

Community structure and potential carbon stock of mangrove forest in Malek Village, Paloh District, Sambas Regency, Indonesia

Indonesian title:

Struktur komunitas dan potensi cadangan karbon di kawasan hutan mangrove Desa Malek, Kecamatan Paloh, Kabupaten Sambas, Indonesia

Rafdinal^{1*}, Riza Linda¹, Adityo Raynaldo²

¹ Jurusan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Kalimantan Barat, Indonesia

² Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas OSO, Pontianak, Kalimantan Barat, Indonesia

*Corresponding author: rafdinal@fmipa.untan.ac.id

Received: 10 April 2022 – Revised: 23 April 2022 – Accepted: 27 April 2022

Abstract: Mangrove forest in Sambas Regency is experiencing several pressures, both naturally and due to land use conversion into settlements, ponds and others. This study aims to analyze the structure of the mangrove community and the existing condition of mangrove forest in Malek Village, Sambas Regency. The research was conducted through vegetation analysis and a remote sensing approach. Estimation of carbon stock was done by using available allometric equations. Remote sensing data used in this study was from Sentinel-2 MSI image. The data was used to obtain information of the area and distribution of mangrove species. Results showed that there were two dominant true mangrove species at the site, namely *Avicennia marina* (IVI = 212.80) and *Bruguiera gymnorrhiza* (IVI = 187.20). Based on the results of the analysis, the area of mangrove in the location is 368.41 ha, with a dense category of 63.25%, medium 27.55%, and sparse 9.19%. The estimated value of above ground carbon stock of mangrove vegetation ranges from 23.09 ± 2.30 to 49.23 ± 2.59 Mg C ha⁻¹. The mangrove forest area in Malek Village has good potential, it can be assessed from the density of mangroves, area, the thickness of mangroves, minimum damage, and potential carbon stocks stored.

Keywords: carbon stock; important value index (IVI); ecosystem services; mangrove extent; NDVI

PENDAHULUAN

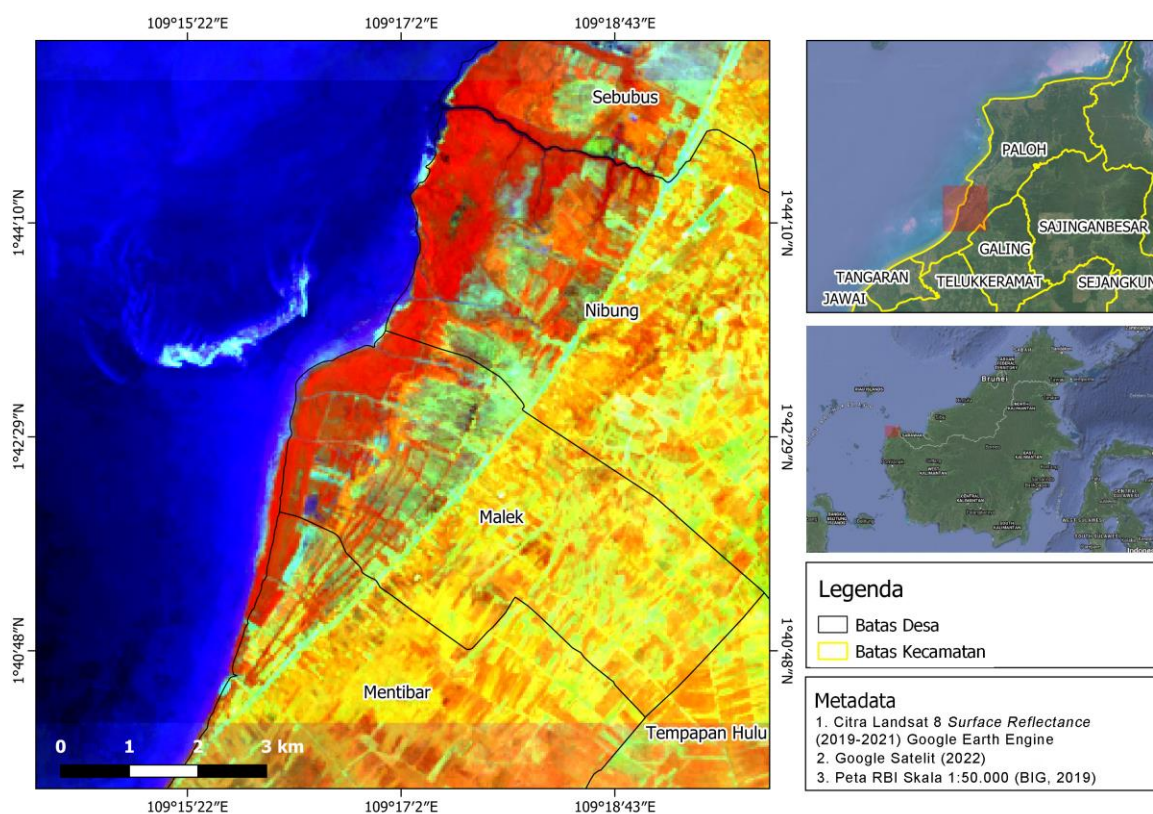
Hutan mangrove merupakan ekosistem khas penyusun kawasan pesisir. Spesies penyusun kawasan mangrove memiliki kemampuan adaptasi terhadap salinitas, pasang surut, dan tekanan lingkungan (Saenger, 2002). Kawasan mangrove terdistribusi di 118 negara kawasan tropis dan subtropis dengan persentase terbesar ditemukan antara 5° Lintang Utara dan 5° Lintang Selatan (Giri *et al.*, 2011).

Karakteristik mangrove yang khas dan adaptif dapat berperan penting dalam merespon perubahan iklim, terutama terkait dengan kenaikan muka air laut (Mitra, 2013). Ekosistem mangrove memiliki beberapa peranan langsung di kawasan pesisir, antara lain, sebagai penahan intrusi air laut, menahan gelombang tinggi, mencegah abrasi pantai, dan sebagai habitat bagi ikan, kepiting, dan hewan

lainnya (Finlayson *et al.*, 2015). Selain itu, mangrove berperan sebagai penyimpan karbon di kawasan pesisir; kemampuan menyimpan karbon 3-5 kali lebih tinggi dari hutan tropis dataran rendah (Murdiyarso *et al.*, 2015).

Kondisi hutan mangrove di Indonesia mengalami beberapa tekanan, baik dari faktor alam maupun faktor manusia, seperti degradasi, alih guna lahan dan pencemaran. Menurut Arifanti *et al.* (2021), degradasi kawasan mangrove yang terhitung terjadi dari tahun 2009-2019 di Indonesia dapat mencapai 182.91 ha dengan potensi emisi rata-rata sebesar 136.9 MgCO₂e per hektar per tahun. Saat ini, luasan hutan mangrove di Indonesia mencapai 3,3 juta ha dengan luas potensi habitat mangrove yang terdiri dari daerah terabrasi, lahan terbuka, mangrove terabrasi, tambak, dan tanah timbul seluas sekitar 756 ribu ha (KLHK, 2021).

Kabupaten Sambas merupakan salah satu kabupaten di kawasan pesisir bagian paling Utara



Gambar 1. Peta lokasi penelitian dengan komposit RGB: NIR-SWIR-Red pada Citra Landsat 8

Provinsi Kalimantan Barat. Potensi kawasan mangrove di Kabupaten Sambas berada di beberapa daerah, yaitu Desa Sebusus (Habdiansyah et al., 2015), Desa Malek, Selakau, Jawai, dan beberapa daerah lain yang berbatasan langsung dengan laut.

Saat ini, monitoring terhadap kawasan mangrove di Kabupaten Sambas belum dilakukan menyeluruh, sementara evaluasi kondisi eksisting hutan mangrove diperlukan hingga ke tingkat tapak. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan monitoring terhadap kondisi mangrove melalui analisis struktur komunitas dan estimasi potensi cadangan karbon di kawasan hutan mangrove Desa Malek, Kecamatan Paloh, Kabupaten Sambas. Penelitian awal ini diharapkan dapat menjadi data dasar bagi pengelolaan kawasan mangrove dan upaya konservasinya di Kabupaten Sambas.

MATERIAL DAN METODE

Deskripsi Lokasi Penelitian

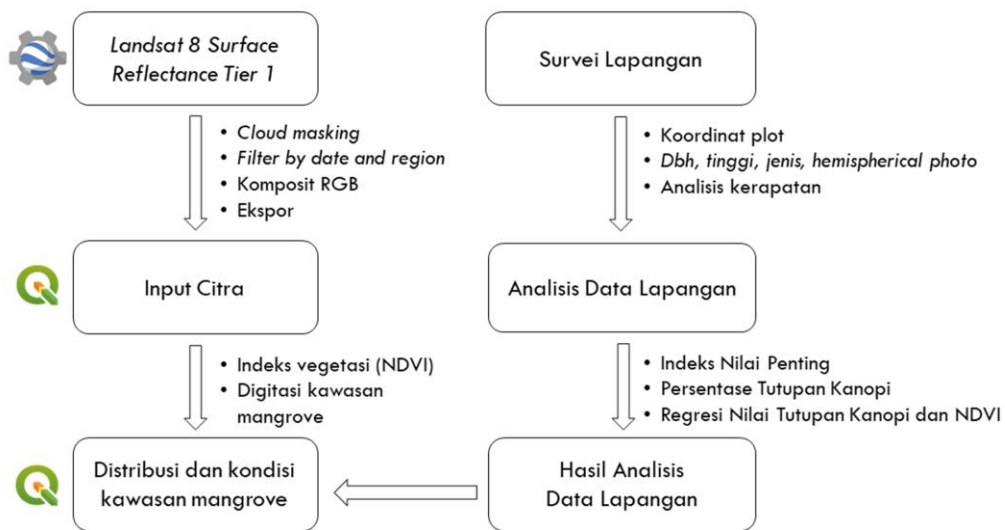
Kabupaten Sambas terletak di paling Utara pesisir Provinsi Kalimantan Barat; berjarak sekitar 226 km dari Kota Pontianak. Lokasi penelitian berada di kawasan mangrove Desa Malek dan berbatasan langsung dengan laut (Gambar 1). Penentuan lokasi penelitian dilakukan menggunakan

teknik *purposive sampling* melalui komposit *false-color* Citra Satelit Landsat 8 untuk memvisualisasikan keberadaan vegetasi mangrove. Visual warna merah-kecoklatan pada citra mengindikasikan keberadaan vegetasi mangrove (LAPAN, 2015).

Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan kombinasi pendekatan penginderaan jauh dan survei lapangan sesuai prosedur (Gambar 2). Dataset yang digunakan adalah Citra Satelit Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1 dengan komposit waktu dari periode 2019-2021. Dataset ini telah dikoreksi secara geografik dan atmosferik dari sensor Landsat 8 OLI/TIRS. Citra diproses melalui komputasi awan di platform Google Earth Engine (GEE), meliputi proses *masking* tutupan awan, komposit waktu, analisis indeks vegetasi dan visualisasi. Data kemudian diekspor dan dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan aplikasi pengolahan data spasial Quantum GIS 3.16.11-Hannover (QGIS.ORG, 2022). Pembuatan sebaran indeks vegetasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) menggunakan analisis raster di aplikasi QGIS.

Pengambilan data struktur komunitas mangrove di lapangan dilakukan dengan menggunakan plot pengamatan 10 x 10 m² berdasarkan pedoman dari Dharmawan et al. (2020). Setiap individu



Gambar 2. Bagan alir prosedur kerja



Gambar 3. Tutupan kanopi vegetasi mangrove di lokasi untuk analisis *hemispherical photography*. A: tutupan kanopi lebat ($\geq 75\%$); B: tutupan kanopi sedang/moderat (50-75%)

tegakan mangrove dengan *Diameter Breast Height* (DBH) ≥ 4 cm didata menurut jenis, ukuran diameter, dan tinggi tegakan. Individu dengan DBH < 4 cm dikategorikan sebagai semaian/anakan dan didata menurut jenis dan jumlahnya di dalam plot pengamatan. Tutupan tajuk/tutupan kanopi komunitas (C) dianalisis menggunakan metode *hemispherical photography* (Gambar 3), dilakukan dengan mengambil foto secara vertikal ke atas (ke arah kanopi) di dalam plot sebanyak 4 bagian; kemudian dihitung persentaseutupan kanopi berdasarkan nilai piksel hitam (kanopi) dan putih (langit/bagian terbuka). Data lain yang dicatat pada plot pengamatan meliputi jenis substrat, persentaseutupan sampah, dan jumlah tebaran pohon mangrove. Identifikasi jenis dilakukan berdasarkan pedoman identifikasi dari Noor *et al.* (2006) dan Giesen *et al.* (2007).

Distribusi dan luasan mangrove diproses menggunakan metode digitasi *on-screen* di aplikasi Quantum GIS dari visualisasi citra dan titik koordinat di lapangan. Distribusi kerusakan mangrove dianalisis berdasarkan hubungan nilai persentaseutupan kanopi di lapangan dengan nilai indeks vegetasi dari citra menggunakan analisis regresi linear. Standar baku kerusakan hutan mangrove dikelompokkan berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 201 tahun 2014 (Tabel 1).

Estimasi biomassa dan cadangan karbon atas permukaan dilakukan dengan metode non-destruktif berdasarkan plot pengamatan. Biomassa atas permukaan (*aboveground biomass/AGB*) dan bawah permukaan (*belowground biomass/BGB*) untuk akar tumbuhan dihitung berdasarkan nilai DBH tiap individu sebagai variabel bebas di dalam formula

Tabel 1. Standar baku kerusakan hutan mangrove

Kriteria	Kategori	Persentase Tutupan	Kerapatan pohon (ind ha ⁻¹)
Baik	Padat	≥ 75%	≥ 1.500
	Sedang	50%-75%	1.000-1.500
Rusak	Jarang	<50%	<1.000

allometrik dari penelitian yang telah ada sebelumnya. Persamaan allometrik yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan penelitian Dharmawan and Siregar (2008) untuk jenis *Avicennia marina* dan Komiyama et al. (2005) untuk jenis *Bruguiera gymnorrhiza*. Perhitungan cadangan karbon dilakukan dengan menggunakan faktor konversi 0,47 dari AGB untuk cadangan karbon atas permukaan dan faktor konversi 0,39 dari BGB untuk cadangan karbon bawah permukaan berdasarkan formula dari Kauffman and Donato (2012).

Analisis Data

Data struktur komunitas mangrove dianalisis berdasarkan formulasi dari English et al. (1997) sebagai berikut:

- Basal area (BA) individu:

$$BA = \frac{\pi DBH^2}{4} \text{ (cm}^2\text{)}$$

- Kerapatan pohon (individu per hektar):

$$K = \frac{\text{Jumlah individu dalam plot} \times 10.000}{\text{Luas plot}}$$

- Indeks Nilai Penting (INP), yang dihitung dari kontribusi Kerapatan Relatif (KR), Frekuensi Relatif (FR), dan Dominansi Relatif (DR).

Adapun perhitungannya sebagai berikut:

$$KR = \frac{\text{Jumlah individu per spesies}}{\text{Jumlah seluruh individu}} \times 100$$

$$FR = \frac{\text{Frekuensi per spesies}}{\sum \text{Frekuensi dari semua spesies}} \times 100$$

$$DR = \frac{\text{Jumlah basal area per spesies}}{\text{Basal area dari seluruh spesies}} \times 100$$

- Normalized Different Vegetation Index (NDVI). Analisis NDVI dilakukan berdasarkan formulasi dari Rouse et al. (1974) sebagai berikut:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Keterangan:

- NIR = Band Near Infrared
- Red = Band Merah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

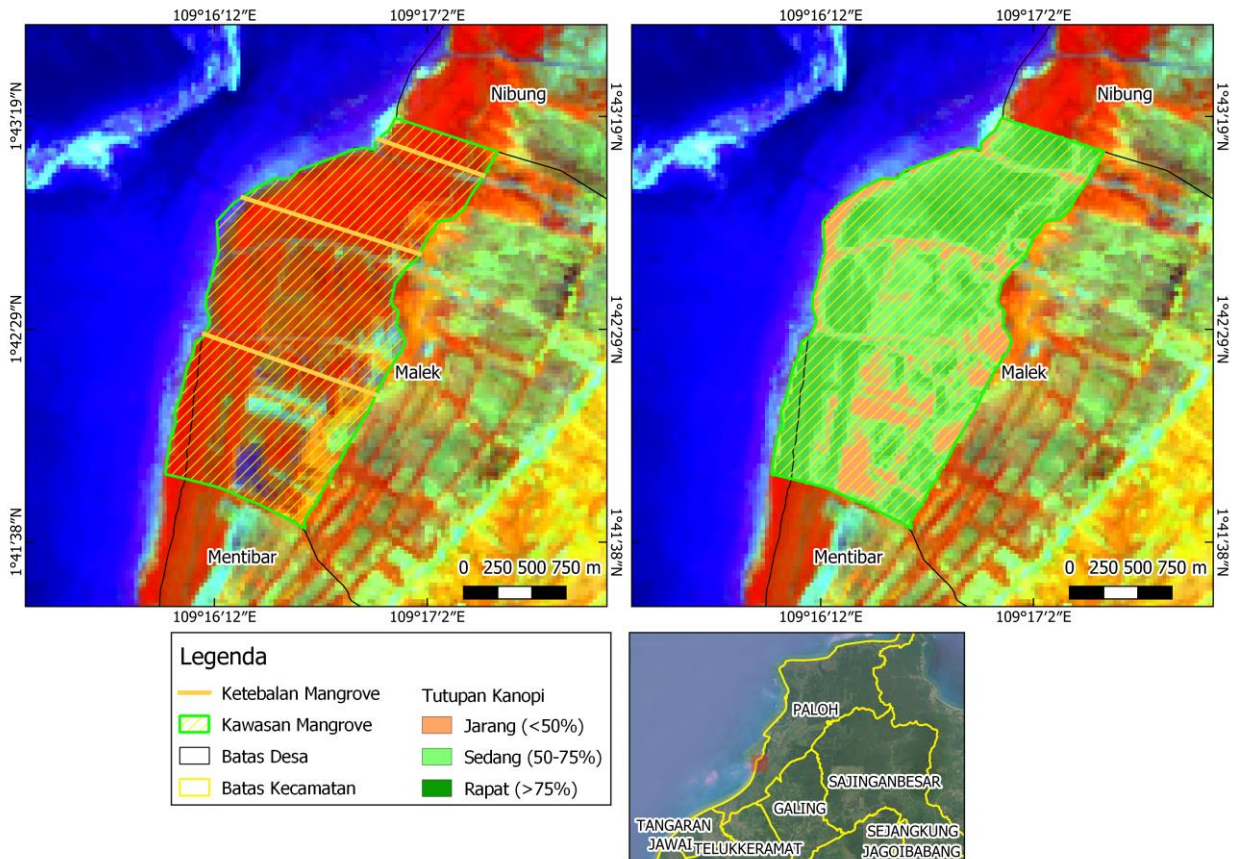
Struktur Komunitas Hutan Mangrove

Hasil penelitian menunjukkan, terdapat dua spesies mangrove sejati yang dominan di lokasi, yaitu jenis *A. marina* dan *B. gymnorrhiza*. Kerapatan pohon di dalam plot pengamatan berkisar 1.700-4.700 individu ha⁻¹ dengan rentang diameter pohon yang ditemukan 4,17-14,74 cm. Jumlah anakan alami di dalam plot berkisar 53-533 individu (dalam 100 m²). Tinggi pohon berkisar 3-6 meter dengan tutupan kanopi berkisar 71,04%-81,91% (Tabel 2). Jenis substrat yang ditemukan di lokasi adalah lumpur-berpasir, tutupan sampah < 25% dan tidak ditemukan bekas tebangan pohon di sekitar plot pengamatan.

Berdasarkan hasil analisis, jenis *A. marina* memiliki nilai basal area sebesar 8,86 m² ha⁻¹ dengan nilai INP sebesar 212,80% dan jenis *B. gymnorrhiza* memiliki nilai basal area sebesar 5,02 m² ha⁻¹ dengan nilai INP sebesar 187,20%. Secara umum, jenis *A. marina* lebih dominan dibandingkan dengan jenis *B. gymnorrhiza* di lokasi penelitian. Hal ini disebabkan karena kelompok *Avicennia* umumnya lebih adaptif terutama di daerah yang berbatasan langsung dengan laut (salinitas tinggi). Namun, berdasarkan jumlah anakan alami yang ditemukan di lokasi penelitian, anakan jenis *B. gymnorrhiza* cukup banyak ditemukan, terutama di daerah menuju ke darat. Hal ini mengindikasikan adanya perubahan struktur

Tabel 2. Struktur komunitas hutan mangrove di Desa Malek, Kabupaten Sambas

Titik Sampling	Deskripsi	Spesies dominan	N (DBH ≥ 4 cm)	Rerata DBH ± SD (cm)	Total Anakan
Mal1	Kerapatan pohon 1700 ind/ha, tutupan tajuk 81,91%, tinggi vegetasi 3-4 meter	<i>A. marina</i>	7	11,92 ± 2,66	0
		<i>B. gymnorrhiza</i>	10	7,58 ± 3,49	125
Mal2	Kerapatan pohon 4700 ind/ha, tutupan tajuk 76,89%, tinggi vegetasi 3-4 meter	<i>A. marina</i>	30	7,08 ± 2,80	45
		<i>B. gymnorrhiza</i>	17	6,15 ± 3,14	8
Mal3	Kerapatan pohon 3400 ind/ha, tutupan tajuk 71,04%, tinggi vegetasi 5-6 meter	<i>A. marina</i>	12	7,30 ± 3,82	4
		<i>B. gymnorrhiza</i>	22	4,39 ± 0,69	529



Gambar 4. Distribusi dan kondisi tutupan kanopi hutan mangrove di Desa Malek, Kabupaten Sambas

komunitas ke depan di mana komunitas mangrove umumnya memiliki pola zonasi yang dipengaruhi oleh karakteristik fisika-kimia lingkungan (Yuvaraj *et al.*, 2017).

Rentang diameter pohon di lokasi cukup rendah, jika dibandingkan dengan beberapa kawasan mangrove lain, seperti penelitian dari Habdiansyah *et al.* (2015) di kawasan mangrove Desa Sebusubus, Kabupaten Sambas, dengan rentang DBH 5,09-35,35 cm. Namun, jika dibandingkan dengan lokasi lain, seperti di kawasan mangrove kemujan, Kepulauan Karimunjawa (Kurniawan *et al.*, 2014) dengan rentang DBH berkisar 7,35-12,10 cm, rentang nilai diameter pohon yang ditemukan di lokasi relatif lebih tinggi. Selain itu, kerapatan vegetasi mangrove di lokasi juga relatif lebih padat dibandingkan dengan dua lokasi tersebut. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh umur vegetasi, tekanan lingkungan, dan laju pertumbuhan spesies mangrove yang dominan di lokasi.

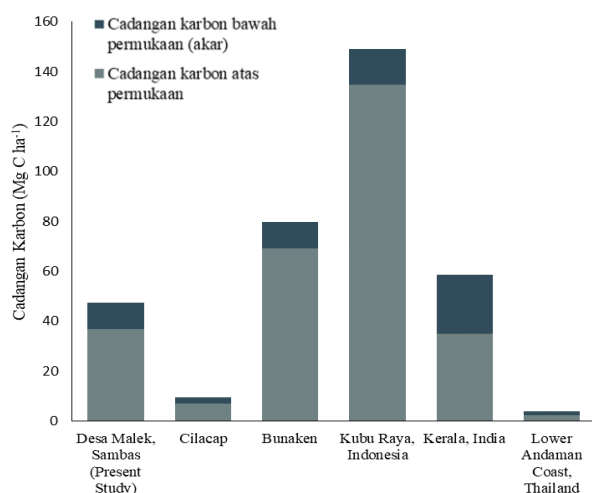
Indeks vegetasi NDVI pada lokasi berkisar 0,11-0,90. Hasil analisis regresi antara nilai NDVI dan tutupan kanopi di plot pengamatan menunjukkan adanya hubungan yang erat dengan nilai koefisien regresi (R^2) sebesar 0,917 atau 91,7%. Nilai NDVI dapat dijadikan variabel dalam menentukan kerapatan tajuk dari suatu titik (Billah *et al.*, 2020). Model

linear yang dihasilkan dari analisis regresi tersebut adalah $y = 123,4x - 20,34$ di mana y merupakan variabel terikat (persentase tutupan kanopi) dan x merupakan variabel bebas (NDVI).

Distribusi dan Kondisi Hutan Mangrove

Luas kawasan mangrove di Desa Malek adalah sebesar 368,41 ha; terdistribusi ke dalam kategori ‘jarang’ sebesar 33,86 ha (9,19%), kategori ‘sedang’ sebesar 101,50 ha (27,55%), dan kategori ‘padat’ sebesar 233,02 ha (63,25%). Berdasarkan hubungan antara nilai NDVI dan tutupan tajuk, nilai tutupan tajuk di seluruh kawasan mangrove berkisar 0-91,05%. Ketebalan mangrove di lokasi yang dihitung tegak lurus garis pantai berkisar 776-1.469 m. Penggunaan lahan lain yang ditemukan di kawasan mangrove, antara lain, adalah jalan, lahan pertanian, dan tambak (Gambar 4).

Distribusi mangrove dengan kriteria ‘baik’ (kategori ‘padat’ dan ‘sedang’) masih dominan di lokasi. Selain itu, tidak ditemukan bekas tebangan mangrove di sekitar plot pengamatan dan potensi anakan alami yang masih cukup. Hal ini mengindikasikan, bahwa kondisi hutan mangrove di Desa Malek dapat dikatakan ‘baik’ dan tekanan lingkungan terhadap keberadaan hutan mangrove minim. Ketebalan mangrove di lokasi ini termasuk dalam



Gambar 5. Grafik perbandingan nilai cadangan karbon pada penelitian dengan beberapa kawasan hutan mangrove di lokasi lain

kategori ‘tebal’ (200-500 meter) (Nugroho et al., 2019). Namun, ketebalan mangrove di lokasi masih lebih rendah dibandingkan dengan beberapa kawasan mangrove di Kalimantan Barat, seperti di Muara Kubu, Kabupaten Kubu Raya, dengan rata-rata ketebalan mangrove mencapai lebih dari 1 km (Nugroho et al., 2019).

Cadangan Karbon Hutan Mangrove

Berdasarkan perhitungan biomassa melalui persamaan allometrik yang tersedia, nilai AGB di kawasan mangrove Desa Malek berkisar 49,13-104,75 Mg ha⁻¹ dan nilai BGB (akar) berkisar 17,10-36,97 Mg ha⁻¹. Nilai estimasi cadangan karbon vegetasi mangrove (total karbon vegetasi) berkisar 29,76-63,66 Mg C ha⁻¹. Secara keseluruhan, nilai potensi cadangan karbon di kawasan mangrove Desa Malek diestimasi sebesar 2.343,57-11.471,54 Mg C melalui konversi nilai luasan mangrove dengan kriteria ‘baik’ (kategori ‘sedang’ dan ‘padat’).

Ekosistem mangrove memiliki kemampuan sebagai penyerap karbon (*carbon sink/carbon sequestration*) sejalan dengan fungsinya sebagai penyimpan karbon (*carbon stock*). Karbon dalam ekosistem mangrove tersimpan dalam bentuk biomassa vegetasi (*vegetation carbon stock*) dan di dalam substrat dalam bentuk karbon organik tanah (*soil organic carbon*) (Kauffman and Donato, 2012). Berdasarkan penelitian Matsui et al. (2012), karbon vegetasi dan karbon organik tanah ekosistem mangrove mengalami peningkatan selama waktu tertentu; akumulasi serapan tersebut bergantung pada variabel jenis dan kondisi tanah.

Cadangan karbon vegetasi mangrove di Desa Malek, Kabupaten Sambas, cukup tinggi dibandingkan dengan kawasan mangrove di daerah Cilacap

(Murdiyarso et al., 2015) dan Lower Andaman Coast, Thailand (Wanthongchai and Pongruktham, 2019). Namun, lebih rendah jika dibandingkan dengan beberapa kawasan mangrove lain, seperti di Bunaken dan Kubu Raya (Murdiyarso et al., 2015) serta daerah Kerala, India (Harishma et al., 2020) (Gambar 5). Nilai potensi cadangan karbon vegetasi mangrove dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kerapatan vegetasi, distribusi jenis, tinggi vegetasi, dan nilai DBH vegetasi mangrove (Komiya et al., 2005).

KESIMPULAN

Terdapat dua jenis mangrove sejati yang dominan di Kawasan hutan mangrove Desa Malek, yaitu *A. marina* dan *B. gymnorrhiza*. Luas kawasan mangrove di desa ini sebesar 368,41 ha dengan distribusi kategori ‘padat’ 63,25%, ‘sedang’ 27,55%, dan ‘jarang’ 9,19%. Selain itu, potensi cadangan karbon vegetasi mangrove berkisar 29,76-63,66 Mg C ha⁻¹ dengan total potensi cadangan karbon di seluruh kawasan mangrove berkisar 2.343,57-11.471,54 Mg C.

Ucapan terima kasih. Terima kasih disampaikan kepada Rektor Universitas Tanjungpura, Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, dan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Indonesia atas bantuan hibah penelitian DIPA Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Tahun 2021, Nomor 2881/UN22.8/PG/2021. Terima kasih juga disampaikan kepada pihak-pihak terkait yang telah membantu penelitian ini. “*Kami menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan dengan organisasi manapun mengenai bahan yang didiskusikan dalam naskah ini*”.

REFERENSI

- ARIFANTI, V.B., NOVITA, N., SUBARNO and TOSIANI, A. (2021) Mangrove deforestation and CO₂ emissions in Indonesia. In: *The 6th INAFOR 2021 Stream 3*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, pp. 1-9.
- BILLAH, M., ARTHANA, I.W., RESTU, I.W. and AS-SYAKUR, A.R. (2020) Analisis Perubahan Luasan dan Kerapatan Tajuk Mangrove di Kecamatan Borong Kabupaten Manggarai Timur. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 6(1), pp. 43-50.
- DHARMAWAN, I.W.E., SUYARSO, ULUMUDDIN, Y.I., PRAYUDHA, B. and PRAMUDJI

- (2020) *Panduan Monitoring Struktur Komunitas Mangrove di Indonesia*. Bogor: PT Media Sains Nasional.
- DHARMAWAN, I.W.S. and SIREGAR, C.A. (2008) Karbon Tanah dan Pendugaan Karbon Tegakan *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, V(4), pp. 317-328.
- ENGLISH, S.A., WILKINSON, C. and BAKER, V. (eds.) (1997) *Survey manual for tropical marine resources*. 2. ed. Townsville: Australian Institute of Marine Science.
- FINLAYSON, C.M., HORWITZ, P. and WEINSTEIN, P. (eds.) (2015) *Wetlands and Human Health*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- GIESEN, W., WULFFRAAT, S., ZIEREN, M. and SCHOLTEN, L. (2007) *Mangrove guidebook for Southeast Asia*. Bangkok: FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Wetlands International.
- GIRI, C., OCHIENG, E., TIESZEN, L.L., ZHU, Z. and SINGH, A. (2011) Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data: Status and distributions of global mangroves. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1), pp. 154-159.
- HABDIANSYAH, P., LOVADI, I. and LINDA, R. (2015) *Profil Vegetasi Mangrove Desa Sebusus Kecamatan Paloh Kabupaten Sambas*. 4, p. 9.
- HARISHMA, K.M., SANDEEP, S. and SREEKUMAR, V.B. (2020) Biomass and carbon stocks in mangrove ecosystems of Kerala, southwest coast of India. *Ecological Processes*, 9(1), p. 31.
- KAUFFMAN, J.B. and DONATO, D. (2012) *Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests*. Center for International Forestry Research (CIFOR).
- KLHK (2021) *Peta Mangrove Nasional 2021*. Jakarta: Direktorat Konservasi Tanah dan Air KLHK.
- KOMIYAMA, A., POUNGPARN, S. and KATO, S. (2005) Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21(4), pp. 471-477.
- KURNIAWAN, C.A., PRIBADI, R. and NIRWANI (2014) Struktur dan Komposisi Vegetasi Mangrove di Tracking Mangrove Kemujan Kepulauan Karimunjawa. *Journal of Marine Research*, 3(3), pp. 351-358.
- LAPAN (2015) *Pedoman Pengolahan Data Penginderaan Jauh Landsat 8 Untuk Mangrove*. Jakarta: Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh LAPAN.
- MATSUI, N., MORIMUNE, K., MEEPOL, W. and CHUKWAMDEE, J. (2012) Ten Year Evaluation of Carbon Stock in Mangrove Plantation Reforested from an Abandoned Shrimp Pond. *Forests*, 3(2), pp. 431-444.
- MITRA, A. (2013) *Sensitivity of Mangrove Ecosystem to Changing Climate*. New Delhi: Springer India.
- MURDIYARSO, D., PURBOPUSPITO, J., KAUFFMAN, J.B., WARREN, M.W. and SASMITO, S.D. (2015) The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 5(12), pp. 1089-1092.
- NOOR, Y.R., KHAZALI, M. and SURYADIPUTRA, I.N.N. (2006) *Panduan pengenalan mangrove di Indonesia*. Bogor: Ditjen PHKA: Wetlands International, Indonesia Programme.
- NUGROHO, T.S., FAHRUDIN, A., YULIANDA, F. and BENGEN, D.G. (2019) Analisis kesesuaian lahan dan daya dukung ekowisata mangrove di Kawasan Mangrove Muara Kubu, Kalimantan Barat. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 9(2).
- QGIS.ORG (2022) *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association. <http://www.qgis.org>.
- ROUSE, W., HAAS, R.H., SHELL, J.A. and DEERING, D.W. (1974) *Monitoring Vegetation Systems in The Great Plains With ERTS*. pp. 309-317.
- SAENGER, P. (2002) *Mangrove Ecology, Silviculture and Conservation*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- WANTHONGCHAI, P. and PONGRUKTHAM, O. (2019) Mangrove Cover, Biodiversity, and Carbon Storage of Mangrove Forests in Thailand. In: GUL, B. et al. (eds.) *Sabkha Ecosystems*. Tasks for Vegetation Science. Cham: Springer International Publishing, pp. 459-467.
- YUVARAJ, E., DHARANIRAJAN, K., JAYAKUMAR, S. and BALASUBRAMANIAM, J. (2017) Distribution and zonation pattern of mangrove forest in Shoal Bay Creek, Andaman Islands, India. *Indian Journal of Marine Science*, 46(03), p. 9.