JCDS

JOURNAL OF COASTAL AND DEEP SEA, 2 (1): 14-25
E-ISSN: 3031-240X, P-ISSN: 3031-593X
https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/jcds

Model Dinamika Estimasi Biomassa dan Stok Karbon Tegakan Atas *Sonneratia alba* di pesisir Kabupaten Muna Barat

Dinamic Estimation Models of Above-ground Biomass and Carbon Stock of Sonneratia alba on the Coast of West Muna Regency

Rahman[a*], Juliana Natan[b], Fahrul R Fakaubun[a],Junita Supusepa[a], Frijona F. Lokollo[a], Mahriyana Hulopi[b]

[a] Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Kec. Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku, Indonesia.
[b] Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Kec. Teluk Ambon, Kota Ambon, Maluku, Indonesia.

Article Info:
Received: 23 – 05 - 2024
in revised form:
27 – 05 - 2024
Accepted: 04 – 06 - 2024
Available Online: 05 – 06 - 2024

Kata kunci:
Biomassa, stok karbon, model dinamik, *Sonneratia alba*

Keywords:
Biomass, carbon stock, dynamic models, *Sonneratia alba*

Corresponding Author:
*E-mail:
rahmanrajaali@gmail.com

DOI :
https://doi.org/10.30598/jcds.v2i1.13369

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan model dinamika estimasi biomassa dan stok karbon tegakan atas pada spesies *Sonneratia alba* di Pesisir Kabupaten Muna Barat. Penelitian dilakukan melalui pengukuran laju pertumbuhan diameter selama tahun 2019 dan merekonstruksi beberapa model allometrik estimasi biomassa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model dinamika estimasi biomassa, stok karbon, dan CO_2-equivalen pada spesies *Sonneratia alba* yaitu Bt = 0,186 $(0,031t + 0,587)^{2,46}$, Ct = 0.087 $(0,031t + 0,587)^{2.46}$, dan CO_2t = 0.319 $(0,031t + 0,587)^{2.46}$. Model tersebut memiliki nilai yang relevan dengan model estimasi biomassa dari peneliti lainnya yaitu B = 0,251 ρ $(D)^{2,46}$ dengan nilai ρ = 0,74 g/cm^3. Hasil perhitungan total biomass, stok karbon dan serapan karbon pada Sonneratia alba (d = 20,46 cm, K = 209 pohon/ha,umur = 50 tahun) yaitu masing – masing 308,27 kg/pohon, 143,37 kgC/pohon, dan 525,68 kgCO_2/pohon atau 64,43 ton/ha, 30,16 tonC/ha, dan 110,58 tonCO_2/ha.

Abstract: *This study aims to formulate a dynamic biomass estimation model and carbon stock of upper stands in Sonneratia alba species on the West Muna Regency Coast. The study measured diameter growth rates during 2019 and reconstructed several allometric biomass estimation models. The results showed that the dynamic model of estimating biomass, carbon stock, and CO_2-equivalent in Sonneratia alba species was Bt = 0.186 (0.031t + 0.587)2.46, Ct = 0.087 (0.031t + 0.587)2.46, and CO_2t = 0.319 (0.031t + 0.587)2.46. The model has values relevant to biomass estimation models from other researchers, namely B = 0.251 ρ (D) 2.46, with a value of ρ = 0.74 g/cm^3. The calculation of total biomass, carbon stock, and carbon sequestration in Sonneratia alba (d = 20.46 cm, K = 209 trees/ha, age = 50 years) are respectively 308.27 kg/tree, 143.37 kg C/tree, and 525.68 kg CO_2/tree or 64.43 tons/ha, 30.16 tons C/ha, and 110.58 tons CO_2/ha, respectively.*

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License. Copyright © 2024 to Authors

PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove merupakan sumberdaya alam tropika yang memiliki banyak manfaat baik aspek ekologi misalnya sebagai tempat mencari makanan, memijah dan pengasuhan bagi biota perairan yang berasosiasi dengan mangrove maupun aspek ekonomi misalnya produksi kayu dan bahan bangunan atau obat-obatan berbahan dasar mangrove (Bengen *et al.,* 2022; Rahman *et al.,* 2020a).

Peranan penting ekosistem mangrove bagi kehidupan dapat diketahui dari banyaknya makhluk hidup, baik yang hidup di perairan, di atas lahan maupun tajuk-tajuk pohon mangrove serta ketergantungan manusia terhadap ekosistem tersebut. Selain fungsi-fungsi tersebut, ekosistem mangrove juga memiliki kemampuan untuk menyerap gas karbondioksida sehingga dapat mengurangi emisi gas karbon di atmosfer (Barni *et al.,* 2016), dengan kemampuan serapan mencapai 2263,42 ton CO_2e/ha (Rahman *et al.,* 2024), serta empat kali lebih banyak menyimpan karbon dibandingkan ekosistem lainnya (Donato *et al.,* 2012). Rosot karbondioksida dan pengurangan emisi karbon oleh mangrove berhubungan erat dengan biomassa tegakan yang dipengaruhi oleh pertumbuhan diameter dan tinggi mangrove (Komiyama *et al.,* 2000). Biomassa dan rosot karbon pada mangrove merupakan salah satu manfaat mangrove di luar potensi biofisik lainnya, seperti penyerap dan penyimpan karbon serta biomassa guna pengurangan kadar CO_2 di udara (Rahman *et al.,* 2020b) yang termasuk gas rumah kaca (Rahman *et al.,* 2020c). Penyimpanan karbondioksida dan akumulasi emisi karbon pada ekosistem mangrove menunjukkan adanya penampungan karbon pada tegakan pohon mangrove (Charoenjit, 2013) dengan variasi simpanan karbon yaitu 102 ton/ha, 296 ton/ha, 421,1 ton/ha hingga mecapai 454, 92 ton/ha (Adame *et al.,* 2015; Alemaheyu *et al.,* 2014; Dung *et al.*, 2016; Rahman *et al.,* 2017). Penyerapan dan reduksi gas CO_2 di atmosfir berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim atau pemanasan global.

Selain menyimpan karbon pada tegakan pohon, ekosistem mangrove juga banyak menyimpan karbon di tanah melalui penguburan sisa-sisa dekomposisi bahan organik (Murdiyarso *et al.,* 2015) dan serasah mangrove yang terus terakumulasi bahkan mencapai tiga kali lipat dibanding simpanan karbon pada tegakan pohon (Adame, 2015; Adame *et al.,* 2017; Rahman *et al.,* 2020d). Akumulasi karbon terjadi pada mangrove estuari seperti delta sungai (Stringer *et al.,* 2015), mangrove teluk (Wang *et al.,* 2013), mangrove perairan asin seperti di kawasan pulau-pulau kecil (Donato *et al.,* 2012; Quinatana-Alkantara, 2014) dan mangrove hasil rehabilitasi atau penanaman khusus (Kridiborworn *et al.,* 2012).

Ekosistem mangrove terus mengalami dinamika terutama dengan adanya produksi semai. Semai mangrove mengalami pertumbuhan terus - menerus sehingga semai berubah menjadi tegakan pohon dan dalam kurun waktu tertentu kemudian kembali bereproduksi. Faktor – faktor tersebut menjadi pemicu terjadinya dinamika kerapatan mangrove dan biomassa serta stok karbon. Berdasarkan hal tersebut diperlukan model atau pendekatan yang dinamik agar dapat dilakukan estimasi biomassa dan stok karbon yang tepat.

Salah satu habitat ekosistem mangrove yang masih alami adalah ekosistem mangrove di pesisir Kabupaten Muna Barat – Sulawesi Tenggara. Rahman *et al.* (2014) melaporkan bahwa spesies mangrove dominan di wilayah ini adalah *Sonneratia alba* dengan kerapatan 750 – 1000 pohon/ha dan termasuk pada kategori sedang (Rahman *et al.*, 2019). Penelitian terkait model estimasi biomassa pada spesies *Sonneratia alba* telah dilakukan oleh Komiyama *et al.* (2005); Kauffman dan Donato (2012); dan Kusmana *et al.* (2018). Model – model pada penelitian tersebut masih bersifat statis sehingga belum dapat digunakan dalam pendugaan biomassa pada waktu – waktu tertentu. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menduga biomassa, stok karbon, dan serapan karbon dengan model dinamika berbasis laju pertumbuhan diameter semai.

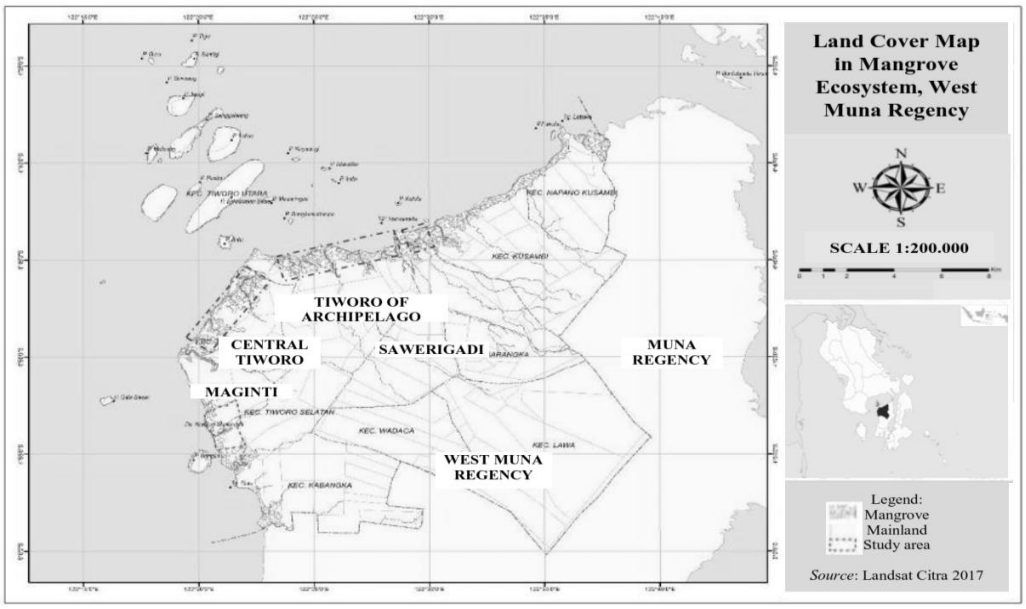
METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada Januari 2019 – Desember 2019 di empat wilayah yang merupakan habitat ekosistem mangrove. Wilayah tersebut yaitu Kecamatan Maginti (stasiun I), Kecamatan Tiworo Tengah (stasiun II), Kecamatan Tiworo Kepulauan (stasiun III), dan Kecamatan Sawerigadi (stasiun IV), Kabupaten Muna Barat (Gambar 1).

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan selama kegiatan penelitian adalah GPS, rol meter, tali rafia, kayu patok, gunting, kamera digital, kantong plastik, label, meteran kain, dan alat tulis.



Gambar 1. Lokasi penelitian: I = Kecamatan Maginti, II = Kecamatan Tiworo Tengah, III = Kecamatan Tiworo Kepulauan, IV = Kecamatan Sawerigadi

Prosedur Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam penyusunan model dinamika estimasi biomassa, stok, dan serapan karbon adalah laju pertumbuhan diameter semai. Laju pertumbuhan yang menjadi obyek pengamatan dalam penelitian ini adalah pertumbuhan diameter lingkar batang (D) dengan pertimbangan bahwa parameter pertumbuhan tersebut sering digunakan dalam menduga nilai biomassa pada mangrove. Pengukuran diameter mangrove dilakukan pada mangrove kategori semai. Nilai diameter pada pengukuran awal pada mangrove dianggap sebagai D_0 dan perubahannya pada tiap bulan dianggap sebagai D_t. Pengukuran laju pertumbuhan diameter dilakukan pada 30 subsampel yang diamati selama 12 bulan.

Selain itu, sampling data diameter pohon dilakukan dengan menggunakan plot 10 x 10 m^2 yang diletakkan pada transek garis sepanjang 100 m (Rahman *et al.,* 2017). Total transek garis yaitu 30 dengan rincian 6, 11, 9, dan 4 pada masing – masing stasiun I, II, III, dan IV, sehingga total plot yang digunakan adalah 300 plot. Selanjutnya mengukur diameter pohon pada masing – masing spesies mangrove (*Diameter at Breast Height* = 130 cm). Pengambilan data ini dimaksudkan untuk mengestimasi kerapatan, biomassa, stok dan serapan karbon pada beberapa kelas diameter dan membandingkan hasilnya dengan nilai estimasi biomassa, stok dan serapan karbon dengan menggunakan model terbaik yang terpilih. Perbandingan hasil perhitungan didasarkan pada kelas umur pohon dan simulasi umur semai.

Analisis Data

Model Pertumbuhan Diameter Mangrove

Untuk mengetahui pertumbuhan diameter mangrove dalam satu satuan waktu, dapat dimisalkan diameter mangrove diawal pengukuran = D_0, diameter mangrove setelah satuan waktu tertentu = D_t, dan t = waktu, maka nilai pertumbuhan diameter mangrove (ΔD) dapat dihitung sebagai $\Delta D = D_t - D_0$. Sehingga rata – rata laju pertumbuhan diameter semai tiap spesies mangrove dari masing – masing sub sampel pada tiap t tertentu dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$vD = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta D}{n} \qquad (1)$$

Keterangan:

vD = rata – rata laju pertumbuhan diameter semai tiap satuan waktu ($D_t - D_{t-1.}$)

ΔD = pertumbuhan diameter tiap sampel selama satuan waktu

n = jumlah sampel

Adapun model persamaan umum yang dibuat untuk mendapatkan model pertumbuhan diameter adalah sebagai berikut:

Model polinomial : $Y = ax^2 + bx + c$ (2)

Model regresi linier : $Y = ax + b$ (3)
Model eksponensial : $Y = ae^{bx}$ (4)

Pemilihan model terbaik dilakukan dengan membandingkan nilai: *Root Mean Square Error* (RMSE), koefisien determinasi (R^2adj), *mean prediction error* (MPE), dan *total relative error* (TRE). Nilai – nilai tersebut diperoleh berdasarkan persamaan berikut (Parresol, 1999; Pinheiro & Bates, 2006; Zeng, 2015):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(yi-\hat{y}i)^2}{n}} \quad (5)$$

$$R^2adj = 1 - \frac{(n-1)\sum_{i=1}^{n}(yi-\hat{y}i)^2}{(n-p)\sum_{i=1}^{n}(yi-\bar{y}i)^2} \quad (6)$$

$$MPE = ta\frac{(SEE/\bar{y}i)}{\sqrt{n}} \times 100 \quad (7)$$

$$TRE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(yi-\hat{y}i)}{\sum_{i=1}^{n}\hat{y}i} \times 100 \quad (8)$$

Dimana *yi, ŷi, ȳi* masing – masing adalah nilai yang diamati, nilai yang diestimasi, dan rata – rata diameter; dan n adalah jumlah sampel. Model terbaik dipilih berdasarkan nilai RMSE, MPE, dan TRE terkecil (Zeng *et al.,* 2017) serta nilai R^2adj terbesar (Burhan & Danerson, 2002; Tiryana *et al.,* 2011).

Konstruksi Model dinamika Estimasi Biomassa

Model dinamika estimasi biomassa dibangun berdasarkan pengembangan persamaan allometrik yang telah dilaporkan sebelumnya. Pembentukan model dinamika dilakukan dengan menyubstitusi nilai diameter (D statis) dengan persamaan dinamika pertumbuhan diameter mangrove (Dt). Secara umum proses konstruksi model estimasi biomassa dapat disajikan pada tabel 1 berikut:

Tabel 1 Model allometrik spesies *Sonnertaia alba*

Model	Model Allometrik Statis	Sumber	Model Allometrik Dinamik
1	$B = 0.299(D)^{2.30}$	Kusmana et al., (2018)	$Bt = 0.299\ (Dt)^{2.30}$
2	$B = 0{,}384\ \rho\ (D)^{2,10}$	Kaufman dan Donato (2012)	$Bt = 0{,}384\ \rho\ (Dt)^{2,10}$
3	$B = 0{,}251\ \rho\ (D)^{2,46}$	Komiyama et al., (2005)	$Bt = 0{,}251\ \rho\ (Dt)^{2,46}$

Konstruksi Model Estimasi Stok dan Serapan Karbon

Model dinamika estimasi stok karbon diperoleh dari hasil perkalian model dinamika estimasi biomassa terhadap nilai fraksi karbon. Besarnya nilai fraksi karbon mengacu pada Rahman *et al.* (2023) yaitu sebesar 0,4682. Adapun model estimasi serapan karbon (CO_2-equivalent) diperoleh melalui perkalian model dinamika estimasi stok karbon terhadap

perbandingan nilai massa CO_2 dan C. Dengan demikian, model dinamika estimasi stok karbon dan serapan karbon dapat dikembangkan dari model allometrik statis dalam pendugaan biomassa. Pemilihan model terbaik didasarkan pada persentase selisih antara hasil perhitungan biomassa, stok, dan serapan karbon dengan menggunakan model dinamik terhadap model – model allometrik yang telah ditemukan oleh peneliti lainnya. Proses rekonstruksi model allometrik dinamis estimasi stok dan serapan karbon dapat disajikan pada tabel 2 berikut:

Tabel 2 Model dinamik estimasi biomass, stok dan serapan karbon *Sonneratia alba.*

Model	Biomassa (B)	Stok Karbon (C)	CO_2-equivalent)
1	$B = 0.299(Dt)^{2.30}$	$Ct = 0.140\ (Dt)^{2.30}$	$CO_2t = 0.531\ (Dt)^{2.30}$
2	$B = 0{,}384\ \rho\ (Dt)^{2,10}$	$Ct = 0.133\ (Dt)^{2.10}$	$CO_2t = 0.489\ (Dt)^{2.10}$
3	$B = 0{,}251\ \rho\ (Dt)^{2,46}$	$Ct = 0.087\ (Dt)^{2.46}$	$CO_2t = 0.319\ (Dt)^{2.46}$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju Pertumbuhan Diameter Mangrove

Berdasarkan hasil pengukuran laju pertumbuhan diameter semai didapatkan laju pertumbuhan diameter semai *Sonneratia alba* adalah 0,037 ± 0,0142 cm/bulan (Tabel 3). Laju tersebut relatif lambat dibandingkan laju pertumbuhan spesies lain yang mencapai hingga 0,132 cm/bulan. Hal ini disebabkan oleh habitat *Sonneratia alba* yang terletak pada daerah dengan substrat pasir yang kandungan unsur haranya sangat rendah (Bengen *et al.,* 2022). Laju pertumbuhan tertinggi terjadi pada bulan Januari dan Februari dengan nilai masing – masing 0,066 cm dan 0,060 cm, sedangkan laju terendah terjadi pada bulan September dan Desember dengan nilai yang sama yaitu 0,018 cm. Lebih lanjut hasil pengukuran DBH *Sonneratia alba* pada stasiun I, II, III, dan IV yaitu 21,34 cm, 19, 23 cm, 20,15 cm, dan 21,11 cm atau dengan rata – rata 20,46 cm. Adapun nilai kerapatannya yaitu 156 pohon/ha pada stasiun I, 162 pohon/ha pada stasiun II, 218 pohon/ha pada stasiun III, dan 302 pohon/ha pada stasiun IV (Tabel 4).

Tabel 3 Rata – rata laju pertumbuhan diameter semai *Sonneratia alba*

Waktu (bulan)	pertumbuhan diameter (cm)
Januari	0,066
Februari	0,060
Maret	0,048
April	0,038
Mei	0,021
Juni	0,036
Juli	0,022
Agustus	0,026
September	0,018
Oktober	0,027
Nopember	0,018
Desember	0,022
Rerata	**0,037**

Tabel 4 Rata – rata kerapatan dan DBH *Sonneratia alba*

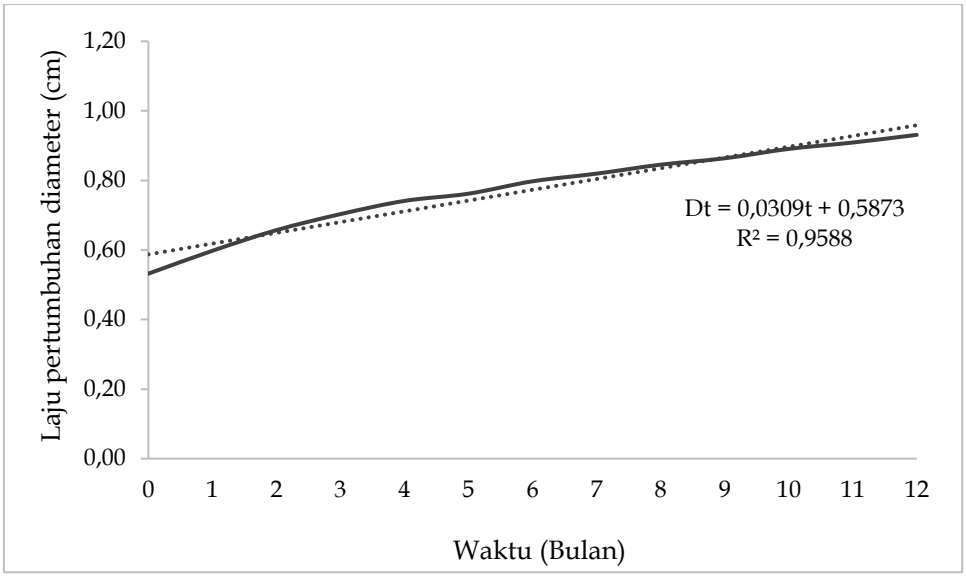
Stasiun	Kerapatan (pohon/ha)	DBH (cm)
I	156	21,34
II	162	19,23
III	218	20,15
IV	302	21,11
Rerata	209	20,46

Model Dinamika Pertumbuhan Diameter Mangrove

Secara umum, dari tiga model yang dianalisis menunjukkan bahwa parameter waktu (t) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap laju pertumbuhan diameter mangrove dengan nilai R^2adj: > 99% pada model 1, >95% pada model 2, dan >92% pada model 3 (Tabel 5). Meskipun model 1 memiliki nilai koefisien korelasi yang besar (R^2adj: > 99%), namun model 2 terpilih sebagai model dengan performa terbaik karena memiliki nilai RMSE, MPE, dan TRE yang terkecil dengan nilai masing – masing 0,0005 cm, 1,19% dan 6,15% dibandingkan dengan model 1 dan 3 dengan nilai RMSE, MPE, dan TRE yaitu masing – masing 0,0007 cm, 1,34%, dan 6,78%, pada model 1, dan 0,0008 cm, 2,35%, dan 7,12%. Model dengan performa terbaik menunjukkan bahwa parameter waktu memiliki pengaruh yang signifikan dalam menduga laju pertumbuhan diameter semai *Sonneratia alba.* Model terbaik pertumbuhan diameter semai *Sonneratia alba* adalah Dt = 0,031t + 0,587 (Gambar 2).

Tabel 5 Model – model pertumbuhan diameter *Sonneratia alba*

Variabel	Model	Koefisien		P-value	RMSE	R^2adj	MPE (%)	TRE (%)
t (waktu = bulan)	1	a	-0,002	<0,0001	0,0007	0,9938	1,34	6,78
		b	0,052	<0,0001				
		c	0,548	<0,0001				
	2	**a**	**0,031**	**<0,0001**	**0,0005**	**0,9588**	**1,19**	**6,15**
		b	**0,587**	**<0,0001**				
	3	a	0,594	<0,0001	0,0008	0,9211	2,35	7,12
		b	0,042	<0,0001				



Gambar 2. Model pertumbuhan diameter semai *Sonneratia alba*

Model Dinamika Estimasi Biomassa, Stok Karbon, dan CO_2-e

Berdasarkan model dinamika pertumbuhan diameter mangrove yang telah terbentuk, maka model estimasi biomassa, stok karbon, dan serapan karbon (CO_2-e) *Sonneratia alba* dapat disajikan pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6 Model – model dinamika estimasi biomassa, stok, dan serapan karbon *Sonneratia alba*

Model	Biomassa (B)	Stok Karbon (C)	Serapan karbon (CO_2-e)
1	$Bt = 0.299(0{,}031t + 0{,}587)^{2.30}$	$Ct = 0.140\ (0{,}031t + 0{,}587^{2.30}$	$CO_2t = 0.531\ (0{,}031t + 0{,}587)^{2.30}$
2	$Bt = 0{,}284\ (0{,}031t + 0{,}587)^{2{,}10}$	$Ct = 0.133\ (0{,}031t + 0{,}587)^{2.10}$	$CO_2t = 0.489\ (0{,}031t + 0{,}587)^{2.10}$
3	$Bt = 0{,}186\ (0{,}031t + 0{,}587)^{2{,}46}$	$Ct = 0.087\ (0{,}031t + 0{,}587)^{2.46}$	$CO_2t = 0.319\ (0{,}031t + 0{,}587^{2.46}$

Keterangan: Dt = diameter pada saat t, dengan t = waktu (bulan)

Tabel 7 menunjukkan hasil perhitungan biomassa, stok, dan serapan karbon dengan beberapa model allometrik. Hasil perhitungan biomassa pada spesies *Sonneratia alba* dengan persamaan Kusmana *et al,* (2018); Kauffman dan Donato (2012); dan Komiyama *et al.* (2005) yaitu 309,57 kg, 160,78 kg, dan 312,13 kg, sedangkan biomassa dengan model dinamika yaitu 304,13 kg pada model 1, 158,20 kg pada model 2, dan 308,27 kg pada model 3.

Tabel 7 Model dinamika terpilih estimasi biomassa, stok, dan serapan karbon mangrove

Sumber - Model	Biomassa (kg)	Stok karbon (kg)	CO_2-equivalen (kg)	Perbedaan (%)
Kusmana *et al.* (2018)	309,57	144,91	531,33	0,89
Olah data peneltian – 1	304,13	142,36	522,00	
Kauffman dan Donato, (2012)	160,78	75,26	275,95	0,81
Olah data peneltian – 2	158,20	74,05	271,52	

Komiyama *et al.* (2005)	312,13	146,11	535,74	0,62
Olah data penelitian – 3	308,27	143,37	525,68	

Model allometrik dinamika estimasi biomassa, stok, dan serapan karbon terbaik spesies *Sonneratia alba* yaitu B*t* = 0,186 $(0{,}031t + 0{,}587)^{2{,}46}$, C*t* = 0.087 $(0{,}031t + 0{,}587)^{2.46}$, dan CO_2t = 0.319 $(0{,}031t + 0{,}587^{2.46}$. Model tersebut adalah pengembangan dari Komiyama *et al.* (2005) dan lebih baik dibandingkan dengan model dinamika dari pengembangan model Kusmana *et al*. (2018), dan Kauffman dan Donato (2012). Hal ini karena nilai perbedaan hasil perhitungan dengan model dinamika terhadap model Komiyama *et al*. (2005) lebih rendah dibandingkan perbedaan nilai terhadap Kusmana *et al.* (2018) dan Kauffman dan Donato (2012) dengan perbedaan nilai dari masing – masing yaitu 0,62%, 0,89%, dan 0,81%.

Berdasarkan perhitungan dengan model terbaik, maka total biomassa, stok karbon, dan CO_2-e *Sonneratia alba* (d = 20,46 cm, kerapatan = 209 pohon/ha, umur = 50 tahun) yaitu 64,43 ton/ha, 30,16 tonC/ha, dan 110,58 tonCO_2/ha. Stok karbon tersebut lebih rendah dibandingkan laporan Adame *et al.* (2015); Dung *et al.* (2016); Benson *et al.* (2017); dan Rahman *et al*. (2017) dengan total stok karbon yaitu 102 ton/ha, 296 ton/ha, 421,1 ton/ha, dan 454, 92 ton/ha.

Hasil perhitungan biomassa dengan model dinamika dari pengembangan Komiyama *et al*. (2005) memiliki nilai yang hampir sama dengan perhitungan dari pengembangan model Kusmana *et al*. (2018) yaitu masing – masing 308,27 kg dan 304,13 kg. Hal ini menunjukkan bahwa model allometrik estimasi biomassa *Sonneratia alba* oleh Kusmana *et al*. (2018) dan Komiyama *et al*. (2005) memiliki tingkat kepercayaan yang lebih besar dibandingkan model lainnya dengan nilai koefisien determinasi (r^2) untuk model estimasi biomassa *Sonneratia alba* yaitu 0,98 dengan jumlah sampel (n = 104) (Komiyama *et al.,* 2005) dan 0,95 (n = 30) (Kusmana *et al.,* 2018). Analisis model dengan jumlah sampel yang besar menghasilkan model estimasi biomassa yang lebih akurat dengan nilai koefisien determiasi (r^2) yan besar pula. Hal ini sejalan dengan hasil estimasi biomassa menggunakan model Komiyama *et al*. (2005) yang memiliki nilai relatif sama dengan estimasi menggunakan model dinamika dengan pendekatan waktu (t).

SIMPULAN

Model dinamika estimasi biomassa, stok karbon, dan CO_2-e pada spesies *Sonneratia alba* yaitu B*t* = 0,186 $(0{,}031t + 0{,}587)^{2{,}46}$, C*t* = 0.087 $(0{,}031t + 0{,}587)^{2.46}$, dan CO_2t = 0.319 $(0{,}031t + 0{,}587)^{2.46}$. Model tersebut memiliki nilai yang relevan dengan model estimasi biomassa dari peneliti lainnya itu B = 0,251 ρ $(D)^{2{,}46}$ dengan nilai ρ = 0,74 g/cm^3. Hasil perhitungan total biomassa, stok karbon, dan serapan karbon pada *Sonneratia alba* (d = 20,46 cm, K = 209 pohon/ha,umur = 50 tahun) yaitu yaitu 308,27 kg/pohon, 143,37 kgC/pohon, dan 525,68 kgCO_2/pohon atau yaitu 64,43 ton/ha, 30,16 tonC/ha, dan 110,58 tonCO_2/ha.

DAFTAR PUSTAKA

Adame MF., Santini NS., Tovilla C., Vázquez-Lule A., Castro L., Guevara M. 2015. Carbon stocks and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. *Biogeosciences*, 12(12): 3805-3818. https://doi.org/10.5194/bg-12-3805-2015

Adame MF., Cherian S., Reef R., Stewart-Koster B. 2017. Mangrove root biomass and the uncertainty of belowground carbon estimations. *Forest ecology and management*, 403: 52-60. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.08.016

Alemayehu F., Onwonga R., James KM., Wasonga O. 2014. Assessment of Mangrove Covers Change and Biomass in Mida creek, Kenya. *Open Journal of Forestry*, 4(4): 398-413. http://dx.doi.org/10.4236/ojf.2014.44045

Alongi DM. 2014. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual review of marine science*, 6: 195-219. https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020

Alongi DM., Mukhopadhyay SK. 2015. Contribution of mangroves to coastal carbon cycling in low latitude seas. *Agricultural and forest meteorology*, 213: 266-272. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.10.005

Barni PE., Manzi AO., Condé TM., Barbosa RI., Fearnside PM. 2016. Spatial distribution of forest biomass in Brazil's state of Roraima, northern Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 377: 170-181. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.07.010

Bengen DG., Yonvitner, Rahman. 2022. Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove. *IPB Press*. 124p. *Bogor (ID)*

Benson L., Glass L., Jones TG., Ravaoarinorotsihoarana L., Rakotomahazo C. 2017. Mangrove carbon stocks and ecosystem cover dynamics in southwest Madagascar and the implications for local management. *Forests*, 8(6): 190. https://doi.org/10.3390/f8060190

Charoenjit K., Zuddas P., Allemand P. 2013. Estimation of natural carbon sequestration in eastern Thailand: preliminary results. *Procedia Earth and Planetary Science*, 7: 139-142. https://doi.org/10.1016/j.proeps.2013.03.187

Donato DC., Kauffman JB., Mackenzie RA., Ainsworth A., Pfleeger AZ. 2012. Whole-island carbon stocks in the tropical Pacific: Implications for mangrove conservation and upland restoration. *Journal of environmental management*, 97: 89-96. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.12.004

Dung LV., Tue NT., Nhuan MT., Omori K. 2016. Carbon storage in a restored mangrove forest in Can Gio Mangrove Forest Park, Mekong Delta, Vietnam. *Forest Ecology and Management*, 380: 31-40. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.08.032

Kauffman JB., Donato DC. 2012. Protocols for the Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass and Carbon Stocks in Mangrove Forests. *Working Paper 86, CIFOR, Indonesia*. 50p.

Kusmana C., Hidayat T., Tiryana T., Rusdiana O. 2018. Allometric models for above-and below-ground biomass of *Sonneratia* spp. *Global ecology and conservation*, 15, e00417. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00417

Komiyama A., Havanond S., Srisawatt W., Mochida Y., Fujimoto K., Ohnishi T., Miyagi T. 2000. Top/root biomass ratio of a secondary mangrove (Ceriops tagal (Perr.) CB Rob.) forest. *Forest ecology and management*, 139(1-3): 127-134. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00339-4

Komiyama A., Poungparn S., Kato S. 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of tropical ecology*, 21(4): 471-477. https://doi:10.1017/S0266467405002476

Kridiborworn P., Chidthaisong A., Yuttitham M., Tripetchkul S. 2012. Carbon sequestration by mangrove forest planted specifically for charcoal production in Yeesarn, Samut Songkram. *J. Sustain. Energy Environ*, *3*(2): 87-92.

Pinheiro J., Bates D. 2006. *Mixed-effects models in S and S-PLUS*. Springer science & business media.

Quintana-Alcantara CE. 2014. Carbon sequestration in tidal salt marshes and mangrove ecosystems. *Master's Projects Paper*. 19:1-60.

Rahman R., Yanuarita D., Nurdin N. 2014. Mangrove community structure in District Muna. *Torani (Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan)*, 24(2): 29-36.

Rahman R., Effendi H., Rusmana I. 2017. Estimasi stok dan serapan karbon pada mangrove di Sungai Tallo, Makassar. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 11(1): 19-28. https://doi.org/10.22146/jik.24867

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. https://doi.org/10.22587/aeb.2019.13.6.3

Rahman, Wardianto Y., Yulianda F., Rusmana I., Bengen DGB. 2020a. Metode dan Analisis Studi Ekosistem Mangrove. *Bogor (ID) IPB Press:* 124pp.

Rahman R., Effendi H., Rusmana I., Yulianda F., Wardiatno Y. 2020b. Pengelolaan ekosistem mangrove untuk ruang terbuka hijau sebagai mitigasi gas rumah kaca di kawasan Sungai Tallo Kota Makassar. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(2): 320-328. https://doi.org/10.29244/jpsl.10.2.320-328

Rahman., Wardiatno Y., Yulianda F., Rusmana I. 2020c. Seasonal fluxes of CO_2, CH_4 and N_2O greenhouse gases in various mangrove species on the coast of West Muna Regency, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Plant Archives*, 20(2): 4301-4311.

Rahman, R., Wardiatno Y., Yulianda F., Rusmana I. 2020d. Produksi serasah musiman pada berbagai spesies mangrove di Pesisir Kabupaten Muna Barat, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(3): 323-333. https://doi.org/10.18343/jipi.25.3.323

Rahman, Maryono, & Sigiro, O. N. (2023). What is the true carbon fraction value of mangrove biomass?. *Malaysian Journal of Science*, *42*(2), 67–72. https://doi.org/10.22452/mjs.vol42no2.10

Rahman, Ceantury A., Tuahatu JW., Lokollo FF., Supusepa J., Hulopi M., Permatahati YI., Lewerissa A., Wardiatno Y. 2024. Mangrove ecosystem in Southeast Asiaregion: mangrove extent, blue carbon potential and CO_2 emission in 1996-2020. *Science of the Total Environment,* 915(3): 1-12. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170052

Stringer CE., Trettin CC., Zarnoch SJ., Tang W. 2015. Carbon stocks of mangroves within the Zambezi River Delta, Mozambique. *Forest Ecology and Management*, 354: 139-148. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.06.027

Tiryana T., Tatsuhara S., Shiraishi N. 2011. Empirical Models for Estimating the Stand Biomass of Teak Plantations in Java, Indonesia. *Journal of Forest Planning*, 16: 177-188. https://doi.org/10.20659/jfp.16.Special_Issue_177

Wang G., Guan D., Peart MR., Chen Y., Peng Y. 2013. Ecosystem carbon stocks of mangrove forest in Yingluo Bay, Guangdong Province of South China. *Forest Ecology and Management*, 310: 539-546. doi:10.1016/j.foreco.2013.08.045

Zeng WS. (2015). Using nonlinear mixed model and dummy variable model approaches to develop origin-based individual tree biomass equations. *Trees*, 29: 275-283. https://doi.org/10.1007/s00468-014-1112-0