



## Estimasi Simpanan Karbon Hutan Mangrove Menggunakan Citra (SAR) *Synthetic Aperture Radar Sentinel-1* di Taman Hutan Raya Ngurah Rai, Bali

Gede Dicky Pradipta Wedayana <sup>a</sup>, I Wayan Gede Astawa Karang <sup>a,b\*</sup>, Abd. Rahman As-syakur <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

<sup>b</sup>Center for Remote Sensing and Ocean Sciences (CReSOS), Universitas Udayana, Bali, Indonesia

\*Corresponding author, email:gedekarang@unud.ac.id

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received : 13 Mei 2022

Received in revised form : 15 Juli 2022

Accepted : 18 November 2022

Available online : 28 Februari 2023

#### Keywords:

Mangrove

Carbon

Sentinel-1

SAR

### ABSTRACT

Taman Hutan Raya (Tahura) Ngurah Rai, Bali, is recorded to have a mangrove forest covering an area of 1,373.5 ha, which plays a role in absorbing carbon from the atmosphere. Carbon is stored in the form of biomass. The bigger the biomass, the bigger the carbon stock in it. Direct measurement of biomass in the field requires an expensive method, a relatively long time, and narrow area coverage. Nowadays, the weakness of measuring carbon stocks directly in the field can be overcome by remote sensing approaches, especially estimations from satellite imagery combined with geographic information systems (SIG). One of the images that can be used to estimate carbon stock is the Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR) image. The aim of this research is to estimate biomass and carbon stocks based on SAR backscatter distribution. The method used is the analysis of satellite imagery combined with field data. Field data collection and above-ground biomass (AGB) calculations were carried out by taking 30 plots with a plot size of 10 x 10 m. The results showed that there was a correlation between the backscatter value of SAR images and AGB from field measurements ( $r = 0.59$  and the AGB estimation model  $y = 57.42x + 1223.8$ , where  $y$  is biomass and  $x$  is backscatter), and the coefficient of determination  $R^2 = 0.36$ . The estimation model developed next is used to calculate the overall AGB, which is then used to estimate the overall aboveground carbon storage.

2023 JMRT. All rights reserved.

### 1. Pendahuluan

Mangrove adalah jenis tanaman dikotil yang hidup di habitat air payau dan air laut. Mangrove berfungsi sebagai sumber daya alam khas daerah pantai tropik yang mempunyai fungsi strategis bagi ekosistem pantai yaitu sebagai penyambung dan penyeimbang ekosistem darat dan laut (Zamroni dan Rohyani, 2008). Ekosistem Mangrove memiliki fungsi ekologis yang penting bagi wilayah pesisir, selain itu mangrove berperan sebagai penyerap dan penyimpan karbon dalam upaya mitigasi pemanasan global (Rachmawati *et al.*, 2014). Mangrove menyerap CO<sub>2</sub> pada saat proses fotosintesis, kemudian mengubahnya menjadi karbohidrat dengan menyimpannya dalam bentuk biomassa pada akar, pohon, serta daun (Suryono, 2018). Peranan hutan sebagai penyerap dan penyimpan karbon sangat penting dalam rangka mengatasi masalah efek gas rumah kaca yang mengakibatkan pemanasan global (Yuniawati *et al.*, 2011).

Perhitungan emisi karbon dilakukan dengan pengukuran estimasi biomassa melalui pemanenan dan pendataan inventarisasi hutan dengan menggunakan persamaan alometrik (Sutaryo, 2009). Cara tradisional ini akan memakan waktu yang lama, membutuhkan banyak tenaga dan sulit diimplementasikan, khususnya di area terpencil dan tidak dapat menghasilkan distribusi spasial dari biomassa pada area yang luas. Untuk mengatasi masalah ini para ilmuwan merekomendasikan teknologi penginderaan jauh sebagai salah satu opsi dengan dibantu oleh data inventori, metode ini memiliki kelebihan lebih cepat dalam proses dan biayanya lebih murah, ditambah lebih ramah lingkungan karena hanya memerlukan sedikit pengambilan sampel dengan

pemanenan atau bahkan tidak memerlukan pemanenan sama sekali (Lubis *et al.*, 2020). Salah satu penginderaan jauh menggunakan *Synthetic Aperture Radar* (SAR) merupakan sistem satelit aktif yang memiliki kelebihan dapat bekerja di segala cuaca, akuisisi data yang dapat dilakukan siang dan malam, serta kemampuan sensornya menembus awan serta dapat digunakan untuk estimasi simpanan karbon. Perekaman SAR menggunakan sensor *C-Band* memiliki panjang gelombang (3,75-7,5 cm) yang dapat menembus kanopi vegetasi hingga percabangan, sehingga nilai hamburan balik (*backscatter*) tidak terganggu oleh genangan air di permukaan (Bayanuddin dan Anna, 2016).

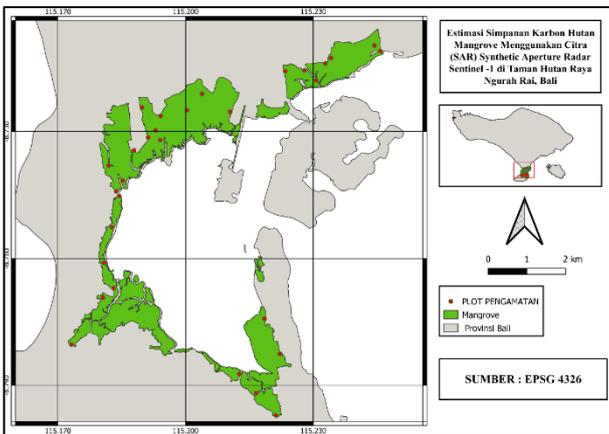
Taman Hutan Raya (Tahura) Ngurah Rai, Bali adalah salah satu hutan mangrove di Indonesia yang memiliki fungsi sebagai tempat penyerapan karbon. Tahura Ngurah Rai ditetapkan berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan Nomer 554/Kpts-II/1993 tahun 1993 memiliki luas 1.373,50 Ha. Penelitian simpanan karbon mangrove di Tahura Ngurah Rai, Bali telah dilakukan sebelumnya oleh Candra *et al* (2016) dengan menggunakan Worldview-2 dan mendapatkan nilai AGB 35.349,89 ton. Penelitian terbaru terkait simpanan karbon dengan teknologi penginderaan jauh dilakukan oleh Mahasani *et al.* (2021). Penelitian tersebut menggunakan citra ALOS Palsar L band (10-100 cm) dengan hasil estimasi AGB 434.941,63 ton dan 204.422,59 ton C. Korelasi dari penelitian sebesar 0,90 determinan. Selain *L-Band*, *band* yang telah banyak digunakan untuk pemetaan stok karbon adalah *C-Band* dengan panjang gelombang 3,8 – 7,5 cm. Penelitian mengenai stok karbon menggunakan *C-Band* telah dilakukan oleh Berninger *et al* (2018) di Kalimantan dan mendapatkan Hasil estimasi 250 Ton/ha. Sampai saat ini informasi tentang simpanan karbon di hutan mangrove

Tahura Ngurah Rai menggunakan sensor *C-Band* belum tersedia informasinya, maka dari itu perlu melakukan penelitian kandungan karbon di hutan mangrove Tahura Ngurah Rai, Bali. dengan pendekatan panjang gelombang mikro yang berbeda. Salah satu sensor yang memiliki panjang gelombang C (*C-band*) adalah Satelit SAR Sentinel-1.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2021 – April 2022. Pengambilan data dilakukan di Kawasan mangrove Taman Hutan Raya (TAHURA) Ngurah Rai Bali (Gambar 1). Secara Administratif lokasi penelitian terletak pada dua Kabupaten yaitu Kabupaten Denpasar, Kecamatan Denpasar Selatan dan Kabupaten Badung, Kecamatan Kuta, Provinsi Bali.



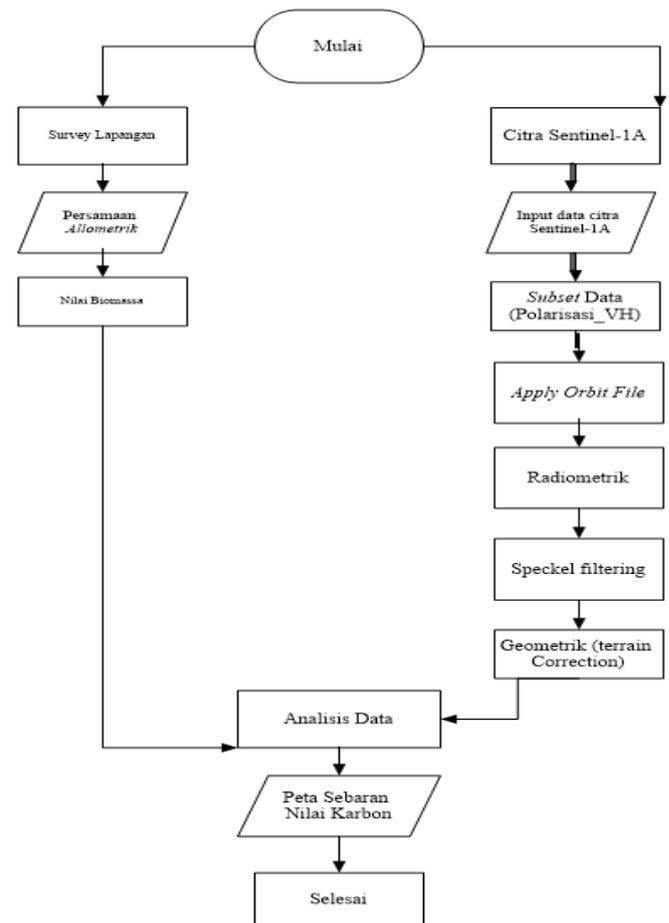
Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

### 2.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat keras, perangkat lunak untuk pengolahan data, serta peralatan lainnya yang dibutuhkan saat pengambilan data di lapangan. Perangkat keras yang digunakan untuk mengolah data adalah seperangkat laptop, sedangkan perangkat lunak yang digunakan adalah *Software SNAP* dan *Software QGIS*. Peralatan yang digunakan untuk pengambilan data lapangan adalah GPS, Kamera, Alat Tulis, Roll Meter, Pita Ukur, Tali Rafia, dan Buku Identifikasi Mangrove. Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah citra SAR Sentinel-1 sensor *C-Band* sebagai data pembuat peta sebaran karbon. Citra SAR diperoleh dari website <https://asf.alaska.edu/> tanggal akuisisi 16 April 2022.

### 2.3 Diagram Alir Penelitian

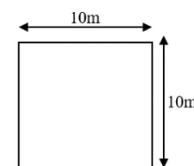
Secara garis besar penelitian dilakukan melalui studi literatur setelah itu melakukan *Pre Processing*; Pengolahan citra; Pengambilan data dan Analisis data. Pada tahap *pre processing* dilakukan pada aplikasi SNAP mengolah citra Sentinel-1 setelah itu menggabungkan dengan data lapangan yang didapatkan. Kedua data tersebut dilakukan analisis data dan melakukan validasi data, setelah semua di validasi maka hasil akhir mengolah peta AGB. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2. Adapun rincian dari tahapan tersebut adalah sebagai berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

### 2.4 Metode Penentuan Lokasi

Rancangan penelitian ini menggunakan metode Purposive sampling dimana dalam menentukan lokasi adanya pertimbangan dalam pengambilan data seperti diameter mangrove dan aksesibilitas untuk pengambilan data. Dengan lokasi dibatasi dengan plot berukuran 10 x 10 meter (Gambar 3) dengan jumlah 30 plot yang bertujuan untuk membatasi wilayah petak pengamatan yang mengikuti metode COREMAP CTI dimana di dalam plot dilakukan pengukuran parameter penelitian yaitu simpanan karbon atas permukaan tanah.



Gambar 3. Bentuk dan Ukuran Plot

Ukuran sampel plot sangat erat kaitannya jumlah pohon dan perbedaan atau variasi dari cadangan karbon diantara plot-plot tersebut. Intinya, plot harus cukup besar untuk berisi pohon yang akan diukur dalam jumlah yang cukup (IPCC, 2003). Penentuan jumlah plot juga dapat mempertimbangkan waktu dan biaya kegiatan.

*Diameter Breast Height*, diameter setinggi dada atau kurang lebih 1.3 m dari permukaan tanah. Metode mengukur pohon dalam penelitian ekologi hutan, penelitian biomassa atau pendataan potensi hutan. Teknis pengukuran diameter batang dibagi menjadi

beberapa kondisi, pengukuran dilakukan setinggi dada orang dewasa atau 1,3 meter di atas permukaan tanah. Pohon yang memiliki akar dengan ketinggian lebih dari 1,3 meter dari permukaan tanah, maka diameter pohon dihitung 30 cm di atas akar. Jika pohon bercabang lebih dari 1,3 meter, diameter pohon dihitung 1,3 meter di atas tanah, dan pohon dianggap satu, tetapi jika lokasi percabangan di bawah 1,3 meter, maka diameter pohon dihitung untuk setiap percabangan. Perhitungannya akan berbeda untuk setiap kondisi.

## 2.5 Pra Pengolahan Citra

### a. Pemotongan Citra (*Subset*)

Pemotongan citra dilakukan untuk membatasi daerah penelitian sehingga memudahkan analisis pada komputer. Citra Sentinel-1 memiliki ukuran data yang besar sehingga pemotongan citra akan mengurangi ukuran data yang akan dianalisis. Teknik yang digunakan pada tahapan subset adalah dengan pilihan subset pada toolbar raster lalu memfokuskan lokasi yang diinginkan pada citra.

### b. Kalibrasi Radiometrik

Tujuan kalibrasi radiometrik adalah menyediakan data SAR dengan nilai piksel yang berhubungan dengan hamburan balik (*backscatter*) yang dipantulkan oleh permukaan bumi sehingga data yang telah dikalibrasi dapat digunakan pada analisis kuantitatif. Proses kalibrasi radiometrik menghasilkan data citra SAR dengan nilai sigma nought ( $\sigma_0$ ) (Murti *et al.*, 2015). Nilai Digital (DN) pada gambar mewakili intensitas sinyal radar. Untuk memplot nilai *backscatter* pada basis multi-waktu, nilai DN sebelumnya diubah menjadi *decibel* (dB) sesuai dengan rumus berikut.

$$\text{Backscatter (dB)} = 10 * \log_{10} (\text{DN}) \quad (1)$$

### c. *Speckle Filtering*

Citra SAR memiliki derau atau noise seperti bintang-bintang hitam maupun putih yang muncul secara acak dan biasa disebut *salt and pepper* yang mengganggu kualitas citra dan mempersulit interpretasi citra. Hal ini mengakibatkan perlu dilakukan penyaringan *speckle* untuk menghilangkan *salt and pepper* tersebut. Efek *filtering* yang digunakan adalah Filter Lee sigma. Efek dari Filter Lee sigma yaitu menghilangkan *riple*.

## 2.6 Pengolahan Citra

Hamburan balik yang diterima oleh sensor berbeda beda untuk setiap objek dipermukaan bumi sehingga menghasilkan nilai yang berbeda beda pada tiap piksel. Nilai hamburan balik tersebut disebut nilai *backscatter*. Sebelumnya, dibuat titik-titik pada piksel citra yang mewakili tiap tutupan lahan yang telah diperoleh di lapangan. Nilai *backscatter* dihitung untuk titik yang telah ditentukan sebelumnya, sehingga dapat diperoleh data tutupan lahan Taman Hutan Raya Ngurah Rai Bali. Analisis nilai *backscatter* dilakukan di aplikasi SNAP S1-toolbox.

## 2.7 Analisis Data Hasil Survei

Data yang diperoleh selama survei lapangan kemudian akan diolah untuk analisis lebih lanjut. Nilai cadangan karbon dan massa dihitung menggunakan model persamaan alometrik. Persamaan alometrik digunakan untuk menentukan hubungan antara ukuran pohon (diameter atau tinggi) dan berat keseluruhan (kering) pohon.

Persamaan alometrik untuk menghitung biomassa pohon bakau di mana diameter (dbh) dan tinggi digunakan untuk persamaan spesifik spesies, dan diameter dan kerapatan kayu digunakan untuk persamaan umum. Persamaan umum mencakup semua biomassa di atas permukaan tanah. B = biomassa (kg), H = tinggi (m), D = diameter setinggi dada (cm), = kerapatan kayu (g/cm<sup>3</sup>), (Kauffman dan Donato, 2012). Adapun persamaan common allometric equation pada aboveground sebagai berikut (Komiya *et al.*, 2008):

$$W_{top} = 0,251 \rho D^{2,46} \quad (2)$$

Persamaan menggunakan tinggi dan diameter pohon untuk menghitung biomassa mangrove dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Persamaan Alometrik

No	Jenis Mangrove	Berat Jenis (g/cm <sup>3</sup> )
1.	<i>Rhizophora apiculata</i>	1,05 g/cm <sup>3</sup>
2.	<i>Rhizophora mucronate</i>	1,05 g/cm <sup>3</sup>
3.	<i>Rhizophora stylosa</i>	1,04 g/cm <sup>3</sup>
4.	<i>Sonneratia alba</i>	0,78 g/cm <sup>3</sup>
5.	<i>Avicennia marina</i>	0,83 g/cm <sup>3</sup>
6.	<i>Xylocarpus granatu</i>	0,7 g/cm <sup>3</sup>
7.	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i>	0,975 g/cm <sup>3</sup>

Sumber: ICRAF

Nilai biomassa yang sudah diperoleh dari persamaan alometrik kemudian dikalikan konsentrasi karbon yang tersimpan yaitu sebesar 47% (SNI, 2011).

## 2.8 Pengukuran Estimasi Biomassa di Atas Permukaan Tanah Menggunakan Analisis Regresi Linear Sederhana

Analisis regresi linier sederhana merupakan model persamaan matematis yang digunakan untuk mengestimasi vegetasi hijau berdasarkan koefisien hamburan balik dan pengukuran lapangan. Persamaan model regresi linier menunjukkan antara koefisien hamburan balik (X) dan biomassa di atas permukaan tanah (AGB) (Y). Menurut Sudjana (2017), bentuk persamaan regresi dapat dilihat pada persamaan (3).

$$\text{linear } y = a + bx \quad (3)$$

Keterangan:

a: konstanta

b: variabel

x: koefisien hamburan balik

y: biomassa di atas permukaan tanah (AGB)

## 2.9 Pengukuran Estimasi Biomassa di Atas Permukaan Menggunakan Korelasi Hamburan Balik dengan AGB

Koefisien korelasi (r) adalah variabel yang dapat menunjukkan hubungan antara dua atau lebih perubahan terhadap perubahan dependen (Walpole, 1995). Rumus korelasi sederhananya dapat dilihat pada persamaan (4).

$$r = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}\right)\left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}\right)}} \quad (4)$$

Keterangan:

$R$ : koefisien korelasi

$x$ : koefisien hamburan balik

$y$ : biomassa di atas permukaan tanah (AGB)

Rentang nilai korelasi

$$-1 < r < +1 \quad (5)$$

Keterangan:

Korelasi kuat jika: 0,6 hingga 1 atau -0,6 hingga -1

Korelasi sedang jika: 0,4 hingga 0,6 atau -0,4 hingga -0,6

Korelasi tidak kuat jika: 0 hingga 0,4 atau 0 hingga -0,4

### 2.10 Aboveground Biomass (AGB) Estimation

Nilai estimasi biomassa di atas permukaan tanah (AGB) diperoleh dari Model Regresi Linier yang mengacu pada persamaan 1 maka dihasilkan rumus estimasi AGB dapat dilihat pada persamaan (6).

$$AGB = (57,42 \cdot \sigma VH) + 1223,8 \quad (6)$$

Keterangan:

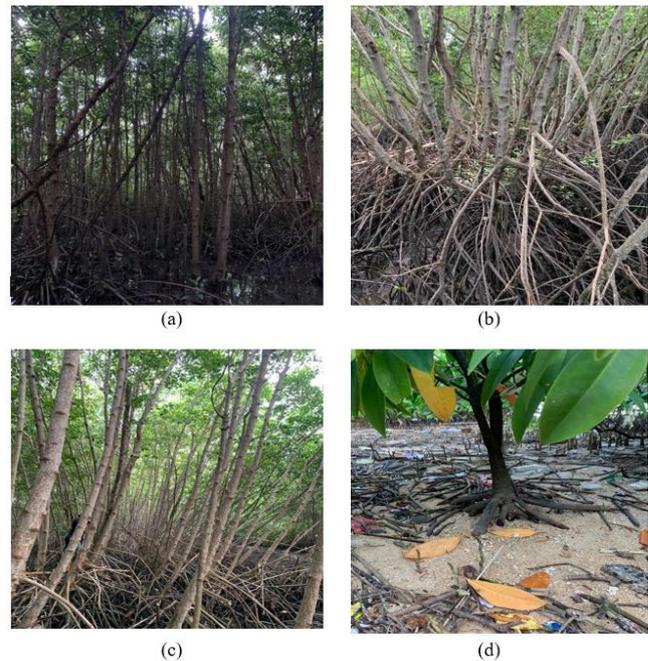
AGB: biomassa di atas permukaan tanah (AGB)

$\sigma VH$ : koefisien hamburan balik VH

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Kondisi Umum Mangrove di Kawasan TAHURA Ngurah Rai

Vegetasi mangrove di wilayah TAHURA Ngurah Rai Bali terdiri dari 2 vegetasi yaitu vegetasi rehabilitasi dan vegetasi alami. Pada wilayah penelitian meliputi wilayah Pantai Mertasari, Pelabuhan Pamelisan, Pulau Serangan, Pura Prapat Nunggal, Jalan Pura Batu Lumbang, Mangrove Concentration Forest, Pura Luhur Candi Narmada, Tukad Mati, Kampoeng Kepiting, Mangrove Kelan, Wana Segara Kertih, Setra agung kedonganan, Mangrove Jimbaran, Mangrove Taman Sari, Jalan Pratama Raya, Mangrove Nusa Dua.



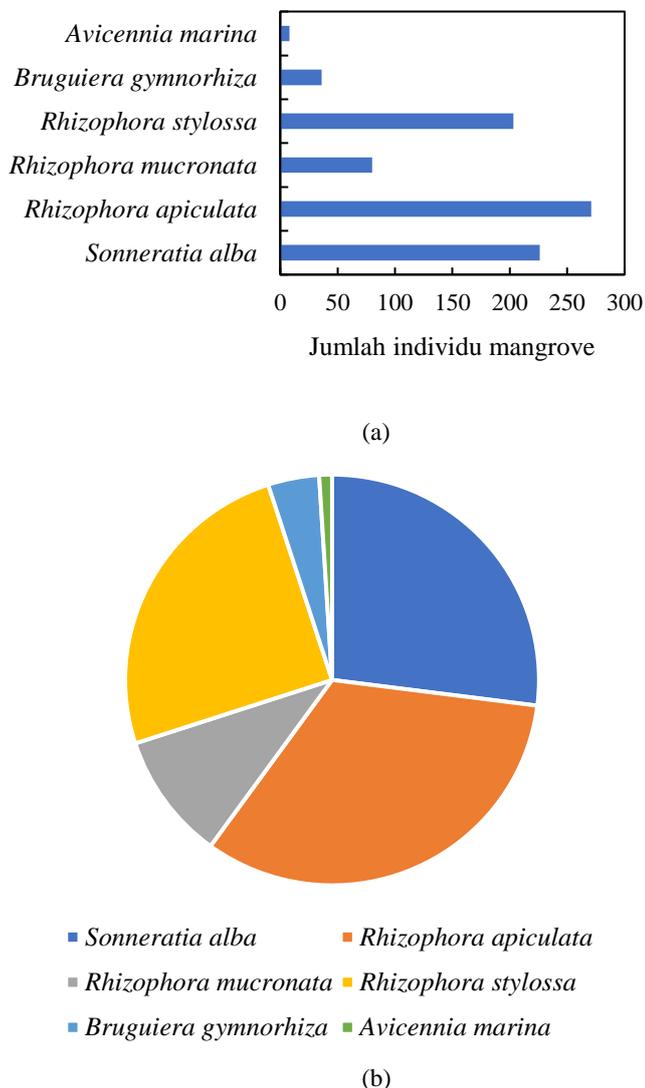
**Gambar 4.** Kondisi Umum Mangrove

Keterangan: a. Pantai Mertasari; b. Mangrove Information Center ; c. Pelabuhan Pamelisan; d. Mangrove Nusa Dua

Pada wilayah Pantai Mertasari ditemukan jenis Mangrove yaitu *R. stylosa*, *S. alba*, *R. apiculata*, *B. gymnoriza*. Pada wilayah Pelabuhan Pamelisan ditemukan mangrove dengan jenis *R. stylosa*, *S. alba*, *R. apiculata*. Pada wilayah Pulau Serangan ditemukan jenis mangrove *R. apiculata* dan *S. alba*. Pada wilayah Pura Prapat Nunggal ditemukan jenis *R. apiculata*, *R. mucronata*, *R. stilosa*. Pada wilayah Jalan Pura Batu Lumbang ditemuka jenis *R. stylosa* dan *R. mucronata*. Pada wilayah Mangrove Information Center yaitu *R. stylosa*, *S. alba*, *R. mucronata* dan *R. stylosa*. Pada wilayah Pura Luhur Candi Narmada ditemukan jenis *R. apiculata*, *R. mucronata* dan *S. alba*. Pada wilayah Tukad Mati ditemukan jenis mangrove *R. apiculata* dan *S. alba*. Pada wilayah Kampoeng Kepiting ditemukan jenis mangrove *R. mucronata*, *S. alba* dan *R. apiculata*. Pada wilayah Mangrove Kelan ditemukan jenis mangrove yaitu *R. mucronata*, *S. alba* dan *R. apiculata*. Pada wilayah Wana Segara Kertih ditemukan mangrove dengan jenis *R. Apiculata* dan *S. Alba*. Pada wilayah Setra Agung Kedonganan ditemukan mangrove dengan jenis *S. alba*. Pada wilayah mangrove Jimbaran ditemukan jenis mangrove yaitu *R. mucronata* dan *R. apiculata*. Pada wilayah Mangrove Taman Sari ditemukan jenis mangrove yaitu *S. alba* dan *R. apiculata*. Pada wilayah Jalan Pratama Raya ditemukan mangrove dengan jenis *S. alba* dan *R. apiculata*. Pada wilayah Mangrove Nusa Dua ditemukan jenis mangrove yaitu *S. alba*, *A. marina*, *R. apicula* dan *B. gymnoriza*. Kondisi umum wilayah mangrove ditunjukkan pada Gambar 4.

Hasil identifikasi jenis mangrove dari 30 plot di lapangan ditemukan ada dua jenis mangrove yang mendominasi yaitu *S. alba* dengan jumlah individu yaitu 226 pohon dan jenis *R. apiculata* dengan jumlah yaitu 271 pohon. Mangrove *S. alba* hidup di berbagai substrat baik berpasir halus maupun berlumpur dan dapat dijumpai pada wilayah zona belakang dan tengah. Hal ini sesuai dengan pernyataan Lewerissa (2018) yang menyatakan bahwa mangrove dengan jenis *S. alba* hidup dengan substrat berpasir halus dan berlumpur. Mangrove dengan jenis *Sonneratia* memiliki jumlah dominasi tertinggi, hal tersebut juga didapatkan pada penelitian Mahasani *et al* (2021) yang mendapatkan hasil bahwa mangrove dengan jenis *S. alba* memiliki dominasi di wilayah vegetasi alami. *R. apiculata* dijumpai pada substrat berlumpur dengan wilayah

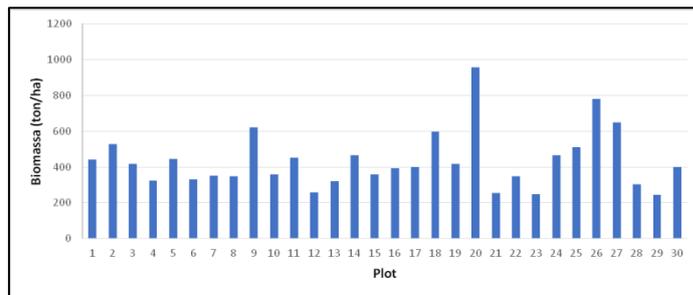
persebaran yaitu zona depan, Hal tersebut sesuai dengan pernyataan yang menyatakan bahwa *R. apiculata* tumbuh pada tanah berlumpur, halus, dalam dan tergenang pada saat pasang normal. Jumlah individu dan persentase mangrove ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Jumlah individu dan persentase mangrove; a. Diagram jumlah mangrove; b Persentase Jumlah Individu Mangrove

### 3.2 Hubungan Biomassa di Atas Permukaan Tanah (Above Ground Biomass) dengan Backscatter

Biomassa merupakan hasil akhir dari proses pertumbuhan hutan mangrove (Brown dan Gaston, 1996). Besarnya nilai potensi biomassa dipengaruhi oleh kemampuan pohon tersebut untuk menyerap karbon dari lingkungan melalui proses fotosintesis. Pengambilan plot pengamatan di lapangan dilakukan pada vegetasi alami dan vegetasi hasil rehabilitasi. Plot pengamatan berukuran 10 x 10 m dengan jumlah 30 plot dan pohon mangrove diukur dengan lingkaran batang setinggi dada untuk memperoleh *Diameter Breast Height* (DBH). Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran menggunakan alometrik, maka didapatkan hasil potensi biomassa dengan diameter > 4 cm atau keliling batang >16 cm dari data lapangan yaitu 12.579,83 ton/ha. Perbandingan potensi biomassa diatas permukaan pada masing-masing plot dapat dilihat pada Gambar 6.

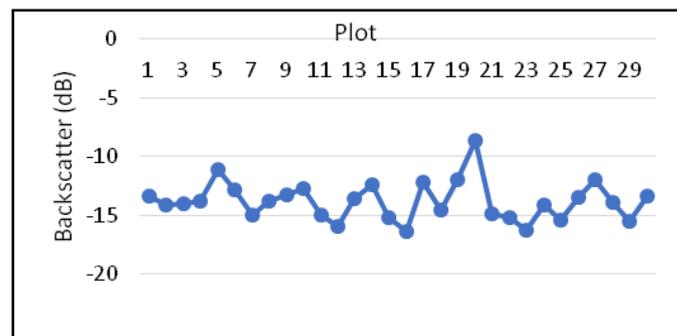


**Gambar 6.** Perbandingan Potensi Above Ground Biomass pada masing-masing Plot

Gambar 6. menunjukkan bahwa nilai AGB dari pengukuran lapangan (30 plot) bervariasi dengan nilai tertinggi 956 ton/ha pada plot 20 dan nilai terendah yaitu 245.70 ton/ha pada plot 29. Tinggi rendahnya nilai biomassa pada setiap plot dipengaruhi oleh ukuran batang, jumlah pohon dan jenis vegetasi mangrove. Penelitian mengenai biomassa sudah dilakukan oleh Analudin *et al.* (2020) di Sulawesi Tenggara dan mendapatkan rentang hasil yaitu 196.91 sampai 336.91 ton/ha dengan mangrove yang mendominasi yaitu *R. stylosa*. Selain itu Analudin *et al.* (2020) juga menjelaskan bahwa perbedaan pada nilai AGB disebabkan oleh perbedaan struktur tegakan, iklim, dan karakteristik habitat. Selain penelitian tersebut terdapat juga penelitian mengenai estimasi biomassa dilakukan di desa Margasari, pada pengamatan tersebut didapatkan bahwa nilai rata-rata estimasi biomassa yaitu sebesar 429,06 ton/ha. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mahasani *et al.* (2021) yang dilakukan di Teluk Bena, Bali mendapatkan bahwa nilai AGB tertinggi yaitu sebesar 309.94 ton/ha.

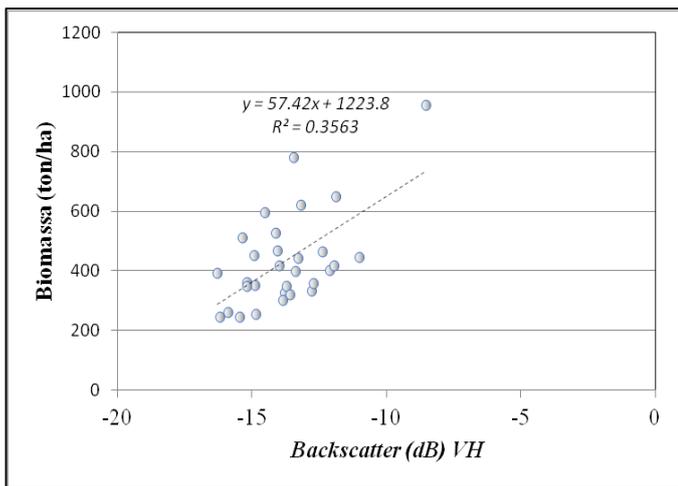
Dalam proses perhitungan biomassa dapat terjadi kesalahan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu salah satunya persamaan alometrik yang salah dan kesalahan instrumen. Penelitian ini menggunakan persamaan alometrik umum yaitu menggunakan rumus yang ditunjukkan pada Tabel 1. Kesalahan instrumen dapat terjadi dan dipengaruhi oleh perangkat GPS yang bergeser pada saat perekaman lokasi pohon, selain itu GPS juga dapat bergeser dikarenakan GPS tidak menerima sinyal yang cukup karena hambatan oleh tutupan kanopi mangrove.

Proses penapisan citra menggunakan filter *lee sigma* pada polarisasi VH. Hasil *filtering* dapat menggambarkan variasi biomassa di atas permukaan tanah. Filter ini dapat mengurangi hamburan *spekle* dan mempertahankan tepi atau fitur bentuk yang sesuai dengan kondisi medan yang memiliki berbagai relief. Setelah itu nilai *sigma nought* merupakan nilai *backscatter* yang telah mengalami proses normalisasi yang sudah sesuai dengan koordinat. Nilai *sigma nought* dianggap pemisah yang baik antara air dan permukaan tanah (Bioresita *et al.*, 2018) dan nilai tersebut merepresentasikan ukuran piksel yang mengacu ke permukaan tanah (Simarmata dan Hartono, 2014). Hasil nilai *backscatter* dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Nilai Koefisien Backscatter VH

Gambar 7 menunjukkan nilai koefisien dari *backscatter* tertinggi terdapat pada plot 20 dengan nilai -8.56 dB dan nilai koefisien terendah yaitu -16,30 dB pada plot 16. Hasil ini mengindikasikan polarisasi VH memiliki nilai sensitifitas lebih tinggi dibandingkan polarisasi lainnya. Analisis hubungan antara *backscatter* dengan biomassa diatas permukaan tanah dapat dilihat dari besarnya nilai  $R^2$  dari persamaan regresi yang dihasilkan. Selain itu dihitung nilai Runtuik menentukan hubungan antara nilai *backscatter* dengan biomassa. Korelasi yang kuat antar variabel menunjukkan bahwa hubungan linear antar variabel satu dan variabel lainnya dapat dijelaskan oleh variabel lainnya seperti yang disajikan pada gambar 8.



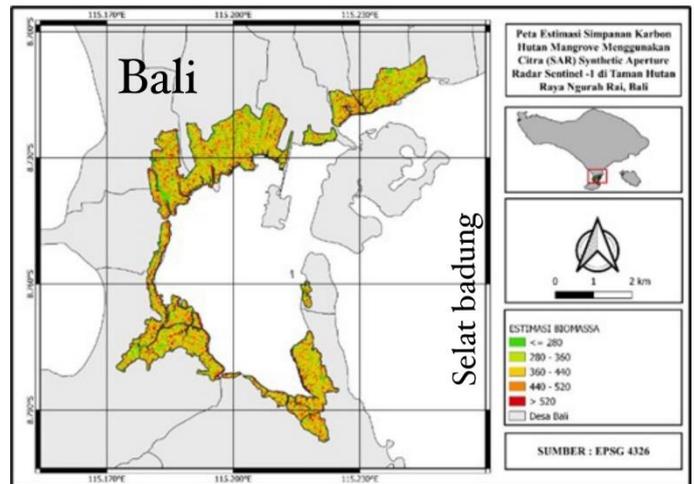
**Gambar 8.** Hubungan antara *Backscatter* dengan Biomassa di Atas Permukaan Tanah

Gambar 8 menunjukkan bahwa hasil persamaan regresi linear pada polarisasi VH digunakan sebagai dasar untuk model estimasi biomassa di atas permukaan tanah. Persamaan ini kemudian diterapkan Sentinel-1 untuk memperkirakan jumlah biomassa di atas permukaan tanah dalam penelitian. Bentuk persamaan regresi yang dihasilkan sebagai potensi estimasi biomassa diatas permukaan tanah berdasarkan nilai *backscatter* dari polarisasi VH citra Sentinel-1 di mangrove Tahura Ngurah Rai, Bali adalah  $y = 57,42x + 1123,8$ , dimana  $y$  adalah AGB dan  $X$  adalah nilai *backscatter* dari polarisasi VH. Koefisien determinasi yang dihasilkan yaitu ( $R^2$ ) adalah 0,36 dan koefisien korelasi ( $r$ ) adalah 0,59.

Grafik menunjukkan nilai *backscatter* berbanding lurus dengan nilai AGB. Koefisien determinasi menunjukkan bahwa polarisasi VH pada AGB di daerah penelitian yaitu 36% nilai *backscatter* mampu memprediksi nilai karbon, dan sisanya dipengaruhi oleh variabel lain. Pada penelitian Mahasani *et al.* (2021) mendapatkan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) adalah 0,82 di Teluk Bena, Bali menggunakan ALOS-2 PALSAR-2, perbedaan nilai koefisien korelasi dapat disebabkan karena informasi yang dapat diperoleh tentang volume hamburan vegetasi menggunakan HV dimana Jaya *et al.* (2017) polarisasi HV memiliki sensitivitas yang lebih baik dibandingkan dengan polarisasi lainnya. Selain itu band L juga dapat menghasilkan data dengan kekasaran permukaan tanah yang lebih baik dibandingkan dengan band lain yang mempunyai panjang gelombang lebih pendek (Mazloumi dan Sahebi 2016).

### 3.3 Estimasi Biomassa dan Stok Karbon di TAHURA Ngurah Rai Bali

Biomassa pohon di hutan mangrove merupakan suatu hasil akhir dari proses pertumbuhan hutan mangrove (Brown dan Gaston, 1996). Besarnya potensi biomassa dipengaruhi oleh kemampuan pohon tersebut untuk menyerap karbon dari lingkungan melalui proses fotosintesis. Potensi biomassa diatas permukaan tanah diukur menggunakan nilai DBH yang berikutnya didapatkan nilai AGB. Nilai AGB merupakan parameter yang penting untuk mendapatkan hasil estimasi. Berdasarkan hasil estimasi menggunakan model regresi jumlah estimasi AGB pada tahun 2022 yaitu 427.081,42 ton/ha, nilai rata-rata AGB 38.070 ton/ha. (Gambar 9)



**Gambar 9.** Peta Distribusi AGB TAHURA Ngurah Rai Bali tahun 2022

Biomassa pohon di hutan mangrove merupakan suatu hasil akhir dari proses pertumbuhan hutan mangrove (Brown dan Gaston, 1996). Besarnya potensi biomassa dipengaruhi oleh kemampuan pohon tersebut untuk menyerap karbon dari lingkungan melalui proses fotosintesis potensi biomassa diatas permukaan tanah mengukur menggunakan nilai DBH untuk mendapatkan nilai AGB. Nilai AGB merupakan salah satu langkah yang penting untuk mendapatkan hasil estimasi. Berdasarkan hasil estimasi menggunakan model regresi jumlah estimasi AGB pada tahun 2022 yaitu 427.081,42 ton/ha, nilai rata-rata AGB 38.070 ton/ha.

Hutan mangrove merupakan ekosistem penting dalam penyerapan karbon karena hutan akan mengurangi gas  $CO_2$  di atmosfer melalui fotosintesis dan menyimpannya dalam bentuk biomassa tanaman. Nilai akumulasi karbon dalam AGB dapat di estimasikan dari nilai potensi biomassa. Stok karbon berbanding lurus dengan biomasannya dengan nilai konsentrasi karbon dalam bahan oerganik adalah 47% menurut IPCC (2006). Dengan perkiraan jumlah karbon yang tersimpan dikali 0,47 dengan biomassa dan mendapatkan hasil yaitu jumlah total estimasi nilai cadangan karbon di atas permukaan tanah pada tahun 2022 yaitu 200.728,07 ton/ha.

## 4. Kesimpulan

Estimasi *Above Ground Biomass* (AGB) berdasarkan citra SAR Sentinel-1 pada polarisasi VH di TAHURA Ngurah Rai Bali menunjukkan korelasi yang sedang dengan nilai ( $r$ ) sebesar 0,59 dengan koefisien determinan ( $R^2$ ) yaitu 0,36. Estimasi biomassa

dari citra SAR tahun 2022 menunjukkan potensi biomassa dan stok karbon mangrove di TAHURA Ngurah Rai, Bali 427.081,42 ton/ha dan 200.728,07 ton/ha. Penelitian ini menunjukkan masih terdapat ruang dalam peningkatan hasil akurasi estimasi pemanfaatan sensor C-band dalam estimasi stok karbon mangrove di Tahura Ngurah Rai. Hal-hal yang dapat dilakukan dalam peningkatan adalah penambahan titik sampel, pencocokan koordinat titik lapangan dengan pixel citra melalui *high accuracy GPS* serta perlakuan pada kondisi genangan air laut yang berbeda akibat pasang surut.

#### Daftar Pustaka

- Analuddin, K., KADIDAE, L. O., Haya, L. O. M. Y., Septiana, A., Sahidin, I., Syahrir, L., Rahim, S., Fajar, L. O. A., & Nadaoka, K. (2020). Above ground biomass, productivity and carbon sequestration in *Rhizophora stylosa* mangrove forest of Southeast Sulawesi, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(4).
- Bayanuddin, A. A., & Anna, A. N. 2016. Pendugaan Cadangan Karbon di atas Permukaan pada Hutan Rakyat dengan Memanfaatkan Data Synthetic Aperture Radar Sentinel-1 (Studi Kasus di Kabupaten Sukoharjo) [Skripsi]. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta: 19.
- Berninger, A., Lohberger, S., Stängel, M., & Siegert, F. (2018). SAR-based estimation of above-ground biomass and its changes in tropical forests of Kalimantan using L-and C-band. *Remote Sensing*, 10(6), 831.
- Kurniawati, E., Siregar, V., & Nurjaya, I. W. 2020. Klasifikasi Habitat Perairan Dangkal Berbasis Objek Menggunakan Citra Worldview 2 Dan Sentinel 2B Di Perairan Kepulauan Seribu. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2): 421-435.
- Bioresita, F., Puissant, A., Stumpf, A., & Malet, J. P. (2018). A method for automatic and rapid mapping of water surfaces from sentinel-1 imagery. *Remote Sensing*, 10(2), 217.
- Purwanto, A. D., Setiawan, K. T., & Ginting, D. N. B. 2019. Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh untuk Ekstraksi Habitat Perairan Laut Dangkal di Pantai Pemuteran, Bali, Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis* Vol. 22(2):165-172.
- Brown, S & Gatson, G. 1996. Estimates of biomass density for tropical forests. *Biomass Burning and Global Change* 1 (1): 133 – 139.
- Dharmawan, I. W. S., & Siregar, C. A. 2008. Karbon tanah dan pendugaan karbon tegakan *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. di Ciasem, Purwakarta. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*, 5(4), 317-
- Kauffman, J. B., & Donato, D. C. (2012). Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests (Vol. 86). Bogor, Indonesia: Cifor. *Jurnal Geodesi UNDIP*.
- Komiyama, A., Ong, J. E., & Pongpan, S. (2008). Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. *Aquatic botany*, 89(2), 128-137.
- Lewerissa, Y. A., Sangaji, M., & Latumahina, M. B. (2018). Pengelolaan mangrove berdasarkan tipe substrat di perairan Negeri Ihamahu Pulau Saparua. *TRITON: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 14(1), 1-9.
- Nugroho, A. S., Witarto, A.B. & Handoko, D. 2003. *Support Vector Machine Teori Dan Aplikasinya Dalam Bioinformatika*. Ilmu Komputer.
- Lubis, A. I. M., Prasetyo, Y., & Sasmito, B. 2020. Pemodelan dan pemetaan biomassa atas permukaan (*above ground biomass*) tanaman karet (*Hevea brasiliensis*) dengan l-band berdasarkan pengamatan alos palar-2 (studi kasus: afdeling setro, kab. Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*, 9(2), 122-131.
- Mahasani, I. I., Osawa, T., & Adnyana, I. W. S. 2020. Estimation and mapping of above ground biomass of mangrove forest using alos-2 palar-2 in benoa bay, bali, indonesia jaya, i.n.s., 2010. *Analisis Citra Digital, Perspektif Penginderaan Jauh untuk Pengelolaan Sumber Daya Alam*. Fakultas Kehutanan. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Rachmawati, D., Setyobudiandi, I., & Hilmi, E. 2014. Potensi estimasi karbon tersimpan pada vegetasi mangrove di wilayah pesisir Muara Gembong Kabupaten Bekasi. *Omni-Akuatika*, 10(2).
- Suryono, S., Soenardjo, N., Wibowo, E., Ario, R., & Rozy, E. F. 2018. Estimasi kandungan biomassa dan karbon di hutan mangrove Perancak Kabupaten Jembrana, Provinsi Bali. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(1), 1-8..
- Sutaryo, D. (2009). Penghitungan Biomassa Sebuah pengantar untuk studi karbond an perdagangan karbon. *Wetlands International Indonesia Programme*. Bogor.
- Vaiphasa, C., Skidmore, A. K., & de Boer, W. F. (2006). A post-classifier for mangrove mapping using ecological data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 61(1), 1-10.
- Mukrimin, Haya, L. O M. Y. & Takwir, A. 2021. Pemetaan Habitat Bentik Perairan Dangkal Di Pesisir Pulau Tiga (Selat Tiworo) Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2A. *Sapa Laut* 6(1): 63-74.
- Yuniawati, Y., Budi Aman, A. & Elias, E. 2011. Estimasi Potensi Biomassa dan Massa Karbon Hutan Tanaman Acacia crassicarpa Di Lahan Gambut. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 29(4): 343 - 355 .
- Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jarak Jauh LAPAN. 2015. *Pedoman Pengolahan Data Penginderaan Jauh Untuk Ekosistem Terumbu Karang*. Jakarta: LAPAN.
- Zamroni, Y., & Rohyani, I. S. 2008. Produksi serasah hutan mangrove di perairan pantai Teluk Sepi, Lombok Barat. *Biodiversitas*, 9(4), 284-287.