



Estimasi Stok Karbon Mangrove di Pesisir Kabupaten Karawang, Indonesia.

Estimation of Mangrove Carbon Stock in Coastal Karawang Regency, Indonesia.

Medi Nopiana^{a*}

^aFakultas Ekonomi Universitas Singaperbangsa Karawang

Article Info:

Received: 20 - 02 - 2024

in revised form: 03 - 03 - 2024

Accepted: 04 - 03 - 2024

Available Online: 05 - 03 - 2024

Keywords:

Carbon absorption, carbon stock, mangrove regeneration, mangrove rehabilitation.

Corresponding Author:

*Email:

medinopiana@yahoo.co.id

DOI:

<https://doi.org/10.30598/jlpvol3iss1pp19-27>

Abstrak: Pesisir Kabupaten Karawang merupakan wilayah potensial ekosistem mangrove, namun informasi stok dan serapan karbon eksisting belum diketahui apalagi kontribusi dari permudaan mangrove termasuk dari bibit rehabilitasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total stok karbon di pesisir Kabupaten Karawang berkisar 13.75 – 56.89 ton C/ha atau secara keseluruhan sebesar 5,799.88 – 24,003.58 ton C. Nilai tersebut, diperoleh dari kontribusi tiga spesies utama yaitu *A. marina* sebesar 4.38 – 15.38 ton C/ha, *R. apiculata* sebesar 5.80 – 24.63 ton C/ha dan *R. mucronata* sebesar 3.57 – 16.88 ton C/ha. Nilai serapan karbon (CO₂-equivalen) di pesisir Kabupaten Karawang berkisar 50.40 – 208.58 ton CO₂-eq/ha atau secara keseluruhan sebesar 21,266.23 – 88,013.14 ton CO₂-eq. Nilai tersebut diperoleh dari kontribusi tiga spesies utama yaitu *A. marina* sebesar 16.07 – 56.41 ton CO₂-eq/ha, *R. apiculata* sebesar 21.25 – 90.29 ton CO₂-eq/ha, dan *R. mucronata* sebesar 13.08 – 61.88 ton CO₂-eq/ha.

Abstract: The coast of Karawang Regency is a potential area for mangrove ecosystems, but information on existing carbon stocks and removals is not yet known, let alone contributions from mangrove youth, including from rehabilitation seedlings. The results showed that the total carbon stock on the coast of Karawang Regency ranged from 13.75 – 56.89 tons C/ha or overall amounted to 5,799.88 – 24,003.58 tons C. This value was obtained from the contribution of three main species, namely *A. marina* of 4.38 – 15.38 tons C/ha, *R. apiculata* of 5.80 – 24.63 tons C/ha and *R. mucronata* amounting to 3.57 – 16.88 tons C/ha. The value of carbon sequestration (CO₂-equivalent) on the coast of Karawang Regency ranges from 50.40 – 208.58 tons CO₂-eq/ha or overall of 21,266.23 – 88,013.14 tons CO₂-eq. This value is obtained from the contribution of three main species, namely *A. marina* of 16.07 – 56.41 tons of CO₂-eq/ha, *R. apiculata* of 21.25 – 90.29 tons of CO₂-eq/ha, and *R. mucronata* of 13.08 – 61.88 tons of CO₂-eq/ha.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

PENDAHULUAN

Peristiwa terjadinya perubahan iklim kini telah menjadi perhatian dunia. Hal ini karena perubahan iklim dapat berdampak pada berbagai sektor kehidupan sehingga perlu untuk diantisipasi dengan berbagai upaya mitigasi. Badjeck et al. (2010) menyatakan bahwa perubahan iklim dapat berdampak pada aspek yang ditandai dengan meningkatnya suhu perairan, pengendapan, pH, salinitas, kecepatan angin, gelombang dan kenaikan muka air laut. Kondisi perubahan ekologi perairan sebagai akibat dari perubahan iklim telah menurunkan jasa layanan ekosistem baik pada perairan laut maupun perairan tawar (Cheung et al., 2009; Drinkwater et al., 2009; Brander 2010; Jones 2013; Wang et al., 2016).

Salah satu gas rumah kaca yang menjadi penyebab terjadinya perubahan iklim adalah gas karbondioksida (CO₂). Gas CO₂ banyak dihasilkan dari berbagai aktivitas antropogenik seperti pembakaran bahan bakar fosil, kendaraan bermotor, dan mesin industri yang menyebabkan gas CO₂ terakumulasi (IPCC 2001).

Salah satu upaya untuk menurunkan emisi gas CO₂ di atmosfer adalah dengan melakukan pemeliharaan ekosistem baik darat maupun pesisir, dan rehabilitasi lahan – lahan potensial untuk ditanami vegetasi tanaman. Ekosistem pesisir yang memiliki kemampuan untuk menyerap gas CO₂ adalah ekosistem mangrove (Hairiyah & Rahayu 2007). Menurut Donato et al. (2012); Alongi (2014); dan Adame et al. (2015) bahwa ekosistem mangrove mampu menyerap dan menyimpan gas karbon hingga empat kali lebih besar dibanding ekosistem lainnya.

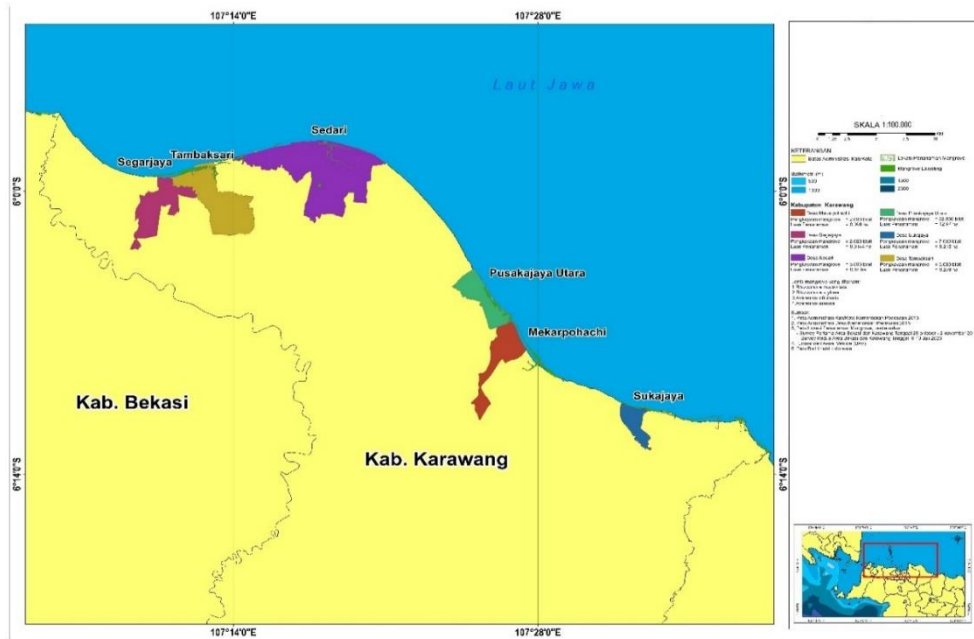
Penelitian terkait estimasi stok dan serapan karbon pada mangrove telah banyak dilakukan pada berbagai tempat dengan berbagai pendekatan. Namun demikian, penelitian – penelitian tersebut masih terfokus pada model pendugaan biomassa, estimasi stok karbon eksisting baik pada tegakan (above and below-ground biomass) maupun pada substrat (soil carbon), dan belum melakukan analisis pada kontribusi serapan karbon pada mangrove kategori anakan, semai, dan mangrove hasil rehabilitasi. Rahman et al. (2024a) melaporkan bahwa lahan potensial rehabilitasi mangrove Indonesia mencapai 204.536, 17 ha dengan kontribusi serapan sekitar 153,3 juta ton CO₂-eq. Nilai tersebut dapat dikontribusikan oleh potensi diversitas mangrove utama seperti *Rhizophora* dan *Sonneratia* (Rahman et al., 2020; 2024b).

Pesisir Kabupaten Karawang memiliki area potensi ekosistem mangrove sebesar 421.59 ha (Nopiana et al., 2020). Wilayah pesisir tersebut ditumbuhi vegetasi mangrove dengan berbagai tegakan baik pohon, anakan, maupun semai. Selain itu, wilayah pesisir Kabupaten Karawang juga sangat potensial untuk dilakukan rehabilitasi mangrove. Namun demikian, studi – studi terkini yang dilakukan di kawasan ekosistem mangrove pesisir Kabupaten Karawang belum ada satu pun yang mengkaji terkait potensi simpanan dan serapan karbon pada mangrove baik eksisting maupun pada area rehabilitasi. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi karbon khususnya pada tegakan mangrove eksisting dan menduga potensi kontribusi dari mangrove kategori anakan dan semai eksisting serta mangrove hasil rehabilitasi di pesisir Kabupaten Karawang, Indonesia.

METODE

Deskripsi lokasi penelitian

Pesisir Kabupaten Karawang merupakan salah satu habitat ekosistem mangrove yang umumnya didominasi oleh spesies *Avicennia marina*, *Rhizophora apiculata*, dan *Rhizophora mucronata* dengan luas lahan bervegetasi mencapai 421.59 ha (Nopiana et al., 2020). Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2020 – Februari 2021 di enam stasiun pengamatan yaitu Desa Segarjaya, Tambaksari, Sedari, Pusakajaya Utara, Mekarpothaci, dan Sukajaya (Gambar 1).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Prosedur pengumpulan data.

Data yang dikumpulkan terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi secara langsung selama penelitian dilakukan dengan interval 15 – 30 hari per pengamatan. Data sekunder meliputi data struktur komunitas mangrove eksisting (kerapatan, dbh = 130 cm, jenis spesies, dan luas ekosistem mangrove). Data sekunder diperoleh melalui telaah literatur terkini yang relevan dengan kebutuhan data penelitian.

Analisis data

Stok dan serapan karbon eksisting

Stok karbon eksisting dihitung melalui perkalian biomassa dari persamaan allometrik (Tabel 1) terhadap nilai fraksi karbon yaitu 0.4682 (Rahman et al., 2023). Sedangkan serapan karbon eksisting (CO₂-equivalen) dihitung melalui perkalian nilai stok karbon dengan nilai perbandingan massa molekul relatif CO₂ (Mr CO₂ = 44 gr mol⁻¹) terhadap massa atom relatif karbon (Ar C = 12 gr mol⁻¹). Nilai stok dan serapan karbon eksisting dihitung berdasarkan spesies dominan menurut Nopiana et al (2020).

Kontribusi stok dan serapan karbon pada permudaan mangrove.

Analisis stok dan serapan karbon pada permudaan mangrove dihitung berdasarkan kerapatan mangrove eksisting kategori anakan dan semai, serta bibit mangrove rehabilitasi yang dipengaruhi oleh tingkat kehidupan mangrove. Pendugaan kontribusi stok dan serapan karbon tersebut akan disimulasikan menurut pertumbuhan diameter hingga 10 tahun yaitu tahun 2031. Persamaan pendugaan biomassa dari permudaan mangrove baik anakan maupun semai mengacu pada Rahman (2020) (Tabel 2).

Tabel 1. Model allometrik estimasi biomass

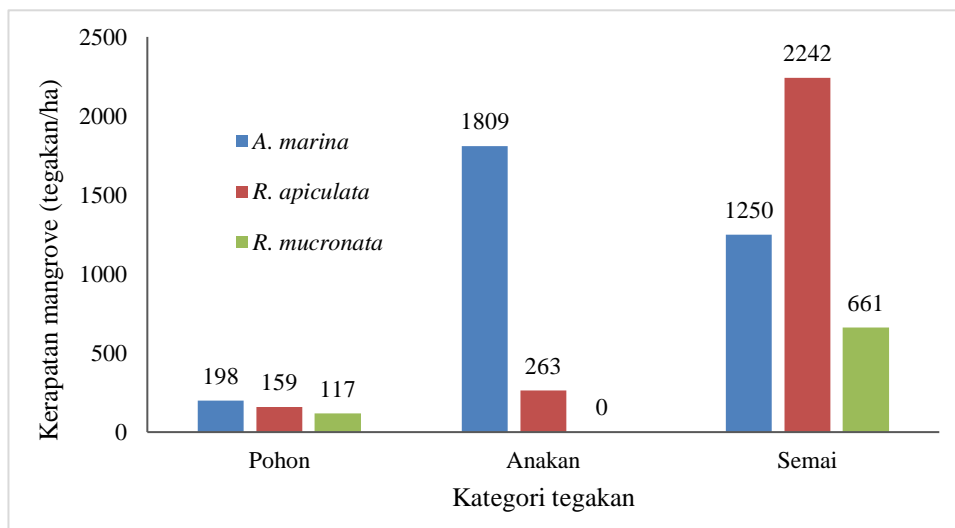
Spesies	Persamaan	Sumber
<i>Avicennia marina</i>	$B = 0.308D^{2.11}$	Comley dan McGuinness (2005)
<i>Rhizophora apiculata</i>	$B = 0.235D^{2.42}$	Ong et al. (2004)
<i>Rhizophora mucronata</i>	$B = 0.128D^{2.60}$	Fromard et al. (1998)
<i>Rhizophora stylosa</i>	$B = 0.178D^{2.59}$	Gevana dan IM. (2016)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Kerapatan mangrove dominan

Menurut Nopiana et al (2020) bahwa terdapat tiga spesies mangrove yang dominan di pesisir Kabupaten Karawang yaitu *A. marina*, *R. apiculata*, dan *R. mucronata*. Total kerapatan dari tiga spesies dominan tersebut yaitu 474 tegakan/ha untuk kategori pohon, 2072 tegakan/ha untuk kategori anakan, dan 4153 tegakan/ha untuk kategori semai. Rata – rata kerapatan relatif *A. marina* yaitu 198 tegakan/ha pada kategori pohon, 1809 tegakan/ha pada kategori anakan, dan 1250 tegakan/ha pada kategori semai. Rata – rata kerapatan relatif *R. apiculata* yaitu 159 tegakan/ha pada kategori pohon, 263 tegakan/ha pada kategori anakan, dan 2242 tegakan/ha pada kategori semai, sedangkan rata – rata kerapatan relatif *R. mucronata* yaitu 117 tegakan/ha pada kategori pohon dan 661 tegakan/ha pada kategori semai (Gambar 2)



Gambar 2. Rata-rata kerapatan mangrove dominan di pesisir Kabupaten Karawang.

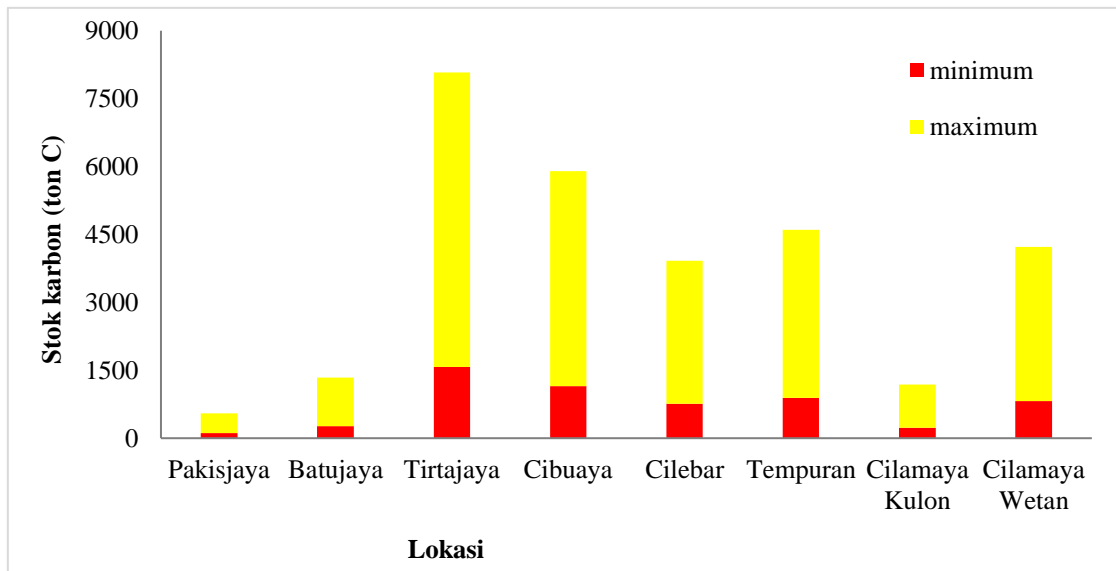
Stok dan serapan karbon

Nilai stok karbon total diperoleh melalui pendekatan kerapatan spesies dominan dan luas total ekosistem mangrove yang diacu pada Nopiana et al (2020), serta kisaran rata – rata diameter (dbh = 130 cm). Hasil observasi menunjukkan bahwa kisaran diameter mangrove kategori pohon yaitu 11 – 20 cm. Berdasarkan hal tersebut, maka total stok karbon di pesisir Kabupaten Karawang berkisar 13.75 – 56.89 ton C/ha atau secara keseluruhan sebesar 5,799.88 – 24,003.58 ton C. Nilai tersebut, diperoleh dari kontribusi tiga spesies utama yaitu *A. marina* sebesar 4.38 – 15.38 ton C/ha atau 1,849.74 – 6,491.57 ton C (31.86%), *R. apiculata* sebesar 5.80 – 24.63 ton C/ha atau 2,445.33 – 10,391.07 ton C (42.18%), dan *R. mucronata* sebesar 3.57 – 16.88 ton C ha⁻¹ atau 1,504.81 – 7,120.94 ton C (25.96%) (Tabel 2).

Tabel 2. Total stok karbon mangrove di pesisir Kabupaten Karawang.

Spesies	Stok karbon per ha (ton C/ha)		Total (ton C)	
	Minimum	maksimum	minimum	maksimum
<i>A. marina</i>	4.38	15.38	1,849.74	6,491.57
<i>R. apiculata</i>	5.80	24.63	2,445.33	10,391.07
<i>R. mucronata</i>	3.57	16.88	1,504.81	7,120.94
Total	13.75	56.89	5,799.88	24,003.58

Total stok karbon tersebut, merupakan akumulasi dari sebaran stok karbon pada tiap kecamatan bervegetasi mangrove di pesisir Kabupaten Karawang. Berdasarkan luas lahan vegetasi mangrove pada tiap Kecamatan, didapatkan bahwa Kecamatan Tirtajaya, Cibuaya, dan Tempuran memiliki stok karbon terbesar yaitu secara berturut – turut 1,571.06 – 6,502.06 ton C, 1,148.40 – 4,752.82 tonC. dan 894.81 – 3703.27 ton C. sedangkan yang terendah terdapat pada Kecamatan Pakisjaya, Cilamaya Kulon, dan Batujaya dengan total stok karbon masing – masing sebesar 107.76 – 445.99 ton C. 230.51 – 953.98 ton C, dan 261.16 – 1,080.83 ton C (Gambar 3).



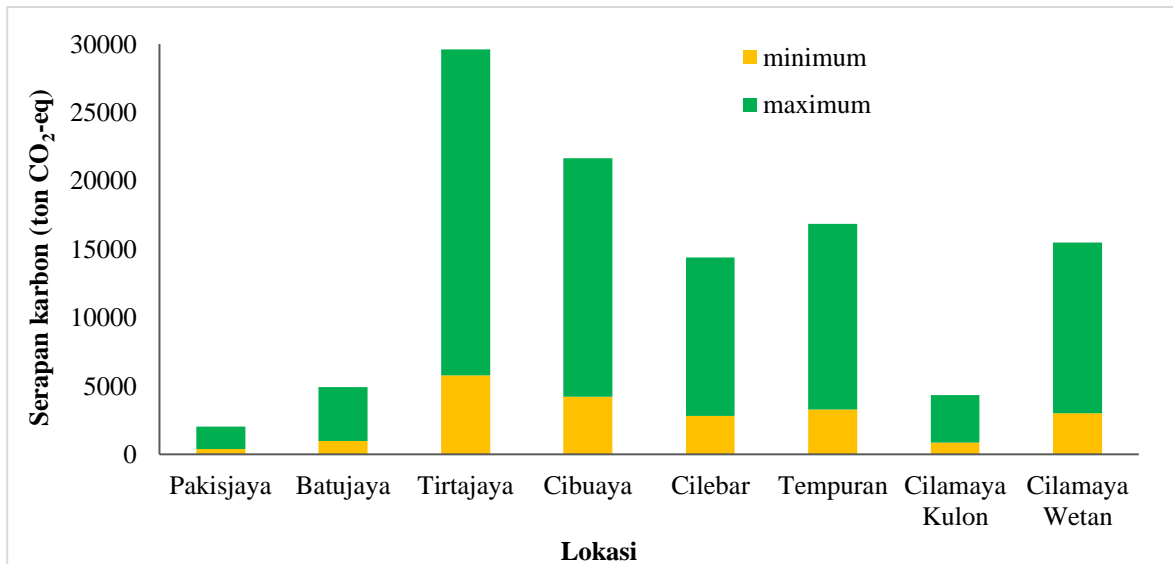
Gambar 3. Kisaran total stok karbon berdasarkan luas vegetasi mangrove di setiap kecamatan di pesisir Kabupaten Karawang.

Berdasarkan nilai stok karbon, maka nilai serapan karbon (CO₂-equivalen) di pesisir Kabupaten Karawang berkisar 50.40 – 208.58 ton CO₂-eq/ha atau secara keseluruhan sebesar 21,266.23 – 88,013.14 ton CO₂-eq. Nilai tersebut diperoleh dari kontribusi tiga spesies utama yaitu *A. marina* sebesar 16.07 – 56.41 ton CO₂-eq ha⁻¹ atau 6,782.39 – 23,802.43 ton CO₂-eq, *R. apiculata* sebesar 21.25 – 90.29 ton CO₂-eq/ha atau 8,966.22 – 38,100.59 ton CO₂-eq, dan *R. mucronata* sebesar 13.08 – 61.88 ton CO₂-eq/ha atau 5,517.62 – 26,110.12 ton CO₂-eq (Tabel 3).

Tabel 3. Total serapan karbon mangrove di pesisir Kabupaten Karawang.

Spesies	Serapan karbon (ton CO ₂ -eq/ha)		Total serapan karbon (ton CO ₂ -eq)	
	minimum	maksimum	minimum	maksimum
<i>A. marina</i>	16.07	56.41	6,782.38	23,802.43
<i>R. apiculata</i>	21.25	90.29	8,966.22	38,100.59
<i>R. mucronata</i>	13.08	61.88	5,517.62	26,110.12
Total	50.40	208.58	21,266.23	88013.14

Seperti halnya pada stok karbon, nilai serapan karbon terbesar juga ditemukan pada tiga kecamatan yaitu Kecamatan Tirtajaya, Cibuyaya, dan Tempuran dengan nilai serapan karbon secara berturut – turut 5,760.57 – 23,840.89 ton CO₂-eq, 4,210.81- 17,427 ton CO₂-eq, dan 3,280.96 – 13,578.67 ton CO₂-eq, sedangkan yang terendah terdapat pada Kecamatan Pakisjaya, Cilamaya Kulon, dan Batujaya dengan total serapan karbon masing – masing sebesar 395.13 – 1,635.28 ton CO₂-eq, 845.19 – 3,497.92 ton CO₂-eq, dan 957.58 – 3,963.05 ton CO₂-eq (Gambar 4)



Gambar 4. Kisaran penyerapan karbon total berdasarkan luas vegetasi mangrove di setiap kecamatan di pesisir Kabupaten Karawang.

Pembahasan

Ekosistem mangrove di pesisir Kabupaten Karawang merupakan area potensial sebagai kawasan mitigasi perubahan iklim. Hal ini karena total stok karbon mangrove yang sangat besar yaitu mencapai 13.75 – 56.89 ton C/ha atau secara keseluruhan sebesar 5,799.88 – 24,003.58 ton C, dan serapan karbon (CO₂-equivalen) berkisar 50.40 – 208.58 ton CO₂-eq/ha atau secara keseluruhan sebesar 21,266.23 – 88,013.14 ton CO₂-eq. Nilai stok dan serapan karbon per hektare di lokasi ini lebih besar dibandingkan dengan stok dan serapan karbon di Muara Gembong, Bekasi dengan nilai stok karbon sebesar 17.6 ton C ha⁻¹ dan serapan karbon sebesar 64.53 ton CO₂-eq/ha (Rachmawati et al., 2014). Selain itu, stok dan serapan karbon di pesisir Karawang lebih kecil bila dibandingkan dengan stok dan serapan karbon di area mangrove Sungai Tallo, Makassar dengan nilai stok karbon sebesar 113.74 ton C ha⁻¹ dan serapan karbon sebesar 417.05 ton CO₂-eq/ha (Rahman et al 2017). Perbedaan nilai stok dan serapan karbon pada mangrove dipengaruhi oleh kerapatan, diameter, dan jenis spesies mangrove (Rahman et al., 2020d). Meski demikian, total stok karbon di pesisir Kabupaten Karawang termasuk sangat besar karena luas lahan ekosistem mangrove yang sangat besar yaitu 421.59 ha.

Rahman (2020) menyatakan bahwa pada kondisi dinamis jenis spesies yang paling berkontribusi dalam penyimpanan karbon adalah dari jenis *Rhizophora* (*R. stylosa*, *R. apiculata*, dan *R. mucronata*), sedangkan yang terendah dari jenis *Nypa* (*N. fruticans*). Selain itu, spesies *R. apiculata* dan *R. mucronata* memiliki laju pertumbuhan diameter yang lebih besar dibandingkan dengan spesies lainnya sehingga laju produksi semai semakin cepat (Rahman et al 2019). Hal inilah yang menyebabkan terjadi perbedaan rasio kerapatan pohon terhadap kerapatan semai yang pada akhirnya mempengaruhi komposisi stok dan serapan karbon pada masing – masing spesies mangrove.

Nopiana et al (2020) melaporkan bahwa di pesisir Kabupaten Karawang terdapat lahan seluas 18.717,58 ha yang merupakan areal potensial untuk kehidupan mangrove. Lahan tersebut tersebar di sepanjang pesisir Kabupaten Karawang mulai dari Kecamatan Pakisjaya hingga Cilamaya Wetan. Berdasarkan hal tersebut, maka dalam upaya peningkatan kontribusi stok dan serapan karbon mangrove melalui rehabilitasi, maka wilayah yang harus menjadi kawasan utama rehabilitasi mangrove adalah desa Segarjaya, Tambaksari dan Sedari, dengan luas lahan potensial masing – masing sebesar 847.59 ha, 2,701.02 ha, dan 4,154.10 ha, sedangkan spesies utama yang harus ditanam adalah *R. apiculata* dan *R. mucronata*. Bengen et al. (2020) menyebutkan bahwa spesies mangrove dari jenis *Rhizophora* memiliki adaptasi yang tinggi terhadap lingkungan perairan sehingga mudah untuk dijadikan bibit rehabilitasi. Selanjutnya, Rahman (2020) melaporkan bahwa spesies *R. apiculata* dan *R. mucronata* memiliki laju pertumbuhan diameter yang lebih cepat dibandingkan spesies lainnya seperti *R. stylosa*, dan *S. alba*. Perbedaan laju pertumbuhan diameter terjadi karena adanya perbedaan habitat terutama substrat. Rahman et al. (2014) menyebutkan bahwa *R. apiculata* dan *R. mucronata* hidup pada habitat bersubstrat lumpur atau lumpur berpasir sehingga memiliki kemampuan tumbuh yang lebih cepat dibandingkan spesies *R. stylosa* dan *S. alba* yang dominan hidup pada habitat bersubstrat pasir berlumpur bahkan substrat pasir.

Selain potensi karbon pada tegakan mangrove, menurut Donato et al (2012) dan Alongi (2014) bahwa ekosistem mangrove juga menyimpan karbon pada substrat yang jumlahnya bahkan tiga kali lebih besar dibandingkan yang terdapat pada tegakan pohon. Akumulasi simpanan karbon pada substrat dipengaruhi oleh laju produksi serasah mangrove yang nilainya mencapai 3.45 – 56.01 mg/m²/hari 0.01 – 0.2 ton/ha/tahun (Aida et al 2016; Watumlawar et al 2019). Kontribusi terbesar laju produksi serasah tersebut berasal dari spesies *R. apiculata*, *R. mucronata*, dan *R. stylosa* (Rahman et al 2020a).

Akumulasi stok karbon baik pada tegakan (*above-ground carbon*) maupun pada substrat mangrove (*soil carbon*) jauh lebih besar dibandingkan dengan potensi emisi karbon yang diemisikan ke atmosfer melalui degradasi serasah yang nilainya hanya mencapai 0.06 – 0.14 ton C/ha/tahun (Rahman et al 2018; 2020b; 2020c).

SIMPULAN

Total stok karbon di pesisir Kabupaten Karawang berkisar 13.75 – 56.89 ton C ha⁻¹ atau secara keseluruhan sebesar 5,799.88 – 24,003.58 ton C. Nilai tersebut, diperoleh dari kontribusi tiga spesies utama yaitu *A. marina* sebesar 4.38 – 15.38 ton C/ha, *R. apiculata* sebesar 5.80 – 24.63 ton C/ha dan *R. mucronata* sebesar 3.57 – 16.88 ton C/ha. Nilai serapan karbon (CO₂-equivalen) di pesisir Kabupaten Karawang berkisar 50.40 – 208.58 ton CO₂-eq/ha atau secara keseluruhan sebesar 21,266.23 – 88,013.14 ton CO₂-eq. Nilai tersebut diperoleh dari kontribusi tiga spesies utama yaitu *A. marina* sebesar 16.07 – 56.41 ton CO₂-eq/ha, *R. apiculata* sebesar 21.25 – 90.29 ton CO₂-eq/ha, dan *R. mucronata* sebesar 13.08 – 61.88 ton CO₂-eq/ha.

DAFTAR PUSTAKA

- Adame MF, Santini NS, Tovilla C, Lule AV, Castro L, Guevara M. 2015 Carbon stock and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. *Biogeosciences*. 12: 3805-3818. doi:10.5194/bg-12-3805-2015.
- Aida GR, Wardiatno Y, Fahrudin A, Kamal MM. 2016 Model dinamik nilai ekonomi ekosistem mangrove di wilayah pesisir Tangerang, Provinsi Banten. *Bonorowo Wetlands*. 6(1): 26-42
- Alongi DM. 2014 Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review Marine Science*. 6: 195-219.
- Badjeck MC, Allison EH, Halls AS, Dulvy NK. 2010. Impacts of climate variability and change on fishery-based livelihoods. *Marine Policy*. 34: 375-383.

- Bengen DG, Yonvitner, Rahman. 2020. Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove. IPB Press. Bogor. 76p.
- Brander K. 2010 Impacts of climate change on fisheries. *Journal of Marine Systems*. 79: 389-402.
- Cheung WWL, Lam VWY, Sarmiento JL, Kearney K, Watson R, Pauly D. 2009 Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenario. *Fish and Fisheries*. DOI 10.1111/j.1467-2979.2008.00315.x.
- Comley BWT, McGuinness KA. 2005 Above-and below-ground biomass, and allometry of four common northern Australian mangroves. *Aust. J. Bot*, 53, 431–436.
- Donato DC, Kauffman JB, Mackenzie RA, Ainsworth A, Pflieger AZ. 2012 Whole-island carbon stock in tropical pasific: Implications for mangrove conservation and upland restoration. *Journal of Enviromental Management*. 97:89-96.
- Drinkwater KF, Beaugrand G, Kaeriyama M, Kid S, Ottersen G, Perry RI, Pörtner HO, Polovina JJ, Takasuka A. 2010 On the processes linking climate to ecosystem changes. *Journal of Marine Systems*. 79(3): 374-388.
- Fromard F, Puig H, Mougou E, Betoulle JL, Cadamuro L. 1998 Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. *Oecologia*. 39-53.
- Hairiah K, Rahayu S. 2007 Pengukuran Karbon Tersimpan di Berbagai Macam Penggunaan Lahan. Malang (ID): World Agroforestry Centre.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2001 Climate Change 2001 : The Scientific Basis. Cambridge (GB): Cambridge University Press.
- Jones PD. 2012 Green house effect and climate data. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. 1-17. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.05365-3>
- Nopiana M, Yulianda F, Sulistiono, Fahrudin A. 2020 Condition of shore and mangrove area in the coastal area of Karawang Regency, Indonesia. *AAAL Bioflux*. 13(2): 553 – 569.
- Ong JE, Gong WK, Wong CH. 2004 Allometry and partitioning of the mangrove *Rhizophora apiculata*. *Forest Ecology and Management*, 188: 395–408
- Rachmawati D, Setyobudiandi I, Hilmi E. 2014 Potensi estimasi karbon tersimpan pada vegetasi mangrove di wilayah pesisir Muara Gembong, Kabupaten Bekasi. *Omni-Akuatika*. 13(19): 85-91. [in indonesian]
- Rahman, Yanuarita D, Nurdin N. 2014 Struktur komunitas mangrove di Kabupaten Muna. *Torani – Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*. 24 (2): 29 – 36.
- Rahman, Efendi H, Rusmana I. 2017. Estimation of stock and carbon absorption of mangroves in Tallo River, Makassar. *J. For. Scie*. 11: 19-28.
- Rahman, Yulianda F, Effendi H, Rusmana I, Wardiatno Y. 2018. Fluks gas rumah kaca CO₂, CH₄, dan N₂O pada lahan ekosistem mangrove di Sungai Tallo Makassar. *Jurnal Biologi Tropis*. 18(2): 149-158
- Rahman, Yulianda F, Rusmana I, Wardiatno Y. 2019. Production ratio of seedlings and density status of mangrove ecosystem in coastal areas of Indonesia. *Advances in Environmental Biology*. 13(6): 13-20.
- Rahman. 2020 Pengelolaan ekosistem mangrove berbasis dinamika stok karbon dan fluks gas rumah kaca di pesisir Kabupaten Muna Barat. PhD Dissertation Bogor (ID) IPB University. 110pp [in indonesian]
- Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F, Rusmana I. 2020a. Produksi serasah musiman pada berbagai spesies mangrove di pesisir Kabupaten Muna Barat – Sulawesi Tenggara. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 25(3): 325-335.
- Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F, Rusmana I. 2020b. Seasonal fluxes of CO₂, CH₄, and N₂O greenhouse gases in various mangrove species on the coast of West Muna Regency - Southeast Sulawesi. *Plant Archives*. 20(2): 4301 – 4311.

- Rahman, Effendi H, Wardiatno Y, Yulianda F, Rusmana I. 2020c. Pengelolaan ruang terbuka hijau berbasis ekosistem mangrove sebagai mitigasi gas rumah kaca di kawasan Sungai Tallo, Makassar. *JPSL* 10(3): 320 – 328. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.10.2.320-328>.
- Rahman, Wardiatno Y, Yulianda F., Rusmana I., Bengen D.G. 2020d. Metode dan Analisis Studi Ekosistem Mangrove. IPB Press. 124p.
- Rahman, Effendi H, Wardiatno Y, Yulianda F, Rusmana I. 2020e. Sebaran spesies dan status kerapatan ekosistem mangrove di pesisir Kabupaten Muna Barat. *JPSL* 10(2): 320 – 328.
- Rahman, Maryono, Sigiro ON. 2023. What is the true carbon fraction value of mangrove biomass?. *Malaysian Journal of Sciences* 42(2): 67 – 72.
- Rahman, Ceanturi A, Tuahatu JW, Lokollo FF, Supusepa J, Hulopi M, Permatahati YI, Lewerissa YA, Wardiatno Y. 2024a. Mangrove ecosystems in Southeast Asia region: Mangrove extent, blue carbon potential, and CO₂ emission in 1996 – 2020. *Science of the Total Environment*. 915: 1 – 12.
- Rahman, Lokollo FF, Manuputty GD, Hukubun RD, Krisye, Wawo M, Wardiatno Y. 2024b. A review on the biodiversity and conservation of mangrove ecosystems in Indonesia. *Biodiversity and Conservation* 34(2): 1 – 29.
- Wang H., Zhou S., Li X., Liu H., Chi D., Xu K., 2016 The influence of climate change and human activities on ecosystem service value. *Ecological Engineering*. 87: 224-239.
- Watumlawar Y., Sondak C.F.A., Schadaw J.N.W., Mamujaja J.M., Darwisito S., Andaki J., 2019 Produksi dan laju dekomposisi serasah mangrove (*Sonneratia* sp.) di kawasan hutan mangrove Bahowo, Kelurahan Tongkaina Kecamatan Bunaken Sulawesi Utara. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*. 1(1): 1-6.