC, 2006)}$$

Estimasi jumlah karbon tersimpan per komponen dihitung dengan mengalikan total berat biomasanya dengan konsentrasi karbon. Berat kering komponen penyimpan karbon dalam luasan

tertentu dikonversi ke nilai karbon dengan perhitungan.

Bulk Density

Bulk density merupakan berat suatu massa tanah per satuan volume tertentu yang satuannya adalah g/cm^3 . Porositas dipengaruhi oleh bahan organik (Hardjowigeno, 2003). Proses awal perhitungan kandungan karbon pada sedimen memerlukan data berat jenis (*bulk density*) yang mengacu pada Kauffman dan Donato (2012) dengan rumus:

$$\text{Bulk Density (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Berat Kering Sampel (g)}}{\text{Volume sampel (cm}^3\text{)}}$$

Menurut Badan Standardisasi Nasional (2011), perhitungan karbon organik tanah menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_t = K_d \times \rho \times \% C_{\text{organik}}$$

Keterangan: C_t = kandungan karbon organik tanah, dinyatakan dalam gram (g/cm^2); K_d = kedalaman contoh tanah / kedalaman tanah, dinyatakan dalam sentimeter (cm); ρ = kerapatan lindak (*bulk density*), dinyatakan dalam gram (g/cm^3); $\% C_{\text{organik}}$ = nilai persentase karbon organik yang diperoleh dari hasil pengukuran di laboratorium.

Karbon Organik Tanah per Hektar

Metode untuk menghitung kandungan karbon organik tanah per hektar menurut Badan Standardisasi Nasional (2011) adalah sebagai berikut:

$$C_t = C_{\text{org tanah}} \times 100$$

Keterangan: C_t = kandungan karbon organik tanah per hektar, dinyatakan dalam ton per hektar (ton/ha); $C_{\text{org tanah}}$ = kandungan karbon organik tanah, dinyatakan dalam gram (g/cm^2); 100 = faktor konversi dari g/cm^2 ke ton/ha.

Simpanan Karbon Total

Perhitungan simpanan karbon total menurut Lugina *et al.* (2011) yaitu:

$$C_t = C_n + C_{\text{org tanah}}$$

Keterangan: C_{total} = simpanan karbon total, dinyatakan dalam (ton/ha); C_n = kandungan karbon per hektar pada masing-masing *carbon pool* (ton/ha); $C_{\text{org tanah}}$ = kandungan karbon organik tanah per hektar (ton/ha).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penelitian berada di kawasan rehabilitasi mangrove Desa Pandansari, Kabupaten Brebes. Sejak tahun 2005 sampai dengan 2017 sudah dilakukan penanaman sebanyak 2.260.000 bibit mangrove yang ditanam di berbagai lokasi seperti hamparan, pematang tambak dan pinggir sungai dengan dana berasal dari pemerintah dan non pemerintah (Mulyadi *et al.*, 2021). Hasil pengukuran parameter lingkungan menunjukkan bahwa setiap stasiun memiliki karakter lingkungan yang berbeda. Parameter lingkungan yang diukur

dalam penelitian ini mencakup parameter suhu, pH dan salinitas yang disajikan pada Tabel 2. Suhu di lokasi penelitian berkisar 28,7–29,7°C, dimana suhu air paling tinggi berada di stasiun tahun tanam 2005 sebesar 29,7°C dan paling rendah di stasiun tahun tanam 2008 sebesar 28,7°C. Muhamaze (2008) menyatakan bahwa temperatur rata-rata yang mendukung pertumbuhan mangrove maksimal sebesar 32°C pada siang hari dan minimal 23°C pada malam hari.

Nilai pH di seluruh stasiun berkisar 5,9–6,2. Mangrove akan tumbuh dan berkembang dengan baik pada kisaran pH 6,2–8 (Arksornkoe, 1993). Salinitas di lokasi penelitian berkisar 17,7–38,7‰. Salinitas terendah berada di stasiun tahun tanam 2017 dan tertinggi berada di stasiun tahun tanam 2005. Menurut Kusmana (2005) kadar salinitas untuk jenis tegakan *Rhizophora spp.* berkisar antara 32‰ - 36‰.

Estimasi Cadangan Karbon di Atas Permukaan (Above Ground Carbon)

Nilai biomassa mangrove bagian atas (*above ground*) berdasarkan hasil perhitungan allometrik yaitu berkisar 203,97 – 330,19 ton/ha. Stasiun yang memiliki nilai *above ground biomass* mangrove tertinggi berada di stasiun tahun tanam 2011 dengan nilai sebesar 330,19 ton/ha dan terendah berada di stasiun tahun tanam 2017 sebesar 203,97 ton/ha, sedangkan untuk nilai total *above ground biomass* mangrove pada keseluruhan stasiun sebesar 1.320,73 ton/ha (Tabel 3). Perbedaan besaran nilai biomassa pada setiap stasiun diduga karena perbedaan umur tanam mangrove, mulai dari tahun 2005 hingga tahun 2017.

Perhitungan konversi biomassa menjadi cadangan karbon mangrove menunjukkan kisaran nilai sebesar 101,99 – 165,1 ton/ha. Stasiun yang memiliki nilai cadangan karbon mangrove tertinggi berada di stasiun tahun tanam 2011 dengan nilai sebesar 165,1 ton/ha dan terendah berada di stasiun tahun tanam 2017 sebesar 101,99 ton/ha, sedangkan untuk nilai total cadangan karbon mangrove seluruh stasiun sebesar 660,38 ton/ha. Nilai total biomassa dan karbon tertinggi, terdapat pada stasiun 3 (tahun tanam 2011) dengan nilai berturut-turut 330,19 ton/ha dan 165,1 ton/ha. Masih jauh lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian Nugraha (2020), di lokasi penelitian yang sama, yaitu Desa Kaliwlingi Kabupaten Brebes, yaitu sebesar 13,82 ton/ha. Namun, masih lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Lestariningsih *et al.* (2018) di Desa Timbulsloko

Kabupaten Demak, yaitu sebesar 504,48 ton/ha. Hal ini dikarenakan perbedaan jumlah plot pengambilan sampel dan jenis mangrove yang ditemukan di dalam plot pengamatan, selain itu pengambilan data pada penelitian ini mengacu pada perbedaan umur tanam mangrove di setiap stasiun pengamatan.

Estimasi Cadangan Karbon di Bawah Permukaan (*Below Ground Carbon*)

Hasil penelitian menunjukkan stasiun yang memiliki nilai *below ground biomass* mangrove tertinggi berada di stasiun tahun tanam 2008 dengan nilai sebesar 212,11 ton/ha dan terendah berada di stasiun tahun tanam 2014 sebesar 127,55 ton/ha, sedangkan untuk nilai total *below ground biomass* mangrove pada keseluruhan stasiun sebesar 835,85 ton/ha (Tabel 4).

Selanjutnya, stasiun yang memiliki nilai cadangan karbon mangrove tertinggi berada di stasiun tahun tanam 2008 dengan nilai sebesar 106,06 ton/ha dan terendah berada di stasiun tahun tanam 2014 sebesar 63,77 ton/ha, sedangkan untuk nilai total cadangan karbon mangrove seluruh stasiun sebesar 417,93 ton/ha. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai biomassa adalah kerapatan pohon dan besarnya diameter pohon, hal ini dikarenakan semakin besar diameter suatu pohon maka nilai biomasnya juga akan semakin besar. Pengaruh dari tingginya nilai diameter batang terhadap nilai biomassa suatu tegakan pohon sangat besar dibanding dengan kerapatan sejalan dengan pendapat Adinugroho (2001) bahwa terdapat hubungan erat antara dimensi pohon (diameter dan tinggi) dengan biomasnya terutama dengan diameter pohon.

Tabel 2. Parameter Lingkungan Perairan di Lokasi Penelitian

Tahun Tanam	Suhu Air (°C)	pH	Salinitas (‰)
2005	29,7	5,9	38,7
2008	28,7	5,9	30
2011	29,1	6,1	24,7
2014	29,7	6,2	24
2017	28,8	6,2	17,7

Tabel 3. Rerata Total Cadangan Karbon dan Biomassa Bagian Atas di Lokasi Penelitian

Tahun Tanam	Biomassa (ton/ha)	Karbon (ton/ha)
2005	247,71	123,86
2008	310,21	155,11
2011	330,19	165,1
2014	228,65	114,32
2017	203,97	101,99
TOTAL	1320,73	660,38

Tabel 4. Total Cadangan Karbon dan Biomassa Bagian Bawah di Seluruh Stasiun

Tahun Tanam	Biomassa (ton/ha)	Karbon (ton/ha)
2005	157,07	78,53
2008	212,11	106,06
2011	206,63	103,32
2014	127,55	63,77
2017	132,49	66,25
TOTAL	835,85	417,93

Seiring pertumbuhan suatu pohon maka akan menghasilkan nilai biomassa dan karbon tersimpan yang besar pula karena terjadi penyerapan CO₂ dari atmosfer melalui proses fotosintesis menghasilkan biomassa yang kemudian dialokasikan ke daun, ranting, batang dan akar yang mengakibatkan penambahan diameter serta tinggi pohon.

Nilai cadangan karbon pada tegakan pohon mangrove seluruh stasiun dengan tahun tanam yang berbeda menunjukkan bahwa ekosistem mangrove mampu menyimpan karbon dalam bentuk kayu. Kondisi ini sesuai dengan Kauffman dan Donato (2012), yang menyatakan bahwa 90% biomassa di bumi terdapat di dalam hutan, terutama dalam bentuk kayu, dahan, akar, daun, dan serasah. Chanan (2012) menyatakan, setiap penambahan kandungan biomassa akan diikuti oleh penambahan kandungan cadangan 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 cadangan karbon.

Estimasi Cadangan Karbon Pada Masing-Masing Spesies Mangrove

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kandungan karbon yang paling tinggi pada masing-masing spesies mangrove adalah jenis *Rhizophora mucronata* dengan nilai biomassa 624,16 ton/ha dan karbon 312,075 ton/ha, disusul oleh jenis *Avicennia marina* dengan nilai biomassa 206,03 ton/ha dan karbon 103,015 ton/ha, sedangkan yang terakhir adalah jenis *Avicennia alba* dengan nilai biomassa 2,7 ton/ha dan nilai karbon 1,35 ton/ha (Tabel 5).

Hal ini diduga lokasi penelitian telah mengalami konversi lahan menjadi area pertambakan, kemudian direhabilitasi kembali menjadi kawasan mangrove. Sehingga jenis mangrove yang mendominasi adalah Jenis

Rhizophora mucronata yang sering dijadikan sebagai pilihan untuk melakukan rehabilitasi mangrove. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian dari Naohiro *et. al.*, (2012) yang menyatakan bahwa jenis *Rhizophora mucronata* memiliki daya adaptasi dan perlindungan yang tinggi terhadap abrasi dan gelombang laut. Jenis ini sering digunakan sebagai tanaman rehabilitasi di berbagai daerah karena benih melimpah, mudah tumbuh dan memiliki tingkat sebaran yang tinggi (Halidah, 2010).

Adanya konversi lahan tersebut berpengaruh langsung terhadap fungsi hutan sebagai penyerap karbon, yaitu ketika terjadi penurunan luasan hutan mangrove dapat mengindikasikan menurunnya fungsi hutan sebagai penyerap karbon, dan konsentrasi karbon di atmosfer akan meningkat akibat konversi lahan tersebut. Seperti dinyatakan oleh Darusman (2006) dalam Heriyanto dan Subiandono (2012), bahwa manfaat langsung dari pengelolaan hutan berupa hasil kayu secara optimal hanya 4,1%, sedangkan fungsi optimal dalam penyerapan karbon mencapai 77,9%. Selain itu dalam penelitian yang dilakukan Irsadi *et al.* (2017) tercatat bahwa kandungan biomassa yang berada di Dukuh Tapak, Kelurahan Tugurejo Kota Semarang sebesar 1.507,91 ton/ha, hal ini diduga karena kondisi di daerah tersebut memiliki kerapatan mangrove yang cukup tinggi.

Estimasi Cadangan Karbon Pada Sedimen

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, cadangan karbon dalam sedimen mangrove yang sudah dikategorikan berdasar kedalamannya, didapati hasil cadangan karbon tertinggi pada kedalaman 5-10 cm yaitu di stasiun tahun tanam 2008 dengan nilai 104,9 ton/ha, pada kedalaman 72,5-77,5 cm dan 197,5-202,5 cm yaitu di stasiun tahun tanam 2005 dengan nilai 96,54 ton/ha dan 98,23 ton/ha. Rata-rata nilai kandungan karbon berdasarkan kedalaman berturut-turut adalah 67,046 ton/ha pada kedalaman 5–10 cm, 63,332 ton/ha

Tabel 5. Kandungan Karbon pada Masing-masing Spesies Mangrove

Spesies	Biomasa (ton/ha)	Karbon (ton/ha)
<i>Rhizophora mucronata</i>	624,16	312,075
<i>Avicennia marina</i>	206,03	103,015
<i>Avicennia alba</i>	2,7	1,35

pada kedalaman 72,5 – 77,5 cm dan 63,388 ton/ha pada kedalaman 197,5 – 202,5 cm. Rincian data seluruh stasiun terkait cadangan karbon sedimen mangrove disajikan pada Tabel 6

Hasil estimasi cadangan karbon pada sedimen berbeda-beda pada setiap kedalamannya. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hooijer *et al.*, 2006 dalam Prayitno *et al.*, 2013 yang menyatakan bahwa tinggi rendahnya kandungan karbon dalam tanah ditentukan dari nilai kepadatan sedimen tanah dan kedalaman tanah pada masing-masing sampel. Semakin tebal kepadatan tanah akan semakin tinggi cadangan karbon pada lahan tersebut.

Hasil penelitian estimasi cadangan karbon sedimen di Desa Kaliwlingi Kabupaten Brebes masih lebih rendah jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hanif *et al.* (2018) di Desa Anak Setatah, Kabupaten Kepulauan Meranti, dengan nilai cadangan karbon mangrove sebesar 1.110,34 ton/ha, hal ini diduga lokasi pengambilan sampel di Desa Kaliwlingi berada di kawasan abrasi yang cukup tinggi sehingga saat ini menjadi lokasi rehabilitasi mangrove untuk mengembalikan kondisi lingkungan seperti semula. Apabila suatu hutan telah rusak dikarenakan keadaan alam seperti abrasi atau karena alih fungsi lahan menjadi lahan pertambangan dan industri, maka jumlah karbon yang tersimpan akan semakin berkurang.

Meskipun stasiun tahun tanam 2005 memiliki umur tertua, sehingga memiliki umur mencapai 15 tahun pada saat dilakukan pengambilan data, namun hasil perhitungan nilai total biomassa bukan menjadi yang tertinggi dibandingkan stasiun lainnya. Hal ini diduga karena dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya jumlah tegakan, kerapatan, dan jenis dari tegakan mangrove pada tiap stasiun yang

berbeda-beda. Semakin tua umur mangrove, maka tegakannya akan semakin sedikit dibandingkan dengan mangrove dengan tahun tanam yang relatif lebih muda. Berbeda dengan hasil perhitungan karbon pada sedimen mangrove, stasiun tahun tanam 2005 menjadi yang tertinggi dibandingkan stasiun lainnya. Perbedaan nilai kandungan karbon total sedimen mangrove dikarenakan kondisi tutupan mangrove disetiap lokasi yang berbeda, jenis mangrove yang tumbuh disetiap lokasi, dan juga struktur karakteristik sedimen tanah disetiap lokasi (Suryono *et al.*, 2018). Menurut Lestariningsih *et al.* (2018), tingginya nilai tutupan kanopi mangrove berbanding lurus dengan kandungan cadangan karbon mangrove.

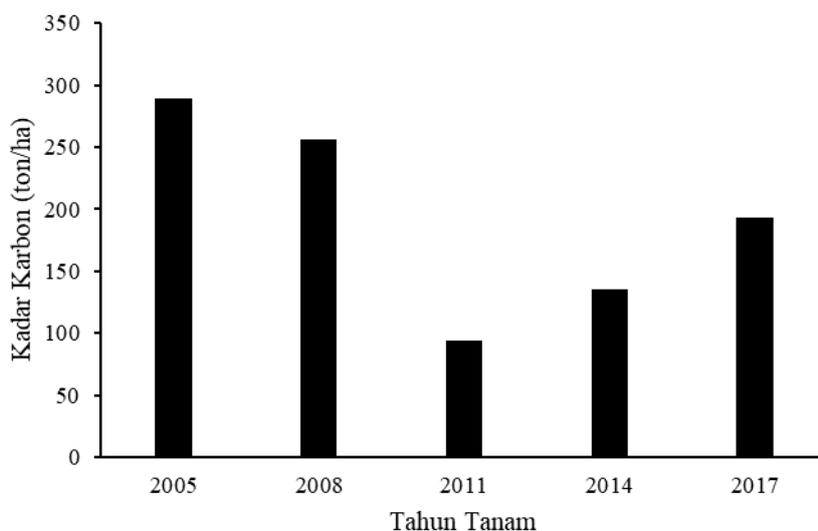
Total Kandungan Karbon Sedimen Pada Tiap Stasiun

Jumlah total kandungan karbon sedimen pada tiap-tiap stasiun terdapat pada Gambar 3. Nilai kandungan karbon sedimen tertinggi berada pada stasiun tahun tanam 2005 dengan nilai kandungan karbon sebesar 289,08 ton/ha, sedangkan untuk jumlah kandungan karbon terendah berada pada stasiun tahun tanam 2011 dengan nilai 94,2 ton/ha.

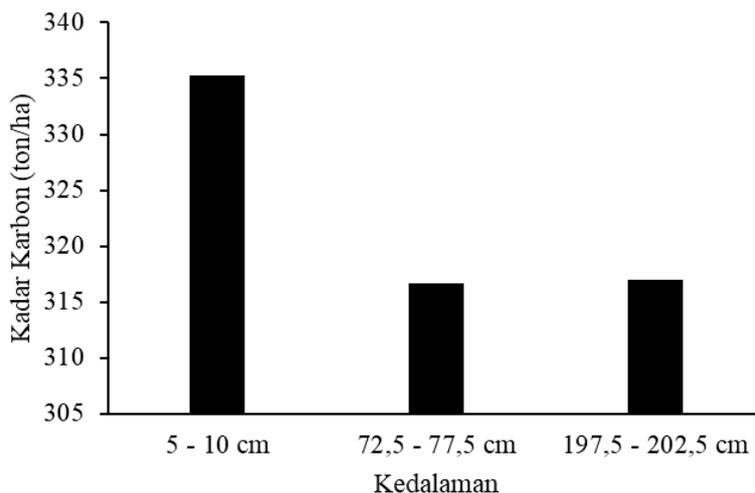
Jika dilihat berdasarkan kedalaman substrat/sedimen, berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kandungan karbon berada pada kedalaman 5–10 cm yaitu sebesar 335,23 ton/ha, diikuti oleh kedalaman 197,5–202,5 cm sebesar 316,94 ton/ha dan kedalaman 72,5–77,5 cm sebesar 316,66 ton/ha (Gambar 4). Keterkaitan cadangan karbon pada sedimen diduga dipengaruhi oleh bahan organik, jenis substrat dan letak stasiun penelitian. Hasil penelitian cadangan karbon sedimen di Kabupaten Brebes berada dalam kondisi lebih tinggi jika dibandingkan dengan kawasan di Pulau Bintan yaitu sebesar 13,90 ton/ha

Tabel 6. Estimasi cadangan karbon sedimen berdasarkan kedalaman tanah pada lokasi penelitian

Tahun Tanam	Kedalaman		
	5-10 cm	72,5-77,5 cm	197,5-202,5 cm
2005	94,31	96,54	98,23
2008	104,9	87,31	64,34
2011	28,36	33,28	32,56
2014	45,33	42,76	47,38
2017	62,33	56,77	74,43
Rata-rata	67,046	63,332	63,388



Gambar 3. Total Kandungan Karbon Pada Masing-masing Stasiun.



Gambar 4. Perbandingan Total Karbon (ton/ha) berdasarkan kedalaman substrat.

(Hapsari *et al.*, 2022). Hal ini terjadi karena penelitian di Pulau Bintan memiliki lokasi yang arus dan tenggang waktu pasang surut yang lebih tinggi, serta kondisi mangrove yang tergolong kerapatan rendah.

Perbedaan yang terjadi diduga karena perbedaan diameter, kerapatan dan tingkat kesuburan tanah. Menurut Madjid (2007) dalam Dewanti *et al.*, (2016), sumber primer bahan organik tanah berasal dari jaringan organik tanaman yang dapat berupa daun, ranting dan cabang, batang, buah dan akar. Hasil pelapukan dari daun-daun yang berjatuhan dari tumbuhan serta organisme yang berasosiasi dengan tumbuhan yang kemudian mati dan terdegradasi dalam endapan sedimen. Stasiun yang dekat dengan garis

pantai dan mempunyai nilai terkecil dibandingkan dengan stasiun lainnya. Diduga bahan organik yang ada pada stasiun tersebut dibawa oleh arus laut lepas. Hal ini didukung oleh Nybakken (1992) partikel gerakan air yang kecil mempengaruhi terendahnya bahan organik pada dasar perairan.

KESIMPULAN

Nilai total estimasi cadangan karbon atas permukaan (*above ground*) dan bawah (*below ground*) yaitu sebesar 660,38 ton/ha dan 417,93 ton/ha, sedangkan untuk estimasi cadangan karbon berdasarkan spesies mangrove didominasi oleh *Rhizophora mucronata* yaitu sebesar 312,075 ton/ha. Nilai total kandungan karbon pada sedimen paling tinggi sebesar 289,08 ton/ha pada stasiun

tahun tanam 2005 dan kedalaman 5-10 cm memiliki nilai total karbon paling tinggi sebesar 335,23 ton/ha.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugroho, C.W & Sidiyasa, K. 2001. Model Pendugaan Biomassa Pohon Mahoni (*Swietenia macrophylla* King) di Atas Permukaan Tanah. *Jurnal penelitian Hutan dan Konservasi alam*, 3(1):103-117.
- Amira S. 2008. Pendugaan Biomassa Jenis *Rhizophora apiculata* Bl. di Hutan Mangrove Batu Ampar Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat. Bogor: Fakultas Kehutanan IPB.
- Chanan, M. 2012. Pendugaan Cadangan Karbon (C) Tersimpan di Atas Permukaan Tanah pada Vegetasi Hutan Tanaman Jati (*Tectona grandis* Linn.F) (di RPH Sengguruh BKPH Sengguruh KPH Malang Perum Perhutani II Jawa Timur). *Jurnal Gamma*, 7(2):61-73.
- Dewanti, N.P., Muslim & Prihatiningsih, W.R. 2016. Analisis Kandungan Karbon Organik Total (KOT) dalam Sedimen di Perairan Sluke Kabupaten Rembang. *Jurnal Oseanografi*, 5(2):202-210.
- Dharmawan, I.W.S. 2013. Pendugaan Biomasa Karbon di Atas Tanah Pada Tegakan *Rhizophora mucronata* di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 15(1):50-56.
- Dharmawan, I.W.S. & Siregar, C.H. 2008. Karbon Tanah dan Pendugaan Karbon Tegakan *Avicennia Marina* (forsk) Vierh. di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 4(4):317-328.
- Halidah, 2010. Pertumbuhan *Rhizophora mucronata* Lamk. pada berbagai kondisi substrat di kawasan rehabilitasi mangrove Sinjai Timur Sulawesi Selatan. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 7(4):399-412.
- Hanif, N., Siregar, S.H. & Amin, B. 2018. Estimasi Stok Karbon Tersimpan pada Ekosistem Hutan Mangrove di Desa Anak Setatah Kecamatan Rangsang Barat Kabupaten Kepulauan Meranti Provinsi Riau. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan*, 5:2-15.
- Hapsari, F.N., Maslukah, L., Dharmawan, I.W.E. & Wulandari, S.Y. 2022. Simpanan Karbon Organik Dalam Sedimen Mangrove Terhadap Pasang Surut Di Pulau Bintan. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(1):86-98.
- Hardjowigeno, S. 2003. Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Hartoko, A., Hendarto, I.B. & Dwi, A.M. 2013. Perubahan Luas Vegetasi Mangrove di Pulau Parang, Kepulauan Karimunjawa Menggunakan Citra Satelit. *Jurnal of Management of Aquatic Resources*, 2(2):19-27.
- Heriyanto, N.M. & Subiandono, E. 2012. Komposisi dan Struktur Tegakan, Biomasa, dan Potensi Kandungan Karbon Hutan Mangrove di Taman Nasional Alas Purwo. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 9(1):23-32.
- Indrayanti, M.D., Fahrudin, A. & Setiobudiandi, I. 2015. Penilaian Jasa Ekosistem Mangrove di Teluk Blanakan Kabupaten Subang. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 20(2):91-96.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, prepared by National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleton, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., dan Tanabe, K. (editor), IGES, Jepang.
- Irsadi, A., Martuti, N.K. & Nugraha, S.B. 2017. Estimasi Stok Karbon Mangrove di Dukuh Tapak Kelurahan Tugurejo Kota Semarang. *Saintekno*, 15(2):119-127.
- Kauffman, J.B. & Donato, D.C. 2012. Protocols for The Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass, and Carbon Stocks in Mangrove Forests. Bogor: Cifor.
- Kusmana, C. 2005. Teknik Rehabilitasi Mangrove. Bogor: Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Lestariningsih, W.A., Soenardjo, N. & Pribadi, R. 2018. Estimasi Cadangan Karbon pada Kawasan Mangrove di Desa Timbulsloko, Demak, Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(2):121-130.
- Lugina, M., Ginoga, K.L., Wibowo, A., Bainnaura, A. & Partiani, T. 2011. Prosedur Operasi Standar (SOP) untuk Pengukuran Stok Karbon di Kawasan Konservasi. Bogor: International Tropical Timber Organization (ITTO).
- Manuri, S., Putra C.A.S. & Saputra, A.D. 2011. Teknik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan. Palembang: Merang Redd Pilot Project-German International Cooperation (MRPP-GIZ).

- Muhamaze. 2008. Introduction to Mangrove Ecosystem (Mengetahui Ekosistem Mangrove), dalam Kontribusi Parameter Oseanografi Fisika terhadap Distribusi Mangrove di Muara Sungai Pangkajene. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 9:210-217.
- Mulyadi, M.T. & Ratriningsih, D. 2021. Penerapan Konsep Tektonika Arsitektur pada Perancangan *Mangrove Edutourism Center* di Desa Kaliwlingi, Dusun Pandansari, Brebes, Jawa Tengah. *Seminar Ilmiah Arsitektur*, hlm. 167-175.
- Naohiro, M. S., Putth, S. & Keiyo, M. 2012. Mangrove Rehabilitation on Highly Eroded Coastal Shorelines at Samut Sakhon, Thailand. *Jurnal International Ecology*, p.171876, 11 pages doi: 10.1155/2012/171 876
- Nybakken, J.W. 1992. Biologi Laut: Suatu Pendekatan Ekologis. Diterjemahkan oleh H.M. Eidman, Koesoebiono *et. al.*, PT Gramedia. Jakarta.
- Prasetyo, D.E., Zulfikar, F., Shinta. & Zulkarnain, I. 2016. Valuasi Ekonomi Hutan Mangrove di Pulau Untung Jawa Kepulauan Seribu: Studi Konservasi Berbasis *Green Economy*. *OmniAkuatika*, 12(1): 48-54.
- Prayitno, M.B., Sabaruddin., Setyawan, D. & Yakup. 2013. Pendugaan Cadangan Karbon Gambut Pada Agroekosistem Kelapa Sawit. *Jurnal Agrista*, 17(3):86-92.
- Rachmawati, D., Setyobudiandi, I. & Hilmi, E. 2014. Potensi Estimasi Karbon Tersimpan pada Vegetasi Mangrove di Wilayah Pesisir Muara Gembong Kabupaten Bekasi. *J. Omni-Akuatika*, 13(19):85-91.
- Sondak, C.F.A. 2015. Estimasi Potensi Penyerapan Karbon Biru (*Blue Carbon*) oleh Hutan Mangrove Sulawesi Utara. *Jurnal of Asean Studies on Maritime Issue*, 1(1):24-29.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon – Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Sugiyono, 2013. Metode Penelitian Kuantitatif. Kualitatif, dan R & D. Bandung: Alfabeta.
- Suryono., 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.
- Sutaryo, D. 2009. Penghitungan Biomassa: Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon. Bogor: Wetlands International Indonesia Programme.
- Suyono., Supriharyono., Hendarto, B. & Radjasa, O.K. 2015. Pemetaan Degradasi Ekosistem Mangrove dan Abrasi Pantai Berbasis *Geographic Information System* di Kabupaten Brebes-Jawa Tengah. *Oceatek*, 9(1):90-102.
- Yuniawati., Budiawan, A. & Elias. 2011. Estimasi Potensi Biomassa dan Massa Karbon Hutan Tanaman *Acacia crassicarpa* Di Lahan Gambut. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 29(4):343-355.