

POTENSI SERAPAN KARBON HUTAN MANGROVE, KULON PROGO, YOGYAKARTA

POTENTIAL OF MANGROVE FOREST CARBON ABSORPTION, KULON PROGO, YOGYAKARTA

Dianita Pratiwi, Agus Hartoko, & Sigit Febrianto

Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang
Jl. Prof. H. Soedarto, S. H, Tembalang, Kecamatan Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50725

e-mail : sripu@apps.ipb.ac.id

Diterima tanggal: 19 Oktober 2021 ; diterima setelah perbaikan: 11 Mei 2023 ; Disetujui tanggal: 21 Juni 2023

ABSTRAK

Mangrove memiliki fungsi ekologis yang sangat penting, diantaranya adalah sebagai simpanan karbon dan penyerap karbon dioksida di Bumi. Kenyataannya, fungsi tersebut belum dapat dimaksimalkan karena tingkat kerusakan mangrove yang semakin tinggi per tahunnya. Ekosistem mangrove di Jawa Tengah banyak dieksploitasi dan mengalami degradasi akibat perubahan iklim, alih fungsi lahan, abrasi, sedimentasi dan lainnya. Alih fungsi lahan mangrove menjadi daerah pertambakan terjadi di hampir seluruh wilayah pesisir pantai utara dan selatan merupakan faktor terbesar hilangnya simpanan karbon. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui simpanan karbon dan kemampuan penyerapan karbon dioksida pada batang mangrove, serasah daun dan sedimen. Pemilihan lokasi penelitian di Desa Jangkar, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia sebagai studi kasus. Metode *non-destructive sampling* digunakan untuk mengetahui simpanan karbon batang dengan persamaan alometrik yang sudah ada dan dikembangkan di lokasi terdekat studi kasus, sedangkan metode *destructive sampling* digunakan untuk simpanan karbon serasah daun dan sedimen dengan mengambil sub sampel di lapangan dan melalui pengujian di laboratorium. Hasil penelitian didapatkan 2 jenis mangrove di lokasi penelitian, yaitu *Rhizophora mucronata* dan *Avicennia marina*. Jenis *Rhizophora mucronata* memiliki kepadatan tertinggi dengan kemampuan menyimpan karbon dan menyerap CO₂ yang paling tinggi pula, dibandingkan dengan *Avicennia marina*. Simpanan karbon Hutan Mangrove Kulon Progo pada batang mangrove yaitu sebesar 45,87 ton/ha, serasah daun sebesar 0,55 ton/ha dan sedimen sebesar 37,47 ton/ha, dengan persentase serapan CO₂ pada batang mangrove sebesar 54,67%, serasah daun 0,66% dan sedimen 44,67%. Kesimpulannya permukaan atas tanah pada lokasi penelitian hutan mangrove Desa Jangkar, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki kemampuan paling tinggi dalam menyimpan karbon dan menyerap CO₂.

Kata Kunci : Mangrove, Simpanan karbon, Penyerapan CO₂, Kulon Progo.

ABSTRACT

*Mangroves play a very important ecological role in as a carbon storage and carbon sinks on Earth. However, this function still suboptimal because of the rapid rate of mangrove forest degradation. Mangrove ecosystems in Central Java are widely exploited and degraded due to climate change, land uses change, abrasion, sedimentation, and others. The mangrove areas conversion into aquaculture areas that occurs in almost all parts of northern and southern coastal areas is the main driver of total carbon storage loss. The purpose of this study is to calculate the carbon stock and absorption ability of the mangrove stems, leaf litter, and sediment. The mangrove areas in Jangkar Village, Kulon Progo Regency, Special Region of Yogyakarta, Indonesia was chosen as research location for this case study. The non-destructive sampling method was used to determine the stems carbon stock using the allometric equations that already existed and were developed at the closest location to the case study. On the other hand, a destructive sampling method we applied for leaf litter and sediment carbon stock by taking sub-samples in the field and then analyzed the samples in the laboratory. The results showed that there were 2 species of mangroves in the research location, namely *Rhizophora mucronata* and *Avicennia marina*. *Rhizophora mucronata* had the higher density with the higher ability to store carbon and absorb CO₂, compared to *Avicennia marina*. Kulon Progo Mangrove Forest's carbon stocks in mangrove stems is 45.87 tons C/ha, leaf litter is 0.55 tons C/ha, and sediment is 37.47 tons C/ha, respectively, with the percentage of CO₂ absorption in mangrove stems is 54.67%, leaf litter at 0.66% and sediment at 44.67%. The conclusion*

is the above ground of Mangrove Forest in Jangkaran Village, Kulon Progo Regency, Special Region of Yogyakarta has the highest ability to store carbon and absorb CO₂.

Keywords: Mangrove, Carbon storage, CO₂ absorption, Kulon Progo.

PENDAHULUAN

Pemanasan global erat hubungannya dengan perubahan iklim ekstrem. Perubahan ini ditandai dengan meningkatnya suhu di bumi yang mencapai 0,85 °C (dengan kisaran antara 0,65-1,06 °C) dalam periode 1880-2012 bahkan skenarionya pada abad ke-21 peningkatan mencapai 4°C. Upaya yang dapat dilakukan sebagai bentuk mitigasi dalam mengurangi resiko global warming yaitu dengan membatasi penggunaan energi dan penyeimbangan konsentrasi gas rumah kaca. Salah satu gas rumah kaca yang berpotensi tinggi menyebabkan pemanasan global adalah karbon dioksida (Intergovernmental Panel Climate Change, 2013; Rahmah *et al.*, 2014).

Potensi negara maritim terhadap perubahan iklim adalah kemampuan pesisir sebagai penyerap karbon, yang menurut beberapa peneliti dapat mengakumulasi karbon sampai sebesar 50% dari total karbon (Jiao *et al.*, 2014; Cavan *et al.*, 2017; Shen & Benner, 2018). Penyerapan dan penyimpanan karbon di ekosistem pesisir (padang lamun, mangrove dan rawa payau) disebut dengan karbon biru (Tang *et al.*, 2018). Vegetasi pesisir memiliki kemampuan menyerap karbon dalam bentuk biomassa. Secara global, diperkirakan bahwa lamun memiliki angka cadangan karbon antara 4,2 sampai 8,4 PgC sedangkan pada mangrove berkisar antara 4 sampai 20 PgC (1 PgC= 1015 gC) (Donato *et al.*, 2011; Fourqurean *et al.*, 2012).

Wilayah pesisir Indonesia memiliki luas mangrove 3,31 juta Ha dengan mangrove yang kritis lebih kurang 19% (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021). Mangrove merupakan ekosistem karbon biru yang memiliki potensi paling tinggi. Dalam bentuk *Net Primary Productivity* (NPP), rata-rata angka serapan karbon di Indonesia cukup tinggi yaitu sebesar 52,58 ton CO₂/ha/tahun dengan potensi penyerapan karbon keseluruhan mencapai 170,18 Mt CO₂/tahun (Bouillon *et al.*, 2008; Aida, Fahrudin & Kamal, 2014). Mangrove menyerap CO₂ dalam bentuk biomassa tubuh yang terdiri dari biomassa bagian atas (*carbon above ground*) dan bagian bawah (*carbon below ground*).

Biomassa bagian atas pada mangrove disimpan dalam bagian batang, daun, cabang serta semua bagian

mangrove di atas permukaan tanah. Biomassa mangrove terbesar pada atas permukaan tersimpan pada bagian batang mangrove, dimana semakin besar nilai Diameter *Breast Height* yang diperoleh maka nilai biomassa akan semakin tinggi sejalan dengan meningkatnya kemampuan penyerapan karbon. Bagian bawah mangrove berkontribusi paling besar dalam menyerap dan menyimpan karbon yaitu sedimen, hal tersebut dikarenakan bahan organik banyak tersimpan di dalamnya. Menurut Donato *et al.*, (2011) bahwa jika dibandingkan dengan hutan terestrial, ekosistem mangrove dapat menyerap dan menyimpan karbon lebih banyak sejalan dengan fungsinya sebagai *blue carbon*.

Kabupaten Kulon Progo terletak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang memiliki kawasan mangrove di sepanjang muara Sungai Bogowonto, tepatnya di sepanjang Pantai Pasir Medit dan keberadaannya berhadapan langsung dengan Samudera Hindia. Pesisir Kulon Progo memiliki gumuk pasir yang melindungi laguna-laguna di muara sungai dari hempasan ombak dengan morfologi pantai yang landai (Marwasta & Priyono, 2007; Chusna *et al.*, 2017). Kawasan tersebut memiliki potensi yang tinggi untuk pengembangan dan peningkatan hutan mangrove karena kesesuaian lahan yang dipengaruhi oleh muara sungai serta pasang surut. Berdasarkan Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta No. 16 Tahun 2011 dan No. 1 Tahun 2012 bahwa zona budidaya berada di area yang sama dengan hutan mangrove, yaitu di bagian barat Sungai Bogowonto banyak digunakan sebagai tambak sehingga dalam perkembangannya terjadi tumpang tindih antara kedua potensi tersebut.

Degradasi lingkungan yang terjadi di Kulon Progo akibat alih fungsi lahan menjadi tambak dan juga pariwisata perlu diimbangi dengan adanya hutan pantai yang juga sangat berperan penting dalam upaya menekan dampak kerusakan lingkungan (Widawati *et al.*, 2013). Hutan di ekosistem pesisir (mangrove) juga berfungsi sebagai penyerap karbon, sehingga dapat turut dalam fungsi mengendalikan perubahan iklim (Nurrohmah *et al.*, 2016). Oleh karena itu, untuk mengurangi dampak perubahan iklim dapat dilakukan upaya dengan peningkatan penyerapan karbon dan/ atau penurunan emisi karbon. Terhadap hutan

mangrove di Kulon Progo belum banyak dilakukan penelitian, sehingga informasi mengenai vegetasi tersebut masih sangat sedikit. Berdasarkan hal tersebut lokasi penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih mengenai keanekaragaman mangrove serta fungsi ekologisnya sebagai karbon biru.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kawasan Hutan Mangrove Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (Gambar 1). Penelitian dilakukan pada 3 stasiun yang ditentukan sesuai keterwakilan lokasi terhadap perairan. Stasiun I adalah lokasi yang dipengaruhi oleh sungai Bogowonto, stasiun II merupakan lokasi yang dekat dengan tambak dan pemukiman serta stasiun III adalah lokasi yang dekat dengan pantai. Pengambilan sampel dilaksanakan pada tanggal 8 hingga 9 Agustus 2020. Pengeringan sampel dilakukan di Laboratorium Hidrobiologi Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro pada tanggal 18 hingga 25 Agustus 2020. Analisis laboratorium karbon organik di Laboratorium Ilmu Nutrisi dan Pakan Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Diponegoro pada 26 Agustus hingga 21 Desember 2020.

Alat dan Bahan

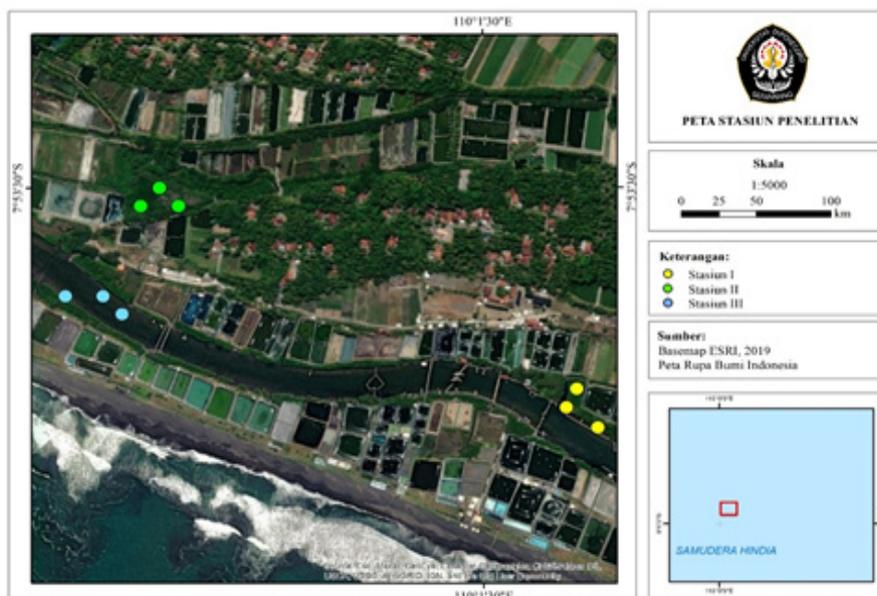
Alat yang digunakan pada penelitian ini untuk mengambil data diameter batang, serasah daun, sedimen mangrove serta parameter lingkungan yang terdapat di setiap stasiun adalah sediment core modification, pH soil test, refraktometer, GPS, kamera, timbangan digital, transek kuadran, rol meter, meteran jahit, zipper, buku identifikasi mangrove dan alat tulis.

Tutupan Kanopi

Pengambilan sampel tutupan kanopi dilakukan dengan metode hemispherical photography, yaitu metode dengan bantuan kamera dan memperhatikan sudut pandang 180° pada titik pengambilan foto (Jenning, Brown dan Sheil, 1999; Korhonen, Korhonen, Rautiainen dan Stenberg, 2008). Pengambilan sampel menggunakan plot 10 m x 10 m yang dibagi menjadi 4 sub plot lebih kecil berukuran 5 m x 5 m (Gambar 2). Posisi kamera sejajar dengan tinggi dada dan tegak lurus dengan langit kemudian dianalisis menggunakan software image-J (Dharmawan & Pramudji, 2014).

Kerapatan Jenis Mangrove

Analisis kerapatan dilakukan menggunakan metode *stratified random sampling* dengan membuat plot contoh berbentuk persegi yang diletakkan secara acak dengan ukuran: 10 m x 10 m untuk pohon dan 5 m x 5 m untuk pancang (Dharmawan *et al.*, 2020). Pemilihan *stratified random sampling* mempertimbangkan kondisi lokasi penelitian yang memiliki rentang geografi yang lebar (Gambar 3). Data kemudian diolah menggunakan Persamaan 1 (Brower & Zar, 1989):



Gambar 1. Stasiun Penelitian. Sumber: Basemap ESRI 2019

Figure 1. Study Sites.

$$Di = \frac{ni}{A} \dots\dots\dots 1)$$

Keterangan:

Di= Kerapatan mangrove (ind/ha);

ni= Jumlah pohon dalam suatu area (ind);

A= Luas petak ukur (m²)

Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mengetahui nilai Indeks Nilai Penting. INP dibagi menjadi kategori pancang dan pohon dengan Pers. 2 berdasarkan Heriyanto dan Gunawan (2018):

$$\text{Indeks Nilai Penting (INP)} = FR + DR + KR \text{ (kategori pohon)}$$

$$\text{Indeks Nilai Penting (INP)} = FR + KR \text{ (kategori pancang)} \dots\dots 2)$$

Keterangan:

FR= Frekuensi relatif (%)

DR= Dominansi relatif (%)

KR= Kerapatan relatif (%)

Simpanan Karbon

Pengambilan data diameter secara *in situ* menggunakan metode DBH yang digunakan untuk vegetasi mangrove kategori pohon dan diukur setinggi dada orang

dewasa atau sekitar 1,3 meter dari tanah. Alat yang digunakan adalah meteran jahit untuk mendapatkan data keliling yang kemudian dikonversikan menjadi diameter (Sutaryo, 2009). Kandungan karbon dapat diduga menggunakan nilai biomassa yang berasal dari perhitungan persamaan alometrik Tabel 1. dari penelitian yang paling dekat dengan lokasi penelitian.

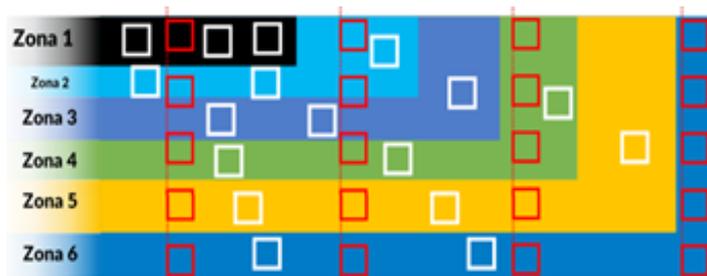
Menurut Hariah *et al.* (2011), penentuan karbon tersimpan dihitung setelah memperoleh biomassa keseluruhan hutan menggunakan angka konversi 46% dari total biomassa, sehingga penyerapan karbon dihitung dengan Persamaan 3.

$$\text{Kandungan karbon batang (g/m}^2\text{)} = \text{Total Biomassa (g/m}^2\text{)} \times 0,46 \dots\dots 3)$$

Pengambilan sampel serasah daun mangrove menggunakan sub plot berukuran 1 x 1 m pada masing-masing petak yang merupakan serasah pada area tersebut (*litter-layer*). Sampel sedimen diambil secara horizontal, yaitu dengan menurunkan sediment core dalam kondisi tegak lurus dan ditancapkan dari permukaan sedimen hingga mencapai kedalaman yang diinginkan (Suryono *et al.*, 2009). Pengambilan



Gambar 2. Titik Pengambilan Gambar Kanopi. Sumber: Dharmawan *et al.*, 2014
Figure 2. Canopy Shooting Point.



Gambar 3. Metode Stratified Random Sampling.
Figure 3. Stratified Random Sampling Method.

Tabel 1. Model alometrik above ground biomass Mangrove
Table 1. Model alometrik above ground biomass Mangrove

Jenis Spesies	Model Alometrik Batang	Sumber	Lokasi
<i>Avicennia marina</i>	$B = 0.1848 \times D^{2.3524}$	Dharmawan & Siregar, 2008	Purwakarta
<i>Rhizophora mucronata</i>	$B = 0,1466 \times D^{2.3136}$	Dharmawan, 2010	Purwakarta

Keterangan: B= Biomassa (kg); D= DBH (cm)

kedalaman dibagi menjadi 5, yaitu 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm dan 40-50 cm.

Data serasah daun dan sedimen kemudian dianalisis di laboratorium dengan mengambil *sub* sampel seberat 100 g, kemudian melalui proses pengovenan dalam suhu 80°C hingga mencapai berat konstan. Tahap ini dilakukan untuk menentukan total berat kering sampel (Manafe *et al.*, 2016).

Menurut Hariah & Rahayu (2007) yang melakukan penelitian di Sukabumi, penentuan berat kering menggunakan Persamaan 4 dan biomassa serasah daun menggunakan Persamaan 5.

$$\text{Total BK (g)} = \frac{\text{BK sub contoh (g)}}{\text{BB sub contoh (g)}} \times \text{BB (g)} \quad \dots\dots\dots 4)$$

$$\text{Biomassa serasah daun (g/cm}^2\text{)} = \frac{\text{Total BK (g)}}{\text{Luas plot (m}^2\text{)}} \quad \dots\dots 5)$$

Analisis kandungan karbon serasah daun dan sedimen mangrove menggunakan metode *lost on ignition* untuk memperoleh kadar karbon organik. Metode LOI dilakukan dengan mengeringkan sampel pada suhu 60°C selama 48 jam kemudian ditimbang 3 gr dan dibakar dengan suhu 450°C selama 4 jam (Suryono *et al.*, 2018).

Kadar Bahan Organik menggunakan Persamaan 6 berdasarkan Desnita *et al.* (2015).

$$\text{BO (\%)} = \text{Bahan Kering (\%)} - \text{Abu (\%)} \quad \dots\dots\dots 6)$$

Analisis yang dilakukan hanya menghasilkan bahan organik, sehingga kandungan karbon organik diasumsikan 1/1,724 atau 0,58 dari total bahan organik.

Konversi persentase bahan organik menjadi persentase karbon dihitung melalui Persamaan 7 berdasarkan Fourquran *et al.* (2014).

$$\% \text{ Carbon} = (1/1,724) \times \% \text{ Bahan Organik} \quad \dots\dots\dots 7)$$

Kandungan karbon tersimpan pada serasah daun diestimasi dengan Persamaan 8 berdasarkan Standar Nasional Indonesia 7724: 2011.

Kandungan Karbon

$$\text{Serasah Daun (g/m}^2\text{)} = \text{Biomassa (g/m}^2\text{)} \times \% \text{ C} \quad \dots\dots\dots 8)$$

Kandungan karbon pada sedimen di estimasi dengan Persamaan 9 menurut Fourquran *et al.*, (2014).

$$\text{Soil C (g/m}^2\text{)} = \text{Bulk Density} \times \text{Soil Depth Interval} \times \% \text{ Carbon} \quad \dots\dots\dots 9)$$

Menurut Rahim *et al.* (2018), serapan karbon dioksida pada batang, serasah daun dan sedimen dihitung menggunakan Persamaan 10.

$$\text{CO}_2 \text{ (ton/ha)} = \text{“Mr CO}_2\text{” / “Ar C”} \times \text{Kandungan karbon (ton/ha)} \quad \dots\dots\dots 10)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Komposisi Vegetasi Hutan Mangrove Kulon Progo

Berdasarkan analisis vegetasi yang telah dilakukan, terdapat dua spesies mangrove yang ditemukan di lokasi penelitian yaitu *Rhizophora mucronata* dan *Avicennia marina*. Spesies yang mendominasi adalah *Rhizophora mucronata*, ditunjukkan dengan nilai kerapatan tinggi dan hasil INP (Tabel 2). Perbedaan nilai INP tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis mangrove, tingkat pertumbuhan dan

Tabel 2. Indeks Nilai Penting Jenis Mangrove

Table 1. Model alometrik above ground biomass Mangrove

ST	Fase Pertumbuhan	Spesies	K (ind/ha)	D (m ² /ha)	F	KR (%)	DR (%)	FR (%)	INP (%)
1	Pancang Pohon	<i>R. mucronata</i>	5778	-	1	100	-	100	200
		<i>R. mucronata</i>	33	0,80	0,33	100	100	100	300
2	Pancang	<i>R. mucronata</i>	3822	-	1	96,63	-	60	156,63
		<i>A. marina</i>	133	-	0,67	3,37	-	40	43,37
		Jumlah	7467	-	1,67	100	-	100	200
	Pohon	<i>R. mucronata</i>	117	1,35	0,67	30,43	49	50	129,28
		<i>A. marina</i>	267	1,41	0,67	69,57	51	50	170,72
	Jumlah	383	2,76	1,33	100	100	100	300	
3	Pancang Pohon	<i>R. mucronata</i>	4311	-	1	100	-	100	200
		<i>R. mucronata</i>	33	0,87	0,67	100	100	100	300

Sumber: Data penelitian

kompetisi. Menurut Nurjaman *et al.* (2017), jenis penyusun vegetasi dipengaruhi oleh interaksi faktor seperti ruang, waktu, lingkungan dan juga kompetisi-predasi.

Rhizophora mucronata merupakan spesies yang mendominasi karena pada setiap tahunnya dilakukan penyulaman maupun penanaman baru hanya untuk jenis tersebut saja dan juga karena kesesuaian lingkungan tergenang dengan air bersalinitas rendah yang berasal dari anak Sungai Bogowonto. Menurut Kustanti (2011) bahwa *Rhizophora sp.* merupakan salah satu jenis mangrove yang dapat beradaptasi dengan baik dibandingkan dengan jenis lainnya sehingga dapat mendominasi dalam suatu kawasan hutan.

Perhitungan tutupan mangrove menggunakan metode *Hemispherical photography* memperoleh hasil persentase tutupan kanopi tertinggi pada stasiun III yaitu sebesar 83,17% dan yang terendah pada stasiun II sebesar 76,53% (Tabel 3). Hasil tersebut jika ditinjau berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 201 Tahun 2004 tentang Kriteria Baku dan Pedoman Penentuan Kerusakan Mangrove, pada semua stasiun termasuk kategori sangat padat karena nilai yang diperoleh $\geq 75\%$.

Karbon pada Batang Mangrove

Estimasi biomassa dan simpanan karbon pada batang mangrove dilakukan dengan pendekatan persamaan alometrik. Hasil pengukuran yang telah dilakukan diperoleh nilai biomassa pada kisaran 72,34 ton/ha - 133,46 ton/ha dengan kemampuan menyimpan karbon

pada kisaran 33,28 ton C/ha – 61,39 ton C/ha (Tabel 4). Perbedaan nilai tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti diameter batang, kerapatan dan jenis mangrove.

Kerapatan mangrove berperan dalam penentuan nilai biomassa penelitian ini. Besarnya nilai biomassa diperoleh dari besarnya diameter dan jumlah tegakan pada setiap stasiun yang akan mempengaruhi nilai kerapatan. Berdasarkan hasil uji regresi-korelasi diperoleh data hubungan yang sedang antara kerapatan dan simpanan karbon. Hal ini ditunjukkan dengan nilai kerapatan tertinggi berada di stasiun I (Tabel 2) namun simpanan karbon tertinggi berada di stasiun II (Tabel 4).

Hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu jenis mangrove yang ditemukan dan diameter yang diperoleh. Stasiun II terdapat jenis *Avicennia marina* yang memiliki rentang nilai diameter yang cukup besar di lokasi penelitian dan jenis tersebut tidak ditemukan di stasiun yang lain. Perbedaan setiap jenis yang ditemukan per stasiun dipengaruhi oleh penanaman yang dilakukan oleh masyarakat di kawasan tersebut. Menurut Manafe *et al.* (2016) faktor-faktor seperti iklim, komposisi jenis, topografi dan lingkungan serta kerapatan vegetasi mempengaruhi tingkat karbon di hutan.

Berdasarkan hasil uji regresi-korelasi diperoleh data hubungan yang sangat kuat antara diameter mangrove dan biomassa penelitian. Hal tersebut ditunjukkan oleh hasil distribusi DBH (Gambar 4), bahwa pada stasiun

Tabel 3. Tutupan Kanopi Metode Hemispherical Photography
Table 3. Canopy Mangrove with Hemispherical Photography Method

ST	Titik	Jenis Mangrove	% Tutupan	Kategori*
1	1	<i>Rhizophora mucronata</i>	80,12	Sangat Padat
	2	<i>Rhizophora mucronata</i>	80,85	Sangat Padat
	3	<i>Rhizophora mucronata</i>	79,80	Sangat Padat
		Rata-rata \pm SE	80,25 \pm 0,31	Sangat Padat
2	1	<i>Rhizophora mucronata</i>	81,02	Sangat Padat
	2	<i>Rhizophora mucronata</i>	67,87	Sedang
	3	<i>Rhizophora mucronata</i> <i>Avicennia marina</i>	80,71	Sangat Padat
		Rata-rata \pm SE	76,53 \pm 4,33	Sangat Padat
3	1	<i>Rhizophora mucronata</i>	81,10	Sangat Padat
	2	<i>Rhizophora mucronata</i>	83,86	Sangat Padat
	3	<i>Rhizophora mucronata</i>	84,56	Sangat Padat
		Rata-rata \pm SE	83,17 \pm 1,06	Sangat Padat

Sumber: Data penelitian

II memiliki kisaran paling besar yaitu sekitar 2,5 cm – 16,75 cm dengan perolehan nilai biomassa yang besar pula. Bertambahnya diameter sejalan dengan semakin banyaknya karbon yang terserap. Menurut Rachmawati (2014) bahwa laju pertumbuhan yang ditandai dengan bertambahnya diameter sejalan dengan semakin besar karbon yang terserap, sehingga hutan dengan pertumbuhan yang rendah cenderung menyerap karbon lebih sedikit.

Karbon pada Serasah Daun Mangrove

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil kandungan karbon serasah daun pada setiap stasiun berbeda. Hasil menunjukkan bahwa kandungan karbon serasah daun paling besar berada pada stasiun III, yaitu sebesar 0,703 ton C/ha dan kandungan

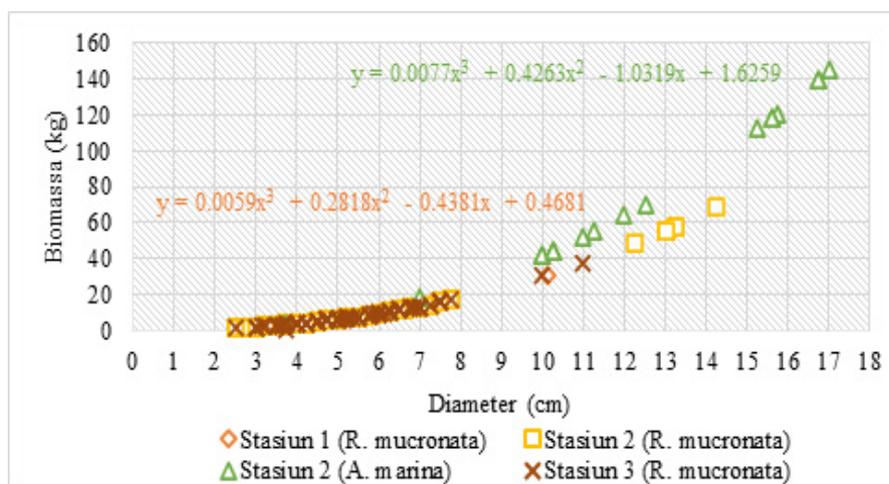
karbon paling rendah pada stasiun II yaitu 0,416 ton C/ha (Tabel 5). Perbedaan hasil tersebut dipengaruhi oleh laju guguran mangrove. Menurut Andrianto *et al.*, (2015) bahwa guguran serasah mangrove dipengaruhi oleh hembusan angin dan terpaan hujan serta serasah memiliki periode biologi yang cenderung singkat.

Berdasarkan kondisi fisik di lokasi penelitian, stasiun III memiliki laju guguran yang tinggi dikarenakan pada stasiun tersebut terletak tepat dekat dengan pantai. Pesisir Kulon Progo dikenal dengan pengaruh angin laut yang sangat kuat, sehingga semakin lokasi tersebut mendekati laut maka laju gugurannya pun semakin tinggi. Menurut Tanjung *et al.* (2017) bahwa laju angin yang dominan kuat (20-25 dt) bertiup secara konstan dari arah tenggara atau selatan pada musim kemarau.

Tabel 4. Biomassa, Karbon dan Serapan CO₂ pada Batang setiap Stasiun
Table 4. Biomass, Carbon and CO₂ Absorption of Stem at each Stationn

ST	Plot	Jumlah Tegakan	DBH (cm)	Biomassa (ton/ha)	Karbon (ton C/ha)	Serapan CO ₂ (ton C/ha)
1	1	43	3 – 10,13	70,25	32,32	118,60
	2	60	2,5 – 5,75	72,53	33,36	122,44
	3	28	3 – 7,25	74,25	34,16	125,35
		Rata-rata ± SE			72,34 ± 1,16	33,28 ± 0,53
2	1	71	2,5 – 14,25	129,26	59,46	218,21
	2	49	2,5 – 16,75	144,98	66,69	244,75
	3	70	2,75 - 17	126,14	58,03	212,95
		Rata-rata ± SE			133,46 ± 5,83	61,39 ± 2,68
3	1	31	3 - 10,13	94,43	43,44	159,42
	2	32	2.5 - 5,75	92,48	42,54	156,13
	3	36	3 - 7,25	93,15	42,85	157,26
		Rata-rata ± SE			93,36 ± 0,57	42,94 ± 0,26

Sumber: Data penelitian



Gambar 4. Distribusi Biomassa dengan DBH.

Figure 4. Distribution of Biomass with DBH. Sumber: Data penelitian

Arah angin dari Samudera Hindia berpengaruh besar dalam kondisi di sekitar daerah Sungai Bogowonto.

Stasiun III memiliki kadar salinitas yang paling tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya. Hal tersebut mempengaruhi laju produksi serasah karena pengguran daun merupakan bentuk adaptasi terhadap salinitas. Menurut Zamroni & Rohyani. (2008) bahwa guguran daun serasah juga merupakan bentuk adaptasi vegetasi mangrove terhadap tingginya salinitas, sehingga upaya tersebut dilakukan untuk mengurangi konsumsi air agar dapat bertahan hidup. Produksi serasah juga dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti suhu, kelembaban, pH dan curah hujan.

Stasiun II memiliki laju produksi serasah daun yang paling rendah dikarenakan pada stasiun memiliki kondisi mangrove pertumbuhan yang kurang baik, ditunjukkan oleh keberadaan *Avicennia marina* yang tua dan mulai rusak. Menurut Sitompul *et al.* (2014) bahwa produksi serasah dipengaruhi oleh kombinasi dari faktor ketuaan dan mekanik seperti kematian, kerusakan akibat iklim maupun angin.

Hasil analisis regresi-korelasi tutupan kanopi terhadap kandungan serasah daun menunjukkan hubungan yang sedang. Hal tersebut menunjukkan bahwa tutupan kanopi mangrove pada lokasi penelitian ini berperan dalam penentuan kandungan karbon serasah daun. Serasah daun juga dipengaruhi oleh kerapatan tajuk, namun berdasarkan penelitian ini kerapatan tajuk tertinggi pada stasiun I sedangkan kandungan karbon terbesar pada stasiun III. Menurut Manafe *et al.* (2016) bahwa kandungan karbon serasah juga dipengaruhi

oleh kerapatan tajuk atau tegakan yang berpengaruh pada persaingan untuk memperoleh sinar matahari.

Karbon pada Sedimen Mangrove

Kandungan karbon diukur secara vertikal menggunakan *sediment core* modifikasi yang terbagi menjadi lima kedalaman yang berbeda. Kedalaman dibagi dalam interval 10 cm, adapun kedalaman yang diukur yaitu 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm dan 40-50 cm. Menurut Donato *et al.*, (2011) bahwa kedalaman antara 0,5 m hingga lebih 3 m memiliki kandungan karbon organik yang tinggi.

Berdasarkan analisis uji regresi-korelasi antara kedalaman terhadap kandungan karbon, diperoleh keeratan hubungan yang kuat. Setiap kedalaman memiliki nilai kandungan yang berbeda-beda dengan kandungan karbon paling tertinggi pada kedalaman 40-50 cm yaitu sebesar 41,67 ton/ha, sedangkan nilai terendah pada bagian paling atas dengan kedalaman 0-10 cm sebesar 31,82 ton/ha (Gambar 5). Perbedaan nilai kandungan karbon tersebut dipengaruhi oleh 3 faktor, yaitu berat jenis, kedalaman, dan karbon organik sedimen. Menurut Donato *et al.* (2011) simpanan karbon di bawah permukaan mangrove dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu kandungan karbon organik tanah, berat jenis, dan kedalaman tanah serta ketiga faktor tersebut bervariasi secara spasial.

Berdasarkan hasil yang diperoleh ditunjukkan juga bahwa berat jenis sedimen meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman (Gambar 6a) dan hasil uji analisis regresi-korelasi kedalaman terhadap *bulk density* memiliki keeratan hubungan yang sangat kuat.

Tabel 5. Biomassa, Karbon dan Serapan CO₂ pada Serasah Daun setiap Stasiun
Table 5. Biomass, Carbon and CO₂ Absorption of Leaf Litter at each Station

Stasiun	Plot	Biomassa (ton/ha)	C-Organik (%)	Biomassa (ton/ha)	Serapan CO ₂ (ton C/ha)
1	1	1,224	44,683	0,547	2,007
	2	1,249	41,917	0,523	1,921
	3	1,278	44,237	0,565	2,075
		Rata-rata ± SE		0,545 ± 0,012	2,001 ± 0,045
2	1	0,925	43,297	0,401	1,470
	2	1,417	30,734	0,436	1,599
	3	0,950	43,245	0,411	1,508
		Rata-rata ± SE		0,416 ± 0,010	1,526 ± 0,038
3	1	1,626	42,572	0,692	2,541
	2	1,594	44,422	0,708	2,599
	3	1,561	45,333	0,708	2,597
		Rata-rata ± SE		0,703 ± 0,005	2,579 ± 0,019

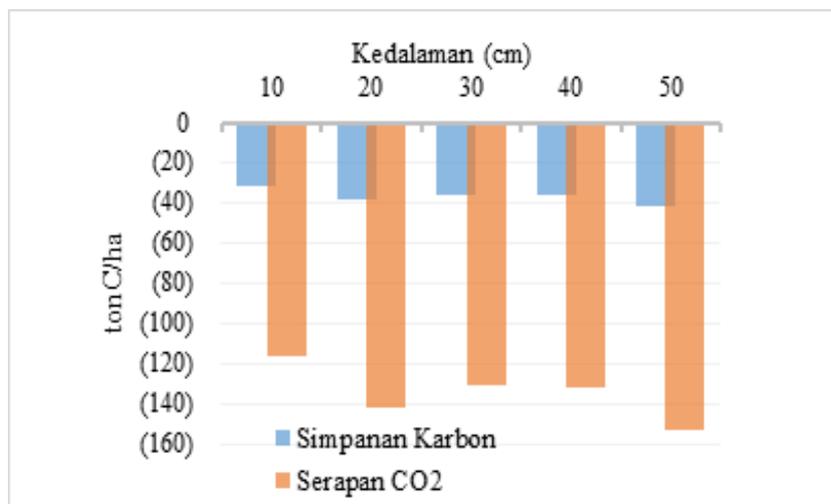
Sumber: Data penelitian

Berat jenis terendah pada lapisan paling atas dengan kedalaman 0-10 cm sebesar $0,47 \text{ g/cm}^3$, sedangkan nilai tertinggi pada kedalaman 40-50 g/cm^3 yaitu $0,83 \text{ g/cm}^3$. Meningkatnya kedalaman mempengaruhi kerapatan partikel di dalamnya, hal tersebut ditunjukkan dengan semakin padatnya partikel seiring bertambahnya kedalaman.

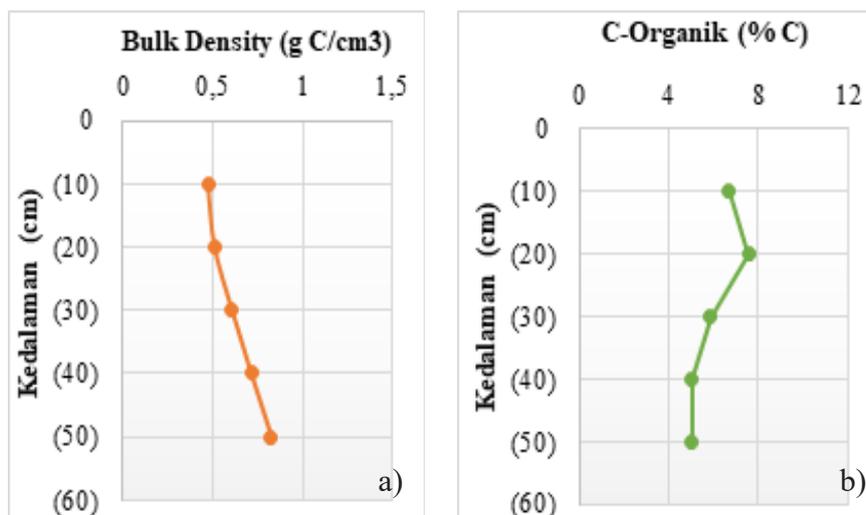
Secara umum berat jenis meningkat seiring dengan kedalaman, nilainya meningkat dari lapisan tanah dekat permukaan hingga kedalaman tertentu (Kusumaningtyas *et al.*, 2019). Semakin tinggi kepadatan tanah, maka semakin tinggi pula nilai berat jenisnya sehingga mempengaruhi nilai kandungan karbon yang dihasilkan (Mahasani *et al.*, 2015).

Faktor berikutnya adalah karbon organik dalam sedimen. Berdasarkan hasil analisis uji regresi-korelasi kedalaman terhadap karbon organik sedimen diperoleh hasil keeratan hubungan yang sangat kuat. Karbon organik cenderung menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman (Gambar 6b).

Pengaruh aktivitas antropogenik dapat mengindikasikan rendahnya kandungan karbon organik pada lapisan paling atas sedimen. Nilai kandungan karbon cenderung rendah seiring bertambahnya kedalaman (Slamet *et al.*, 2020). Cadangan karbon organik pada lapisan paling atas menjadi rendah akibat aktivitas antropogenik seperti alih fungsi lahan dan penebangan pohon (Sari *et al.*, 2017).



Gambar 5. Simpanan Karbon dan Serapan CO₂ pada Sedimen Mangrove.
 Figure 5. Carbon Storage and CO₂ Absorption of Sediment at each Depth.
 Sumber: Data penelitian



Gambar 6. Bulk Density (a) dan C-Organik (b) terhadap Kedalaman.
 Figure 6. Bulk Density (a) and C-Organic (b) to Depth.
 Sumber: Data penelitian

Penyerapan CO₂ Hutan Mangrove Kulon Progo

Serapan CO₂ dalam penelitian ini diestimasi berdasarkan simpanan karbon pada batang, serasah daun dan sedimen mangrove. Total kemampuan Hutan Mangrove Kulon Progo dalam menyerap CO₂ sebesar 307,91 ton C/ha dengan penyumbang terbesar batang mangrove yaitu sebesar 54,67%, diikuti sedimen sebesar 44,67% dan paling rendah serasah daun 0,66% (Tabel 6).

Kemampuan penyerapan CO₂ pada batang menunjukkan hasil yang lebih tinggi dibanding sedimen karena faktor yang mempengaruhi karbon batang lebih dominan dan penelitian dilakukan hanya pada kedalaman 50 cm. Menurut Lestariningsih *et al.*, (2018) bahwa cadangan karbon pada tegakan mangrove diduga lebih dipengaruhi oleh kerapatan, tutupan tajuk, diameter serta biomasnya, sedangkan karbon pada sedimen dipengaruhi oleh bahan organik, lokasi penelitian serta jenis substrat.

Simpanan karbon dan serapan CO₂ Hutan Mangrove Kulon Progo pada setiap stasiun penelitian ini terbagi menjadi dua berdasarkan sumber karbonnya, yaitu

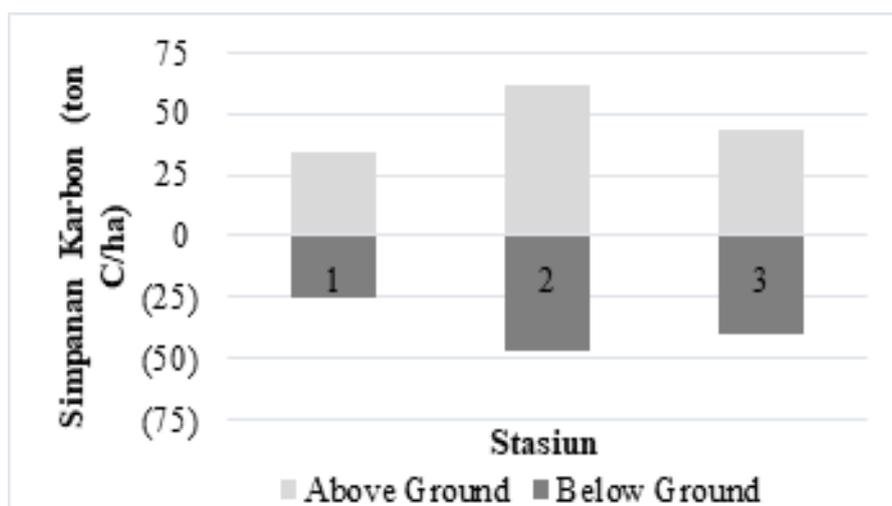
karbon atas permukaan (*above ground*) dan karbon bawah permukaan (*below ground*) (Gambar 7). Nilai simpanan karbon dan serapan karbon dioksida terbesar berasal dari *above ground* yang terdiri dari batang dan serasah daun secara berturut-turut, yaitu sebesar 46,43 ton C/ha dan 170,38 ton C/ha, yang mampu menyerap CO₂ total sebesar 55,33%. *Below ground* memiliki nilai simpanan karbon sebesar 37,47 ton/ha dan mampu menyerap sebesar 44,67%. Berdasarkan penelitian Ahmed *et al.* (2023) diperoleh hasil estimasi simpanan karbon *above ground* dan *below ground* secara berturut-turut sebesar 660,38 ton c/ha dan 417,93 ton c/ha. Sehingga hasil pada lokasi penelitian Kulon Progo relatif lebih kecil.

Berdasarkan hasil persentase serapan CO₂ yang telah diteliti, dapat disimpulkan bahwa Hutan Mangrove Kulon Progo memiliki kontribusi besar dalam menyerap karbon dioksida. Hal tersebut mengindikasikan bahwa keberadaan hutan mangrove sangat penting sesuai perannya sebagai *blue carbon*. Menurut Nurruhwati *et al.* (2018) mangrove sebagai *carbon sink* dapat menyimpan karbon jutaan tahun dan menyerap CO₂ dari atmosfer lebih tinggi daripada hutan hujan tropis di daratan karena terjadinya proses aerobik dan anaerobik.

Tabel 6. Persentase Serapan CO₂ pada Hutan Mangrove Kulon Progo
Table 6. Percentage of CO₂ Absorption in Kulon Progo Mangrove Forest

	Biomassa (ton/ha)	C-Organik (%)	Biomassa (ton/ha)	Total Serapan CO ₂
	Batang	Serasah Daun	Sedimen	
Rata-rata (ton C/ha)	168,35	2,04	137,53	307,91
Persentase (%)	54,67	0,49	44,67	100,00

Sumber: Data penelitian



Gambar 7. Simpanan Karbon Berdasarkan Keberadaan di Alam.

Figure 7. Carbon Storage Based on Existence in Nature.

Sumber: Data penelitian

Hutan mangrove di Indonesia memiliki potensi dua kali lipat dibandingkan estimasi global yaitu 52,85 ton/ha/tahun (Sukardjo *et al.*, 2013). Mangrove di Jawa telah terdegradasi cukup berat sehingga potensinya rendah yaitu sebesar 39,27 ton/ha/tahun (Soeroyo, 2003). Perubahan iklim dan aktivitas antropogenik menjadi faktor yang merusak layanan ekosistem. Selama beberapa dekade, luas area dan kualitas tegakan mangrove mengalami penurunan karena meningkatkan laju deforestasi dan alih fungsi lahan. Dampaknya tidak hanya penurunan keanekaragaman, namun juga hilang fungsi penyerapan karbon (Perera *et al.*, 2018).

KESIMPULAN DAN SARAN

Estimasi simpanan karbon dalam Hutan Mangrove Kulon Progo memiliki hasil tertinggi pada batang yaitu sebesar 45,87 ton/ha yang diikuti dengan sedimen 37,47 ton/ha dan terendah yaitu serasah daun sebesar 0,55 ton/ha. Perbandingan serapan CO₂ dalam Hutan Mangrove Kulon Progo terbesar oleh *above ground* yang terdiri dari batang dan serasah daun mangrove yang mampu berkontribusi sebesar 46,43% setara 170,38 ton/ha sedangkan *below ground* yang berasal dari sedimen mampu menyerap 37,47% atau setara 137,53 ton/ha.

Sebaiknya perlu adanya perhatian khusus dari Kementerian Perikanan dan Kelautan serta dinas terkait selaku pembina dari Lembaga Pelestarian Hutan Mangrove dan Pesisir Wanatirta dalam upaya pengelolaan dan pelestarian Hutan Mangrove Kulon Progo. Perlu adanya peningkatan pemahaman kepada masyarakat tentang fungsi hutan mangrove bukan hanya sebagai upaya mitigasi bencana tsunami namun juga fungsi ekologisnya sebagai *blue carbon*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pelestarian Hutan Mangrove dan Pesisir Wanatirta dan seluruh jajarannya serta Jajaran Perangkat Desa Jangkar yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian di Hutan Mangrove Kulon Progo, sehingga artikel ini dapat diselesaikan. Serta terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu penyusunan artikel ini. Semua penulis artikel ini adalah kontributor utama.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, Y., Kurniawan, C. A., Efendi, G. R., Pribadi, R., Nainggolan, F. A., & Samudra, M. B. G. S. (2023). Estimasi Cadangan Karbon Mangrove

Berdasarkan Perbedaan Tahun Rehabilitasi Mangrove (2005, 2008, 2011, 2014 dan 2017) di Kawasan Ekowisata Mangrove Pandansari, Kabupaten Brebes. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(1), 9-19.

Aida, G., Fahrudin, R. A., & Kamal, M. M. (2014). Produksi Serasah Mangrove di Pesisir Tangerang, Banten. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, 19(2), 91-97.

Andreetta, A., Fusi, M., Cameldi, I., Cimo, F., Carnicelli, S., & Canicci, S. (2014). Mangrove Carbon Sink. Do Burrowing Crabs Contribute to Sediment Carbon Storage? Evidence from A Kenyan Mangrove System. *Journal of Sea Research*, 85, 524-533.

Ati, R. N. A., Rustam, A., Kepel, T. L., Sudirman, N., Kusumaningtyas, M. A., Daulat, A., Mangindaan, P., Salim, H. L. S & Hutahaean, A. A. (2014). Stok Karbon Struktur Komunitas Mangrove sebagai Blue Carbon di Tanjung Lesung, Banten. *Jurnal Segara*, 10(2), 119-127.

Bouillon, S., Borges, A., Castañeda-Moya, E., Diele, K., Dittmar, T., Duke, N., Kristensen, E., Lee, S., Marchand, C., Middelburg, J., Rivera-Monroy, V., Smith III, T. J., & Twilley, R. (2008). Mangrove Production and Carbon Sinks: A Revision of Global Budget Estimates. *Global Biochem Cycles*, 22, 1-12.

Brower, J., & Zar, J. (1989). *General Ecology, Field and Laboratory Methods*. Brown Company Publ. Dubuque Iowa.

Cavan, E. L., Trimmer, M., Shelley, F., & Sanders, R. (2017). Remineralization of Particulate Organic Carbon in an Ocean Oxygen Minimum Zone. *Nat. Commun*, 8(14847), 1-9.

Chusna, R. R. R., Rudiyantri, S., & Suryanti. (2017). Hubungan Substrat Dominan dengan Kelimpahan Gastropoda pada Hutan Mangrove Kulonprogo, Yogyakarta. *Journal of Fisheries Science and Technology*, 13(1), 19-23.

Dharmawan, I. W. S., & Siregar, C. A. (2008). Karbon Tanah dan Pendugaan Karbon Tegakan *Avicennia Marina* (Forsk.) Vierh. di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Hutan dan Konservasi Alam*, 5(4), 317-328.

- Dharmawan, I. W. S. (2010). Pendugaan Biomassa Karbon di Atas Tanah pada Tegakan *Rhizophora mucronata* di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 15(1), 50—56.
- Dharmawan, I. W. E., & Pramudji. (2014). Panduan Monitoring Status Ekosistem Mangrove. Jakarta: COREMAPE CTI LIPI.
- Dharmawan, I. W. E., Suyarso., Y. I. Ulu-muddin., B. Prayudha & Pramudji. (2020). Panduan Monitoring Struktur Komunitas Mangrove di Indonesia. Bogor: PT Media Sains Nasional.
- Donato, C. D., Kauffman, J. B., Murdiyarso, B., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the Most Carbon-Rich Forests in the Tropics. *Nature Geoscience*, 4, 293-297.
- Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marba, N., Holmer, M., Mateo, M. A., Apostolaki, E. T. Kendrick, G. A, Krause-Jensen, D., McGlathery, K. J., & Serrano, O. (2012). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature Geoscience*. 5, 505-509.
- Fourqurean, J., Johnson, B., Kauffman, J. B., Kennedy, H., Lovelock, C., Megonigal, J. P., et al. (2014). *Coastal Blue Carbon: Methods for Assessing Carbon Stocks and Emissions Factors in Mangroves, Tidal Salt Marshes, and Seagrass Meadows*. USA: Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature
- Hariah, K., & Rahayu, S. (2007). *Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. Bogor: World Agroforestry Centre - ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Unibraw, Indonesia.
- Hariah, K., Ekadinata, A., Sari, R. R., & Rahayu, S. (2011). *Pengukuran Cadangan Karbon: dari Tingkat Lahan ke Bentang Lahan. Petunjuk Praktis*. Bogor: World Agroforestry Centre, ICRAF SEA Regional Office, University Of Brawijaya (UB).
- Heriyanto, N. M., & Gunawan, H. (2018). Potensi dan Kandungan Karbon Hutan Mangrove di Karangsong, Indramayu, Jawa Barat. *Jurnal Buletin Kebun Raya*, 21(1), 21-30.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. In: Stocker TF, Editor. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jenning, S. B., Brown, N. D., & Sheil, D. (1999). Assessing Forest Canopies and Understorey Illumination: Canopy Closure, Canopy Cover and Other Measures. *Forestry*, 72(1), 59–74.
- Jiao, N., Robinson, C., Azam, F., Thomas, H., Baltar, F., Dang, H., Hardman-Mountford, N. J., Johnson, M., Kirchman, D. L., Koch, B. P., Legendre, L., Li, C., Liu, J., Luo, T., Luo, Y.-W., Mitra, A., Romanou, A., Tang, K., Wang, X., Zhang, C., & Zhang, R. (2014). Mechanisms of Microbial Carbon Sequestration in the Ocean – Future Research Directions. *Biogeosciences*, 11, 5285–5306.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2004). Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 201 Tahun 2004 Tentang Kriteria Baku dan Penentuan Kerusakan Mangrove. Jakarta: Deputi MENLH Bidang Kebijakan dan Kelembagaan Lingkungan Hidup.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2021). Peta Mangrove Nasional Tahun 2021. Jakarta: Direktorat Konservasi Tanah dan Air, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Korhonen, L., Korhonen, K.T., Rautiainen, M., & Stenberg, P. (2006). Estimation of Forest Canopy Cover: A Comparison of Field Measurement Techniques. *Silva Fennica*, 40(4), 577–588.
- Kustanti, A. (2011). *Manajemen Hutan Mangrove*. Bogor: PT.Penerbit IPB Press.
- Kusumaningtyas, M. A., Hutahean, A. A., Fischer, H. W., Mayo, M. P., Ransby, D., & Jennerjahn, T. C. (2019). Variability in the Organic Carbon Stocks, Sources, and Accumulation Rates of Indonesian Mangrove Ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 218, 310-323.
- Lestariningsih, W. A., Soenardjo, N., & Pribadi,

- R. (2018). Estimasi Cadangan Karbon pada Kawasan Mangrove di Desa Timbulsloko, Demak, Jawa Tengah. *Jurnal Oseanografi Marina*, 7(2), 121:130.
- Mahasani, I. G. A. I., Widagti, N., & Karang, I. W. G. A. (2015). Estimasi Persentase Karbon Organik di Hutan Mangrove Bekas Tambak, Perancak, Jembrana, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 1, 14-18.
- Manafe, G., Kaho, M. R., & Risamasu, F. (2016). Estimasi Biomassa Permukaan dan Stok Karbon pada Tegakan Pohon *Avicennia Marina* dan *Rhizophora Mucronata* di Perairan Pesisir Oebelo Kabupaten Kupang. *Jurnal Bumi Lestari*. 16(2), 163-173.
- Manuri, S., Putra, C. A. S., & Saputra, A. D. (2011). *Teknik Pendugaan Cadangan Karbon Hutan. Merang Redd Pilot Project*. Palembang: German International Cooperation.
- Marwasta, D., & Priyono, K. D. (2007). Analisis Karakteristik Pemukiman Desa – Desa Pesisir di Kabupaten Kulon Progo. *Forum Geografi UGM*, 21(1), 57-68.
- Nurjaman, D., Kusmoro, J., & Santoso, P. (2017). Perbandingan Struktur dan Komposisi Vegetasi Kawasan Rajamantri dan Batumeja Cagar Alam Pananjung Pangandaran, Jawa Barat. *Jurnal Biodjati*, 2(2), 167-179.
- Nurrohmah, E., Sunarto., & Khakhim, N. (2016). Pemilihan Lokasi Kawasan Konservasi Mangrove dengan Pendekatan SIG Partisipatif di Wilayah Pantai Kabupaten Demak. *Majalah Geografi Indonesia*, 30(2), 149-168.
- Nurruhwati, I., Purwita, S. D., Sunarto., & Zahidah. (2018). Blue Carbon Content of Mangrove Vegetation in Subang District. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 137, 1-6.
- Pemerintah DIY. (2011). Peraturan Daerah DIY No. 16 Tahun 2011 tentang Rencana Zonasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta tahun 2011-2030. Yogyakarta: Sekretariat Daerah.
- Perera, K. A. R. S., Silva, K. H. W. L. D., & Amarasinghe, M. D. (2018). Potential Impact of Predicted Sea Level Rise on Carbon Sink Function of Mangrove Ecosystems with Special Reference to Negombo Estuary, Sri Lanka. *Global and Planetary Change*, 161, 162-171.
- 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.
- Rahmah, F., Basri, H., & Sufardi. (2014). Potensi Karbon Tersimpan pada Lahan Mangrove dan Tambak di Kawasan Pesisir Kota Banda Aceh. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Lahan*, 4(1), 527-534.
- Rahim, S., Baderan, D. K., & Hamidun, M. S. (2018). Keanekaragaman Spesies, Biomassa dan Stok Karbon pada Hutan Mangrove Torosiaje Kabupaten Pohuwato Provinsi Gorontalo. *Jurnal Pro-Life*, 5(3), 650-665.
- Sari, T., Rafdinal., & Linda, R. (2017). Hubungan Kerapatan Tanah, Karbon Organik Tanah dan Cadangan Karbon Organik Tanah Di Kawasan Agroforestri Tembawang Nanga Pemubuh Sekadau Hulu Kalimantan Barat. *Protobiont*, 6(3), 263-269.
- Shen, Y., & Benner, R. (2018). Mixing It Up in the Ocean Carbon Cycle and the Removal of Refractory Dissolved Organic Carbon. *Sci. Rep*, 8(2542), 1-9.
- Sitompul, R. H., Khairijon., & Fatonah, S. (2014). Produksi Serasah Berdasarkan Zonasi di Kawasan Mangrove Bandar Bakau, Dumai-Riau. *JOM FMIPA*, 1(2), 492-499.
- Slamet, N. S., Dargusch, P., Aziz, A. A., & Widley, D. (2020). Mangrove Vulnerability and Potential Carbon Stock Loss from Land Reclamation In Jakarta Bay, Indonesia. *Ocean and Coastal Management*, 195, 1-10.
- SNI 7724: 2011. Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon-Pengukuran Lapangan Untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting). Badan Standarisasi Nasional.
- Soeroyo. (2003). *Pengamatan Gugur Serasah di Hutan*

Mangrove Sembilang Sumatra Selatan. Jakarta: P3O-LIPI.

- Sukardjo, S., Alongi, D. M., & Kusmana, C. (2013). Rapid Litter Production and Accumulation in Bornean Mangrove Forests. *Ecoshpere*, 4(7), 1-7.
- 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.
- Tanjung, R., Khakhim, N., & Rustadi. (2017). Kajian Fisik Pesisir Kulon Progo untuk Penentuan Zona Kawasan Mangrove dan Tambak Udang. *Majalah Geografi Indonesia*, 31(2), 22-32.
- Tang, J., Shufeng, Y. E., Chen, X., Yang, H., Sun, X., Wang, F., Wen, Q., & Chen, S. (2018). Coastal Blue Carbon: Concept, Study Method, and the Application to Ecological Restoration. *Science China Earth Sciences*, 61, 637-646.