

ESTIMASI SIMPANAN KARBON PADA TEGAKAN MANGROVE BERUMUR LIMA TAHUN DI JAKARTA

Estimation of Carbon Stocks in Five Years Old Mangrove Stands in Jakarta

Cecep Kusmana^{1*} dan Neysa Nurma Amanta¹

(Diterima 28 April 2024 /Disetujui 7 Juni 2024)

ABSTRACT

*Global warming is an increase in the average temperature of the earth's surface due to the effects of greenhouse gases, such as carbon dioxide. Global warming can be prevented by maintaining forest structure and increasing tree density in the forest, one of which is in the mangrove forest ecosystem through rehabilitation using bund techniques. This research aims to analyze the type composition and structure of mangrove stands, estimate carbon storage and carbon dioxide uptake in five-year-old mangrove stands in Jakarta. The research method used is vegetation analysis through simple random sampling. Data analysis was obtained through vegetation analysis, environmental factor analysis, and estimating carbon storage and carbon dioxide uptake in mangrove stands. The research results showed that the species growing at the research location were *Rhizophora mucronata* and *Sonneratia caseolaris*. Carbon storage in mangrove stands at the research location is 72.99 tonnes/ha, with a carbon dioxide absorption capacity of 267.63 tonnes/ha.*

Keywords: carbon stock, carbondioxide absorption, mangrove, guludan technique

ABSTRAK

Pemanasan global adalah keadaan meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi akibat adanya efek gas rumah kaca, seperti karbon dioksida. Pemanasan global dapat dicegah dengan mempertahankan struktur hutan serta meningkatkan kerapatan pohon dalam hutan, salah satunya pada ekosistem hutan mangrove melalui rehabilitasi menggunakan teknik guludan. Penelitian ini bertujuan menganalisis komposisi jenis dan struktur tegakan mangrove, serta menduga simpanan karbon dan serapan karbon dioksida pada tegakan mangrove berumur lima di Jakarta. Metode penelitian yang digunakan adalah analisis vegetasi melalui pengambilan ukuran sampel secara simple random sampling. Analisis data diperoleh melalui analisis vegetasi, analisis faktor lingkungan, dan pendugaan simpanan karbon dan serapan karbon dioksida pada tegakan mangrove. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis yang tumbuh di lokasi penelitian adalah *Rhizophora mucronata* dan *Sonneratia caseolaris*. Simpanan karbon pada tegakan mangrove yang ada di lokasi penelitian tersebut adalah sebesar 72,99 ton/ha, dengan kemampuan penyerapan karbon dioksida sebesar 267,63 ton/ha.

Kata kunci: simpanan karbon, serapan karbon dioksida, mangrove, teknik guludan

¹Departemen Silvikultur Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB University
Jl. Ulin Kampus IPB, Dramaga, Bogor Jawa Barat, Indonesia 16680

*Penulis korespondensi:
e-mail: ckmangrove@gmail.com

PENDAHULUAN

Pemanasan global adalah keadaan meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi akibat adanya efek gas rumah kaca, salah satunya adalah karbon dioksida yang merupakan hasil pembakaran bahan bakar fosil atau deforestasi (Fitria dan Dwiyanoto 2021). Dampak yang dapat terjadi dari adanya pemanasan global yaitu terganggunya berbagai parameter iklim, sehingga dalam jangka panjang akan mengalami perubahan pada musim yang sulit diperkirakan. (Samidjo *et al.* 2017). Pemanasan global dapat dicegah dengan mempertahankan struktur hutan serta meningkatkan kerapatan pohon dalam hutan, salah satunya pada ekosistem hutan mangrove karena dapat mengikat karbon jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tipe hutan lainnya karena tanah mangrove memiliki lapisan *suboxic* dengan ketebalan berbeda yang mendukung berjalannya dekomposisi anaerob (Donato *et al.* 2012).

Ekosistem hutan mangrove adalah tipe ekosistem hutan yang berada pada daerah pasang surut, terutama di wilayah pantai, laguna, dan muara sungai yang tergenang pada saat pasang dan bebas genangan pada saat surut, serta memiliki komunitas tumbuhan yang toleran terhadap garam (Kusmana dan Onrizal 2003). Hutan mangrove memiliki beberapa fungsi, salah satunya merupakan fungsi ekologis. Fungsi ekologis hutan mangrove apabila ditinjau dari aspek fisika adalah mangrove memiliki hubungan dengan ekosistem lain seperti padang lamun dan terumbu karang. Mangrove memiliki sistem perakaran yang kuat sehingga dapat meredam gelombang, menahan lumpur, dan melindungi pantai dari erosi. Selain itu, fungsi ekologis hutan mangrove apabila ditinjau dari aspek biologi adalah menjaga kestabilan produktivitas dan keanekaragaman hayati wilayah pesisir sebagai daerah pemijahan. Kemampuan mangrove dalam proses kimia adalah sebagai penyerap bahan pencemar, terutama bahan organik, serta berperan sebagai penyedia bahan organik untuk lingkungan perairan. Mangrove juga memiliki kapasitas untuk menyerap karbon dan menyimpannya dalam bentuk biomassa dan sedimen, sehingga dapat memberikan kontribusi signifikan dalam upaya mitigasi perubahan iklim global (Ati *et al.* 2021).

Rehabilitasi mangrove adalah upaya untuk memulihkan dan menciptakan ekosistem mangrove yang telah rusak dan menurun fungsinya menjadi stabil kembali (Fikriyani dan Musaddun 2014). Ekosistem hutan mangrove Elang Laut merupakan salah satu lokasi hasil rehabilitasi tegakan mangrove menggunakan teknik penanaman guludan yang sebelumnya merupakan area tambak. Menurut Kusmana *et al.* (2014), teknik guludan sudah terbukti secara empirik karena efektif dalam mengatasi penanaman mangrove pada lahan-lahan yang tergenang air yang dalam. Pendugaan cadangan karbon tersimpan dan serapan karbon dioksida pada ekosistem hutan mangrove Elang Laut belum pernah dilakukan. Hal tersebut perlu dilakukan untuk mengetahui kemampuan hutan mangrove dalam menyerap CO₂ dari udara, sehingga dapat menunjang perencanaan pengelolaan lokasi secara berkelanjutan dalam kaitannya dengan mitigasi perubahan iklim. Penelitian ini bertujuan menganalisis komposisi jenis dan struktur tegakan

mangrove, serta menduga karbon yang dapat disimpan dan karbon dioksida yang dapat diserap oleh tegakan mangrove berumur lima tahun di Jakarta.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2023 – Januari 2024 di kawasan Rehabilitasi Ekosistem Mangrove Elang Laut, Kecamatan Penjaringan, Kota Jakarta Utara dengan letak geografis 6°12' – 6°55' LS dan 107°13' – 107°14' BT untuk pengambilan data lapangan. Analisis sifat fisik dan kimia tanah dilakukan pada Laboratorium Ilmu Tanah Institut Pertanian Bogor.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah pita ukur, *tally sheet*, alat tulis, termohigrometer, refraktometer, pH meter, Avenza Maps, kamera, serta laptop dengan perangkat lunak Arc Gis, Microsoft Word dan Microsoft Excel. Bahan yang digunakan adalah kantong plastik.

Pengumpulan Data

Persiapan

Tahap persiapan penelitian yang dilakukan meliputi beberapa kegiatan, yaitu survei lokasi penelitian, pengurusan izin penelitian, persiapan alat dan bahan untuk pengambilan data primer, dan pengumpulan data sekunder yang merupakan hasil wawancara dan studi pustaka berupa sejarah, luas, tahun tanam, dan kondisi vegetasi.

Analisis Vegetasi

Analisis vegetasi dilakukan pada 24 sampel guludan yang ditentukan menggunakan persamaan Slovin dengan tingkat kesalahan sebesar 15%. Metode survei yang digunakan untuk pemilihan guludan adalah *simple random sampling* karena populasi bersifat homogen. Analisis vegetasi yang dilakukan pada lokasi penelitian dilakukan secara sensus pada tegakan mangrove tingkat pohon dan permudaannya (semai dan pancang). Menurut Sahami (2018), mangrove tingkat pohon merupakan individu mangrove yang berdiameter > 10 cm atau lebih dengan tinggi ≥ 1,5 m, pancang merupakan individu mangrove yang berdiameter 2-10 cm dengan tinggi ≥ 1,5 m, dan semai merupakan individu mangrove yang berdiameter < 2 cm dengan tinggi ≤ 1,5 m.

Pengukuran Parameter Faktor Lingkungan

Pengukuran faktor lingkungan dilakukan untuk mengetahui kondisi lingkungan sebagai penunjang pertumbuhan mangrove yang ada pada lokasi penelitian. Parameter faktor lingkungan yang diukur meliputi suhu udara, kelembaban udara, suhu tanah, salinitas, pH, dan analisis fisik dan kimia sampel substrat. Pengukuran suhu dan kelembaban udara dilakukan dengan termohigrometer pada tinggi 1,5 m dari permukaan tanah dan didiamkan selama 15 menit. Pengukuran suhu dan kelembaban udara dilakukan pada beberapa interval waktu di satu hari yang sama, yaitu pukul 06.00 – 10.00 (pagi), 10.00 – 14.00 (siang), dan 14.00 – 18.00 (sore)

(Permen 2021). Pengukuran salinitas dilakukan dengan mengambil sampel air pada beberapa titik dan diukur menggunakan refraktometer. Pengukuran pH tanah dilakukan pada beberapa titik guludan menggunakan pH meter.

Analisis Sifat Fisik dan Kimia Tanah

Sifat fisik dan kimia tanah yang diuji pada laboratorium meliputi kandungan N, P, K, tekstur, dan kandungan C-organik tanah. Analisis fisik dan kimia tanah dilakukan dengan mengambil sampel tanah di beberapa titik guludan pada kedalaman 0 – 20 cm, kemudian dikompositkan, dan dibagi menjadi tiga ulangan untuk dilakukan uji laboratorium. Pengukuran kandungan N-Total pada tanah dilakukan dengan metode Kjeldahl. Metode Kjeldahl terdiri dari tiga cara, yaitu proses destruksi, destilasi, dan titrasi. Menurut Hermawati *et al.* (2021), metode tersebut digunakan karena hanya memerlukan jumlah pereaksi dan sampel yang sedikit serta waktu analisis yang cukup singkat (Amalia dan Fajri 2020). Metode Bray-1 digunakan untuk mengukur kandungan P dan K dengan menggunakan reagen Bray dan Kurtz. Metode ini digunakan karena reagen Bray dan Kurtz menyebabkan penurunan pH dan fosfat yang terlepas lebih sedikit, sehingga hasilnya lebih spesifik untuk tanah yang bersifat masam (Umaternate *et al.* 2014). Pengujian tekstur tanah dilakukan dengan tiga fraksi atau perbandingan relatif antara tiga partikel tanah, yaitu fraksi pasir, debu, dan liat. Analisis kandungan C-organik tanah menggunakan metode Walkley dan Black. Prinsip metode ini adalah terjadinya penghancuran C-organik oleh oksidasi kalium bikromat yang berlebih akibat penambahan asam sulfat. Kromat yang berlebih tersebut tidak direduksi oleh C-organik tanah dan ditetapkan dengan titrasi menggunakan larutan ferro (Akhmad 2018).

Pengolahan dan Analisis Data

Indeks Nilai Penting

Indeks Nilai Penting (INP) adalah sebuah indikator untuk mengetahui peran spesies dalam komunitas (Rawana *et al.* 2022). Menurut (SNI 7717 2011), rumus-rumus yang digunakan untuk memperoleh nilai INP adalah:

$$\text{Kerapatan (K) (ind/ha)} = \sum \frac{\text{Individu suatu jenis}}{\text{Luas petak contoh (ha)}}$$

$$\text{Kerapatan Relatif (KR) (\%)} = \frac{\text{Individu suatu jenis}}{\text{Kerapatan seluruh jenis}} \times 100\%$$

$$\text{Frekuensi (F)} = \sum \frac{\text{Petak ditemukannya suatu jenis}}{\text{Jumlah seluruh petak}}$$

$$\text{Frekuensi Relatif (FR) (\%)} = \frac{\text{Frekuensi suatu jenis}}{\text{Frekuensi seluruh jenis}} \times 100\%$$

$$\text{Dominansi (D) (m}^2\text{ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Luas bidang dasar suatu jenis}}{\text{Luas petak contoh (ha)}}$$

$$\text{Dominansi relatif (DR) (\%)} = \frac{\text{LBDS suatu jenis}}{\text{Luas petak contoh (ha)}} \times 100\%$$

$$\text{INP (\%)} = \text{KR} + \text{FR (semai)}$$

$$\text{INP (\%)} = \text{KR} + \text{FR} + \text{DR (pancang dan pohon)}$$

Indeks Keanekaragaman Jenis (H')

Persamaan indeks keanekaragaman jenis menurut Shannon dan Wiener (1998) adalah:

$$H' = - \sum_{i=1}^S \left(\left(\frac{n_i}{N} \right) \ln \left(\frac{n_i}{N} \right) \right)$$

Keterangan:

H' : Indeks Keanekaragaman

S : Jumlah jenis

n_i : Jumlah individu ke-i

N : Jumlah total individu

Indeks Kemerataan Jenis (E)

Persamaan indeks kemerataan jenis menurut Ludwig dan Reynolds (1988) adalah:

$$E = \frac{H'}{\ln(S)}$$

Keterangan:

E : Indeks kemerataan jenis

H' : Indeks keanekaragaman jenis

S : Jumlah jenis yang ditemukan

Indeks Kekayaan Jenis (R)

Persamaan indeks kekayaan jenis menurut Magurran (1988) adalah:

$$R = \frac{S-1}{\ln(N)}$$

Keterangan:

R : Indeks kekayaan jenis

S : Jumlah jenis yang ditemukan

N : Jumlah total individu

Indeks Dominansi Jenis (C)

Persamaan indeks dominansi jenis menurut Simpson (1949) dalam Misra (1980) adalah:

$$C = \sum_{i=1}^n \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

Keterangan:

C : Indeks dominansi

n_i : Kerapatan ke-i

N : Total kerapatan

Estimasi Simpanan Biomassa dan Karbon

Biomassa pohon dapat diukur melalui persamaan alometrik atau teknik non destruktif. Terdapat beberapa jenis mangrove pada lokasi penelitian yang persamanan alometriknya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Persamaan alometrik biomassa dari beberapa jenis mangrove

Jenis	Model Alometrik	Referensi
<i>Rhizophora mucronata</i>	$B = 0,128 \times D^{2,60}$	Komiyama <i>et al.</i> (2005)
<i>Sonneratia caseolaris</i>	$B = 0,258 \times D^{2,287}$	Kusmana <i>et al.</i> (2018)

Keterangan: B = nilai biomassa (ton/ha), D = diameter mangrove (cm)

Berdasarkan persamaan alometrik yang terdapat pada Tabel 1, perhitungan estimasi karbon yang tersimpan pada tegakan di atas tanah menurut IPCC (2006) merupakan perkalian antara biomassa dan fraksi karbon yang telah ditentukan, yaitu 0,47. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menduga simpanan karbon:

$$C \text{ (ton/ha)} = \text{Biomassa (ton/ha)} \times 0,47$$

Estimasi Serapan Karbon Dioksida

Serapan karbon dioksida pada suatu ekosistem hutan didapatkan dari cadangan karbon yang telah dikonversi ke total serapan CO₂ menggunakan perbandingan massa atom relatif C. Persamaan yang digunakan menurut Rahman (2016) adalah:

$$\text{Serapan CO}_2 \text{ (ton/ha)} = \frac{M_r \text{ CO}_2 (44)}{A_r \text{ C} (12)} \times \text{Stok karbon (ton/ha)}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis Dominan

Indeks nilai penting adalah suatu pengukuran yang dihitung berdasarkan total nilai yang diperoleh untuk menilai sejauh mana suatu jenis tumbuhan mendominasi dalam suatu komunitas. Selain itu, indeks nilai penting juga digunakan untuk mengetahui jenis-jenis yang berpengaruh terhadap komunitasnya. Data jenis-jenis mangrove dominan yang berada di lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.

Rhizophora mucronata adalah jenis dengan nilai kerapatan, frekuensi, dan dominansi tertinggi, sehingga memiliki indeks nilai penting tertinggi pada tingkat pancang, yaitu 244,13%. Hal tersebut membuktikan bahwa jenis *Rhizophora mucronata* adalah jenis yang dominan dan berperan penting terhadap komunitas pada lokasi penelitian dibandingkan dengan *Sonneratia caseolaris* yang memiliki indeks nilai penting sebesar 13,87%. Tingginya peran *Rhizophora mucronata* disebabkan oleh lokasi penelitian yang merupakan lokasi rehabilitasi mangrove dengan jenis tanaman *Rhizophora mucronata*. Jenis tersebut dipilih untuk rehabilitasi karena memiliki tingkat adaptasi yang tinggi, dan cocok ditanam pada lokasi tanpa naungan karena *Rhizophora mucronata* merupakan jenis yang intoleran.

Sonneratia caseolaris merupakan satu-satunya jenis yang ditemukan pada tingkat pertumbuhan pohon, sehingga indeks nilai penting yang diperoleh adalah

Tabel 2 Jenis-jenis mangrove dominan pada setiap tingkat pertumbuhan di lokasi penelitian

Nama Spesies	K (ind/ ha)	F	D (m ² /ha)	INP (%)
Semai				
-	-	-	-	-
Pancang				
<i>R. mucronata</i>	5808	1	0,179	244,13
<i>S. caseolaris</i>	20	0,208	0,002	13,87
Pohon				
<i>S. caseolaris</i>	424	0,875	1	300

300% atau dominan dan berperan sangat penting terhadap komunitasnya. Tingginya indeks nilai penting mengindikasikan bahwa jenis tersebut adalah yang paling dominan di suatu komunitas atau jenis tersebut memiliki kemampuan adaptasi untuk tumbuh dan berkembang, sehingga berpeluang untuk mempertahankan kelestarian jenisnya (Purnama *et al.* 2019). Hal tersebut didukung oleh pendapat Whitten *et al.* (1999), bahwa *Sonneratia* merupakan mangrove pionir yang mampu beradaptasi pada berbagai kondisi lingkungan yang ekstrem, seperti fluktuasi salinitas dan kondisi oksigen yang rendah, karena pada umumnya, tanah di ekosistem mangrove berlumpur dan jenuh air. *Sonneratia caseolaris* bukan merupakan jenis yang sengaja ditanam untuk rehabilitasi, melainkan jenis yang tumbuh alami karena adanya pohon induk di sekitar lokasi yang sudah berada pada kawasan tersebut sebelum dilakukan rehabilitasi. Nilai penting tiap jenis mangrove berhubungan dengan kondisi pertumbuhan mangrove. Kondisi pertumbuhan mangrove menurut Yasser *et al.* (2021), dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu ketersediaan bahan organik, substrat yang cocok, kondisi perairan yang stabil, dan tidak adanya eksploitasi mangrove oleh masyarakat setempat.

Indeks Keanekaragaman, Kemerataan, Kekayaan, dan Dominansi Jenis

Tingkat pertumbuhan mangrove yang ditemukan pada lokasi penelitian adalah pancang dan pohon dengan indeks keanekaragaman jenis (H') yang tergolong rendah (Tabel 3), yaitu 0,03 pada tingkat pertumbuhan pancang dan 0 pada tingkat pertumbuhan pohon seperti yang terdapat pada Tabel 3 karena hanya terdapat 2 jenis mangrove, yaitu *Rhizophora mucronata* dan *Sonneratia caseolaris*. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Khairunnisa *et al.* (2020) mengenai indeks keanekaragaman jenis mangrove di Dusun Besar yang juga termasuk ke dalam kategori rendah karena bernilai kurang dari 1, yaitu senilai 0,99 pada tingkat pertumbuhan semai, 0,68 pada tingkat pertumbuhan pancang, dan 0,87 pada tingkat pertumbuhan pohon. Rendahnya indeks keanekaragaman jenis tersebut menunjukkan bahwa produktivitas ekosistem tidak cukup baik dan tidak cukup seimbang. Selain itu, kondisi perairan tidak stabil, terdapat tekanan ekologis, dan terdapat suatu komunitas yang mendominasi.

Indeks kemerataan jenis (E) tingkat pancang yang bernilai 0,05 tergolong rendah, sedangkan pada tingkat pohon yang bernilai 1 tergolong tinggi. Menurut Rahmasari *et al.* (2019), indeks kemerataan jenis menunjukkan penyebaran jenis organisme dalam suatu komunitas. Indeks kemerataan jenis berkaitan dengan indeks keanekaragaman jenis. Semakin tinggi nilai indeks keanekaragaman jenis, maka semakin tinggi pula

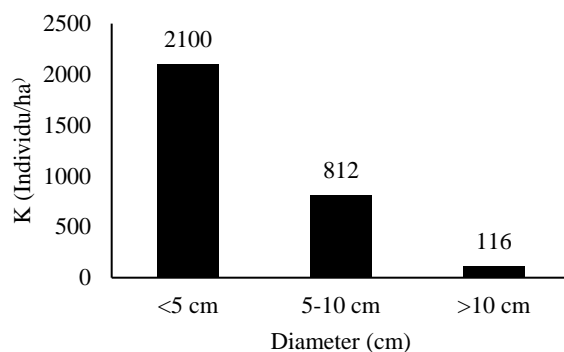
Tabel 3 Nilai indeks keanekaragaman (H'), kemerataan (E), kekayaan (R), dan dominansi jenis (C)

Tingkat Pertumbuhan	H'	E	R	C
Pancang	0,03	0,05	0,14	0,99
Pohon	0	1	0	1

indeks pemerataan jenisnya (Odum 1993). Indeks kekayaan jenis (R) pada lokasi penelitian, baik pada tingkat pancang ataupun tingkat pohon termasuk ke dalam kategori rendah, yaitu 0,14 pada tingkat pancang dan 0 pada tingkat pohon. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kusmana dan Azizah (2021), bahwa nilai indeks kekayaan jenis di Suaka Marga Satwa Pulau Rambut bernilai 0,75 – 1,34 yang termasuk ke dalam kategori rendah. Hal tersebut disebabkan oleh ukuran petak contoh yang kecil, yaitu seluas 0,8 ha. Selain itu, indeks kekayaan jenis dipengaruhi oleh tingkat keanekaragaman, semakin tinggi nilai keanekaragaman, maka semakin tinggi pula kekayaan spesiesnya. Indeks dominansi jenis pada tingkat pertumbuhan pancang bernilai 0,99 dan pada tingkat pertumbuhan pohon bernilai 1. Hal tersebut menunjukkan adanya spesies yang mendominasi, yaitu *Rhizophora mucronata* pada tingkat pertumbuhan pancang dan *Sonneratia caseolaris* pada tingkat pertumbuhan pohon. Apabila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Agustini *et al.* (2016) di Desa Kahyapu Pulau Enggano, indeks dominansi jenis pada setiap stasiun penelitian jauh lebih rendah karena nilai yang didapatkan berkisar antara 0,23 – 0,42. Hal tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat jenis yang mendominasi atau komunitas berada dalam kondisi yang stabil.

Struktur Tegakan Horizontal

Struktur tegakan horizontal pada suatu ekosistem hutan mangrove menggambarkan sebaran pertumbuhan tegakan berdasarkan diameter yang dihubungkan dengan kerapatan tegakan dengan satuan individu/ha. Berdasarkan grafik yang terdapat pada Gambar 1, kelas diameter <5 cm memiliki tingkat kerapatan tertinggi, yaitu sebesar 2100 individu/ha apabila dibandingkan dengan kelas diameter 5-10 cm sebesar 812 individu/ha, dan kelas diameter >10 cm sebesar 116 individu/ha. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa



Gambar 1 Grafik kerapatan individu pada beberapa kelas diameter

semakin besar kelas diameter pohon, maka kerapatannya semakin rendah.

Kurva struktur tegakan horizontal pada lokasi penelitian berbentuk huruf J terbalik yang mengindikasikan bahwa tegakan pada lokasi penelitian bertipe normal. Hal tersebut disebabkan oleh lokasi penelitian didominasi oleh jenis *Rhizophora mucronata* yang merupakan tegakan seumur dan masih berumur lima tahun, sehingga diameter < 5 cm memiliki tingkat kerapatan tertinggi. Selain itu, jarak tanam pada teknik penanaman guludan pada lokasi penelitian berpengaruh terhadap tingginya tingkat kerapatan tegakan dengan diameter < 5 cm. Menurut Kusmana *et al.* (2014), riap diameter batang *Rhizophora mucronata* akan semakin besar seiring dengan lebarnya jarak tanam, sedangkan untuk riap tinggi berlaku sebaliknya. Jarak tanam yang digunakan di lokasi penelitian adalah 0.5×0.5 m yang menghasilkan riap tinggi dan riap diameter *Rhizophora mucronata* yang baik, bahkan pada jarak tanam tersebut, menghasilkan riap tinggi *Rhizophora mucronata* yang paling besar dibandingkan dengan jarak tanam lainnya. Kurva tersebut juga mengindikasikan bahwa tegakan yang tumbuh pada masa awal pertumbuhan cukup banyak, akan tetapi, semakin bertambahnya waktu, individu-individu tersebut memerlukan banyak energi untuk tumbuh, sehingga terjadi persaingan antar jenis maupun berbeda jenis dalam mendapatkan sinar matahari yang cukup, mineral, dan pertahanan dari gangguan seperti serangan hama dan penyakit. Persaingan tersebut akan terus berlanjut hingga terjadi proses seleksi alam yang mengakibatkan terjadinya penurunan jumlah individu yang bertahan hidup pada setiap tingkat kelas diameter (Kusmana dan Susanti 2015). Ketersediaan tegakan pada hutan yang bertipe normal sangat tinggi, sehingga dapat menjamin kelangsungan tegakan hutan di masa yang akan datang dan dapat memperbaiki struktur dan komposisi hutan. Apabila terjadi kerusakan atau kematian pohon berdiameter besar akan dapat digantikan oleh pohon yang berdiameter kecil (Suwardi *et al.* 2013).

Pendugaan Simpanan Karbon dan Serapan Karbon Dioksida

Biomassa dan karbon adalah unsur-unsur yang penting dan saling terkait satu sama lain. Sebagian besar komponen biomassa adalah karbon, atau dapat diartikan bahwa biomassa memiliki hubungan yang positif terhadap karbon, sehingga semakin besar biomassa pada suatu tegakan, maka karbon yang tersimpan akan semakin besar pula. Nilai biomassa pada tegakan mangrove yang ada pada lokasi penelitian didapatkan dari hasil pengukuran diameter yang dilakukan di lapangan, kemudian diolah menggunakan persamaan alometrik yang berbeda tiap spesiesnya. Penggunaan persamaan alometrik untuk menghitung biomassa merupakan metode *non-destruktif* atau metode yang

Tabel 4 Potensi biomassa, kandungan karbon, dan serapan karbon dioksida pada tegakan

Nama Spesies	K (ind/ha)	Rata-Rata Diameter	Total bio-massa (ton/ha)	Karbon (ton/ha)	Serapan CO ₂ (ton/ha)
<i>R. mucro-nata</i>	5808	2,57	13,40	6,30	23,12
<i>S. caseo-laris</i>	444	19,11	141,88	66,69	244,51
Jumlah			155,28	72,99	267,63

dilakukan tanpa menebang pohon, sehingga dapat mempertahankan kelestarian jenis yang ada pada lokasi penelitian. Penggunaan persamaan alometrik untuk menentukan biomassa juga dapat menggambarkan banyaknya karbon dioksida (CO₂) yang diserap oleh tumbuhan dari atmosfer. Hasil penelitian mengenai potensi biomassa, kandungan karbon, dan serapan karbon dioksida disajikan pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4, biomassa jenis *Sonneratia caseolaris* (141,88 ton/ha) cenderung lebih besar dibandingkan dengan jenis *Rhizophora mucronata* (13,4 ton/ha). Hal tersebut disebabkan oleh diameter *Sonneratia caseolaris* yang berukuran jauh lebih besar, dengan rata-rata diameter senilai 19,11 cm dibandingkan dengan *Rhizophora mucronata* dengan rata-rata diameter senilai 2,57 cm meskipun kerapatannya jauh lebih rendah. Kondisi perbedaan diameter mangrove pada guludan yang berada pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

Adanya perbedaan diameter antara *Sonneratia caseolaris* dan *Rhizophora mucronata* diduga karena *Sonneratia caseolaris* yang termasuk ke dalam jenis pionir yang tersebar di setiap pulau di Indonesia dan termasuk ke dalam kelompok mangrove utama dan umumnya digunakan sebagai restorasi hutan mangrove (Kusmana *et al.* 2005). Hal tersebut juga didukung oleh pendapat Kusmana *et al.* (2018), bahwa persentase terbesar biomassa *Sonneratia caseolaris* terdapat pada bagian batang, yaitu sebesar (31,28%). Diameter sangat mempengaruhi total biomassa pada suatu tegakan karena menurut Heriyanto dan Subiandono (2016), pertumbuhan pohon yang merupakan hasil dari proses fotosintesis digunakan untuk melakukan pertumbuhan ke arah horizontal dan vertikal, sehingga semakin besar diameter pohon, maka akan semakin besar biomassa pada pohon karena semakin banyak pula CO₂ yang diserap. Kandungan biomassa juga dipengaruhi oleh umur tegakan mangrove. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Prakoso *et al.* (2017), produksi biomassa cenderung meningkat dari waktu tanam tahun 2010, yaitu 377 individu dengan biomassa sebesar 260,02 ton/ha sampai waktu tanam tahun 2004 yaitu 245 individu dengan biomassa sebesar 206,77 ton/ha. Umur mangrove mempengaruhi kemampuan tegakan dalam memproduksi biomassa, sehingga, semakin tua

mangrove, maka kemampuan memproduksi biomasnya lebih banyak.

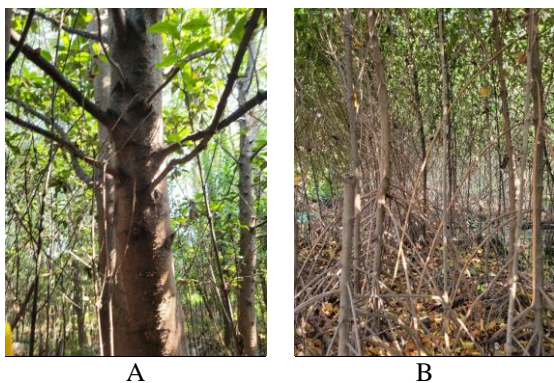
Kandungan biomassa pada tegakan merupakan salah satu hal yang berpengaruh terhadap kandungan karbon yang tersimpan dan karbon dioksida yang diserap oleh tegakan karena karbon dioksida diperlukan dalam proses fotosintesis. Berdasarkan hasil yang terdapat pada Tabel 4, simpanan karbon pada jenis *Rhizophora mucronata* adalah sebesar 6,30 ton/ha yang lebih rendah dibandingkan dengan simpanan karbon pada jenis *Sonneratia caseolaris*, yaitu sebesar 66,69 ton/ha. Tegakan *Rhizophora mucronata* pada lokasi penelitian memiliki kerapatan yang tinggi, akan tetapi kelas pertumbuhannya masih berada pada tingkat pancang atau berdiameter antara 2 – 10 cm dengan rata-rata diameter 2,57 cm, sehingga simpanan karbonnya lebih rendah dibandingkan dengan tegakan *Sonneratia caseolaris* yang kelas pertumbuhannya dominan berada pada tingkat pohon atau berdiameter >10 cm dengan rata-rata diameter 19,11 cm. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses suksesi masih terjadi pada ekosistem mangrove di lokasi penelitian. Menurut Lestariningsih (2018), seiring dengan berjalannya waktu, perubahan struktur vegetasi dapat terjadi, sehingga berpotensi menyimpan dan menyerap karbon lebih tinggi lagi.

Serapan karbon dioksida merupakan kemampuan yang dihasilkan oleh mangrove dalam menyerap karbon dioksida di atmosfer yang akan digunakan sebagai bahan fotosintesis, sehingga dapat berpengaruh secara langsung terhadap konsentrasi karbon dioksida di atmosfer (Nuraini *et al.* 2021). Jumlah karbon dioksida yang diserap oleh tiap jenis mangrove akan berbanding lurus dengan simpanan karbon. Apabila karbon yang tersimpan pada tegakan tinggi, maka karbon dioksida yang diserap akan tinggi pula. Berdasarkan data yang terdapat pada Tabel 4, *Rhizophora mucronata* dapat menyerap karbon dioksida sebanyak 23,12 ton/ha, sedangkan *Sonneratia caseolaris* dapat menyerap karbon dioksida sebanyak 244,51 ton/ha.

Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan dapat menunjang pertumbuhan jenis yang ada di lokasi penelitian. Beberapa parameter faktor lingkungan yang diukur dalam penelitian ini yaitu suhu udara, kelembaban udara, suhu tanah, pH, dan salinitas yang disajikan pada Tabel 5.

Suhu merupakan faktor yang sangat penting pada ekosistem mangrove karena dapat mempengaruhi proses-proses fisiologis mangrove, seperti fotosintesis dan respirasi (Dajafar *et al.* 2014). Rata-rata suhu udara pada lokasi penelitian adalah 32,18 °C, sedangkan rata-rata suhu tanah adalah 30,05 °C. Menurut Haya *et al.* (2015),



Gambar 2 Perbedaan ukuran diameter mangrove pada lokasi penelitian, *Sonneratia caseolaris* (A), *Rhizophora mucronata* (B)

Tabel 5 Parameter faktor lingkungan di lokasi penelitian

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Suhu udara	°C	32,18
2	Kelembaban udara	%	59,92
3	Suhu tanah	°C	30,05
4	pH		5,24
5	Salinitas	%	0

kisaran suhu optimum mangrove untuk tumbuh adalah sekitar 25 – 35 °C. Tanaman hanya dapat tumbuh dan berkembang dengan baik pada suhu optimum, apabila suhu rendah, proses fotosintesis dibatasi oleh fosfat di kloroplas, sehingga fotosintesis berjalan dengan lambat yang akan mempengaruhi sintesis pati dan sukrosa pada tanaman, sedangkan, suhu tinggi menyebabkan peningkatan respirasi di atas laju fotosintesis yang berarti bahwa hasil fotosintesis digunakan lebih cepat dibandingkan dengan yang sedang diproduksi (Andriani dan Karmila 2019).

Kelembaban udara merupakan kondisi yang menyatakan jumlah uap air dalam udara. Apabila udara mengandung banyak air, maka kelembaban dapat dikatakan tinggi dan sebaliknya. Menurut Resti *et al.* (2022), kelembaban udara berpengaruh terhadap laju penguapan atau transpirasi. Apabila kelembaban rendah, maka laju transpirasi meningkat dan sebaliknya. Rata-rata kelembaban udara pada lokasi penelitian adalah 59,92 %. Rata-rata tingkat kemasaman tanah atau pH pada lokasi penelitian adalah 5,24 atau termasuk ke dalam kategori masam. Tingkat kemasaman tanah mangrove di permukaan tanah lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan tanah di bawahnya karena serasah yang mengalami dekomposisi pada permukaan lebih banyak sehingga tanah mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi dan menyebabkan sedimen tanah menjadi masam (Dewi dan Herawatiningsih 2017). Salinitas merupakan kandungan garam yang terdapat pada perairan yang dapat menentukan kehidupan ekosistem mangrove (Imamsyah *et al.* 2020). Hasil pengukuran salinitas pada lokasi penelitian adalah 0 ppt. Hal tersebut dikarenakan lokasi penelitian merupakan bekas tambak yang direhabilitasi menjadi ekosistem mangrove dengan saluran air laut yang telah tertutup, sehingga sumber air pada lokasi hanya berasal dari air hujan. Nilai salinitas tersebut dapat menunjang pertumbuhan mangrove, terutama jenis *Sonneratia caseolaris* yang secara ekologis dapat tumbuh di sepanjang sungai kecil pasang surut dan di ekosistem mangrove yang salinitasnya rendah dengan masukan air tawar, atau tepi sungai estuaria (Kusmana *et al.* 2008). Selain itu, menurut Amalia *et al.* (2016), *Rhizophora* merupakan genus yang memiliki kemampuan toleransi terhadap kisaran salinitas yang luas dibandingkan dengan genus lainnya, sehingga dapat tumbuh di lokasi penelitian.

Substrat adalah tempat tumbuh mangrove yang kandungan di dalamnya dapat mempengaruhi

pertumbuhan dan perkembangan mangrove. Berdasarkan analisis fisik tanah yang dilakukan di laboratorium, tipe substrat pada lokasi penelitian adalah liat (Tabel 6).

Menurut Heriyani *et al.* (2015), jenis substrat tersebut dipengaruhi oleh arus air yang bergerak lambat. Jenis substrat tersebut memiliki luas permukaan yang besar, sehingga kemampuan menahan air dan mengikat bahan organik tinggi. Proses regenerasi tersebut sangat mempengaruhi kerapatan mangrove di suatu ekosistem (Masruroh dan Insafitri 2020). Substrat pada ekosistem mangrove juga memiliki kandungan kimia yang mampu menunjang pertumbuhan dan perkembangan mangrove. Kandungan kimia tanah yang dianalisis adalah C-organik, N-total, P, dan K yang terdapat pada Tabel 7.

Kandungan C-organik pada lokasi penelitian adalah 5,24 % dengan kriteria sangat tinggi (Tabel 7). Hal yang mempengaruhi kandungan C-organik pada ekosistem mangrove salah satunya adalah kandungan biomassa dan kerapatan tegakan. Semakin besar vegetasi pada hutan mangrove, maka kemampuan untuk menghasilkan serasah organik yang merupakan penyusun utama bahan organik tanah akan semakin besar pula (Hidayanto *et al.* 2004).

Kandungan nitrogen (N-total) dan fosfat (P) pada lokasi penelitian termasuk ke dalam kategori sedang dengan nilai berturut-turut adalah sebesar 0,35 % dan 18,97 ppm seperti yang tertera pada Tabel 7. Nitrogen dan fosfor adalah unsur yang sangat penting bagi pertumbuhan mangrove karena dapat membantu proses fotosintesis untuk mempertahankan kelangsungan hidup dan rantai makanan pada ekosistem di sekitarnya (Yulma *et al.* 2018). Kandungan fosfat dipengaruhi oleh kerapatan tegakan, karena menurut Yahra *et al.* (2020), zat hara fosfat berasal dari dekomposisi tumbuh-tumbuhan dan sisa-sisa organisme yang mati serta limbah domestik. Kandungan kalium (K) pada lokasi penelitian adalah 431,33% atau termasuk ke dalam kategori tinggi. Kandungan kalium berpengaruh terhadap proses pembelahan dan perkembangan sel (Trisnawati *et al.* 2017).

Tingginya kandungan N, P, dan K pada lokasi penelitian dapat menunjang pertumbuhan dan perkembangan mangrove, sehingga biomassa dan kandungan karbon dapat terus bertambah seiring dengan berjalannya waktu karena saling berkaitan satu sama lain membentuk siklus biogeokimia. Siklus karbon merupakan siklus biogeokimia yang mencakup pertukaran atau perpindahan karbon dalam biosfer, geosfer, hidrosfer, dan atmosfer, sedangkan organisme yang melakukan respirasi akan mengembalikan karbon dioksida ke atmosfer (Campbell 2004).

Tabel 6 Hasil analisis kelas tekstur tanah pada lokasi penelitian

Fraksi Tanah (%)			Kelas Tekstur
Pasir	Debu	Liat	
26,80	31,19	42,02	Liat

Tabel 7 Hasil analisis sifat kimia tanah

No	Parameter	Satuan	Nilai	Kriteria
1	C-organik	%	5,24 ± 2,26	Sangat tinggi
2	N-total	%	0,35 ± 0,18	Sedang
3	P	ppm	18,97 ± 2,05	Sedang
4	K	%	431,33 ± 58,48	Tinggi

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Kawasan ekosistem mangrove Elang Laut merupakan hasil rehabilitasi dengan 50 guludan yang dibangun pada tahun 2018, atau seluas 0,25 ha. Jenis tanaman yang mendominasi ekosistem ini adalah *Rhizophora mucronata* pada tingkat pertumbuhan pancang dengan nilai INP sebesar 244,13 % dan jenis

yang mendominasi pada tingkat pertumbuhan pohon adalah *Sonneratia caseolaris* dengan nilai INP sebesar 300 %. Jenis-jenis tersebut dapat tumbuh di lokasi penelitian karena faktor lingkungan yang mendukung. Faktor lingkungan tersebut meliputi suhu udara, kelembaban udara, suhu tanah, pH, salinitas, tekstur tanah, serta unsur kimia tanah, seperti kandungan N, P, K, dan C-organik. Estimasi simpanan karbon pada lokasi penelitian adalah 72,99 ton/ha dengan kapasitas karbon dioksida yang diserap sebesar 267,63 ton/ha CO₂. Simpanan karbon dan serapan karbon dioksida dipengaruhi oleh biomassa. Semakin tinggi biomassa suatu jenis, maka simpanan karbon dan serapan karbon dioksida akan semakin tinggi pula.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian, perlu adanya pemeliharaan tegakan berupa penyiangan dan penjarangan untuk meningkatkan simpanan karbon dan serapan karbon dioksida.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini NT, Ta'alidin Z, Purnama D. 2016. Struktur komunitas mangrove di Desa Kahyapu Pulau Enggano. *Jurnal Enggano* 1(1): 19 – 31.
- Akhmad RS. 2018. *Bahan Organik Tanah: Klasifikasi, Fungsi, dan Metode Studi*. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press.
- Amalia D, Fajri R. 2020. Analisis kadar nitrogen dalam pupuk urea prill dan granule menggunakan metode kjeldahl di PT Pupuk Iskandar Muda. *Quimica: Jurnal Kimia Sains dan Terapan* 2(1): 28-32.
- Amalia F, Yuliani, Indah NK. 2016. Keanekaragaman tumbuhan mangrove di Kawasan Pantai Tengket, Bangkalan, Madura. *Lentera Bio* 5(1): 20 – 24.
- Andriani V, Karmila R. 2019. Pengaruh temperatur terhadap kecepatan pertumbuhan kacang tolo (*Vigna sp.*) *Stigma* 12(1): 49 – 53.
- Ati RNA, Rustam A, Kepel TL, Sudirman N, Astrid M, Daulat A, Mangindaan P, Salim HL, Hutahaean AA. 2014. Stok karbon dan struktur komunitas mangrove sebagai blue carbon di Tanjung Lesung Banten. *Jurnal Segara* 10(2): 98-171.
- Campbell Na, Reece JB, Mitchell LG. *Biologi*. Jakarta: Erlangga.
- Dajafar A, Olih AH, Sahami F. 2014. Struktur vegetasi mangrove di Desa Poneo Kepulauan Kabupaten Gorontalo Utara. *Nike: Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan* 2(2): 66 – 72.
- Dewi SK, Herawatiningsih R. 2017. Kondisi tanah dalam kawasan mangrove di Desa Nusapati Kabupaten Mempawah Kalimantan Barat. *Jurnal Hutan Lestari* 5(2): 177 – 182.
- Donato DC, Kauffman JB, Mudiyarso D, Kurnianto S, Stidham M, Kanninen M. 2012. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience* 4(5): 293-297.
- Fikriyani M, Musaddun. 2014. Evaluasi program rehabilitasi mangrove di pesisir Desa Bedono Sayung Kabupaten Demak. *Jurnal Ruang* 2(1): 381 – 390.
- Fitria A, Dwiyanoto G. 2021. Ekosistem mangrove dan mitigasi pemanasan global. *Jurnal Ekologi, Masyarakat & Sains* 2(1): 29-34.
- Haya N, Zamani NP, Soedharma D. 2015. Analisis struktur ekosistem mangrove di Desa Kukupang Kecamatan Kepulauan Joronga. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan* 6(1):79-89.
- Heriyani M, Subiyanto, Suprpto D. Jenis tekstur tanah dan bahan organik pada habitat kerang air tawar (Famili: Unionidae) di Rawa Pening. *Diponegoro Journal of Maquares* 4(1): 64 – 73.
- Heriyanto NM, Subiandono E. 2016. Peran biomassa mangrove dalam menyimpan karbon di Kubu Raya, Kalimantan Barat. *Jurnal Analisis Kebijakan* 13(1): 1-12.
- Hermawati AT, Fajarwati FI, Widada S. 2021. Analisis kadar nitrogen total pada pupuk padat dengan metode Kjeldahl di Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Yogyakarta. *Indonesian Journal of Chemical Research* 6(2): 80-91.
- Hidayanto W, Heru A, Yossita. 2004. Analisis tanah tambak sebagai indikator tingkat kesuburan tambak. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian* 7(2).
- Imamsyah A, Bengen DG, Ismet MS. 2020. Struktur vegetasi mangrove berdasarkan kualitas lingkungan biofisik di Taman Hutan Raya Ngurah Rai Bali. *Ecotrophic* 14(1): 88 – 99.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. *Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry*. Hayama (JP): Institute for Global Environmental Strategy.
- Khairunnisa C, Thamrin E, Prayogo H. 2020. Keanekaragaman jenis vegetasi mangrove di Desa Dusun Besar Kecamatan Pulau Maya Kabupaten Kayong Utara. *Jurnal Hutan Lestari* 8(2): 325 – 336.
- Kusmana C, Azizah NA. 2021. Species composition and vegetation structure of mangrove forest in Pulau Rambut Wildlife Reserve, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 950: 1 – 10.
- Kusmana C, Hidayat T, Tiryana T, Rusdiana O, Istomo. 2018. Allometric models for above- and below-ground biomass of *Sonneratia* spp. *Global Ecology and Conservation* 15: 1-10.
- Kusmana C, Istomo, Purwanegara T. 2014. Teknik guludan sebagai solusi metode penanaman mangrove pada lahan yang tergenang air yang dalam. *Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan* 1(3): 165-171.
- Kusmana C, Istomo, Sri WBR, Iskandar ZS, Tatang T, Sukristijono S. 2008. *Manual Silvikultur Mangrove di Indonesia*. KOICA.
- Kusmana C, Onrizal S. 2003. *Jenis-Jenis Pohon Mangrove di Teluk Bintuni Papua*. Bogor: Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Kusmana C, Susanti S. 2015. Komposisi dan struktur tegakan hutan alam di Hutan Pendidikan Gunung Walat, Sukabumi. *Jurnal Silvikultur Tropika* 05(3): 210-217.

- Kusmana C, Wilarso S, Hilwan I, Pamoengkas P, Wibowo C, Tiryana T, Triswanto A, Yunasfi, Hamzah. 2005. *Teknik Rehabilitasi Mangrove*. Bogor: IPB Press.
- Lestariningsih WA, Soenardjo N, Pribadi R. 2018. Estimasi cadangan karbon pada kawasan mangrove di Desa Timbulsoko, Demak, Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*. 7(2): 121-130.
- Ludwig JA, Reynolds JF. 1988. *Statistical Ecology*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Magurran AE. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Australia: Great Britanian Pr.
- Masruroh L, Insafitri. 2020. Pengaruh jenis substrat terhadap kerapatan vegetasi *Avicennia marina* di Kabupaten Gresik. *Juvenil* 1(2): 151 – 159.
- Misra KC. 1980. *Manual of Plant Ecology (second edition)*. New Delhi (DND): Oxford and IBH Publishing Co.
- Nuraini RAT, Pringgenies D, Suryono CA, Adhari VH. 2021. Stok karbon pada tegakan vegetasi mangrove di Pulau Karimunjawa. *Buletin Oseanografi Marina* 10(2): 180 - 188.
- Odum EP.1993. *Dasar-dasar Ekologi Edisi Ketiga Pengantar Ekologi*. Bandung: CV. Remadja.
- [Permen] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2021 Tentang Indeks Kualitas Lingkungan Hidup. 2021.
- Prakoso TB, Afiati N, Suprpto D. 2017. Biomassa kandungan karbon dan serapan CO₂ pada tegakan mangrove di Kawasan Konservasi Mangrove Bedono, Demak. *Journal of Maquares* 6(2): 156 – 163.
- Purnama A, Wasis B, Hilwan I. 2019. Karakteristik vegetasi di hutan alam dataran rendah, hutan tanaman, dan lahan pasca tambang nikel di Kabupaten Bombana. *Jurnal Silviculture Tropika* 10(03): 140-145.
- Rahman. 2016. Pengelolaan ekosistem mangrove untuk ruang terbuka hijau sebagai mitigasi gas rumah kaca (studi kasus: Sungai Tallo Kota Makassar) [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Rahmasari SN, Agus F, Muningsih D, Gantini WT. Studi keanekaragaman mangrove Pantai Mekar Kecamatan Muara Gembong Kabupaten Bekasi. *Jurnal Resolusi Konflik, CSR dan Pemberdayaan (CARE)* 4(1): 36 – 42.
- Rawana, Wijayani Sm Masrur MA. 2022. Indeks nilai penting dan keanekaragaman komunitas vegetasi penyusun hutan di Alas Burno SUBKPH Lumajang. *Wana Tropika* 12(2): 80-89.
- Resti Y, Dewi RK, Rayani TF. *Jurnal Sains Terapan: Wahana Informasi dan Alih Teknologi Pertanian* 12(2): 77 – 85.
- Sahami F. Penilaian kondisi mangrove berdasarkan tingkat kerapatan jenis. *Nike Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan* 6(2): 33-40.
- Samidjo, Jacobus, Suharso Y. 2017. Memahami pemanasan global dan perubahan iklim. *Online Journal of Ivet University* 24(2): 36-46.
- Shannon CE, Weaver W. 1998. The mathematical theory of communication reprinted with corrections from The Bell System. *Technical Journal University of Illinois Press* 27: pp. 379-423.623-656.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia 7717 Tentang Survei dan Pemetaan Mangrove. 2011.
- Suwardi AB, Mukhtar E, Syamsuardi. 2013. Komposisi jenis dan cadangan karbon di hutan tropis dataran rendah, Ulu Gadut, Sumatera Barat. *Berita Biologi* 12(2): 169-176.
- Trisnawati, Wardati, Yulia AE. 2017. Pertumbuhan bibit mangrove (*Rhizophora* sp.) pada medium hydraquent yang diberi beberapa dosis NPK. *JOM Faperta* 4(2): 1-10.
- Umaternate GR, Abidjulu J, Wuntu AD. 2014. Uji metode Olsen dan Bray dalam menganalisis kandungan fosfat tersedia pada tanah sawah di Desa Konarom Barat Kecamatan Dumoga Utara. *Jurnal MIPA Unsrat Online* 3(1): 6-10.
- Whitten T, Soeriaatmadja Re, Afif SA. 1999. *The Ecology of Java and Bali*. Hallifax (CA): Dalhousie University.
- Yahra S, Harahap ZA, Yusni E, Leidonald R. 2020. Analisis kandungan nitrat dan fosfat serta keterkaitannya dengan kerapatan mangrove di Pantai Labu Kabupaten Deli Serdang. *Jurnal Enggano* 5(3): 350 – 366.
- Yasser M, Hendri, Simarangkir OR, Irawan A, Sari LI. 2021. Indeks nilai penting ekosistem mangrove di Kelurahan Kampung Baru Kecamatan Penajam Kabupaten Passer Utara. *Berkala Perikanan Terubuk* 49(2): 1122-1130.
- Yulma, Salim G, Sampe Y. 2018. Analisis bahan organik nitrogen (N) dan fosfor (P) pada sedimen di kawasan konservasi mangrove dan bekantan (KKMB) Kota Tarakan. *Jurnal Borneo Saintek* 1(2): 75 – 82.