Jurnal Perikanan dan Kelautan
Volume 15 Nomor 1. Juni 2025
Halaman: 24 – 33

p – ISSN 2089 – 3469
e – ISSN 2540 – 9484
https://dx.doi.org/10.33512/jpk.v15i1.20345

PERBANDINGAN STOK KARBON PADA VEGETASI MANGROVE ALAMI DAN HASIL REHABILITASI DI PROVINSI BANTEN

Carbon Stock Comparison between Natural and Rehabilitation Mangrove Vegetation in Banten Province

Adi Susanto[1], Muta Ali Khalifa[2*], Erik Munandar[2], Hery Sutrawan Nurdin[1], Hendrawan Syafrie[2], Afifah Nurazizatul Hasanah[2], Fahresa Nugraheni Supadminingsih[2], Ririn Irnawati[1], Ani Rahmawati[1], Bhatara Ayi Meata[2], Achmad Noerkhaerin Putra[1], Toufik Alansar[3], Bakti Sulistyono[4]

[1] Program Studi Ilmu Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
[2] Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
[3] Yayasan Keanekaragaman Hayati Indonesia
[4] PT. Asahimas Chemical

[*]Corresponding author, e-mail: ma.khalifa@untirta.ac.id

Diterima : 08 Juni 2023 / Disetujui : 23 Mei 2025

ABSTRACT

Mangrove rehabilitation conduct to reversing mangrove ecosystem services which disappear due to ecosystem damage. One of recovery ecosystem service is capability of mangrove vegetation to carbon sequestration. Aim of this research is to compare carbon stock in natural and rehabilitation mangrove di Banten Province. Research conducted at three station: first, Lontar as observation station where mangrove rehabilitation exist; second, Citeureup as natural mangrove at estuarine river observation station; third, Cigorondong as natural mangrove at shoreline. Observation used minimum two plot with 10 x 10 m^2 area each station. The parameter observed was mangrove species and Girth at Breast High where noted in MonMang 2.0 application. Observation result in all station found seven natural mangrove species and one rehabilitation mangrove species. The Highest Carbon Stock (129,89 – 177,08 ton/ha) found in Avicennia marina which natural species from Lontar and Cigorondong. While, rehabilitation species Rhizophora stylosa only have carbon stock about 20,38 ton/ha, this value less than other mangrove species in all station. This is because stand biomass of R. stylosa also small influenced by small amount of Diameter Breast High. This alleged by dense planting pattern causing mangrove intra-specific competition. Beside vegetation carbon stock measurement, need to measure carbon stock from other carbon pools in mangrove ecosystem.

***Keywords**: Avicennia marina, Cigorondong, Citeureup, Lontar, Rhizopora stylosa*

ABSTRAK

Rehabilitasi mangrove dilakukan dalam rangka mengembalikan jasa ekosistem mangrove yang hilang akibat dari kerusakan ekosistem. Salah satu jasa ekosistem yang dipulihkan adalah kemampuan vegetasi mangrove untuk menyerap karbon. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan stok karbon pada vegetasi mangrove alami dan hasil rehabilitasi di Provinsi Banten. Penelitian dilakukan pada 3 stasiun: Pertama Lontar sebagai stasiun pengamatan pada vegetasi mangrove hasil rehabilitasi; Kedua, Citeureup

sebagai stasiun pengamatan vegetasi mangrove alami yang berada di muara sungai; Ketiga, Cigorondong sebagai stasiun pengamatan vegetasi mangrove alami sempadan pantai. Pengamatan dilakukan pada minimal 2 plot 10x10 m^2 tiap stasiun, dengan parameter jenis mangrove dan lingkar batang yang dicatat menggunakan aplikasi MonMang 2.0. Hasil pengamatan pada ketiga stasiun ditemukan 7 spesies alami dan 1 spesies hasil rehabilitasi. Stok karbon tertinggi (129,89 – 177,08 ton/ha) ditemukan pada jenis mangrove *Avicennia marina* yang merupakan spesies alami dari stasiun Lontar dan Cigorondong. Sedangkan spesies rehabilitasi *Rhizophora stylosa* hanya terdapat stok karbon sebesar 20,38 ton/ha, nilai ini lebih kecil dari beberapa spesies alami lain. Hal ini dikarenakan biomassa tegakan mangrove jenis *R. stylosa* juga lebih kecil yang dipengaruhi oleh diameter batang yang kecil. Diameter batang yang kecil ini diduga karena pola penanaman yang terlalu rapat sehingga terjadi persaingan intraspesifik antar mangrove. Selain pengukuran stok karbon pada vegetasi, perlu juga dilakukan pengukuran stok pada kolam penyimpanan karbon lain.

Kata kunci : *Avicennia marina*, Cigorondong, Citeureup, Lontar, *Rhizopora stylosa*

PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove merupakan salah satu ekosistem pesisir yang bisa ditemukan mulai dari daerah tropis hingga subtropis. Karena posisinya yang berada di pesisir, ekosistem mangrove memiliki berbagai ancaman bagi kehidupannya. Diantaranya, alih fungsi lahan (menjadi tambak, pelabuhan dan berbagai aktivitas lain) dan pencemaran (Rahardi dan Suhardi 2016).

Padahal mangrove memiliki berbagai jasa ekosistem yang sangat penting dalam kehidupan, salah satunya jasa ekosistem pengaturan sebagai penyimpan karbon dalam upaya mitigasi pemanasan global. Kemampuan penyimpanan karbon hutan mangrove lebih besar 5 kali lipat dibandingkan hutan tropis terestrial (Donato *et al*. 2012).

Untuk mengembalikan berbagai jasa ekosistem mangrove yang rusak maka harus dilakukan rehabilitasi mangrove (Nusantara *et al*. 2015; Hadi *et al*. 2022). Mangrove hasil rehabilitasi di Kepulauan Seribu mampu tumbuh dan memiliki stok karbon mencapai 447,58 ton/ha setelah vegetasi berumur 13 tahun (Easteria *et al*. 2022). Secara tahunan, mangrove rehabilitasi di Singkawang mampu menyimpan karbon 28 – 30 ton/ha/tahun (Astiani *et al.* 2024)

Provinsi Banten merupakan salah satu provinsi yang melakukan program rehabilitasi ekosistem mangrove. Salah satunya program rehabilitasi mangrove tahun 2021 di Lontar Kabupaten Serang Provinsi Banten (Fauzi *et al*. 2022 dan Rosmiyati *et al*. 2022) karena adanya berbagai alih fungsi lahan mangrove menjadi berbagai aktivitas.

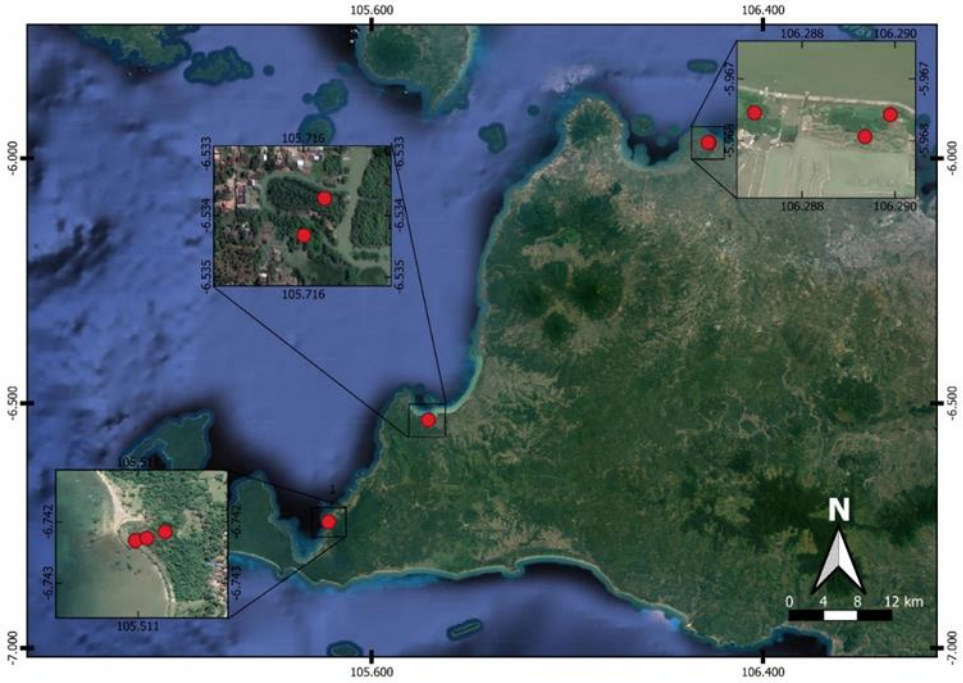
Efektivitas rehabilitasi mangrove yang telah dilakukan perlu dinilai dengan membandingkan nilai stok karbon pada vegetasi hasil rehabilitasi dengan vegetasi mangrove yang alami. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan stok karbon pada vegetasi mangrove alami dan hasil rehabilitasi di Provinsi Banten.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada periode November – Desember 2021 di tiga stasiun utama yang dipilih secara purposive sampling berdasarkan karakteristik

mangrove alami atau rehabilitasi. Stasiun pertama dilakukan pengamatan pada vegetasi mangrove hasil rehabilitasi di Desa Lontar, Kecamatan Tirtayasa, Kabupaten Serang. Stasiun kedua pengamatan vegetasi mangrove alami yang berada di muara sungai tepatnya di Desa Citeureup, Kecamatan Panimbang, Kabupaten Pandeglang. Stasiun ketiga pengamatan vegetasi mangrove alami sempadan pantai di Desa Cigorondong, Kecamatan Sumur, Kabupaten Pandeglang. Berikut peta lokasi penelitian yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Alat Penelitian

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan tali untuk membuat transek ukuran 10 x 10 meter, meteran jahit untuk mengukur keliling batang pohon dan anakan, smartphone yang sudah terpasang aplikasi MonMang 2.0 sebuah aplikasi kecerdasan buatan yang diciptakan oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional untuk membantu dalam kegiatan penelitian mengenai Mangrove. Aplikasi ini membantu dalam proses identifikasi mangrove, pencatatan data utama (diameter batang, tinggi batang, tutupan kanopi, jumlah semai), dan proses analisis data.

Metode Pengamatan

Pada masing-masing stasiun dilakukan pengamatan menggunakan plot ukuran 10 x 10 m. Jumlah dan pemilihan plot disesuaikan dengan kondisi ekosistem mangrove di masing-masing stasiun.

Pengamatan dilakukan dengan mengidentifikasi jenis mangrove (berdasarkan karakteristik daun, bunga, buah dan akar) dan mengukur lingkar batang pada setinggi dada orang dewasa (DBH-*Diameter Breast High*) menggunakan meteran jahit dari semua tegakan yang ada di dalam plot. Seluruh data dicatat ke dalam aplikasi MonMang 2.0.

Beberapa data karakteristik vegetasi yang dihasilkan oleh aplikasi MonMang 2.0 diantaranya kerapatan pohon (individu/luas plot dikonversi menjadi individu/hektar), kerapatan anakan (individu/luas plot dikonversi menjadi individu/hektar), diameter batang (cm). Kategori pohon dan anakan memiliki tinggi tegakan lebih dari 1.5 m untuk membedakannya menggunakan panduan Dharmawan *et al*. (2020), yaitu pohon memiliki diameter batang ≥ 5 cm sedangkan anakan memiliki diameter batang < 5 cm.

Parameter selanjutnya yang dihasilkan oleh aplikasi MonMang 2.0 adalah biomassa tumbuhan bagian atas (kg) dan biomassa tumbuhan bagian bawah (kg). Perhitungan biomassa mangrove pada aplikasi Monmang 2.0. ini berdasarkan persamaan allometrik (Dharmawan *et al*. 2020).

Metode Analisis Data

Perhitungan stok karbon pada bagian atas dari masing-masing tegakan (dalam satuan kg) menggunakan rumus Howard *et al*. (2014), yaitu:

Stok karbon bagian atas = Biomassa bagian atas x Faktor konversi (0.5)

Perhitungan stok karbon pada bagian bawah dari masing-masing tegakan (dalam satuan kg) menggunakan rumus Howard *et al*. (2014), yaitu:

Stok karbon bagian bawah = Biomassa bagian bawah x faktor konversi (0.39)

Stok karbon bagian atas vegetasi dijumlah dengan stok karbon bagian bawah vegetasi untuk mendapatkan stok karbon dari suatu tegakan. Stok karbon pada vegetasi mangrove di stasiun pengamatan (dalam satuan ton/hektar) dihitung menggunakan rumus Howard *et al*. (2014), yaitu:

$$\textit{Stok karbon vegetasi mangrove} = \frac{\sum \textit{Stok karbon suatu tegakan}}{\textit{Luas area pengamatan}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Vegetasi Mangrove di Stasiun Pengamatan

Terdapat total delapan spesies mangrove yang ditemukan dari tiga lokasi stasiun. Pada stasiun 1 (lokasi rehabilitasi) terdapat 1 spesies alami dan 1 spesies hasil rehabilitasi. Informasi mengenai spesies alami ataupun spesies hasil rehabilitasi berdasarkan keterangan dari kelompok masyarakat yang melakukan kegiatan rehabilitasi di lokasi. Selain itu, terlihat juga dari posisi pohon hasil rehabilitasi lebih rapih dan terdapat pola tanam 1x1 meter sedangkan mangrove alami tersebar secara acak. Sedangkan pada stasiun 2 dan stasiun 3, semua spesies yang ditemukan merupakan spesies alami. Karakteristik vegetasi mangrove yang ditemukan di setiap lokasi stasiun pengamatan disajikan pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, di stasiun pengamatan Lontar ditemukan 2 jenis mangrove yaitu *Avicennia marina* dan *Rhizophora stylosa*. Mangrove *A. marina* merupakan mangrove alami di lokasi. Hal ini senada dengan Fauzi *et al*. (2022) yang melakukan pengamatan di Lontar pada lokasi yang berbeda dengan penelitian ini menemukan bahwa mangrove jenis *A. marina* adalah spesies mangrove alami yang dapat ditemukan di daerah Lontar.

Tabel 1. Sebaran Jenis Mangrove di Setiap Stasiun Pengamatan

Stasiun Pengamatan	Jenis Mangrove	Karakteristik Vegetasi				
		Kepadatan pohon (ind/ha)	Kepadatan anakan (ind/ha)	Diameter batang rata-rata (cm)	Biomassa bagian atas rata-rata (kg)	Biomassa bagian bawah rata-rata (kg)
Lontar	*Avicennia marina*	600	0	19.37	332.16	129.23
	Rhizophora stylosa	933	367	5.89	22.50	11.35
Citeureup	*Avicennia alba*	1250	1100	5.80	17.62	7.48
	Avicennia lanata	1200	800	6.65	55.23	26.00
Cigorondong	*Avicennia marina*	367	967	7.17	210.89	70.16
	Excoecaria agallocha	1400	3433	4.75	13.21	6.28
	Lumnitzera racemosa	100	367	3.64	7.96	4.27
	Ceriops tagal	0	267	2.96	4.12	2.43
	Heritiera littoralis	33	233	4.34	10.21	5.54

Mangrove jenis *R. stylosa* merupakan mangrove yang ditanam dalam program rehabilitasi. Hal tersebut disampaikan oleh kelompok pengelola ekosistem mangrove di Lontar dan terlihat dari mangrove *R. stylosa* yang ditemukan tersusun rapi dengan adanya pola tanam. Mangrove jenis *R. stylosa* umum digunakan sebagai jenis mangrove yang digunakan untuk program rehabilitasi, seperti yang dilakukan di daerah Kepulauan Seribu (Easteria *et al*. 2022) dan Lombok (Sani *et al*. 2019).

Karakteristik vegetasi mangrove di Lontar menunjukkan bahwa kepadatan pohon dan anakan mangrove spesies *R. stylosa* lebih besar daripada mangrove *A. marina*. Berbanding terbalik dengan diameter batang yang lebih besar pada vegetasi mangrove *A. marina* dibandingkan mangrove *R. stylosa*. Hal ini juga ditemukan pada mangrove *R. stylosa* yang ditanam di Pulau Seribu, diduga berkaitan dengan jarak tanam yang terlalu rapat sehingga terjadi persaingan intraspesifik antar tegakan mangrove *R. stylosa* (Easteria *et al*. 2022).

Hal serupa juga ditemukan pada kawasan hutan mangrove Angke namun pada jenis yang berbeda. Pertumbuhan spesies mangrove rehabilitasi (*R. mucronata*) lebih lambat jika dibandingkan spesies mangrove alami (*Sonneratia caseolaris*) meskipun pada umur tumbuhan yang sama. Selain faktor asal tumbuhan (alami atau rehabilitasi), faktor lain seperti sifat spesies, faktor lingkungan lain juga mempengaruhi kecepatan pertumbuhan dari mangrove (Ashari *et al.* 2018).

Pada stasiun pengamatan Citeureup ditemukan 2 jenis mangrove yaitu *A. alba* dan *A. lanata*. Mangrove jenis *A. alba* diketahui memiliki preferensi habitat di sekitar muara sungai (Triest *et al*. 2021). Sedangkan mangrove jenis *A. lanata* merupakan salah satu jenis dari genus *Avicennia* yang terkenal langka untuk ditemukan, dan memiliki prefrensi habitat pada substrat berlumpur seperti di muara sungai (Kasim 2022). Hal ini sesuai dengan kondisi stasiun pengamatan Citeureup yang merupakan muara sungai dan vegetasi mangrove ditemukan pada substrat berlumpur.

Kepadatan pohon mangrove di stasiun pengamatan Citeureup merupakan kepadatan yang paling tinggi dibandingkan lokasi lain. Berlawanan dengan

diameter batang rata-rata vegetasi mangrove di Citeureup yang tergolong kecil. Hal ini dimungkinkan karena beberapa hal seperti kepadatan mangrove yang dapat menyebabkan terjadinya persaingan intraspesifik antar mangrove (Easteria *et al*. 2022), tingkat penggenanangan, salinitas, dan kedalaman lumpur (Efriyeldi *et al*. 2021).

Stasiun pengamatan Cigorondong ditemukan jumlah spesies mangrove yang lebih banyak yaitu 5 spesies, *A. marina*, *Excoecaria agallocha*, *Lumnitzera racemosa*, *Ceriops tagal*, *Heritiera littoralis*. Stasiun ini berada di sempadan pantai dengan substrat bervariasi mulai dari lumpur berpasir hingga pasir berlumpur. Lokasi ini terpengaruh secara langsung dari pasang surut air laut hanya pada saat terjadi pasang tertinggi. Spesies mangrove *A. marina* merupakan spesies mangrove yang dapat ditemukan pada berbagai jenis karakteristik habitat pantai (Cresswell *et al*. 2011). Sedangkan *E. agallocha*, *L. racemosa*, *C. tagal*, dan *H. littoralis* dikenal sebagai spesies mangrove yang toleransi rendah dengan salinitas sehingga banyak ditemukan pada zonasi hutan mangrove yang jauh dari laut (Robert *et al*. 2015; Kangkuso *et al*. 2016; Irawan *et al*. 2021). Hal ini dapat terlihat dari kepadatan pohon dan anakan terbesar terbesar dari jenis *E. agallocha*.

Walaupun mangrove jenis *E. agallocha* memiliki kepadatan pohon dan anakan paling tinggi, namun diameter batang terbesar ditemukan pada vegetasi mangrove jenis *A. marina*. Hal ini juga ditemukan di Taman Wisata Alam Angke-Kapuk, bahwa diameter batang *A. marina* daripada *E. agallocha* (Kusumahadi *et al*. 2020). Spesies mangrove *A. marina* merupakan spesies mangrove yang dapat ditemukan pada berbagai jenis karakteristik habitat pantai (Cresswell *et al*. 2011). Sehingga pertumbuhannya bisa beradaptasi dengan baik berbagai jenis pantai.

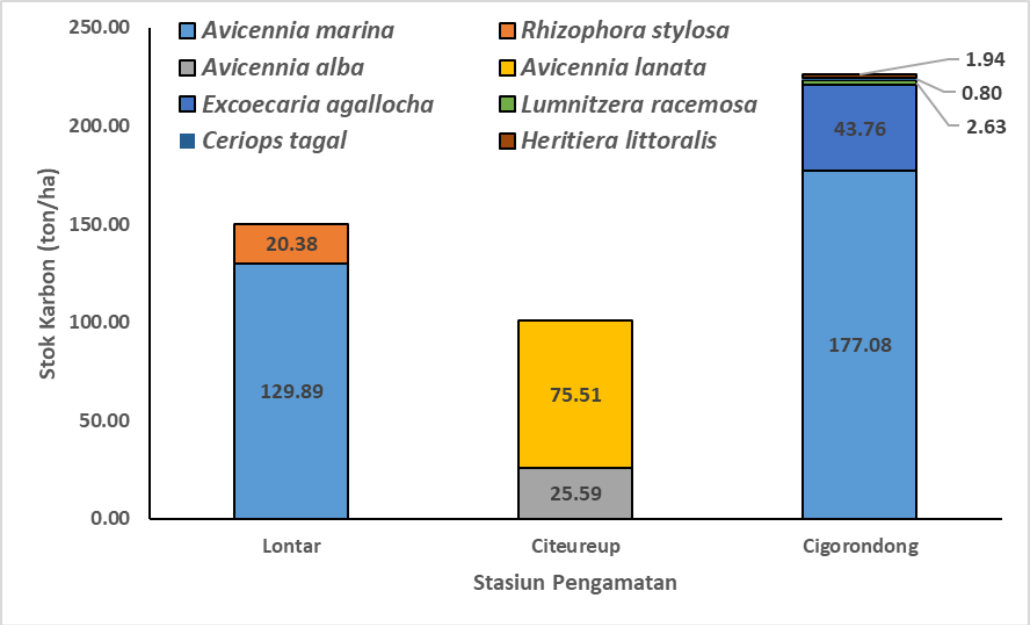
Terkait dengan biomassa vegetasi, bagian atas dan bagian bawah, ditunjukkan pada Tabel 1 bahwa nilai tertinggi pada jenis *A. marina* di stasiun Lontar dan stasiun Cigorondong. Mangrove jenis ini merupakan spesies alami di kedua stasiun tersebut. Hal ini erat hubungannya dengan diameter batang dari mangrove jenis *A. marina* yang ditemukan lebih besar dari jenis lain. Menurut Howard *et al*. (2014), dalam persamaan allometrik penentuan biomassa suatu vegetasi mangrove dipengaruhi oleh diameter batang, densitas kayu dan tinggi vegetasi.

Stok Karbon Vegetasi Mangrove di Stasiun Pengamatan

Stok karbon vegetasi mangrove berasal dari proses penyerapan CO_2 dari atmosfer dalam proses fotosintesis yang dilakukan pada siang hari (Howard *et al.* 2014). Stok karbon vegetasi mangrove di stasiun pengamatan disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, diketahui total stok karbon pada vegetasi mangrove secara berturut-turut dari yang terbesar di Cigorondong (226,21 ton/ha) selanjutnya di Lontar (150,26 ton/ha) dan yang paling kecil di Citeureup (101,1 ton/ha). Hal ini ditunjukkan dengan jumlah pohon dan anakan yang banyak serta biomassa tumbuhan yang besar (terutama pada spesies *A. marina*). Hal lain yang dapat mempengaruhi adalah karakteristik lingkungan antar lokasi yang berbeda.

Nilai stok karbon vegetasi mangrove yang ditemukan pada stasiun pengamatan lebih tinggi dibandingkan stok karbon vegetasi mangrove di Tanjung Lesung nilai tertingginya sebesar 55,33 ton/ha (Ati *et al*. 2014). Namun hasil penelitian ini memiliki nilai stok karbon yang lebih rendah dibandingkan vegetasi mangrove di Pulau Sangiang yang dapat mencapai 607,38 ton/ha (Lestariningsih *et al*. 2022).

Hal ini dikarenakan perbedaan jenis mangrove, karakteristik vegetasi dan lokasi. Vegetasi mangrove Tanjung Lesung dari dua jenis yaitu *A. marina* dan *Brugueira gymnorhiza* yang berada di lokasi sempadan pantai dan bekas tambak (Ati *et al*. 2014). Sedangkan vegetasi mangrove alami di Pulau Sangiang yang merupakan daerah konservasi (Taman Wisata Alam Pulau Sangiang) dari tujuh jenis yaitu *R. mucronata*, *R. stylosa*, *R. apiculata*, *Xylocarpus granatum*, *Pemphis adicula*, *L. racemosa*, *Scyphiphora hydrophylacaea* (Lestariningsih *et al*. 2022).



Gambar 2. Stok Karbon Vegetasi Mangrove di Stasiun Pengamatan

Mangrove alami di Cigorondong juga ada yang memiliki stok karbon yang rendah, jika dibandingkan jenis-jenis mangrove lain yang alami maupun rehabilitasi. Hal ini disebabkan oleh biomassa mangrove yang kecil yang lebih lanjut disebabkan oleh kepadatan pohon yang rendah dan diameter batang yang kecil yang disajikan pada Tabel 1. Menurut Howard *et al*. (2014), nilai stok karbon tegakan mangrove dipengaruhi oleh nilai biomassa tegakan yang secara allometrik dipengaruhi oleh diameter batang.

Mangrove hasil penanaman di Lontar yaitu jenis *R. stylosa* memiliki nilai stok karbon sebesar 20,38 ton/ha. Nilai ini lebih kecil dari beberapa mangrove alami di 3 stasiun pengamatan. Nilai stok karbon sangat bergantung pada nilai biomassa tegakan. Sedangkan biomassa mangrove *R. stylosa* sangat dipengaruhi oleh diameter batang (Gevana dan Im 2016). Diameter batang *R. stylosa* yang ditemukan lebih kecil dari beberapa jenis mangrove alami, sehingga nilai biomassa tegakan dan stok karbonnya juga lebih kecil.

Jenis mangrove yang juga digunakan untuk kegiatan rehabilitasi bukan hanya *R. stylosa*, tapi juga dari jenis *R. mucronata* dan *R. apiculata*. Kedua jenis tersebut yang digunakan menjadi spesies rehabilitasi juga ditemukan memiliki biomassa lebih kecil dan stok karbon yang lebih kecil dibandingkan spesies mangrove lain yang alami (Putri *et al*. 2023; Sitthi *et al*. 2025).

Vegetasi mangrove merupakan salah satu ekosistem yang memiliki kemampuan penyimpanan karbon. Masih terdapat lokasi penyimpanan karbon lain seperti mangrove yang mati, semai, semak, dan sedimen (Kauffman dan Donato

2012). Seperti hasil pengukuran kandungan karbon di sedimen mangrove alami dan rehabilitasi di Ternate dan Tidore yang dapat mencapai nilai 100,6 ton C/ha pada mangrove alami dan 70,5 ton C/ha pada mangrove rehabilitasi (Tahir *et al.* 2023). Sehingga perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk perbandingan kandungan karbon pada lokasi penyimpanan karbon lain (khususnya di sedimen) dari ekosistem mangrove yang alami dan hasil rehabilitasi di Provinsi Banten.

KESIMPULAN

Stok karbon pada vegetasi mangrove hasil rehabilitasi di daerah Lontar dengan spesies *R. stylosa* lebih kecil dari beberapa vegetasi mangrove alami di lokasi lain. Beberapa jenis mangrove alami juga ada yang memiliki stok karbon yang rendah karena dipengaruhi oleh kepadatan tegakan yang rendah dan nilai biomassa yang rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan kerja sama antara Fakultas Pertanian Universitas Sultan Ageng Tirtayasa dengan Yayasan Kehati dan PT. Asahimas Chemical. Ucapan terima kasih diberikan kepada Yayasan Kehati dan PT. Asahimas Chemical yang telah memberikan pendanaan dan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ashari R, Kusmana C, Kuncahyo B. 2018. Evaluasi Tegakan Mangrove Hasil Rehabilitasi dengan Teknik Guludan. *Jurnal Silvikultur Tropika* 9(2): 175-181.

Astiani D, Roslinda E, Widiastuti D, Ekamawanti HA, Astuti WE, Dwianto W, Alfikri F, Ngidu EY. 2024. Stand Growth and Carbon Stocks of Community-Based Mangrove Rehabilitation in Singkawang City, West Kalimantan, Indonesia. *BIODIVERSITAS* 25(7): 2799-2805.

Ati RNA, Rustam A, Kepel TL, Sudirman N, Astrid M, Daulat A, Mangindaan P, Salim HL, Hutahaean A. 2014. Stok Karbon dan Struktur Komunitas Mangrove Sebagai *Blue Carbon* di Tanjung Lesung, Banten. *Jurnal Segara* 10(2): 119-127.

Cresswell ID, Bridgewater P, Semeniuk V. 2011. The Coastal Habitats and Vegetation of the Kimberley Region. *Journal of the Royal Society of Western Australia* 94: 197-206

Dharmawan IWE, Suyarso, Ulumuddin YI, Prayudha B, Pramudji. 2020. *Panduan Monitoring Struktur Komunitas Mangrove di Indonesia*. Bogor: PT Media Sains Nasional.

Donato DC, Kauffman JB, Murdiyarso D, Kurnianto S, Stidham M, Kanninen M. 2012. Mangrove Sebagai Satu Hutan Terkaya Karbon di Kawasan Tropis. *Brief CIFOR* 12: 3-12.

Easteria G, Imran Z, Yulianto G. 2022. Estimasi Stok Karbon Mangrove Rehabilitasi di Pulau Harapan dan Kelapa, Taman Nasional Kepulauan Seribu, Jakarta. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 14(2): 191-204.

Efriyeldi, Mulyadi A, Samiaji J. 2021. Pertumbuhan Api-Api (*Avicennia alba*) dan Kelimpahan Epifauna Bentik di Kawasan Rehabilitasi Mangrove Desa Kedaburapat Kabupaten Kepulauan Meranti. *Dinamika Lingkungan Indonesia* 8(2): 113-122.

Fauzi A, Yulianda F, Yulianto G, Sulistiono, Purnama FA. 2022. Strategi Rehabilitasi Ekosistem Mangrove Berdasarkan Analisis Kesesuaian Habitat di Kawasan PLTU Banten 3, Lontar. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan* 13 (1): 13-24.

Gevana S dan Im S. 2016. Allometric Models for *Rhizophora stylosa* Griff. in Dense Monoculture Plantation in the Philippines. *The Malaysian Forester* 79 (1&2): 39-53.

Hadi A, Wahyuni D, Safitri N, Jannah NR, Rahmadin MG, Febriyanti SS. 2022. Rehabilitasi Lahan Mangrove Sebagai Strategi Mitigasi Bencana Alam di Desa Seriwe, Kecamatan Jerowaru, Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA* 5 (1): 45-50.

Howard J, Hoyt S, Isensee K, Pidgeon E, Telszewski M. editors. 2014. *Coastal Blue Carbon: Methods for Assessing Carbon Stocks and Emissions Factor in Mangroves, Tidal Salt Marshes, and Seagrass Meadows*. Virginia (US): Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Comission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature.

Irawan A, Chikmawati T, Sulistijorini. 2021. Diversity and Zonation of Mangrove Flora in Belitung Island, Indonesia. *BIODIVERSITAS* 22(5): 2981-2992.

Kangkuso A, Janili J, Septiana A, Raya R, Sahidin I, Rianse U, Rahim S, Alfirman A, Sharma S, Nadaoka K. 2016. Allometric Models and Aboveground Biomass of *Lumnitzera racemosa* Willd. Forest in Rawa Aopa Watumohai National Park, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Forest Science and Technology* 12 (1): 43-50

Kasim F. 2022. Characteristics of *Avicennia lanata* (Ridley) Species for Mangrove Restoration on the Coast of North Gorontalo. *Tomini Journal of Aquatic Species* 3 (1): 8-20.

Kauffman JB dan Donato DC. 2012. *Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests*. Working Paper 86. Bogor (ID): CIFOR.

Kusumahadi KS, Yusuf A, Maulana RG. 2020. Analisis Keanekaragaman Jenis Vegetasi Mangrove di Kawasan Hutan Lindung Angke-Kapuk dan Taman Wisata Alam Angke-Kapuk Muara Angke Kota Jakarta Utara. *Jurnal Ilmu dan Budaya* 41 (69): 8123-8134.

Lestariningsih WA, Putra MGA, Putri AR, Prabowo B, Muhammad F, Santoso P, Adiwijaya C, Idris, Setyaningsih WA, Lestari DF, Zamani NP. 2022. Struktur Komposisi dan Estimasi Cadangan Karbon Tegakan Ekosistem Mangrove di Pulau Sangiang, Banten. *Jurnal Ilmu Kelautan Lesser Sunda* 2 (2): 13-20.

Nusantara MA, Hutomo M, Purnama H. 2015. Evaluation and Planning of Mangrove Restoration Programs in Sedari Village of Kerawang District, West Java: Contribution of PHE-ONWJ Coastal Development Programs. *Procedia Environmental Sciences* 23: 207-214.

Putri RPN, Rifa'i MA, Asy'ari M, Fatmawati. 2023. Analisis Kandungan Karbon pada Kerapatan Vegetasi Mangrove Alami dan Rehabilitasi di Suaka Margasatwa Kuala Lupak. *EnviroScienteae* 19 (4): 170-175.

Rahardi W dan Suhardi RM. 2016. Keanekaragaman Hayati dan Jasa Ekosistem Mangrove di Indonesia. *Prosiding* Symposium on Biology Education Universitas Ahmad Dahlan, 27 Agustus 2016. Yogyakarta: Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Ahmad Dahlan. Hal 499-510. e-ISSN: 2528-5726

Robert EMR, Oste J, Van der Stocken T, De Ryck DJR, Quisthoudt K, Kairo JG, Dahdouh-Guebas F, Koedam N, Schmitz N. 2015. Viviparous Mangrove Propagules of *Ceriops tagal* and *Rhizophora mucronata*, Where Both Rhizophoraceae Show Different Dispersal and Establishment Strategies. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 468: 45-54.

Rosmiyati R, Wibowo AS, Saleh K. 2022. Potensi Ekonomi Sumberdaya Mangrove untuk Kesejahteraan Masyarakat Kampung Berangbang (Suatu Kasus di Desa Lontar Kecamatan Tirtayasa Kabupaten Serang). *Jurnal Agribisnis Terpadu* 15 (1): 1-10.

Sani LH, Candri DA, Ahyadi H, Farista B. 2019. Struktur Vegetasi Mangrove Alami dan Rehabilitasi Pesisir Selatan Pulau Lombok. *Jurnal Biologi Tropis* 19 (2): 268-276.

Sitthi A, Pimple U, Piponiot C, Gond V. 2025. Assessing the Effectiveness of Mangrove Rehabilitation using Above-Ground Biomass and Structural Diversity. *Scientific Reports* 15: 7839. https://doi.org/10.1038/s41598-025-92514-7

Tahir I, Mantiri DMH, Rumengan AP, Muhammad A, Ismail F, Paembonan RE, Najamuddin, Akbar N, Inayah, Wibowo ES, Siolimbona AA, Harahap ZA. 2023. Simpanan Karbon Sedimen di Bawah Tegakan Spesies Mangrove Alami dan Mangrove Rehabilitasi. *Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan* 6(1): 803-814.

Triest L, Del Socorrro A, Gado VJ, Mazo AM, Sierens T. 2021. *Avicennia* Genetic Diversity and Fine-Scaled Structure Influnced by Coastal Proximity of Mangrove Fragments. *Frontiers in Marine Science* 8: 643982.