

Kondisi Kesehatan Mangrove dan Stok Karbon Biomassa di Area Bontang Mangrove Park

Rahmawani¹, Mohammad Sumiran Paputungan^{2*}, Dewi Embong Bulan²

¹Mahasiswa Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Mulawarman

²Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Mulawarman
Jl. Gunung tabur No. 1 Kampus Gn. Kelua, Samarinda, Kalimantan Timur 75242 Indonesia

*Corresponding author, email: sumiranpaputungan@fpik.unmul.ac.id

ABSTRAK: Kajian terkini mangrove di Mangrove Bontang Park terbatas pada kajian perubahan luasan area mangrove, namun belum menghitung nilai stok karbon. *Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui stok karbon yang tersimpan di biomassa mangrove di lokasi tersebut dan menganalisis hubungannya dengan sebaran tingkat kesehatan mangrove. Pengambilan data dilakukan di pada bulan Februari 2023. Sebaran zona penelitian berdasarkan model sebaran indeks kesehatan mangrove menggunakan data citra Sentinel-2A yang dibagi menjadi 3 zona yaitu Zona Excellent, Zona Moderate, dan Zona Poor. Data lapangan yang diambil antara lain jumlah tegakan, persentasiutupan kanopi dan diameter batang pohon. Aplikasi MonMang 2.0 digunakan dalam mengukur tingkat kesehatan mangrove secara langsung di lapangan. Stok karbon pada biomassa mangrove dihitung menggunakan persamaan alometrik biomassa mangrove dan faktor konversi biomassa-karbon. Hasil validasi indeks kesehatan mangrove menggunakan MonMang 2.0 menunjukkan bahwa tingkat kesehatan mangrove di lokasi penelitian termasuk dalam kategori cukup baik. Stok karbon pada biomassa atas (AGB) diestimasi sebesar 180,74 MgC/ha dan stok karbon biomassa bawah memiliki rata-rata 102,29 MgC/ha dengan total 283,04 MgC/ha. Hasil analisis data menunjukkan tidak terdapat hubungan signifikan antara stok karbon pada biomassa mangrove dan indeks kesehatan mangrove.*

Kata kunci: Indeks Kesehatan Mangrove; stok karbon biomassa mangrove; Sentinel-2A

Mangrove Health Condition and Biomass Carbon Stock in Bontang Mangrove Park

ABSTRACT: *The recent study of mangroves in Bontang Mangrove Park was limited in studying changes in mangrove area, but the carbon stocks were not quantify. This research aimed to estimate the carbon stock stored in mangrove biomass and to analyze its relationship with the mangrove health distribution in there. The distribution of research zones were based on the mangrove health index distribution model by using Sentinel-2A image data. The model result divided into 3 zones that were Excellent Zone, Moderate Zone and Poor Zone. Field data collection was done in February 2023. Data collection included the number of stands, canopy cover and diameter at breast height. The MonMang 2.0 application was used to measure the health level of mangroves, directly in the field. Carbon stock in mangrove biomass was calculated by using the mangrove biomass allometric equation and the biomass-carbon conversion factor. The validation results of the mangrove health index using MonMang 2.0 showed that the level of mangrove health at the research location was moderate. Carbon stock in above-ground biomass (AGB) estimated at 180.74 MgC/ha and below-ground biomass was 102.29 MgC/ha with a total carbon stock was at 283.04 MgC/ha. No significant relationship was found between carbon stocks in mangrove biomass and the mangrove health index.*

Keywords: Mangrove Health Index; mangrove biomass carbon stock; Sentinel-2A

PENDAHULUAN

Hutan mangrove di Indonesia diperkirakan menyimpan 1528,8 MgC/ha (Stankovic et al. 2023)

dan empat kali lebih banyak dibandingkan hutan topis lainnya (Murdiyarso *et al.* 2015). Data stok karbon ekosistem mangrove sangat penting ketersediannya sebagai *baseline* dalam inventarisasi data gas rumah kaca dari ekosistem *blue carbon* (Adi *et al.* 2020; Howard *et al.* 2014, 2017). Hasil kompilasi riset stok karbon di ekosistem mangrove di Indonesia oleh Stankovic *et al.* (2023) menunjukkan bahwa hasil kajian stok karbon pada ekosistem mangrove terfokus di beberapa wilayah saja dan jumlah kajian di Provinsi Kalimantan Timur terlihat masih sedikit.

Simpanan karbon di ekosistem mangrove berada di bagian biomassa (biomassa atas dan biomassa bawah pohon) dan di bagian tanah yang menyimpan karbon dalam waktu yang lebih lama dibandingkan biomassa pohon (McLeod *et al.* 2011). Karbon yang tersimpan tersebut dapat terganggu dan teremisi lebih cepat ketika terjadi konversi lahan mangrove atau deforestasi (Murray *et al.* 2011). Salah satu contoh terlihat dari hasil penelitian Arifanti *et al.* (2018) di Delta Mahakam yang menunjukkan stok karbon pada biomassa mangrove di area komunitas mangrove delapan kali lebih besar dibandingkan stok karbon biomassa pada area mangrove yang telah dikonversi menjadi tambak. Selain aktivitas budidaya, pembangunan wisata termasuk salah satu aktivitas manusia yang mengancam keberadaan mangrove (Choudhary, Dhar, dan Pawase 2024; Murray *et al.* 2011).

Saat ini, minat aktivitas wisata mangrove berbasis ekowisata mengalami lonjakan (Blanton *et al.* 2024). Aktivitas tersebut berpengaruh positif terhadap perekonomian lokal, namun ekowisata yang tidak berkelanjutan dan tidak bertanggung jawab seperti pembukaan lahan untuk fasilitas wisata dapat menurunkan laju penyerapan karbon oleh mangrove (Blanton *et al.* 2024). Sebaliknya, ekowisata di area mangrove yang dipadukan dengan upaya konservasi dapat mendukung upaya mitigasi perubahan iklim (Rahim *et al.* 2024). Pengukuran stok karbon dan emisi CO₂ di ekosistem mangrove dapat membantu dalam menilai jasa ekosistemnya dan memberikan referensi untuk pengelolaan mangrove dalam jangka waktu yang lama (Rahim *et al.* 2024).

Sebagai provinsi yang memiliki area mangrove lebat terluas ke 4 di Indonesia (Direktorat Konservasi Tanah dan Air 2021), terdapat beberapa area mangrove di provinsi yang dijadikan sebagai area wisata, salah satunya adalah Bontang Mangrove Park yang berlokasi di Kota Bontang dan berfungsi sebagai area perlindungan terhadap ekosistem mangrove di Kota Bontang. Penelitian sebelumnya oleh Harjanto *et al.* (2019) menunjukkan adanya peningkatan tutupan hutan mangrove di area tersebut sejak tahun 2002 dengan luas 203,58 ha hingga 2018 dengan luas 264,61 ha. Namun, penelitian selanjutnya oleh Sudirman *et al.* (2023) menunjukkan adanya sedikit penurunan luas area mangrove dari tahun 2018 hingga 2021 yaitu menjadi 240,975 ha. Hilangnya mangrove dapat menyebabkan emisi karbon (Friess *et al.*, 2020).

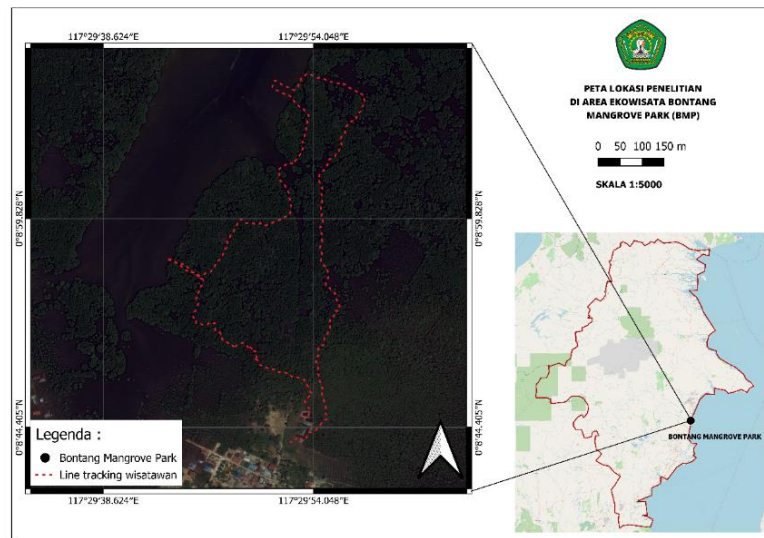
Hingga saat ini kajian mangrove di Mangrove Bontang Park terbatas pada kajian perubahan luasan area mangrove yang telah dilakukan oleh Harjanto *et al.* (2019) dan Sudirman *et al.* (2023). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stok karbon pada biomassa mangrove dan hubungannya dengan indeks kesehatan mangrove yang berada di area Ekowisata Bontang Mangrove Park, Kalimantan Timur.

MATERI DAN METODE

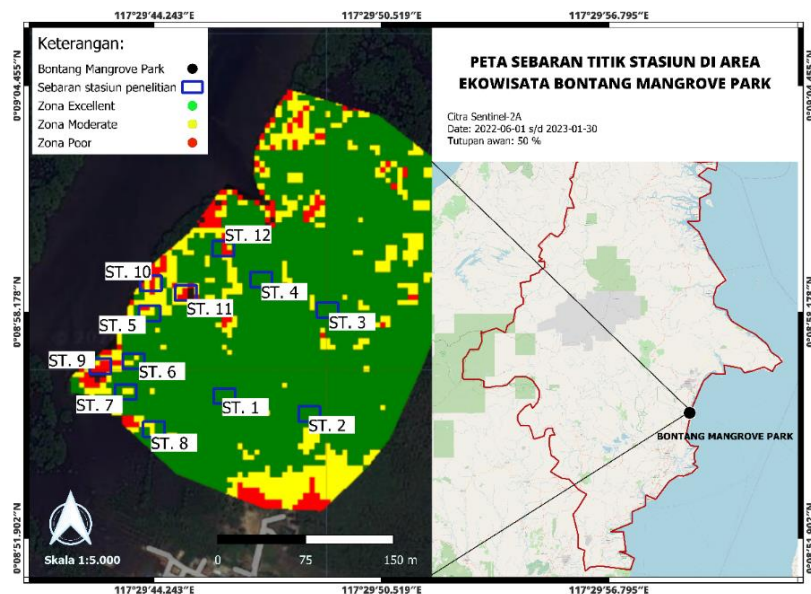
Lokasi penelitian berada di area ekowisata Bontang Mangrove Park, Kalimantan Timur (Gambar 1). Metode yang digunakan dalam pengambilan data adalah *stratified random sampling* dengan menggunakan model sebaran indeks kesehatan mangrove atau *mangrove health index* (MHI) berdasarkan analisis citra Sentinel-2A. Data citra bebas awan yang digunakan merupakan agregasi citra yang diambil dari bulan Juni 2022 hingga Januari 2023. Kumpulan citra tersebut kemudian dibuat citra mosaik dengan menggunakan nilai median pada nilai tiap piksel untuk seluruh *band* (Sugiana *et al.* 2022). Hasil citra tersebut selanjutnya dianalisis sebaran kondisi kesehatan mangrove menggunakan model MHI yang dikembangkan oleh Nurdiansah & Dharmawan (2021). Validasi nilai indeks kesehatan mangrove secara langsung di lapangan dilakukan menggunakan aplikasi MonMang 2.0 (Gambar 2) pada saat pengambilan data di lapangan. Proses pengambilan data di lapangan dilakukan pada bulan Februari 2023.

Terdapat 3 zona pengambilan yaitu pada area mangrove tingkat kesehatan sangat baik, sedang dan rendah dengan masing-masing zona tersebut dilakukan empat kali ulangan

pengambilan data sehingga total terdapat 12 plot pengambilan data. Data lapangan yang diambil yaitu nama spesies mangrove, data *diameter at breast heigh*, jumlah tegakan dan persentasi tutupan kanopi. Data Ukuran transek yang digunakan pada setiap plot pengambilan data adalah 100 m². Metode pengambilan data di lapangan tersebut mengikuti metode monitoring mangrove yang dijelaskan oleh (Dharmawan *et al.* 2020). Pengambilan data persentasi tutupan kanopi dan analisis datanya menggunakan metode *hemispherical photography* (Dharmawan 2020). Data-data tersebut kemudian dicatat ke dalam aplikasi MonMang 2.0 sebagai validasi indeks kesehatan mangrove yang diukur secara langsung di lapangan. Aplikasi tersebut menyediakan hasil analisis nilai tingkat kesehatan mangrove (Dharmawan dan Ulumuddin 2020).



a



b

Gambar 1. Peta lokasi penelitian. a. merupakan peta wilayah ekowisata Bontang Mangrove Park dan b. merupakan sebaran stasiun pengambilan data berdasarkan hasil model tingkat kesehatan mangrove, yaitu kesehatan rendah (Zona Poor), kesehatan sedang (Zona Moderate) dan kesehatan sangat baik (Zona Excellent)

Tabel 1. Persamaan alometrik AGB dan BGB

Jenis Spesies	Persamaan alometrik biomassa atas	Referensi
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	$AGB = 0.0754 \cdot D^{2.505} \rho$	(Kauffman & Cole, 2010)
<i>Ceriops tagal</i>	$AGB = 0.1885 \cdot D^{2.3379}$	(Muhsoni, 2021)
<i>Rhizophora</i> sp.		(Kauffman <i>et al.</i> , 2011)
Live wood volume	$V_{wood} = 0.0000695 (D)^{2.64}$	
Live wood biomass	$AGB_{wood} = 1000 (V_{wood} \times \rho)$	
Leaf biomass	$AGB_{leaf} = 10^{(-1.8571 + 2.1072 \times \log(D))}$	
Prop root biomass:		
D ≤ 5.0 cm	$AGB_{p.root} = AGB_{wood} \times 0.101$	
D > 5.0 ≤ 10 cm	$AGB_{p.root} = AGB_{wood} \times 0.204$	
D > 10 ≤ 15.0 cm	$AGB_{p.root} = AGB_{wood} \times 0.356$	
D > 15 ≤ 20.0 cm	$AGB_{p.root} = AGB_{wood} \times 0.273$	
D > 20cm	$AGB_{p.root} = AGB_{wood} \times 0.210$	
Persamaan umum	$AGB = \rho \times \exp(-1.349 + 1.980 \ln(D) + 0.207 (\ln(D))^2 - 0.0281 (\ln(D))^3)$	(Chave <i>et al.</i> , 2005)
Persamaan umum	$BGB = 0.199 \rho^{0.899} D^{2.22}$	(Komiyama, Ong, dan Pongparn 2008)

Keterangan: D= diameter at breast heigh (cm); ρ = wood density (g/cm³)

Stok karbon pada biomassa yang dihitung dalam penelitian hanya biomassa pohon mangrove yang hidup. Perhitungan stok karbon biomassa mangrove berupa biomassa atas (*above-ground biomass* atau AGB) menggunakan persamaan alometrik biomassa berdasarkan jenis yang ditemukan di area penelitian (Tabel 1). Biomassa atas mangrove jenis *Rhizophora* dihitung berdasarkan total komponen biomassa atas pohon (Kauffman *et al.* 2011; Kauffman dan Cole 2010). Persamaan umum alometrik biomassa bawah (*below-ground biomass* atau BGB) menggunakan persamaan umum yang dikembangkan oleh Komiyama *et al.* (2005). Berat jenis atau wood density setiap spesies diperoleh dari *data base World Agroforestry Centre*.

Nilai AGB dan BGB tersebut kemudian dikonversi ke dalam karbon berdasarkan faktor konversinya yaitu 0,46 (Howard *et al.*, 2014). Satuan stok karbon ditampilkan dalam bentuk MgC/ha. Hubungan stok karbon dengan indeks kesehatan mangrove dianalisis menggunakan uji regresi linear sederhana.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil validasi nilai indeks kesehatan secara langsung di lokasi penelitian menunjukkan bahwa hasil model Zona *Excellent* memiliki nilai persentase MHI sebesar 63,3% yang mana masuk dalam kategori *moderate*, hasil model Zona *Moderate* memiliki nilai persentase MHI 59,3% yang masuk dalam kategori *moderate*, dan hasil model Zona *Poor* memiliki nilai persentase MHI 54,21% yang mana nilai ini juga termasuk dalam kategori *moderate* karena berada dalam kisaran persentase MHI antara 33,34-66,67%. Klasifikasi zona tingkat kesehatan berdasarkan nilai MHI tersebut merujuk pada klasifikasi nilai indeks kesehatan mangrove yang dikembangkan oleh Dharmawan & Ulumuddin (2020) yaitu kategori *poor* bernilai <33,33%, kategori *moderate* berkisar 33,33% hingga <66,67% dan kategori *excellent* bernilai ≥66,67%. Oleh karena itu pembagian zona penelitian berdasarkan hasil validasi MHI di lapangan dari tingkat kesehatan yang tinggi ke rendah menjadi Zona *Moderate* I, Zona *Moderate* II, dan Zona *Moderate* III.

Secara umum, tingkat kesehatan mangrove di lokasi penelitian berada pada kondisi cukup baik dengan nilai rata-rata MHI adalah 58,98%. Zona *Moderate* I memiliki tingkat kesehatan yang paling tinggi dibandingkan zona lainnya (Tabel 2) karena memiliki jumlah individu pohon berdiameter

besar yang lebih banyak (Gambar 4) dan tutupan kanopi yang lebih besar (Gambar 3) dibandingkan zona lain. Kedua parameter tersebut berpengaruh pada nilai indeks kesehatan mangrove (Dharmawan & Ulumuddin, 2020).

Berdasarkan hasil identifikasi jenis mangrove, ditemukan sebanyak 7 spesies mangrove pada lokasi penelitian yaitu *Bruguiera gymnorhiza*, *Ceriops tagal*, *Lumnitzera racemosa*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora stylosa*, dan *Sonneratia ovata*. Zona Moderate I terdapat tiga spesies mangrove yaitu *C. tagal*, *R. mucronata*, dan *R. stylosa* dengan kerapatan tertinggi dimiliki oleh jenis *R. mucronata* yaitu 1225 tegakan/ha, diikuti oleh jenis *R. stylosa* yaitu 325 tegakan/ha, dan kerapatan terendah pada zona ini yaitu jenis *C. tagal* yaitu 200 tegakan/ha. Zona Moderate II ditemukan 6 jenis mangrove dengan nilai kerapatan tertinggi dimiliki oleh jenis *R. mucronata* dengan nilai 850 tegakan/ha dan terendah dimiliki oleh jenis *B. gymnorhiza* dan jenis *S. ovata* dengan kerapatan yang sama yaitu 50 tegakan/ha. Zona Moderate III hanya ditemukan 2 jenis mangrove yaitu *R. mucronata* yang memiliki kerapatan tertinggi dan jenis lainnya adalah *R. stylosa*, dengan kerapatan masing-masing yaitu 1100 tegakan/ha dan 325 tegakan/ha. Berdasarkan hasil tersebut bahwa zona moderate II memiliki komposisi jenis lebih banyak, sedangkan komposisi jenis terendah terdapat pada zona moderate III.

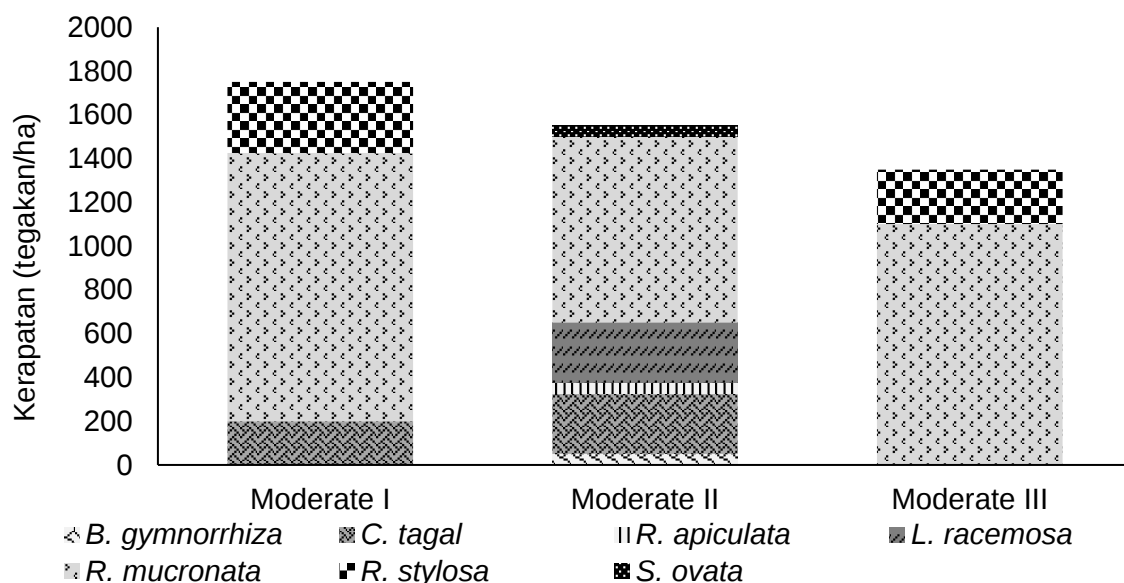
Tabel 2 Hasil validasi indeks kesehatan mangrove

Plot	Titik koordinat	Indeks kesehatan mangrove atau MHI (%)		Keterangan hasil validasi indeks kesehatan mangrove di lapangan
		Hasil model	Hasil pengukuran MHI lapangan	
St 1	0°8'48" LU dan 117°29'53" BT	72,94 (<i>excellent</i>)	68,15 (<i>excellent</i>)	Zona moderate I (MHI 63,33%)
St 2	0°8'50" LU dan 117°29'48" BT	76,67 (<i>excellent</i>)	66,96 (<i>moderate</i>)	
St 3	0°8'54" LU dan 117°29'54" BT	73,08 (<i>excellent</i>)	57,63 (<i>moderate</i>)	
St 4	0°9'1" LU dan 117°29'51" BT	81,05 (<i>excellent</i>)	60,6 (<i>moderate</i>)	
St 5	0°8'58" LU dan 117°29'45" BT	64,53 (<i>moderate</i>)	54,68 (<i>moderate</i>)	Zona moderate II (MHI 59,38%)
St 6	0°8'54" LU dan 117°29'44" BT	56,12 (<i>moderate</i>)	64,56 (<i>moderate</i>)	
St 7	0°8'52" LU dan 117°29'43" BT	58,57 (<i>moderate</i>)	56,17 (<i>moderate</i>)	
St 8	0°8'50" LU dan 117°29'45" BT	65,36 (<i>moderate</i>)	62,12 (<i>moderate</i>)	
St 9	0°8'53" LU dan 117°29'42" BT	31,02 (<i>poor</i>)	47 (<i>moderate</i>)	Zona moderate III (MHI 54,22%)
St 10	0°8'58" LU dan 117°29'45" BT	31,12 (<i>poor</i>)	60,42 (<i>moderate</i>)	
St 11	0°8'58" LU dan 117°29'47" BT	12,4 (<i>poor</i>)	51,41 (<i>moderate</i>)	
St 12	0°9'1" LU dan 117°29'49" BT	9,89 (<i>poor</i>)	5806 (<i>moderate</i>)	

Kerapatan *R. mucronata* adalah yang dominan di setiap zona penelitian. Jenis *R. mucronata* paling banyak ditemukan diduga karena jenis ini merupakan jenis yang paling cepat tumbuh dan sering tumbuh berkelompok (Hartoko, Suryanti, dan Dewati 2013). Jenis *R. mucronata* yang ditemukan di lokasi penelitian dominan berada pada Zona *Moderate* I, yang mana lokasi plot pengamatan berada antara area terbuka ke arah laut dan pada area ke arah daratan (Gambar 1). Hal ini sesuai dengan pendapat yang menyatakan bahwa jenis ini pada umumnya merupakan jenis mangrove yang berada dalam zonasi tengah antara zona dekat laut dan zona mengarah ke daratan (Tefarani, Tri Martuti, dan Ngabekti 2019).

Berdasarkan perbandingan total kerapatan antar zona, Zona *Moderate* I yang lebih sehat memiliki total kerapatan paling tinggi yaitu 1750 tegakan/ha, diikuti Zona *Moderate* II dengan total kerapatan yaitu 1550 tegakan/ha, dan total kerapatan terendah dimiliki oleh Zona *Moderate* III dengan 1350 tegakan/ha. Secara keseluruhan, area ekowisata Bontang Mangrove Park memiliki nilai rata-rata kerapatan 1550 tegakan/ha. Nilai tersebut masuk dalam kategori baik dengan penutupan yang sangat padat (>1500 tegakan/ha) berdasarkan kriteria baku kerusakan mangrove menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup (KEPMEN LH Tahun 2004).

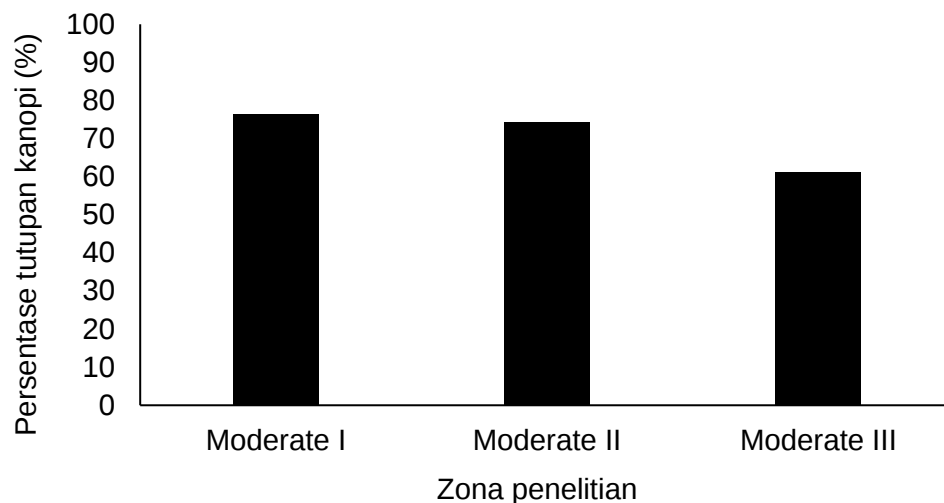
Persentase tutupan kanopi mangrove tertinggi berada pada zona moderate I dengan nilai 76,3%, diikuti dengan zona moderate II dengan persentase tutupan kanopinya yaitu 74,3%, dan persentase tutupan kanopi mangrove terendah berada pada zona moderate III dengan nilai persentase sebesar 61,2% (Gambar 3). Secara keseluruhan rata-rata persentase tutupan kanopi mangrove di lokasi penelitian yaitu sebesar 70,6%. Persentase tutupan kanopi yang tinggi pada Zona *Moderate* I yang mana zona ini didominasi oleh spesies *Rhizophora sp.* dan memiliki total kerapatan tertinggi, sebaliknya pada Zona *Moderate* III dengan kerapatan yang rendah dan jumlah tegakan *Rhizophora sp.* yang lebih sedikit dibandingkan Zona *Moderate* I, memiliki persentase tutupan kanopi yang rendah. Hasil tersebut mengindikasikan semakin rapat kondisi vegetasi mangrove yang didominasi oleh pohon jenis *Rhizophora* maka semakin tinggi persentasi tutupan kanopinya. Hasil tersebut mirip dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Andiani *et al.* (2021) dan Sugiana *et al.* (2022) di ekosistem mangrove Teluk Benoa yang menemukan persentasi tutupan kanopi yang tinggi pada area mangrove yang didominasi oleh jenis *Rhizophora*. Hasil persentasi tutupan kanopi ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Nurdiansah & Dharmawan (2021) di Pulau Middleburg-Miossu dengan persentasi tutupan kanopi 75,82% yang kemudian menyebabkan nilai MHI di lokasi tersebut sedikit lebih tinggi (MHI 60,7%) dibandingkan dengan lokasi penelitian.



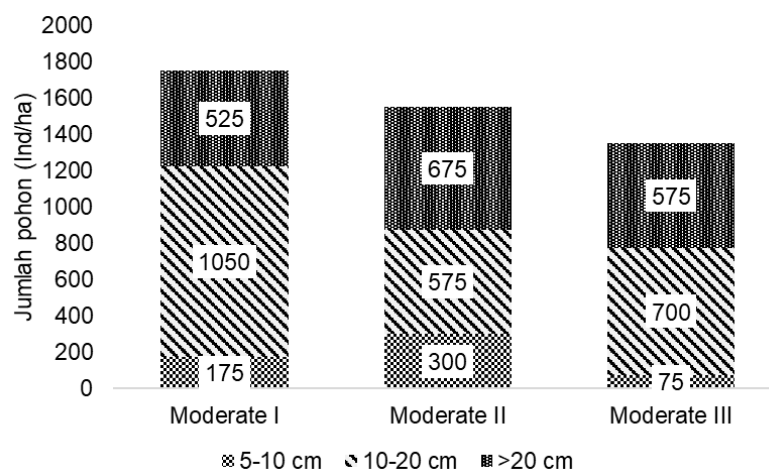
Gambar 2 Kerapatan jenis mangrove

Berdasarkan sebaran diameter batang pohon, Zona *Moderate I* dan Zona *Moderate III* didominasi oleh pohon-pohon berdiameter 10-20 cm, sedangkan pada Zona *Moderate II* didominasi oleh pohon-pohon dengan diameter yang lebih besar yaitu >20 cm (Gambar 4). Berdasarkan hasil perhitungan, rata-rata DBH masing masing zona yaitu 21,6 cm untuk Zona *Moderate I*, untuk Zona *Moderate II* adalah 20,16 cm dan Zona *Moderate III* adalah 13,39 cm. Secara keseluruhan rata-rata diameter batang pohon mangrove di lokasi penelitian yaitu 18,3 cm. Peningkatan diameter batang pohon akan meningkatkan nilai biomassa pohon (Andiani *et al.* 2021).

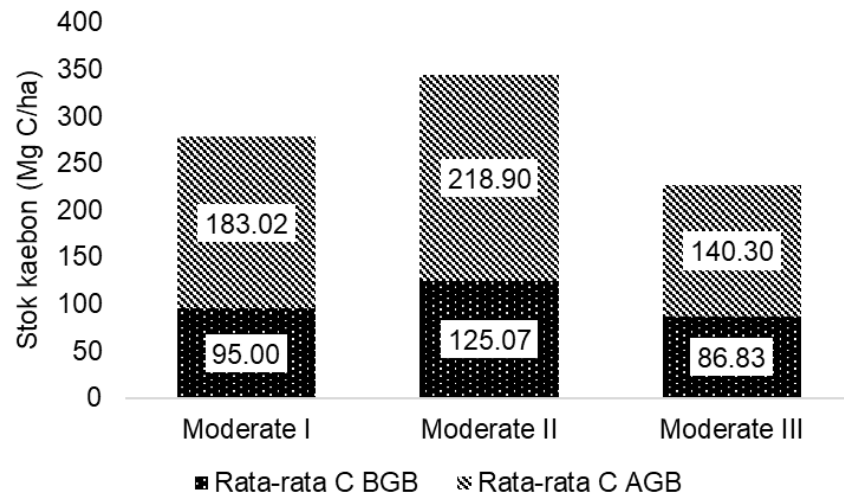
Hasil perhitungan stok karbon pada biomassa atas (AGB) memiliki nilai rata-rata yaitu 180,74 MgC/ha dan stok karbon biomassa bawah (BGB) memiliki rata-rata 102,29 MgC/ha (Gambar 5). Secara keseluruhan, area ekowisata Bontang Mangrove Park menyimpan stok karbon di biomassa pohon mangrove sebesar 283,04 MgC/ha. Besarnya stok karbon yang tersimpan pada zona moderate II dikarenakan zona ini memiliki biomassa yang tinggi yang disebabkan oleh jumlah pohon berukuran paling besar (Gambar 4) lebih banyak ditemukan di zona ini dibandingkan kedua zona lainnya. Komposisi pohon-pohon berdiameter besar menyebabkan nilai biomassa tinggi yang kemudian menghasilkan simpanan karbon yang tinggi pada biomassa pohon (Kusumaningtyas *et al.* 2019; Manafe, Kaho, dan Risamasu 2016).



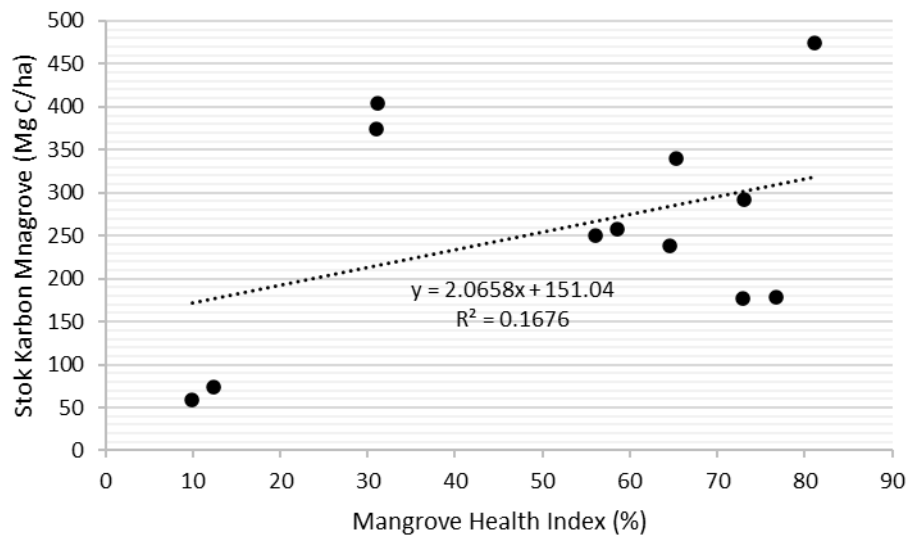
Gambar 3. Persentasi tutupan kanopi mangrove



Gambar 4. Rata-rata DBH pada Zona Penelitian. Satuan jumlah pohon adalah individu/ha.



Gambar 5. Stok Karbon Biomassa Atas dan Stok Karbon Biomassa Bawah



Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Stok Karbon pada biomassa mangrove dan MHI

Stok karbon yang tersimpan pada biomassa pohon mangrove di area Mangrove Bontang Park ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan stok karbon biomassa di area mangrove di Teluk Benoa Bali yaitu 234,1 MgC/ha (Sugiana *et al.* 2024), di Desa Lembung Paser Kabupaten Bangkalan sebesar 57,7 MgC/ha (Ibrahim dan Muhsoni 2020), dan di area mangrove Delta Mahakam sebesar 145 MgC/ha (Arifanti *et al.* 2018). Tingginya nilai stok karbon biomassa pada lokasi penelitian ini dibandingkan dengan lokasi-lokasi yang diteliti sebelumnya disebabkan mangrove di area ekowisata Bontang Mangrove Park memiliki biomassa yang tinggi yang direpresentasikan oleh ukuran diameter batang pohon yang lebih besar. Hasil pengukuran menunjukkan rata-rata DBH mangrove di area Mangrove Bontang Park adalah 18,3 cm yang mana lebih besar jika dibandingkan ukuran DBH pohon mangrove di Teluk Benoa Bali yang berkisar 8,3-11,5 cm (Sugiana *et al.* 2024) dan diameter pohon mangrove di Delta Mahakam yang berkisar 5-10 cm (Arifanti *et al.* 2018).

Hasil uji regresi linier sederhana terhadap stok karbon biomassa dengan indeks kesehatan mangrove didapatkan nilai korelasi $R^2 = 0,17$ yang menunjukkan adanya hubungan searah dimana semakin tinggi tingkat kesehatan mangrove maka karbon yang tersimpan pada biomassa akan

semakin besar (Gambar 6). Namun nilai R^2 tersebut sangat rendah dan hubungan antar kedua variabel tersebut tidak signifikan ($p\text{-value}=0,19$). Hasil ini dikarenakan antar zona penelitian memiliki tingkat kesehatan yang tidak jauh berbeda antara satu sama lain yaitu berada dalam tingkat kesehatan yang sedang atau *moderate*. Selain itu, stok karbon yang tersimpan pada biomassa mangrove dipengaruhi oleh besarnya biomassa tegakan pohon yang tinggi karena diameter pohon yang berukuran besar (Andiani *et al.* 2021; Kusumaningtyas *et al.* 2019; Sugiana *et al.* 2024). Sebagai tambahan bahwasanya tipe tegakan mangrove (baik pohon dan anakan) dan jenis mangrove yang mendominasi dapat berpengaruh pada nilai biomassa (Sugiana *et al.* 2024). Area mangrove yang didominasi oleh tegakan jenis anakan maka memiliki biomassa yang lebih rendah dibandingkan dengan mangrove yang didominasi oleh tegakan pohon (Wijana *et al.* 2023).

Hasil perhitungan simpanan karbon pada biomassa pohon di area Mangrove Bontang Park (283,04 MgC/ha) lebih tinggi jika dibandingkan dengan rata-rata nasional stok karbon pada biomassa pohon mangrove yaitu 194,68 MgC/ha (Stankovic *et al.* 2023). Namun nilai stok karbon mangrove yang terhitung dalam penelitian ini belum mencakup karbon yang tersimpan di dalam tanah. Berdasarkan karbon yang tersimpan dalam biomassa pohon dan tanah pada ekosistem mangrove, simpanan total karbon pada ekosistem mangrove di Indonesia diestimasi mencapai lebih dari 1000 MgC/ha (Murdiyarso *et al.* 2015; Stankovic *et al.* 2023). Komponen tanah mangrove memiliki simpanan karbon lebih besar dibandingkan komponen biomassa mangrove (Alongi, 2012). Oleh karena penelitian lanjutan untuk pengukuran stok karbon di dalam tanah di ekosistem mangrove area Mangrove Bontang Park perlu dilakukan.

KESIMPULAN

Rata-rata nilai indeks kesehatan mangrove di area Mangrove Bontang Park adalah 58,98%. Nilai tersebut menyimpulkan bahwa kondisi mangrove di lokasi tersebut cukup baik. Rata-rata stok karbon biomassa mangrove yang tersimpan di area mangrove lokasi tersebut cukup besar yaitu 283,04 MgC/ha. Tidak terdapat hubungan signifikan antara stok karbon biomassa pohon dengan nilai indeks kesehatan mangrove.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, N. S., Paputungan, M.S., Rustam, A., Haditomo, A.H.C. & Medrilzam. 2020. Estimating carbon emission and baseline for blue carbon ecosystems in indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 530(1): p.012030. DOI:10.1088/1755-1315/530/1/012030.
- Alongi, D.M., 2012. Carbon sequestration in mangrove forests. *Carbon Management*, 3(3):313–22. DOI:10.4155/cmt.12.20.
- Andiani, A.A.E., Karang, I.W.G.A., Putra, I.N.G., & Dharmawan, I.W.E., 2021. Hubungan Antar Parameter Struktur Tegakan Mangrove Dalam Estimasi Simpanan Karbon Aboveground Pada Skala Komunitas. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 13(3):485–98. DOI: 10.29244/jitkt.v13i3.36363.
- Arifanti, V.B., Kauffman, J.B., Hadriyanto, D., Murdiyarso, D., & Diana, R., 2018. Carbon dynamics and land use carbon footprints in mangrove-converted aquaculture: the case of the Mahakam Delta, Indonesia. *Forest Ecology and Management*, 432:17–29. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.08.047
- Blanton, A., Ewane, E.B., McTavish, F., Watt, M.S., Rogers, K., Daneil, R., Vizcaino, I., Gomez, A.N., Arachchige, P.S.P., King, S.A., & Galgamuwa, G.P., 2024. Ecotourism and mangrove conservation in Southeast Asia: Current trends and perspectives. *Journal of Environmental Management*, 365: p.121529. DOI:10.1016/J.JENVMAN.2024.121529.
- Choudhary, B., Dhar, V., & Pawase, A.S., 2024. Blue carbon and the role of mangroves in carbon sequestration: Its mechanisms, estimation, human impacts and conservation strategies for economic incentives. *Journal of Sea Research* 199: p.102504. DOI: 10.1016/j.seares.2024.102504.
- Dharmawan, I.W.E., 2020. Hemispherical Photography Analisis Persentase Tutupan Kanopi

Komunitas Mangrove. Nas Media Pustaka Makassar

- Dharmawan, I.W.E., Ulumuddin, Y.I., & Prayudha, B., 2020. Panduan Monitoring Struktur Komunitas Mangrove di Indonesia. Bogor: PT Media Sains Nasional.
- Dharmawan, I.W.E., & Ulumuddin, Y.I., 2020. Mangrove Community Structure Data Analysis, A Guidebook for Mangrove Health Index (MHI) Training. Makassar: Nas Media Pustaka.
- Direktorat Konservasi Tanah dan Air. 2021. Peta Mangrove Nasional Tahun 2021. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Friess, D.A., Krauss, K.W., Taillardat, P., Adame, M.F., Yando, E.S., Cameron, C., Sasmito, S.D., & Sillanpää, M., 2020. Mangrove blue carbon in the face of deforestation, climate change, and restoration. *Annual Plant Reviews*, 3(3): 427–56. DOI:10.1002/9781119312994.apr0752.
- Harjanto, E., Rayadin, Y., Aipassa, M.I., & Ruslim, Y., 2019. Pengembangan Bontang Mangrove Park sebagai Model Perlindungan Ekosistem Mangrove di Taman Nasional Kutai dan Dampaknya Terhadap Perubahan Tutupan Lahan. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa* 5(1): 21–29. DOI:10.20886/jped.2019.5.1.21-30.
- Hartoko, A., Suryanti., & Dewati, A.F., 2013. Biomassa Karbon Vegetasi Mangrove Melalui Analisa Data Lapangan Dan Citra Satelit Geoeye Di Pulau Parang, Kepulauan Karimunjawa. *Journal of Management of Aquatic Resources*, 2(2): 9–18.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E., 2014. Coastal Blue Carbon: Methods for Assessing Carbon Stocks and Emissions Factors in Mangroves, Tidal Salt Marshes, and Seagrasses Meadows. UN Enviro Programme. Diakses 3 Februari 2025 di <https://www.unep.org/resources/publication/coastal-blue-carbon-methods-assessing-carbon-stocks-and-emissions-factors>
- Howard, J., Sutton-Grier, A., Herr, D., Kleypas, J., Landis, E., Mcleod, E., Pidgeon, E., & Simpson, S., 2017. Clarifying The Role of Coastal and Marine Systems in Climate Mitigation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(1): 42–50. DOI:10.1002/fee.1451.
- Ibrahim, A., & Muhsoni, F. F., 2020. Estimasi Stok Karbon pada Ekosistem Hutan Mangrove di Desa Lembung Paseser, Kecamatan Sepuluh, Kabupaten Bangkalan. *Juvenil*, 1(4): 498–507.
- Kauffman, J.B., & Cole, T.G., 2010. Micronesian Mangrove Forest Structure and Tree Responses to a Severe Typhoon, 30: 1077–84. DOI:10.1007/s13157-010-0114-y.
- Kauffman, J.B., Heider, C., Cole, T.G., Dwire, K.A., & Donato, D.C., 2011. Ecosystem carbon stocks of micronesian mangrove forests. *Wetlands*, 31(2): 343–52. DOI:10.1007/s13157-011-0148-9.
- Komiyama, A., Ong, J.E., & Pongpan, S., 2008. Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2): 128–37. DOI:10.1016/j.aquabot.2007.12.006.
- Kusumaningtyas, M.A., Hutahaean, A.A., Fischer, H.W., Pérez-Mayo, M., Ransby, D., & Jennerjahn, T.C., 2019. Variability in the organic carbon stocks, sources, and accumulation rates of Indonesian mangrove ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 218: 310–23. DOI: 10.1016/j.ecss.2018.12.007.
- Manafe, G., Kaho, M.R., & Risamasu, F., 2016. Estimasi Biomassa Permukaan Dan Stok Karbon Pada Tegakan Pohon Avicennia marina Dab Rhizophora mucronata Di Perairan Pesisir Oebelo Kabupaten Kupang. *Bumi Lestari Journal of Environment* 16(2): p.163. DOI: 10.24843/blje.2016.v16.i02.p09.
- Mcleod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C.M., Lovelock, C.E., Schlesinger, W.H., & Silliman, B.R., 2011. A Blueprint for Blue Carbon: Toward an Improved Understanding of The Role of Vegetated Coastal Habitats in Sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10):552–60. DOI:10.1890/110004.
- Murdiyarso, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J.B., Warren, M.W., Sasmito, S.D., Donato, D.C., Manuri, S., Krisnawati, H., Taberima, S., & Kurnianto, S., 2015. The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 5(12):1089–1092. DOI: 10.1038/nclimate2734.
- Murray, B.C., Pendleton, L., Jenkins, W.A., & Sifleet, S., 2011. Green payments for blue carbon: Economic incentives for protecting threatened coastal habitats. Durham, North Carolina.
- Nurdiansah, D., & Dharmawan, I.W.E., 2021. Struktur Dan Kondisi Kesehatan Komunitas Mangrove Di Pulau Middleburg-Miossu, Papua Barat. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 13(1):

- 81–96. DOI:10.29244/jitkt.v13i1.34484.
- Rahim, A., Soeprbowati, T.R., Putranto, T.T., Al Falah, M.H., & Gell, P., 2024. Contribution of mangrove forest carbon stocks on climate change mitigation: a case study at Tuntang Estuary, Central Java. *Journal of Coastal Conservation*, 28(4): 65. DOI:10.1007/s11852-024-01059-w.
- Stankovic, M., Mishra, A.K., Rahayu, Y.P., Lefcheck, J., Murdiyarso, D., Friess, D.A., Corkalo, M., Vukovic, T., Vanderklift, M.A., Farooq, S.H., & Gaitan-Espitia, J.D., 2023. Blue carbon assessments of seagrass and mangrove ecosystems in South and Southeast Asia: Current progress and knowledge gaps. *Science of the Total Environment*, 904: p.166618.. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166618.
- Sudirman, N., Salim, H.L., Rustam, A., Ati, R.N.A., Hernina, R., Marini, Y., & Suryono, D.D., 2023. Assessment of Mangrove Ecosystem Potential in Bontang Regency-East Kalimantan to Reduce Abrasion. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1148(1): p. 012041. DOI: 10.1088/1755-1315/1148/1/012041.
- Sugiana, I.P., Prartono, T.R.I., Rastina, R., & Koropitan, A.F., 2024. Ecosystem carbon stock and annual sequestration rate from three genera-dominated mangrove zones in Benoa Bay, Bali, Indonesia. *Biodiversitas*, 25(1): 287–99. DOI:10.13057/biodiv/d250133.
- Sugiana, I.P., Andiani, A.A.E., Dewi, I.G.A.I.P., Karang, I.W.G.A., As-Syakur, A.R., & Dharmawan, I.W.E., 2022. Spatial distribution of mangrove health index on three genera dominated zones in Benoa Bay, Bali, Indonesia. *Biodiversitas*, 23(7): 3407–3418. DOI:10.13057/biodiv/d230713.
- Tefarani, R., Tri Martuti, N.K., & Ngabekti, S., 2019. Keanekaragaman Spesies Mangrove dan Zonasi di Wilayah Kelurahan Mangunharjo Kecamatan Tugu Kota Semarang. *Life Science*, 8(1): 41–53. DOI:10.15294/lifesci.v8i1.29989.
- Wijana, I.M.S., As-syakur, A.R., Andiani, A.A.E., Dewi, I.G.A.I.P., Sugiana, I.P., Novanda, I.G.A., Premananda, M.G., & Brasika, I.B.M., 2023. Mangrove biomass sequestration in Benoa Bay. *E3S Web of Conferences*, 442:1–10. DOI:10.1051/e3sconf/202344201009.