

Estimasi Serapan Karbon Pada Vegetasi Mangrove di Pesisir Pantai Kecamatan Bunaken, Kota Manado, Sulawesi Utara

*(Estimation of Carbon Absorption in Mangrove Forests in Coastal Area of Bunaken
District, Manado City, North Sulawesi)*

Friska Septia Panjaitan, Roni Koneri, Pience Veralyn Maabuut*

Jurusan Biologi, FMIPA Universitas Sam Ratulangi, Jl. Kampius UNSRAT, Bahu, Manado 95115

**Email korespondensi: ronicaniago@unsrat.ac.id*

ABSTRAK

Peningkatan emisi gas rumah kaca menyebabkan pemicu terjadinya pemanasan global yang berdampak terhadap terjadinya perubahan iklim. Berkaitan dengan hal ini, hutan mangrove memiliki fungsi ekologis yang penting bagi kawasan pesisir sebagai penyerap dan penyimpan karbon dalam upaya mitigasi pemanasan global. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi serapan Karbon pada vegetasi mangrove di Pesisir Pantai Kecamatan Bunaken. Penelitian ini dilakukan pada dua lokasi yang termasuk dalam Kecamatan Bunaken. Metode yang digunakan yaitu non-destructive dengan menggunakan persamaan allometrik, dan penentuan stasiun dilakukan secara purposive sampling dan pembuatan transek dan plot ukuran 10 m x 10 m dan jarak antar plot 10 m. Hasil penelitian pada dua lokasi didapatkan sebanyak 4 famili, 8 spesies dan 282 individu mangrove. Nilai kandungan biomassa mangrove di Kelurahan Meras sebesar 1892,39 ton/ha, dan nilai serapan karbon sebesar 3246,21 ton/ha. Nilai kandungan biomassa mangrove di Desa Bahowo sebesar 3039,69 ton/ha, dan serapan karbon sebesar 5243,18 ton/ha. Serapan kandungan karbon pada vegetasi mangrove pada lokasi penelitian dipengaruhi oleh kerapatan vegetasi dan diameter batang pohon mangrove.

Kata kunci: Biomassa; Karbon; kerapatan; Mangrove; Bunaken

ABSTRACT

The increase in greenhouse gas emissions triggers global warming which has an impact on climate change. In this regard, mangrove forests have an important ecological function for coastal areas as carbon sinks and stores in efforts to mitigate global warming. This study aims to identify mangrove species and estimate CO₂ absorption of mangroves on the coast of Bunaken District. This research was conducted in two locations which are included in the District of Bunaken. The method used is non-destructive using allometric equations, and station determination is carried out by purposive sampling and transects and plots measuring 10 m x 10 m and the distance between plots is 10 meters. The results of the study at two locations found 4 families, 8 species and 282 individual mangroves. The mangrove biomass content value in Meras Village was 1892.39 tons/ha, and the carbon absorption value was 3246.21 tons/ha. The value of mangrove biomass content in Bahowo Village is 3039.69 tons/ha, and carbon absorption is 5243.18 tons/ha. Carbon content absorption in mangrove vegetation at the research site is affected by the density of vegetation and the diameter of the stem of mangrove trees

Keywords: Biomass; Carbon; Density; Mangrove; Bunaken

PENDAHULUAN

Peningkatan gas-gas efek rumah kaca sebagai hasil berbagai aktivitas manusia dapat menyebabkan terjadinya pemanasan global. Pemanasan global terjadi akibat meningkatnya emisi gas rumah kaca seperti karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), nitrogen oksida (NO₃), chlorofluorocarbon (CFC), dan gas lainnya yang berlebihan di atmosfer (Latuconsina, 2010). Apabila hal ini berlangsung dalam waktu yang sangat lama maka karbondioksida di atmosfer berada pada level yang sangat membahayakan dan memberikan dampak bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Berkaitan dengan hal ini, solusi yang tepat dalam menangani pemanasan global yaitu dengan memanfaatkan keberadaan hutan mangrove. Hutan mangrove

dapat menyerap dan menyimpan karbon melalui mekanisme sekuestrasi (Rahman *et al.*, 2017).

Tanaman mangrove akan mengubah CO₂ di udara melalui proses fotosintesis yang kemudian didistribusikan ke organ tumbuhan lainnya seperti batang, daun, akar, dan buah. Hampir 40% dari biomassa pohon adalah karbon, dimana melalui proses fotosintesis dapat menyerap karbondioksida dari atmosfer dan mengubahnya menjadi karbon organik (karbohidrat). Tipe hutan mangrove memiliki kemampuan mengikat karbon jauh lebih tinggi dibandingkan dengan hutan terrestrial dan hutan hujan tropis (Donato *et al.*, 2012).

Kecamatan Bunaken merupakan salah satu kecamatan dengan letak geografis pesisir dan berada paling utara Kota Manado. Luas wilayah Kecamatan Bunaken sebesar 4.036,59 ha dengan panjang garis pantai ± 12 km. Kawasan pesisir di Kecamatan Bunaken memiliki hutan mangrove yang merupakan mangrove terakhir di Kota Manado dengan luas ± 141.14 Ha (Lautetu *et al.*, 2019). Hutan mangrove yang tumbuh di pesisir Kecamatan Bunaken, Kota Manado yang terdiri dari Kelurahan Meras dan Tongkaina termasuk dalam zonasi kawasan pelestarian alam yang sangat berperan penting dalam menyangga sistem kehidupan dan perlindungan ekosistem. Namun kondisi kawasan hutan mangrove di pesisir Kecamatan Bunaken telah terjadi konversi lahan berupa kawasan hotel/resort dan juga air limbah rumah tangga yang berakhir pada kawasan hutan mangrove yang berdampak pada penurunan kualitas ekosistem mangrove (Lautetu *et al.*, 2019).

Beberapa kawasan konservasi Taman Nasional Bunaken terjadi gangguan pada komunitas mangrove yang dibuktikan berdasarkan hasil pemotretan udara bahwa terlihat di beberapa lokasi kepadatan hutan mangrove sudah berkurang dan didominasi oleh pohon-pohon yang berukuran kecil. Perubahan yang terjadi pada komposisi hutan mangrove ini terjadi akibat penebangan pohon mangrove yang bernilai ekonomis seperti jenis *Sonneratia alba* dan *Ceriops tagal* yang dimanfaatkan sebagai kayu bakar dan bahan bangunan (RPTNB, 2019). Permasalahan pada ekosistem mangrove seperti yang telah dijelaskan akan mengakibatkan berkurangnya luas wilayah dan berdampak pada peranan hutan mangrove sebagai penyerap karbondioksida.

Penelitian tentang estimasi penyerapan karbon mangrove telah pernah dipublikasikan seperti estimasi potensi penyerapan karbon biru (*blue carbon*) oleh hutan mangrove Sulawesi Utara (Sondak, 2015), penyerapan karbon hutan mangrove Bahowo Kelurahan Tongkaina, Kecamatan Bunaken (Bachmid *et al.*, 2018). Penelitian cadangan karbon ekosistem mangrove di Sulawesi Utara dan implikasinya pada aksi mitigasi perubahan iklim (Kepel *et al.*, 2019), estimasi kandungan karbon biomasa pneumatofor *Avicennia marina* (Kindangen *et al.*, 2021), estimasi stok karbon pada komunitas mangrove di Desa Budo, Kecamatan Wori, Kabupaten Minahasa Utara (Ruru *et al.*, 2022).

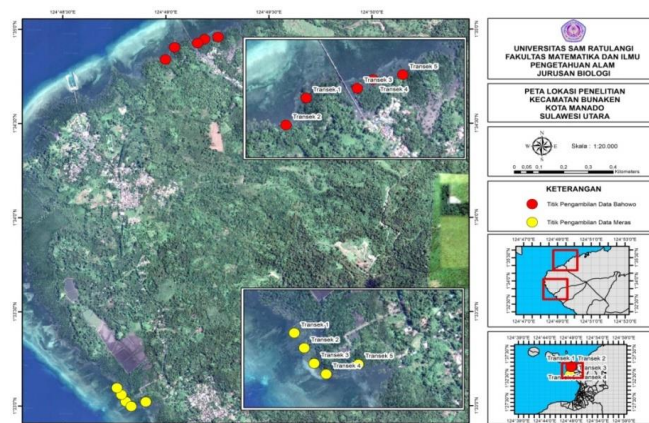
Penelitian mengenai estimasi penyerapan karbon hutan mangrove di Kelurahan Meras belum pernah diteliti dan dipublikasikan. Penelitian mengenai estimasi serapan karbon di Desa Bahowo, Kelurahan Tongkaina sudah pernah dilakukan oleh Bachmid *et al.* (2018), dan diperoleh hasil biomassa dan kandungan karbon sebesar 433,69 ton/ha dan 203,83 ton C/ha. Namun kondisi mangrove dan serapan karbon saat ini perlu dilakukan estimasi ulang untuk mengestimasi kembali kondisi mangrove pada tahun ini dan membandingkan data yang ada pada tahun 2018 lalu. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk

menganalisis kondisi mangrove dan estimasi serapan karbon mangrove pada kedua lokasi tersebut. Data ini sangat diperlukan dikarenakan Kelurahan Meras dan Tongkaina merupakan daerah penyangga kawasan konservasi Taman Nasional Bunaken. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi serapan Karbon pada vegetasi mangrove di Pesisir Pantai Kecamatan Bunaken, Kota Manado, Sulawesi Utara.

METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Februari–Maret 2023. Lokasi pengambilan data berada di dua lokasi yang meliputi Kelurahan Meras, dan Desa Bahowo Kelurahan Tongkaina, Kecamatan Bunaken, Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Teknik Sampling

Pengambilan data pada lokasi penelitian dilakukan dengan metode *purposive sampling*, menggunakan transek dan plot. Pada tiap lokasi penelitian dibuat lima garis transek sepanjang 100 m memotong komunitas mangrove dimulai dari formasi terdepan arah laut hingga formasi bagian belakang mangrove, dan jarak antar transek ± 50 m. Setiap transek dibuat lima plot/kuadran dengan ukuran 10 m x 10 m dan jarak antar plot 10 m.

Identifikasi Mangrove

Identifikasi jenis mangrove dilakukan secara langsung di lokasi penelitian dan mendokumentasi jenis mangrove seperti bentuk daun, bunga, dan buah mangrove. Identifikasi spesies mangrove menggunakan buku panduan pengenalan jenis mangrove di Indonesia (Noor *et al.*, 2006).

Pengambilan Data Biomassa Tegakan Mangrove

Pengambilan data karbon dapat dilakukan dengan mengukur diameter pohon setinggi dada (DBH) serta objek tegakan pohon yang diukur harus memiliki diameter ≥ 4 cm (Komiyama *et al.*, 2005) dan selanjutnya memasukkan data tersebut dalam persamaan allometrik pada setiap jenis mangrove (Tabel 1). Massa jenis kayu mangrove mengikuti Komiyama *et al.* (2005), Kauffman & Donato (2010) (Tabel 2).

Tabel 1. Persamaan alometrik tegakan mangrove

Jenis spesies	Model Alometrik	Sumber
Persamaan umum	$W = 0,251 * p * D^{2,46}$	Komiyama <i>et al.</i> (2005)
<i>Avicennia marina</i>	$W = 0,308 * DBH^{2,11}$	Komiyama <i>et al.</i> (2008)
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	$W = 0,186 * DBH^{2,31}$	Komiyama <i>et al.</i> (2008)
<i>Rhizophora mucronata</i>	$W = 0,1466 * DBH^{2,3136}$	Komiyama <i>et al.</i> (2008)
<i>Rhizophora apiculata</i>	$W = 0,235 * DBH^{2,42}$	Komiyama <i>et al.</i> (2008)
<i>Sonneratia alba</i>	$W = 0,251 * p * DBH^{2,46}$	Komiyama <i>et al.</i> (2005)
<i>Xylocarpus granatum</i>	$W = 0,0823 * DBH^{2,59}$	Komiyama <i>et al.</i> (2008)

Keterangan : W = Biomassa, p = Berat jenis tumbuhan, DBH = Diameter pohon setinggi dada

Tabel 2. Nilai massa jenis spesies kayu mangrove

Jenis spesies	Massa jenis kayu (g/cm ³)
<i>Avicennia officinalis</i>	0,670
<i>Avicennia marina</i>	0,670
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	0,699
<i>Rhizophora apiculata</i>	0,770
<i>Rhizophora mucronata</i>	0,701
<i>Sonneratia alba</i>	0,475
<i>Xylocarpus granatum</i>	0,528

Analisis Stok Karbon

IPCC menyebutkan bahwa karbon yang terkandung dalam bahan organik yaitu 47%, sehingga estimasi jumlah karbon tersimpan yaitu dengan mengalikan 47% atau 0,47 dengan biomassa tegakan.

Serapan CO₂

Menurut IPCC (2007), nilai estimasi serapan karbondioksida (CO₂) dapat diperoleh dengan mengalikan nilai kandungan karbon dengan hasil konversi dari unsur C ke CO₂. Nilai serapan CO₂ dapat dicari berdasarkan persamaan berikut:

$$WCO_2 = C_n \times 3,67$$

Keterangan:

C_n (kandungan karbon)

WCO₂ (kemampuan penyerapan CO₂)

3,67 = Angka ekuivalen atau konversi dari unsur C ke CO₂ (massa atom C=12, O=16, CO₂= (1x12)+(2x16) = 44; konversinya (44:12)= 3,67).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengamatan pada dua lokasi penelitian di pesisir Pantai Kecamatan Bunaken ditemukan sebanyak 4 famili, 8 spesies, dan 282 individu mangrove (Tabel 3). Berdasarkan klasifikasi Tomlinson (1994), spesies mangrove yang ditemukan termasuk dalam 3 famili mangrove mayor dan 7 spesies diantaranya *Avicennia marina*, *Avicennia officinalis*, *Avicennia lanata*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, dan *Sonneratia alba*, sedangkan kategori mangrove minor yaitu famili Meliaceae sebanyak satu spesies yaitu *Xylocarpus granatum*. Pada vegetasi mangrove di pesisir Pantai Kecamatan Bunaken ditemukan famili Sonneratiaceae yang mendominasi dengan spesies *Sonneratia alba*.

Tabel 3. Komposisi mangrove di pesisir Pantai Kecamatan Bunaken

Famili	Spesies	Nama lokal	Jumlah	%
Avicenniaceae	<i>Avicennia marina</i>	Api - api	18	6,38
	<i>Avicennia officinalis</i>	Api - api	5	1,77
	<i>Avicennia lanata</i>	Api - api	1	0,35
Rhizophoraceae	<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	Makurung / Lolaro	5	1,77
	<i>Rhizophora apiculata</i>	Lolaro	46	16,31
	<i>Rhizophora mucronata</i>	Lolaro	90	31,91
Sonneratiaceae	<i>Sonneratia alba</i>	Posi-posi	116	41,13
Meliaceae	<i>Xylocarpus granatum</i>	Lolaro	1	0,35
Total			282	100,00

Hasil penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian yang pernah dilakukan di Pantai Bahowo yang menemukan tiga spesies mangrove diantaranya *Avicennia officinalis*, *Rhizophora apiculata*, dan *Sonneraria alba* (Tuwongkesong, 2018). Namun hasil penelitian ini lebih rendah jika dibandingkan dengan penelitian yang pernah dilakukan di Pantai Meras yang menemukan sebanyak 10 spesies mangrove diantaranya *Sonneratia alba*, *Sonneratia ovata*, *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Avicennia lanata*, *Avicennia marina*, *Bruguiera cylindrical*, *Bruguiera parviflora*, dan *Nypa fruticans* (Situmorang et al., 2021).

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan perbandingan nilai biomassa, stok karbon dan serapan CO₂ vegetasi mangrove di pesisir Pantai Kecamatan Bunaken, Kota Manado (Tabel 4). Pada vegetasi mangrove di Kelurahan Meras diperoleh hasil biomassa sebesar 1892,39 ton/ha, stok karbon sebesar 889,43 ton/ha, dan serapan CO₂ sebesar 3264,21 ton/ha. Sedangkan pada vegetasi mangrove di Desa Bahowo diperoleh hasil biomassa sebesar 3039,69 ton/ha, stok karbon sebesar 1428,66 ton/ha, dan serapan CO₂ sebesar 5243,18 ton/ha. Hasil penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian Irsadi et al. (2017) mengenai Estimasi stok karbon mangrove di Dukuh Tapak Kelurahan Tugurejo Kota Semarang, dengan total hasil biomassa sebesar 1507,91, stok karbon sebesar 708,2 ton/ha, dan serapan CO₂ sebesar 2598,65 ton/ha.

Tingginya nilai biomassa, kandungan karbon, dan serapan CO₂ mangrove yang diperoleh dipengaruhi oleh jumlah individu mangrove yang ditemukan, jenis mangrove dan nilai *wood density* serta besarnya DBH mangrove. Besarnya diameter pohon akan mempengaruhi nilai biomassa, dan menurut Syam'ani et al. (2012), biomassa bertambah karena tumbuhan menyerap CO₂ di atmosfer kemudian mengubahnya menjadi senyawa organik dari proses fotosintesis, hasil fotosintesis tersebut digunakan oleh tumbuhan untuk melakukan pertumbuhan kearah horizontal dan vertikal yang ditandai dengan bertambahnya diameter dan tinggi tanaman.

Setiap penambahan biomassa akan selalu diikuti dengan penambahan stok karbon. Hal ini menggambarkan bahwa karbon dan biomassa memiliki hubungan yang positif sehingga apapun yang menyebabkan peningkatan atau penurunan biomassa maka akan menyebabkan peningkatan atau penurunan pada kandungan karbon (Chanan, 2012). Pada Tabel 4 dapat dilihat pada transek IV di Kelurahan Meras, jumlah biomassa yang rendah akan diikuti dengan rendahnya nilai kandungan karbon mangrove, begitu pula sebaliknya jumlah biomassa yang tinggi

pada transek III di Kelurahan Meras akan diikuti dengan kandungan karbon yang tinggi pada transek tersebut.

Tabel 4. Biomassa permukaan (AGB), stok karbon, dan serapan CO₂ mangrove di pesisir Pantai Kecamatan Bunaken

Lokasi	Transek	Jumlah individu	dbh (cm)	Biomassa (ton/ha)	Stok karbon (ton/ha)	Serapan CO ₂ (ton/ha)
Kelurahan Meras	I	19	7,4 – 62,4	380,82	178,99	656,89
	II	20	11,2 – 78,7	242,69	114,07	418,64
	III	22	14,7 – 72,4	722,62	339,63	1246,44
	IV	23	7,4 – 57,4	230,31	108,24	397,24
	V	38	8,2 – 72,7	315,95	148,5	545,00
TOTAL		122		1892,39	889,43	3264,21
Desa Bahowo	I	45	10,2 – 83,8	546,85	257,02	943,26
	II	45	9,9 – 93,9	703,34	330,57	1213,19
	III	24	11,2 – 98,7	800,01	376,01	1379,96
	IV	27	12,1 – 86,9	469,79	220,80	810,43
	V	18	13,4 – 75,5	519,70	244,26	896,43
TOTAL		159		3039,69	1428,66	5243,27

Proses sekuestrasi merupakan peroses penimbunan karbon dalam tubuh tanaman hidup. Jumlah kandungan karbon pada tubuh tanaman hidup (biomassa) dapat menggambarkan banyaknya CO₂ di atmosfer yang diserap oleh tanaman. Penyerapan CO₂ memiliki hubungan dengan kandungan karbon, hal tersebut dapat dilihat dari data hasil penelitian (Tabel 4) yang menunjukkan kemampuan mangrove dalam menyerap CO₂ berbanding lurus dengan jumlah kandungan karbon pada vegetasi mangrove tersebut. Kemampuan vegetasi mangrove dalam menyerap CO₂ tertinggi pada transek III di Kelurahan Meras dan Desa Bahowo.

Jika dilihat dari perbandingan data di dua lokasi penelitian, nilai biomassa, kandungan karbon, dan serapan CO₂ mangrove lebih tinggi di Desa Bahowo. Hal ini disebabkan karena jumlah individu mangrove dan DBH mangrove yang ditemukan di Desa Bahowo lebih tinggi dibandingkan di Kelurahan Meras. Jumlah individu mangrove yang di temukan di Desa Bahowo sebanyak 159 individu sedangkan jumlah individu mangrove di Kelurahan Meras sebanyak 123 individu. Hariah dan Rahayu (2007) menyatakan bahwa ekosistem yang memiliki kerapatan tinggi akan memiliki nilai biomassa dan simpanan karbon yang tinggi, sebaliknya jika ekosistem dengan kerapatan yang rendah maka biomassa dan kandungan karbonnya juga rendah.

Selain jumlah individu, ukuran dbh juga mempengaruhi biomassa, stok karbon dan serapan CO₂. Analuddin *et al.* (2020) menyatakan bahwa adanya perbedaan biomassa dan stok karbon disebabkan karena beberapa faktor seperti struktur tegakan maupun karakteristik habitatnya. Nilai rata-rata DBH mangrove di Desa Bahowo sebesar 30,63 cm, sedangkan nilai rata-rata DBH mangrove di Kelurahan Meras sebesar 28,9 cm, maka dari banyaknya jumlah individu dan besarnya diameter batang mangrove tersebut akan berdampak terhadap nilai daya serapan karbon mangrove. Hal ini menunjukkan bahwa mangrove di Desa Bahowo

berperan penting dalam menyerap CO₂ di udara, dapat dilihat dari kandungan biomassa dan stok karbon yang tersimpan pada vegetasi tersebut.

KESIMPULAN

Jumlah spesies mangrove yang ditemukan di pesisir Pantai Kecamatan Bunaken sebanyak 4 famili, 8 spesies, dan 282 individu mangrove. Nilai biomassa, kandungan karbon, dan serapan CO₂ mangrove di Desa Bahowo lebih tinggi dibandingkan di Kelurahan Meras. Hal ini berkaitan dengan jumlah individu dan spesies yang ditemukan serta besarnya diameter mangrove lebih besar di Desa Bahowo sehingga berdampak terhadap kemampuan daya serapan CO₂ yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Kepala Balai Taman Nasional beserta stafnya yang telah memberikan izin serta bantuan dalam melaksanakan penelitian. PUI-PT Pusat Studi Bioteknologi dan Konservasi Kawasan Wallacea, LPPM, Universitas Sam Ratulangi atas bantuan dana yang telah diberikan dalam mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Analuddin, K., Kadidae, L.O., Yasir, L.O.M., Septiana, A., Sahidin, I., Syahrir, L., Rahim, S., Fajar, L.O.A. & Nadaoka, K. (2020). Aboveground biomass, productivity and carbon sequestration in *Rhizophora stylosa* mangrove forest of Southeast Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas*. 21(3):1316-1325. DOI: 10.13057/biodiv/d210407.
- 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.
- Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2012). Mangrove adalah salah satu hutan terkaya karbon di kawasan tropis. *Cifor Brief*, 13(12), 12.
- Hairiah, K., & Rahayu, S. (2007). Petunjuk praktis pengukuran karbon tersimpan di berbagai macam penggunaan lahan. *World Agroforestry Centre, ICRAF Southeast Asia, Bogor*.
- Irsadi, A., Martuti, N.K.T. & Nugraha, S.B. (2017). Estimasi stok karbon mangrove di Dukuh Tapak Kelurahan Tugurejo Kota Semarang. *Sainteknologi: Jurnal Sains dan Teknologi*, 15(2):119-128.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2006). *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, agriculture, forestry and other land use*. Keith paustian, n. H. Ravindranath, andre van amstel, michael gytarsky, werner a. Kurz, stephen ogle, gary richards, and zoltan somogyi: The Institute for Global Environmental Strategies (IGES).
- IPCC. (2007). *IPCC Climate Change: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press: Cambridge.

- Kauffman, J.B., & Cole, T.G. (2010). Micronesian mangrove forest structure and tree responses to a severe typhoon. *Wetlands*, 30(6):1077-1084. DOI 10.1007/s13157-010-0114-y.
- Komiyama, A., Pongpan S., & Kato S. (2005). Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, (21), 471-477.
- Komiyama, A., Ong, J. E., & Pongpan, S. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic botany*, 89(2), 128-137.
- Latuconsina, H. (2010). Dampak pemanasan global terhadap ekosistem pesisir dan lautan. *Agrikan: Jurnal Agribisnis Perikanan*, 3(1), 30-37.
- Lautetu, L. M., Kumurur, V. A., & Warouw, F. (2019). Karakteristik permukiman masyarakat pada kawasan Kecamatan Bunaken. *Spasial*, 6(1), 126-136.
- Rahman, R., Effendi, H., & Rusmana, I. (2017). Estimasi stok dan serapan karbon pada mangrove di Sungai Tallo, Makassar. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 11(1), 19-28.
- Noor, Y.S., Khazali, M., & Suryadiputra, I.N.N., (2006). *Panduan pengenalan mangrove di Indonesia*. Bogor: Wetland International Indonesia Programme dan Ditjen PHKA.
- RPTNB. (2019). *Rencana pengelolaan Taman Nasional Bunaken 2019-2028*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Balai Taman Nasional Bunaken.
- Situmorang, E. M., Kambey, A. D., Salaki, M. S., Lasabuda, R., Sangari, J. R., & Djamaluddin, R. (2021). Structure of the mangrove community in Meras Beach, Bunaken District, Manado City, North Sulawesi. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 9(2), 271-280.
- Syam'ani, Agustina A, Susilawati & Yusanto N. 2012. Cadangan karbon di atas permukaan tanah pada berbagai sistem penutupan lahan di sub-sub DAS Amandit. *J Hutan Tropis* 13(2): 152-153.
- Tomlinson, P.B. 1994. *The botany of mangrove*. Cambridge University Press, New York. 414 pp.
- Tuwongkesong, H., Mandagi, S. V., & Schaduw, J. N. (2018). Kajian ekologis ekosistem mangrove untuk ekowisata di Bahowo Kota Manado. *Majalah Geografi Indonesia*, 32(2), 77-183.