

Analisis Klorofil-a di Perairan Pesisir Nusa Lembongan Mempergunakan Data Citra Sentinel-2

Chlorophyll-a Analysis in the Coastal Waters of Nusa Lembongan using Sentinel-2 Image Data

Sagung Putri Chandra Astiti^{1*}, I Gusti Ngurah Kerta Arsana², I Putu Gustave Suryantara Pariartha³

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Kampus Bukit UNUD Jimbaran, Kabupaten Badung, Provinsi Bali 80361, Indonesia

*Corresponding author: sagung.chandra@unud.ac.id

ABSTRAK

Nusa Lembongan merupakan daerah potensial dalam budidaya rumput laut dan merupakan komoditi terbesar penghasil rumput laut terbaik di Pulau Bali. Hal tersebut menunjukkan bahwa wilayah perairan di Nusa Lembongan termasuk kedalam wilayah perairan yang subur. Salah satu indikator dalam menentukan tingkat kesuburan dalam suatu wilayah perairan yaitu dengan melakukan analisis nilai klorofil-a. Salah satu metode untuk menganalisis nilai klorofil-a yaitu mempergunakan metode penginderaan jauh. Data citra yang dipergunakan dalam penelitian ini yaitu data citra Sentinel-2A dan Sentinel-2B level 1C. Perhitungan analisis klorofil-a menggunakan prosesor *Case 2 Regional Coast Color* (C2RCC). Prosesor C2RCC yang digunakan dalam analisis disertakan dalam aplikasi *Sentinel Application Platform* (SNAP). Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai klorofil-a musim kemarau lebih tinggi dibandingkan dengan musim hujan. Nilai maksimum dari analisis klorofil-a pada musim kemarau yaitu 40,92 mg/m³ sedangkan nilai maksimum dari analisis klorofil-a pada musim hujan yaitu 40,89 mg/m³. Lokasi dengan nilai klorofil-a tertinggi pada perairan pesisir Nusa Lembongan terdapat pada ekosistem hutan mangrove yang berada di Desa Jungutbatu, budidaya rumput laut yang berada di Desa Lembongan dan ekosistem terumbu karang yang berada di Tanjung Ental.

Kata Kunci: Klorofil-a; Nusa Lembongan; Penginderaan Jauh dan Sentinel-2

ABSTRACT

Nusa Lembongan is a potential area for seaweed cultivation and is the largest commodity producing the best seaweed on the island of Bali. This shows that the waters in Nusa Lembongan are included in fertile waters. One indicator in determining the level of fertility in a water area is by analyzing the chlorophyll-a value. One method for analyzing the chlorophyll-a value is using remote sensing methods. The image data used in this study were Sentinel-2A and Sentinel-2B level 1C image data. The calculation of chlorophyll-a analysis used the Case 2 Regional Coast Color (C2RCC) processor. The C2RCC processor used in the analysis is included in the Sentinel Application Platform (SNAP) application. The results of the analysis showed that the chlorophyll-a value in the dry season was higher than in the rainy season. The maximum value of chlorophyll-a analysis in the dry season was 40.92 mg/m³ while the maximum value of chlorophyll-a analysis in the rainy season was 40.89 mg/m³. The locations with the highest chlorophyll-a values in the coastal waters of Nusa Lembongan are in the mangrove forest ecosystem in Jungutbatu Village, seaweed cultivation in Lembongan Village and coral reef ecosystem in Tanjung Ental.

Keywords: *Chlorophyll-a; Nusa Lembongan; Remote Sensing and Sentinel-2*

1. PENDAHULUAN

Analisis konsentrasi klorofil-a pada suatu perairan pesisir merupakan salah satu cara untuk mengetahui sebaran dan biomassa dari fitoplankton (Hanintyo & Jatisworo, 2021). Indikator untuk melihat suatu kesuburan dalam perairan dapat dilihat dari konsentrasi klorofil-a yang memiliki peranan penting dalam produktivitas primer. Ketersediaan klorofil-a dalam perairan dapat dijadikan referensi dalam menyeleksi daerah yang memiliki potensi dalam penangkapan ikan, budidaya laut dan pemanfaatan lainnya (Widiaratih et al., 2022).

Tingkat kesuburan dalam suatu perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya, faktor fisika dan faktor kimia dalam suatu perairan. Faktor fisika meliputi suhu, salinitas, pH, dan intensitas cahaya dalam perairan sedangkan faktor kimia meliputi *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Dissolved Oxygen* (DO). Peningkatan kandungan nutrisi (nitrat dan ortofosfat) di dalam perairan terjadi akibat adanya parameter fisik dan kimia dalam suatu perairan yang berproses secara bersamaan (Alhaq et al., 2021).

Nusa Lembongan merupakan daerah potensial dalam budidaya rumput laut dan merupakan komoditi terbesar penghasil rumput laut terbaik di Pulau Bali. Menurut (Nashrullah et al., 2021), kecepatan arus merupakan faktor ekologi yang penting dalam budidaya rumput laut dimana melalui pergerakan air ini dapat menyuplai nutrisi, melarutkan oksigen, menyebarkan plankton dan menghilangkan lumpur yang sangat dibutuhkan tersuplai dan terdistribusi untuk pertumbuhan rumput laut.

Pada Perairan Nusa Lembongan, Bali terdapat salah satu selat yaitu Selat Badung dimana kedalaman perairannya berkisar antara 70-250 m. Perairan Selat Badung, Bali juga merupakan percabangan Selat Lombok yang dilalui oleh Arus Lintas Indonesia (ARLINDO). Masuknya ARLINDO di perairan Selat Badung menyebabkan terbawanya massa air yang mengandung klorofil dan nutrisi (Abigail et al., 2015).

Terjadinya pengangkatan dari fluks nutrisi lapisan bawah menuju lapisan permukaan diakibatkan oleh pergerakan fluida secara vertikal dalam perairan. Proses pencampuran tersebut berperan dalam kehidupan fitoplankton dalam ketersediaan

nutrisi untuk melakukan proses fotosintesis (Ryandhini et al., 2015).

Fenomena upwelling merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi ketersediaan klorofil-a dalam suatu wilayah perairan. Fenomena upwelling merupakan suatu fenomena dari naiknya massa air dingin yang kaya dengan unsur hara dari lapisan dalam suatu perairan menuju lapisan permukaan suatu perairan. Upwelling tersebut akan meningkatkan konsentrasi klorofil-a karena tingginya kadar unsur hara yang terangkat dalam perairan akan mengakibatkan tingginya perkembangan fitoplankton (Setiadi et al., 2020).

Kelangsungan hidup ikan dalam perairan bergantung pada banyaknya kelimpahan fitoplankton yang menggambarkan pula adanya kelimpahan klorofil-a dalam perairan tersebut. Proses perkembangbiakan maupun metabolisme dari organisme di laut seperti ikan kecil, ikan besar, zooplankton dan fitoplankton dipengaruhi oleh suhu permukaan laut. Suhu permukaan laut tersebut mempengaruhi perpindahan organisme di laut yang ada di dasar perairan, kolom perairan, maupun permukaan perairan (Kamsinarani et al., 2021). Salah satu metode untuk menganalisis nilai klorofil-a yaitu mempergunakan metode penginderaan jauh.

Penginderaan jauh merupakan suatu metode untuk memperoleh informasi tentang objek di permukaan bumi dengan menggunakan data citra satelit sebagai media utama untuk melakukan analisis data (Virdis et al., 2022). Keuntungan memilih metode penginderaan jauh antara lain analisis dapat dilakukan pada wilayah yang luas, tidak memerlukan banyak tenaga dan biaya dalam penyelidikan lapangan serta sebagian data citra satelit dapat diunduh secara resmi dan gratis dengan resolusi yang cukup tinggi (Subiyanto et al., 2018).

Data citra satelit yang digunakan dalam metode penginderaan jauh meliputi sensor aktif dan sensor pasif. Data citra satelit Sentinel-2 merupakan sensor pasif karena termasuk dalam sensor optik yang mengukur radiasi elektromagnetik dari matahari yang dipantulkan dari lautan, daratan, danau dan atmosfer. Data citra satelit Sentinel 2 merupakan data sensor multispektral dengan resolusi spasial tinggi dimana data tersebut sangat penting untuk keperluan monitoring dan pemetaan ekosistem pesisir dan estuari (Katlane et al., 2020).

Berdasarkan hal tersebut, peneliti melakukan analisis nilai klorofil-a di Perairan Pesisir Nusa Lembongan, Kabupaten Klungkung, Provinsi Bali. Peneliti akan menganalisis persebaran klorofil-a di perairan pesisir tersebut dengan mempergunakan data Sentinel-2. Dalam penelitian ini, persebaran nilai klorofil dalam perbedaan musim hujan dan musim kemarau akan dianalisis sehingga data citra yang dipilih akan disesuaikan berdasarkan perbedaan musim tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Data citra yang dipergunakan dalam penelitian ini yaitu data citra Sentinel-2A dan Sentinel-2B level 1C. Menurut, data perekaman dengan level 1C adalah data yang telah terkoreksi secara radiometrik, namun belum terkoreksi secara atmosfer (Uwe et al., 2013). Adapun detail dari data citra satelit yang dipergunakan akan ditampilkan dalam **Tabel 1**. Diagram alir penelitian ditampilkan dalam **Gambar 1**.

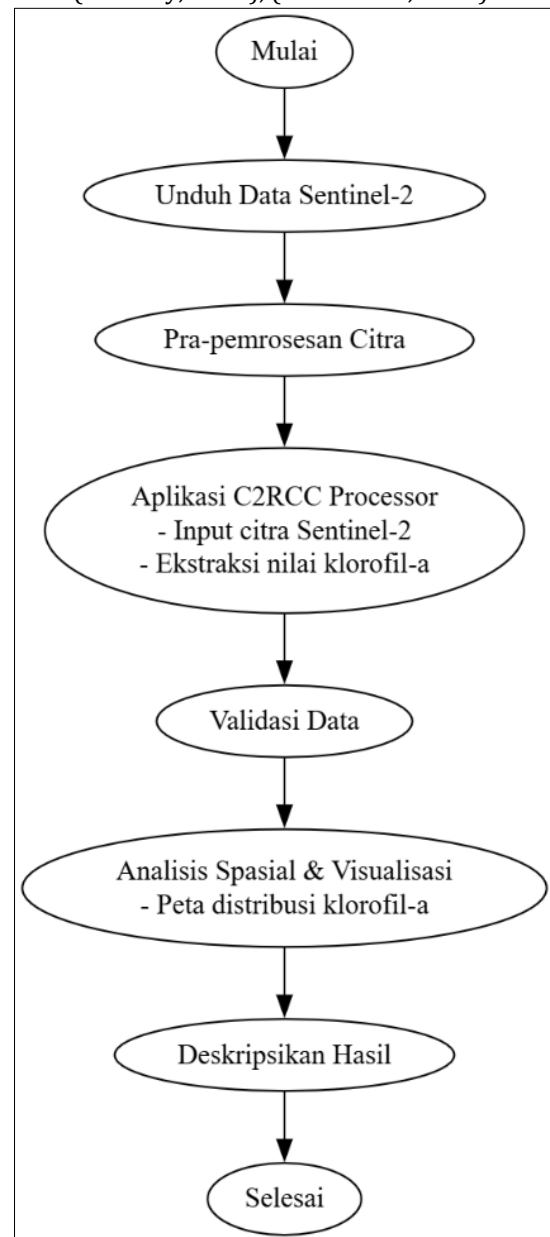
Tabel 1. Informasi Data Citra Sentinel-2

No	Tipe Data	Tanggal Perekaman	Tutupan Awan (%)
1	Sentinel-2B Tipe 1C	8 November 2020	2,94
2	Sentinel-2A Level 1C	26 Juni 2023	3,02

Adapun data pada tanggal perekaman 8 November 2020 merupakan kondisi pada saat musim penghujan dan data pada tanggal perekaman 26 Juni 2023 merupakan kondisi pada saat musim kemarau. Semakin kecil persentase tutupan awan dalam citra satelit mengindikasikan bahwa data tersebut semakin baik untuk dilakukan analisisnya. Hal tersebut dikarenakan tutupan awan yang ada pada lokasi penelitian sangat kecil dan memudahkan dalam proses analisisnya.

Data citra satelit Sentinel-2 *Multispectral Imager* (MSI) merupakan data yang dikembangkan oleh European Space Agency (ESA) dengan data pertama kali tercatat pada tahun 2015 (Rahman et al., 2022). Data citra satelit Sentinel-2A dan Sentinel-2B beroperasi dengan kunjungan balik global selama lima hari di Ekuator (Caballero et al., 2022). Peluncuran pertama Sentinel-2A dilakukan pada tanggal 23 Juni 2015 dan peluncuran pertama Sentinel-2B dilakukan pada tanggal 7 Maret 2017 ke dalam orbit lingkaran 786 km yang sinkron dengan matahari dengan inklinasi 98,620 dan waktu

lintasan di ekuator 10:30 am serta fase tunda 1800 (Li & Roy, 2017), (Ouma et al., 2020)



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

Data Sentinel-2 *Multispectral Images* (MSI) memiliki 13 pita dengan resolusi 10 m, 20 m dan 60 m, termasuk pita pada panjang gelombang 705 nm yang menangkap tepi merah untuk melakukan analisis klorofil-a di perairan dalam (Warren et al., 2019), (Bramich et al., 2021). Perairan yang terdapat fitoplankton memiliki dua pita serapan maksimum pada spektrum elektromagnetik, yaitu pada daerah biru dengan panjang gelombang sekitar 440 nm dan pada daerah merah dengan panjang gelombang sekitar 670 nm. Reflektansi klorofil yang tinggi terdapat pada pita hijau dengan

panjang gelombang sekitar 560 nm dan puncak refleksi dari keberadaan fitoplankton terdapat pada daerah inframerah dekat dengan panjang gelombang sekitar 700 nm (Aranha et al., 2022).

Perhitungan analisis klorofil-a menggunakan prosesor *Case 2 Regional Coast Color* (C2RCC). Penggunaan C2RCC telah divalidasi dalam beberapa sensor dan jaringan saraf tambahan telah dilatih untuk rentang IOP ekstrem yang memberikan hasil yang baik untuk perairan yang secara optik kompleks (Filipponi, 2018). Menurut (Molkov et al., 2019), pada tinggi puncak panjang gelombang 705 nm merupakan parameter yang tepat untuk memprediksi klorofil-a. Penyerapan pigmen fitoplankton pada 443 nm diubah menjadi apig, dan konsentrasi klorofil-a dihitung menggunakan Persamaan (1) (Handoko et al., 2024).

$$\text{chl}_a = 22_{\text{apig}}(443)^{1,04} \quad (1)$$

Prosesor C2RCC yang digunakan dalam analisis disertakan dalam aplikasi *Sentinel Application Platform* (SNAP). Dalam penggunaan C2RCC, koreksi atmosfer data citra Sentinel-2A dan Sentinel-2B Level 1C disertakan dalam pengolahannya sehingga perhitungan parameter klorofil-a dapat dianalisis (Karki et al., 2020). Setelah hasil analisis klorofil-a diperoleh, langkah selanjutnya adalah mengeksport hasil tersebut ke aplikasi Google Earth.

Sentinel Application Platform (SNAP) merupakan sebuah perangkat lunak khusus yang telah disediakan oleh *Europe Space Agency* (ESA) untuk mengolah data citra satelit Sentinel 1, Sentinel 2, maupun Sentinel 3 dengan masing – masing *toolbox* berdasarkan jenis data citra yang akan diolah. *Toolbox* merupakan sebuah perangkat dalam aplikasi SNAP yang dikembangkan dalam penyediaan alat untuk memvisualisasikan, memproses kumpulan data serta menganalisis masing – masing jenis data citra satelit Sentinel (Yuhendra & Yulianti, 2019).

Sentinel – 2 Toolbox didedikasikan untuk meningkatkan dukungan dari aplikasi SNAP untuk pengolahan data citra satelit optik dengan resolusi yang tinggi. Selain pada pengolahan data citra Sentinel - 2A dan Sentinel - 2B, *Sentinel – 2 Toolbox* dapat diaplikasikan pada data citra *RapidEye*, Deimos, SPOT 1 hingga SPOT 5. Beberapa jenis pengolahan data yang disediakan dalam *Sentinel – 2 Toolbox* berupa algoritma proses untuk *resampling data*, koreksi geometrik, koreksi atmosferik, maupun *cropping data* (Gorroño et al., 2017).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum topografi Pulau Nusa Lembongan berupa daratan datar dengan kemiringan 0 - 3% di bagian utara dan kemiringan 3 - 8% di bagian selatan. Desa Jungutbatu memiliki ketinggian daratan berkisar antara 0 sampai 62 meter di atas permukaan laut dan Desa Lembongan berkisar antara 0 - 64 meter di atas permukaan laut. Panjang garis pantai Pulau Lembongan secara keseluruhan adalah 16,3 km, terbagi menjadi 9,1 km di Desa Jungutbatu dan 7,2 km di Desa Lembongan. Tipologi pesisir terdiri dari pantai berpasir sepanjang 4,7 km, pantai bermangrove sepanjang 5,3 km, dan pesisir pantai sepanjang 6,4 km (Prasetia et al., 2017). Hasil analisis klorofil-a di Nusa Lembongan pada tahun 2020 dan 2023 ditampilkan pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.

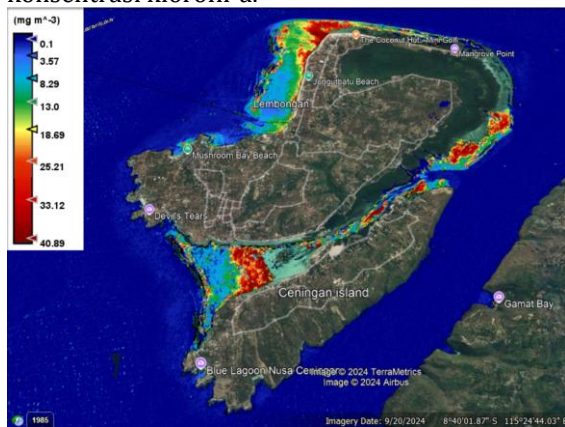
Berdasarkan nilai analisis klorofil-a di perairan pesisir Nusa Lembongan berdasarkan data perekaman citra satelit pada tanggal 8 November 2020 pada Gambar 1, didapatkan hasil bahwa nilai klorofil-a berkisar antara 3,57 – 40,89 mg/m³. Dalam pola persebaran nilai klorofil-a, didapatkan hasil bahwa warna merah dalam pola persebaran tersebut menunjukkan nilai klorofil-a yang berkisar antara 33,12 – 40,89 mg/m³. Lokasi dengan nilai maksimum klorofil-a terdapat di perairan pesisir Desa Jungutbatu. Pada Desa Jungutbatu, terdapat hutan mangrove yang berfungsi untuk mengurangi adanya abrasi pantai.

Menurut (Hidayah et al., 2016), keberadaan ekosistem hutan mangrove akan mempengaruhi pertukaran unsur nutrien antar ekosistem terdekat sehingga dapat saling mensuplai untuk keberlangsungan kehidupan antar ekosistemnya. Selain itu, serasah tumbuhan mangrove juga merupakan sumber karbon dan nitrogen bagi hutan itu sendiri dan perairan sekitarnya. Menurut (Abdur Rauf, 2023), serasah mangrove berupa daun, ranting dan biomassa lainnya yang jatuh menjadi sumber pakan biota perairan dan unsur hara yang sangat menentukan produktivitas perikanan laut.

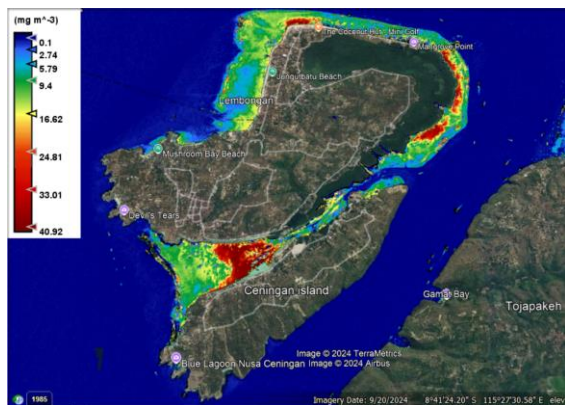
Nilai maksimum klorofil-a juga terdapat pada Desa Lembongan yang merupakan lokasi dari budidaya rumput laut. Menurut (Muslim et al., 2024), Klorofil-a merupakan salah satu indikator kesuburan perairan khususnya pada daerah budidaya rumput laut. Ukuran pertumbuhan rumput laut yang dapat dilihat pada perbedaan pertumbuhan thallus dipengaruhi oleh intensitas cahaya dalam perairan yang akan menunjang proses fotosintesis. Peningkatan proses fotosintesis

akan menyebabkan proses metabolisme sehingga merangsang rumput laut untuk menyerap unsur hara yang lebih banyak.

Lokasi lain yang memiliki nilai maksimum klorofil-a di perairan pesisir yaitu pada lokasi Tanjung Ental. Menurut (Rahadiarta et al., 2021), pada daerah tersebut terdapat terumbu karang dengan kondisi yang sehat. Terumbu karang yang sehat merupakan tempat berkumpulnya ikan – ikan untuk mencari makanan. Menurut (Widiaratih et al., 2022), kesehatan dari terumbu karang juga dipengaruhi oleh tingginya tingkat nutrisi dalam perairan tersebut. Semakin tinggi kandungan nutrisi di suatu perairan maka semakin tinggi pula kelimpahan dari fitoplankton dan konsentrasi klorofil-a.



Gambar 2. Hasil Analisis Klorofil-a Tahun 2020



Gambar 3. Hasil Analisis Klorofil-a Tahun 2023

Berdasarkan nilai analisis klorofil-a di perairan pesisir Nusa Lembongan berdasarkan data perekaman citra satelit pada tanggal 26 Juni 2023 pada Gambar 2, didapatkan hasil bahwa nilai klorofil-a berkisar antara 2,74 – 40,92 mg/m^3 . Dalam pola persebaran nilai klorofil-a, didapatkan hasil bahwa warna merah dalam pola persebaran tersebut menunjukkan nilai klorofil-a yang berkisar antara 33,01 – 40,92 mg/m^3 . Lokasi dengan nilai klorofil-a tertinggi pada

perairan pesisir Nusa Lembongan terdapat pada ekosistem hutan mangrove yang berada di Desa Jungutbatu, budidaya rumput laut yang berada di Desa Lembongan dan ekosistem terumbu karang yang berada di Tanjung Ental.

Konsentrasi klorofil-a di perairan sangat bergantung pada ketersediaan unsur hara dan intensitas cahaya matahari. Apabila unsur hara dan cahaya matahari cukup tersedia maka konsentrasi klorofil-a akan tinggi dan sebaliknya. Hal ini dibuktikan pada hasil analisis nilai klorofil-a musim kemarau lebih tinggi dibandingkan dengan musim hujan. Nilai maksimum dari analisis klorofil-a pada musim kemarau yaitu 40,92 mg/m^3 sedangkan nilai maksimum dari analisis klorofil-a pada musim hujan yaitu 40,89 mg/m^3 .

Pada daerah pesisir dan perairan pantai, konsentrasi klorofil-a lebih tinggi. Sedangkan pada daerah laut lepas konsentrasinya menjadi rendah. Hal ini dibuktikan dengan adanya pola sebaran klorofil-a dimana nilai klorofil-a yang tinggi terdapat pada lokasi pesisir dan perairan pantai. Ketika menjauhi daerah pesisir, dalam pola persebaran klorofil-a terlihat bahwa kondisi konsentrasi klorofil-a menjadi semakin mengecil. Hal tersebut terjadi dikarenakan pada wilayah pesisir atau pantai mendapatkan asupan nutrisi langsung melalui run off daratan.

4. SIMPULAN

Berdasarkan nilai analisis klorofil-a di perairan pesisir Nusa Lembongan berdasarkan data perekaman citra satelit pada tanggal 8 November 2020, didapatkan hasil bahwa nilai klorofil-a berkisar antara 3,57 – 40,89 mg/m^3 . Dalam pola persebaran nilai klorofil-a, didapatkan hasil bahwa warna merah dalam pola persebaran tersebut menunjukkan nilai klorofil-a yang berkisar antara 33,12 – 40,89 mg/m^3 . Berdasarkan nilai analisis klorofil-a di perairan pesisir Nusa Lembongan berdasarkan data perekaman citra satelit pada tanggal 26 Juni 2023, didapatkan hasil bahwa nilai klorofil-a berkisar antara 2,74 – 40,92 mg/m^3 . Dalam pola persebaran nilai klorofil-a, didapatkan hasil bahwa warna merah dalam pola persebaran tersebut menunjukkan nilai klorofil-a yang berkisar antara 33,01 – 40,92 mg/m^3 . Lokasi dengan nilai klorofil-a tertinggi pada perairan pesisir Nusa Lembongan terdapat pada ekosistem hutan mangrove yang berada di Desa Jungutbatu, budidaya rumput laut yang berada di Desa Lembongan dan ekosistem terumbu karang yang berada di Tanjung Ental. Nilai maksimum dari analisis klorofil-a pada musim kemarau yaitu 40,92 mg/m^3 sedangkan nilai maksimum

dari analisis klorofil-a pada musim hujan yaitu 40,89 mg/m³. Adapun keterbatasan dalam penelitian ini adalah keterbatasan data temporal, seperti keterbatasan dalam pemilihan data citra dengan perekaman terbaik dimana pada data citra optik, tinggi tutupan awan saat perekaman data dapat mempengaruhi hasil analisis data. Penelitian ini akan lebih baik apabila ketersediaan data temporal lebih memadai dan dilakukan pengukuran lapangan terkait parameter klorofil-a pada daerah yang dianalisis. Saran yang dapat penulis berikan untuk penyempurnaan dan keberlanjutan hasil penelitian ini adalah melakukan analisis nilai klorofil-a pada rentang waktu yang lebih lama dengan variasi musim yang berbeda sehingga rentang nilai klorofil-a yang diperoleh dapat dianalisis lebih rinci. Nilai klorofil-a berfungsi dalam menentukan kesuburan perairan pada daerah yang dianalisis. Saran lain yang dapat penulis berikan terkait hasil analisis yang telah dilakukan adalah adanya pemantauan, pengelolaan dan pengembangan kebijakan pada masa yang akan datang.

REFERENSI

- Abdur Rauf. (2023). Laju Penghacuran Serasah Vegetasi Hutan Mangrove. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 6(7). <https://doi.org/10.56338/jks.v6i7.3832>
- Abigail, W., Zainuri, M., Tisiana Dwi Kuswardani, A., & Setiyo Pranowo, W. (2015). Sebaran nutrisi, intensitas cahaya, klorofil-a dan kualitas air di Selat Badung, Bali pada Monsun Timur. *Depik*, 4(2). <https://doi.org/10.13170/depik.4.2.2494>
- Alhaq, M. S., Suryoputro, A. A. D., Zainuri, M., Muslim, M., & Marwoto, J. (2021). Analisa Sebaran Klorofil-a dan Kualitas Air di Perairan Pulau Sintok, Karimunjawa, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(4). <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i4.11728>
- Aranha, T. R. B. T., Martinez, J. M., Souza, E. P., Barros, M. U. G., & Martins, E. S. P. R. (2022). Remote Analysis of the Chlorophyll-a Concentration Using Sentinel-2 MSI Images in a Semi-arid Environment in Northeastern Brazil. *Water (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/w14030451>
- Bramich, J., Bolch, C. J. S., & Fischer, A. (2021). Improved red-edge chlorophyll-a detection for Sentinel 2. *Ecological Indicators*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.10.6876>
- Caballero, I., Román, A., Tovar-Sánchez, A., & Navarro, G. (2022). Water quality monitoring with Sentinel-2 and Landsat-8 satellites during the 2021 volcanic eruption in La Palma (Canary Islands). *Science of The Total Environment*, 822, 153433. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153433>
- Filipponi, F. (2018). *River Color Monitoring Using Optical Satellite Data*. <https://doi.org/10.3390/IECG-2018-05336>
- Gorroño, J., Fomferra, N., Peters, M., Gascon, F., Underwood, C. I., Fox, N. P., Kirches, G., & Brockmann, C. (2017). A radiometric uncertainty tool for the sentinel 2 mission. *Remote Sensing*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/rs9020178>
- Handoko, E. Y., Hayati, N., Syariz, M. A., & Hanansyah, M. P. (2024). Analysis of Chlorophyll-a Variability in the Eastern Indonesian Waters Using Sentinel-3 OLCI from 2020-2021. *Forum Geografi*, 38(1), 74-82. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v38i1.2361>
- Hanintyo, R., & Jatisworo, D. (2021). Variabilitas Klorofil-A di Perairan Sekitar Pulau Bali, Indonesia Melalui Analisis Satelit Multi Resolusi. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 5(2).
- Hidayah, G., Wulandari, S. Y., & Zainuri, M. (2016). Studi Sebaran Klorofil-a Secara Horizontal di Perairan Muara Sungai Silugonggo Kecamatan Batangan, Pati. *BULETIN OSEANOGRAFI MARINA*, 5(1). <https://doi.org/10.14710/buloma.v5i1.11296>
- Kamsinarani, K., Masyahoro, M., & Laapo, A. (2021). Estimasi Fishing Ground berdasarkan sebaran Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-a di Perairan Teluk Tolo. *Mitra Sains*, 9(1). <https://doi.org/10.22487/ms26866579.2021.v9.i1.pp62-70>
- Karki, S., French, K., McCarthy, V., Hanafin, J., Jennings, E., Delaney, C., Veerkamp, V., Golden, A., McKinstry, A., & Ahmed, M. (2020). In-Situ Validation of Water Quality Algorithms and Monitoring of Irish Lakes using Sentinel 2 Imagery. *European*

Geophysical Meeting, May.

- Katlane, R., Dupouy, C., Kilani, B. El, & Berges, J. C. (2020). Estimation of Chlorophyll and Turbidity Using Sentinel 2A and EO1 Data in Kneiss Archipelago Gulf of Gabes, Tunisia. *International Journal of Geosciences*, 11(10), 708–728. <https://doi.org/10.4236/ijg.2020.1110035>
- Li, J., & Roy, D. (2017). A Global Analysis of Sentinel-2A, Sentinel-2B and Landsat-8 Data Revisit Intervals and Implications for Terrestrial Monitoring. *Remote Sensing*, 9(9), 902. <https://doi.org/10.3390/rs9090902>
- Molkov, A. A., Fedorov, S. V., Pelevin, V. V., & Korchemkina, E. N. (2019). Regional models for high-resolution retrieval of chlorophyll a and TSM concentrations in the Gorky Reservoir by Sentinel-2 imagery. *Remote Sensing*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/rs11101215>
- Muslim, M., Kasim, M., & Salwiyah, S. (2024). Studi Penyebaran Clorophyll a Di Sekitar Daerah Budidaya Rumput Laut Di Desa Bungin Permai. *JURNAL ILMIAH WAHANA LAUT LESTARI (JIWaLL)*, 1(2), 192–203. <https://doi.org/10.33096/jiwall.v1i2.442>
- Nashrullah, M. F., Susanto, A. B., Pratikto, I., & Yati, E. (2021). Analisis Kesesuaian Lahan Budidaya Rumput Laut Kappaphycus alvarezii (Doty) menggunakan Citra Satelit Di Perairan Pulau Nusa Lembongan, Bali. *Journal of Marine Research*, 10(3). <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i3.30507>
- Ouma, Y. O., Noor, K., & Herbert, K. (2020). Modelling Reservoir Chlorophyll- a , TSS, and Turbidity Using Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI Satellite Sensors with Empirical Multivariate Regression. *Journal of Sensors*, 2020, 1–21. <https://doi.org/10.1155/2020/8858408>
- Praselia, D., Supriharyono, M., Anggoro, S., & Sya'Rani, L. (2017). *Coral Bleaching on Lembongan Island, Nusa Penida, Bali*. <https://doi.org/10.2991/icirad-17.2017.13>
- Rahadiarta, I. G. N. P. S., Wiranatha, A. S., & Sunarta, I. N. (2021). Penerapan Empat Fungsi Manajemen Pada Pengelolaan Pariwisata Bahari Berkelanjutan di Desa Jungutbatu, Kecamatan Nusa Penida. *Jurnal Master Pariwisata (JUMPA)*. <https://doi.org/10.24843/JUMPA.2021.v08.i01.p03>
- Rahman, A., Astuti, L. P., Warsa, A., & Sentosa, A. A. (2022). Prediksi Konsentrasi Klorofil-a Menggunakan Data Citra Satelit Sentinel-2A di Waduk Jatiluhur Kabupaten Purwakarta. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 23(2), 165–171. <https://doi.org/10.29122/jtl.v23i2.5192>
- Ryandhini, N. A., Zainuri, M., & D. K., A. R. T. (2015). Karakteristik Mixed Layer Depth dan Pengaruhnya Terhadap Konsentrasi Klorofil-a. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 19(4).
- Setiadi, N. L., Schadu, N. J. W., Luasunaung, A., Tilaar, F. F., Manoppo, L., Tumbol, R. A., & Sumilat, D. A. (2020). Analisis Fenomena Upwelling Berbasis Citra Satelit Pada Wilayah Pengelolaan Perikanan (Wpp) 716. *Jurnal Ilmiah Platax*, 8(2).
- Subiyanto, S., Ramadhanis, Z., & Hafidh Baktiar, A. (2018). Integration of Remote Sensing Technology Using Sentinel-2A Satellite images For Fertilization and Water Pollution Analysis in Estuaries Inlet of Semarang Eastern Flood Canal. *E3S Web of Conferences*, 31, 12008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183112008>
- Uwe, M.-W., Jerome, L., Rudolf, R., Ferran, G., & Marc, N. (2013). Sentinel-2 Level 2a Prototype Processor: Architecture , Algorithms and First Results. *ESA Living Planet Symposium 2013, Edinburgh, UK, 2013*(December).
- Viridis, S. G. P., Xue, W., Winijkul, E., Nitivattananon, V., & Punpukdee, P. (2022). Remote sensing of tropical riverine water quality using sentinel-2 MSI and field observations. *Ecological Indicators*, 144, 109472. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109472>
- Warren, M. A., Simis, S. G. H., Martinez-Vicente, V., Poser, K., Bresciani, M., Alikas, K., Spyros, E., Giardino, C., & Ansper, A. (2019). Assessment of atmospheric correction algorithms for the Sentinel-2A MultiSpectral Imager over coastal and inland waters. *Remote Sensing of Environment*, 225. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.01>

8

Widiaratih, R., Suryoputra, A. A. D., & Handoyo, G. (2022). Korelasi Klorofil-a dengan Nutrien dan Kualitas Perairan di Pulau Seruni Karimunjawa Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(2).
<https://doi.org/10.14710/jkt.v25i2.14170>

Yuhendra, & Yulianti, E. (2019). Multi-temporal Sentinel-2 images for classification accuracy. *Journal of Computer Science*, 15(2).
<https://doi.org/10.3844/jcssp.2019.258.268>