

Estimasi Klorofil-a Menggunakan Citra Sentinel-3 Di Perairan Pulau Menjangan Besar Karimunjawa-Indonesia

Ferdian Agung Baskoro, Lilik Maslukah*, Dwi Haryo Ismunarti

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacob Rais, Tembalang Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia
Email: lilikmaslukah@lecturer.undip.ac.id

Abstrak

Kegiatan budidaya dan pariwisata di pesisir Pulau Menjangan Besar Karimunjawa berpengaruh pada perubahan kualitas perairan. Fitoplankton memiliki kemampuan untuk merespon perubahan lingkungan ini dan dalam kolom perairan dapat ditentukan biomasanya melalui pengukuran klorofil-a. Klorofil-a memiliki sifat optis, sehingga keberadaanya dapat diprediksi menggunakan metode penginderaan jauh. Metode penginderaan jauh dinilai lebih efektif dan efisien dalam monitoring perubahan kualitas suatu perairan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai konsentrasi klorofil-a berdasarkan data pengukuran lapangan dan data citra sentinel-3 dengan metode C2RCC, serta menentukan keakuratan klorofil-a dari data citra sentinel-3 terhadap konsentrasi klorofil-a hasil pengukuran data lapangan. Berdasarkan hasil penelitian nilai konsentrasi klorofil-a *insitu* berkisar 0,831 – 2,617 $\mu\text{g/L}$ dan data citra sentinel-3 berkisar 0,952–5,619 $\mu\text{g/L}$. Hasil dari pengolahan peta sebaran menunjukkan bahwa data lapangan dan data citra Sentinel-3 tidak menunjukkan pola sebaran yang sama. Nilai RMSE (Root Mean Square Error) yang diperoleh dari hasil prediksi klorofil-a sebesar 1,991 $\mu\text{g/L}$. Nilai prediksi klorofil-a dari citra sentinel-3 mengalami overestimate (diatas dari nilai lapangannya). Untuk monitoring ke depan, diperlukan adanya pengembangan model algoritma atau melalui kalibrasi dengan data *in situ*.

Kata kunci: C2RCC, Klorofil-a, Menjangan Besar, Sentinel-3

Abstract

Analysis of Chlorophyll-a Concentration Using Sentinel-3 Imagery in the Waters of Menjangan Besar Island, Karimunjawa-Indonesia

*Aquaculture and tourism activities on the island of Menjangan Besar, Karimunjawa have an impact on changes in water quality. Phytoplankton has the ability to respond to these environmental changes, and its biomass in the water column can be determined by measuring chlorophyll-a. Chlorophyll-a has optical properties, so its presence can be predicted using remote sensing methods. Remote sensing methods are considered more effective and efficient in monitoring changes in water quality. This study aims to determine the chlorophyll-a concentration based on field measurement data and Sentinel-3 image data using the C2RCC method, and determine the accuracy of chlorophyll-a from Sentinel-3 image data compared to the *insitu* chlorophyll-a. Based on the results of the study, the *in-situ* chlorophyll-a concentration ranged from 0.831 to 2.617 $\mu\text{g/L}$, while the Sentinel-3 image data ranged from 0.952 to 5.619 $\mu\text{g/L}$. The results of the distribution map processing showed that the field data and Sentinel-3 image data did not show the same distribution pattern. The RMSE (Root Mean Square Error) obtained from the chlorophyll-a prediction was 1.991 $\mu\text{g/L}$. The chlorophyll-a prediction value from Sentinel-3 imagery was overestimated (above the field value). For future monitoring, it is necessary to develop an algorithm model or calibrate it with *in situ* data.*

Keywords: C2RCC, Chlorophyll-a, Menjangan Besar, Sentinel-3

PENDAHULUAN

Klorofil-a merupakan indikator vital kesehatan ekosistem laut karena merupakan proksi biomassa autotrofik dan produksi primer di laut. Konsentrasinya mencerminkan kelimpahan fitoplankton, yang sangat

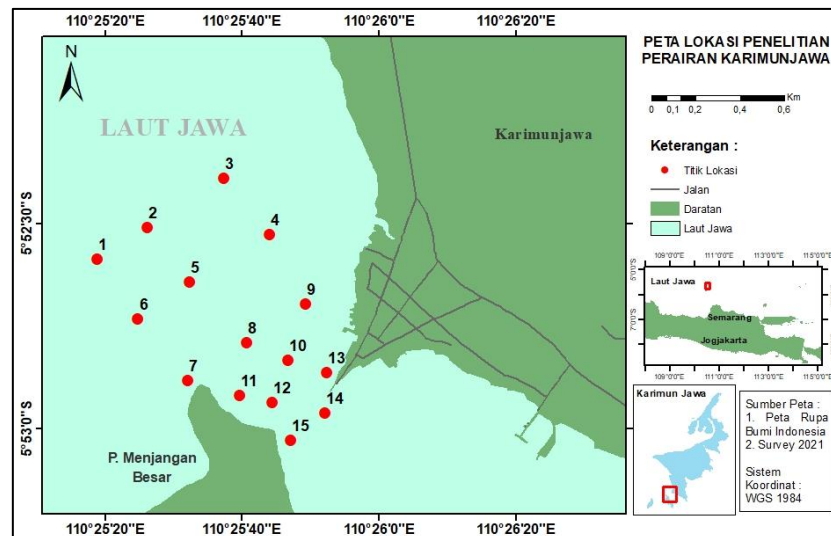
penting bagi jaring makanan laut karena berperan sebagai produsen primer. Memahami tren konsentrasi klorofil-a membantu mengevaluasi dampak perubahan lingkungan, seperti perubahan iklim, terhadap ekosistem laut (Zhai *et al.*, 2024; Sathyendranath *et al.*, 2023). Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dapat dipilih karena memiliki beberapa kelebihan seperti cepat, efisien waktu, biaya operasional yang murah, dapat meminjau wilayah penelitian yang luas. Akan tetapi terdapat kelemahan yang perlu diperhatikan apabila kita melakukan penelitian dengan metode penginderaan jauh karena tidak dapat mengetahui kondisi wilayah penelitian secara langsung di lapangan. Selain itu data citra satelit memiliki nilai error karena adanya gangguan dari tutupan awan pada saat perekaman citra (Zakiyah *et al.*, 2019). Metode pengukuran lapangan (*insitu*) dapat digunakan sebagai data tambahan yang nantinya dapat digunakan dalam memverifikasi data hasil pengolahan dari citra satelit dengan metode penginderaan jauh. Salah satu satelit dalam penginderaan jauh adalah Sentinel-3. Satelit Sentinel-3 ini merupakan bagian dari program Copernicus Uni Eropa, yang dikoordinasikan oleh Badan Antariksa Eropa (ESA). Sentinel-3 memainkan peran krusial dalam pemantauan lingkungan dengan menyediakan data iklim dan lingkungan yang akurat. Satelit ini dirancang khusus untuk tujuan pemantauan skala global, yang meningkatkan berbagai kegiatan pengawasan darat dan air (Li *et al.*, 2023; Jutz dan Milagro-Pérez, 2020).

Karimunjawa merupakan kepulauan yang terletak di bagian utara Pulau Jawa, dan termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Jepara yang memiliki pesona alamnya yang indah. Kepulauan ini terdiri atas gugusan pulau-pulau kecil yang memiliki sumber daya pesisir yang cukup besar dengan keragaman habitat bawah laut cukup kompleks salah satunya di Pulau Menjangan Besar (Ulqodry, 2010). Pulau Menjangan Besar termasuk kedalam zona pemanfaatan budidaya dan pariwisata. Kegiatan budidaya dan pariwisata di Menjangan Besar berpengaruh pada perubahan kualitas perairan yang dapat ditinjau dari nilai konsentrasi klorofil-a. Menurut Maslukah *et al.* (2018) tingginya aktivitas manusia di daratan berkontribusi nyata terhadap peningkatan masukan nutrien ke perairan dan berpengaruh terhadap konsentrasi klorofil-a. Nutrien ini, hasil degradasi bahan organik yang berasal dari sumber alami perairan itu sendiri dan berasal dari inputan sungai yang membawa limbah rumah tangga dari daratan. Pengkajian dalam mengetahui nilai konsentrasi klorofil-a dapat dilakukan dengan menggunakan 2 metode seperti konvensional dan penginderaan jauh. Pemantauan kualitas air melalui pengambilan sampel dengan metode konvensional secara berkesinambungan memiliki kekurangan karena sampel data dari hasil pengukuran di lapangan masih dilakukan pengujian sampel di laboratorium yang membutuhkan biaya yang banyak serta waktu penelitian yang lebih lama. Akan tetapi kelebihan metode konvensional akan menghasilkan data yang sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan (Saberioon *et al.*, 2020).

Penelitian sebelumnya tentang klorofil-a di Karimunjawa telah dilakukan oleh Alhaq *et al.* (2021), tepatnya di perairan Pulau Sintok, Karimunjawa dan Widiaratih *et al.* (2022) di Pulau Seruni, Karimunjawa. Disisi lain, penelitian terkait penggunaan metode penginderaan jauh untuk klorofil-a di Karimunjawa telah dilakukan oleh Aditya R. *et al.*, (2018) dalam kaitan penentuan zona *fishing ground* Ikan Teri (*Stolephorus sp*) dengan menggunakan Citra MODIS di Perairan Karimunjawa. Penelitian ini menggunakan data Citra Sentinel-3, yang belum pernah dilakukan sebelumnya di Perairan Karimunjawa. Citra Sentinel-3 memiliki data yang lebih unggul karena memiliki resolusi citra dengan jarak yang lebih dekat yaitu 300m x 300m sehingga memiliki lebih tinggi dibanding dengan citra MODIS. Dengan memanfaatkan sistem penginderaan jauh ini akan memberikan banyak keunggulan, karena dapat menjangkau area studi penelitian yang luas dengan waktu yang lebih singkat dan bersamaan dibandingkan dengan pengambilan data secara konvensional. namun demikian, data dari citra tersebut sesuai dengan kondisi real di lapangan. Oleh karena itu diperlukan adanya validasi data citra sentinel-3 terhadap data lapangan, sehingga dapat diketahui tingkat kesalahan. Informasi ini akan sangat bermanfaat dalam pemilihan algoritma ataupun pemilihan jenis citra yang lebih cocok untuk pemantauan keberlanjutan monitoring jangka panjang.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini berfokus pada Perairan Menjangan Besar, Karimunjawa dengan koordinat 110.24° BT - 110.27° BT dan 5.52° LS – 5.53° LS yang ditampilkan pada Gambar 1. Materi yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer hasil pengukuran yang diperoleh dari hasil survey pengambilan data secara langsung di lokasi penelitian yang berupa pengambilan sampel air laut untuk mengetahui nilai konsentrasi klorofil-a yang diambil di Perairan Menjangan Besar, Karimunjawa pada tanggal 16 September 2021.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Data sekunder yang digunakan berupa data citra sentinel-3 dengan sensor OLCI untuk data klorofil-a perekaman pada tanggal 16 September 2021, peta rupa bumi Indonesia wilayah Kabupaten Jepara. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yaitu pengolahan data penelitian berupa angka-angka dan menganalisis data secara statistik maupun secara pemodelan (Sugiyono, 2011). Metode kuantitatif digunakan pada proses pengolahan data untuk mengetahui korelasi antar variabel yang diteliti sehingga menghasilkan sebuah kesimpulan dari variabel penelitian. Kesimpulan tersebut dapat diartikan sebagai metode ilmiah karena akan memenuhi kajian yang sistematis, terukur, rasional, dan Konkrit (Samsu, 2017).

Penentuan Lokasi

Lokasi penelitian ditentukan dengan mempertimbangkan kemungkinan titik sampling yang dipilih dapat merepresentasikan kondisi yang sebenarnya pada daerah penelitian yang dikaji yaitu dengan metode *purposive sampling*. Pengambilan data dilakukan pada 15 titik lokasi sampel seperti yang terlihat dalam Gambar 1. Penentuan titik stasiun untuk mengetahui nilai konsentrasi klorofil-a yang menggambarkan kondisi perairan di wilayah pesisir, perairan dekat dermaga, perairan dekat wilayah budidaya, dan perairan laut lebih ke tengah untuk merepresentasi kondisi di Perairan Menjangan Besar, Karimunjawa serta memperoleh gambaran umum dan kondisi lingkungan yang menyangkut parameter penelitian yaitu klorofil-a.

Pengolahan Data Klorofil-a

Pengolahan data klorofil-a dilakukan dengan metode spektrofotometri untuk data pengukuran lapangan dan pengolahan data citra Sentinel-3. Pengolahan data lapangan dengan pengujian sampel air laut yang diambil sebanyak 1 liter dengan botol nansen. Sampel air dilakukan proses *filtrasi* menggunakan kertas saring *selulosa* ukuran 0,45 mikron yang dibantu dengan *vacuum pump*. Saat proses filtrasi, sampel air laut ditambahkan 3 tetes larutan $MgCO_3$ untuk menstabilkan kadar klorofil-a yang terkandung dalam sampel air laut supaya tidak mudah terdegradasi. Kertas saring selanjutnya dipindahkan ke dalam tabung reaksi untuk dilakukan ekstraksi dengan larutan aseton 90% sebanyak 10 ml. Larutan yang telah melewati proses ekstraksi selanjutnya akan disimpan dalam lemari pendingin (proses inkubasi) sampel selama 14–16 jam. Proses selanjutnya yaitu proses sentrifugasi dilakukan dengan bantuan *centrifuge* selama 30–45 menit dengan kecepatan 4000 rpm untuk mengendapkan kertas *selulosa*. Larutan yang telah terpisah dengan dengan kertas *selulosa* yang telah mengendap selanjutnya dimasukan ke dalam cuvet untuk diukur nilai absorbansinya pada panjang gelombang 630nm, 645nm, 665nm, dan 750nm dengan menggunakan spektrofotometer *UV – Vis Shimadzu 1600*. Penentuan nilai konsentrasi klorofil-a yang telah diukur nilai absorbansinya dapat dihitung menggunakan metode Trikomatik (Jeffrey & Humphrey, 1975) mengikuti Persamaan :

$$Ca = 11.85(OD_{664}) - 1.54(OD_{647}) - 0.08(OD_{630})$$

Jumlah konsentrasi klorofil-a per satuan volume dihitung dengan persamaan :

$$Chlo-a_{\frac{mg}{m^3}} = \frac{Ca \times Ve}{Vs}$$

Keterangan : Ca = kadar klorofil – a ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$); 11.85, 1.54, 0.08 = nilai tetapan; (OD664), (OD647), (OD630) = nilai pengukuran spektrofotometer; Ca = konsentrasi klorofil yang sudah diekstrak; Ve = volume yang diekstrak (ml); Vs = volume sampel yang digunakan (L)

Pengolahan data klorofil-a citra sentinel-3 OLCI Level 1 (EFR) menggunakan *software* SNAP 8.0, dengan pemotongan citra (*cropping*) berdasarkan wilayah kajian. Selanjutnya melakukan reproyeksi citra agar didapatkan citra yang memiliki koordinat ruang *longitude* dan *latitude*. Selanjutnya untuk mengekstrak nilai konsentrasi klorofil-a dengan menggunakan fitur prosesor koreksi atmosferik C2RCC. Algoritma C2RCC merupakan algoritma untuk koreksi atmosfer yang terintegrasi pada *tool* Sentinel Application Platform (SNAP). Fitur C2RCC sendiri memiliki 2 peran utama dalam memperoleh hasil nilai klorofil-a yakni mengkoreksi secara atmosferik, dan ekstraksi nilai klorofil-a dari perairan dengan bantuan data sekunder berupa data temperatur dan data salinitas (Brockman, *et al.*, 2016). Warna pada data klorofil-a ditampilkan dengan *Import Colour Palette* sehingga terlihat perbedaan data citra klorofil-a. Tahap selanjutnya *masking* citra untuk mengkoreksi data awan. Data yang telah diolah kemudian diekspor kedalam format (NetCDF4-BEAM) agar dapat dilakukan pengolahan lebih lanjut dengan bantuan *software* QGIS 3.38.2 dan ArcGIS 10.3 sehingga dapat divisualisasikan secara spasial.

Metode Analisa Akurasi Data

Manessa *et al.*, (2017) menyatakan metode untuk menghitung akurasi data penelitian dengan menghitung nilai akar rata-rata kuadrat simpangan RMSE (*Root Mean Squared Error*). Metode ini digunakan untuk mengetahui seberapa jauh perbedaan estimasi data citra Sentinel-3 dengan pengukuran data lapangan. Nilai RMSE dapat dihitung dengan persamaan :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (xi - \hat{x}i)^2}$$

Keterangan : x = Nilai hasil observasi; $\hat{x}$ = Nilai hasil prediksi; i = Urutan data pada database; n = Jumlah data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Klorofil-a *in situ*

Pengukuran klorofil-a data lapangan dilakukan pada tanggal 16 September 2021 di Perairan Pulau Menjangan Besar, Karimunjawa dengan 15 stasiun yang berbeda. Pengukuran ini dilakukan untuk memberikan validasi terhadap data citra Sentinel-3 ditanggal 16 September 2021 yang telah diolah. Hasil pengukuran data lapangan dan koordinat stasiun disajikan dalam Tabel 3.

Konsentrasi Klorofil-a

Parameter untuk mengetahui tingkat kesuburan di suatu perairan dapat ditinjau dari faktor tertentu seperti konsentrasi klorofil-a yang terkandung dalam kolom perairan. Menurut Kunarso *et al.* (2019) konsentrasi klorofil-a yang tinggi dapat dijadikan sebagai salah satu indikator kesuburan perairan. Kesuburan perairan biasanya

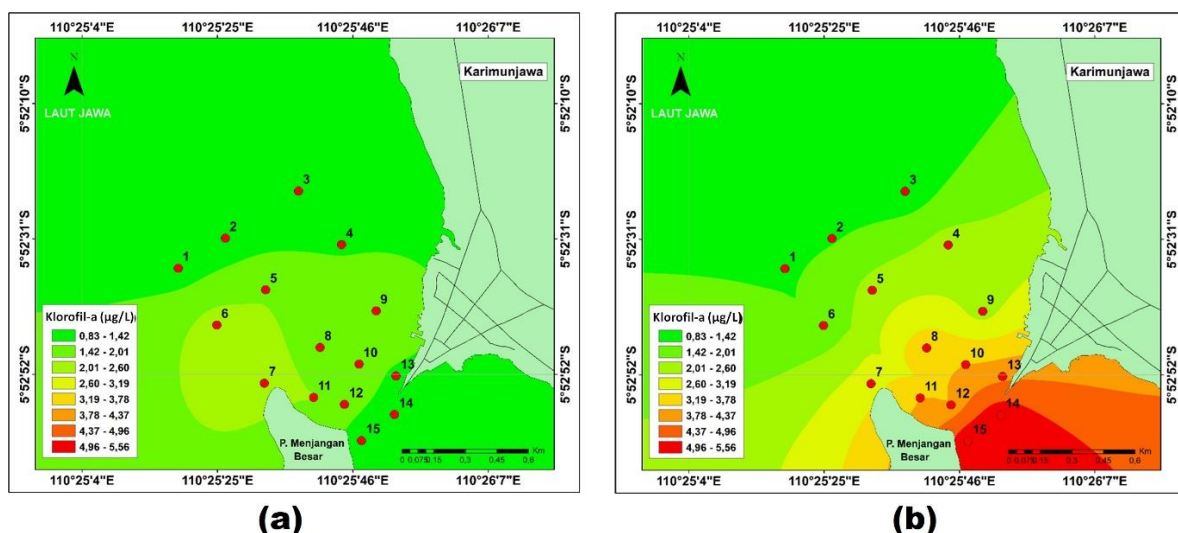
Tabel 2. Kriteria nilai RMSE (Sumber: Chai & Draxler, 2014)

RMSE	Tingkat Kesalahan
0,000 - 0,299	Kecil
0,300 - 0,599	Sedang
0,600 - 0,899	Besar
>0,90	Sangat Besar

dihubungkan dengan konsentrasi nutrisi yang terkandung dalam suatu perairan. Menurut Maslukah *et al.* (2022) aktifitas manusia yang padat di daratan dapat berpengaruh terhadap konsentrasi klorofil-a fitoplankton serta parameter oseanografi lainnya di suatu perairan. Nutrien yang masuk kedalam perairan dapat berasal limbah pemukiman, kegiatan pertambangan, dan juga aktifitas di tempat pelabuhan ikan. Data klorofil-a tahun 2021 di Perairan Menjangan Besar, Karimunjawa yang merupakan hasil pengolahan data *insitu* dan data hasil pengolahan menggunakan citra sentinel-3 yang di tampilkan dalam Gambar 2. Peta hasil pengolahan data menunjukan pada Perairan Menjangan Besar, Karimunjawa memiliki distribusi klorofil-a yang berbeda-beda pada setiap stasiunnya. Kondisi ini diduga disebabkan data citra satelit terkadang terdapat awan yang terekam pada citra yang dapat membuat hasil pengolahan data memiliki nilai *error* yang cukup besar dalam perhitungan nilai konsentrasi klorofil-a.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Data di Lapangan

Stasiun	Longitude	Latitude	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)
1	110,421916	-5,876442	0,996
2	110,423930	-5,875157	1,021
3	110,427057	-5,873142	0,831
4	110,423566	-5,878873	1,358
5	110,425650	-5,877362	2,126
6	110,428898	-5,875434	2,617
7	110,425598	-5,881357	2,314
8	110,427977	-5,879829	1,871
9	110,430374	-5,878265	1,972
10	110,429645	-5,880541	1,765
11	110,427699	-5,881965	2,202
12	110,429019	-5,882260	1,688
13	110,431225	-5,881044	1,362
14	110,431156	-5,882694	1,282
15	110,429749	-5,883806	1,142
Rerata			1,636



Gambar 2. Variabilitas Klorofil-a di Perairan Menjangan Besar, Karimunjawa (a) data *insitu* dan (b) data citra sentinel-3

Nilai konsentrasi klorofil-a hasil olah data *insitu* di laboratorium berkisar antara 0,831 – 2,617 $\mu\text{g/L}$. Konsentrasi klorofil-a tertinggi terjadi pada Stasiun 6 ditunjukkan dengan warna kuning pada peta persebaran klorofil-a. Sedangkan nilai konsentrasi klorofil-a terendah berada pada stasiun 3 ditunjukkan dengan warna hijau. Nilai konsentrasi klorofil-a hasil pengolahan data citra Sentinel-3 diperoleh nilai konsentrasi yang berkisar 0,952 – 5,619 $\mu\text{g/L}$ (dalam peta ditunjukkan dengan warna merah). Lokasi ini berada dekat pulau atau daratan sehingga mengindikasikan nilai klorofil-a yang tinggi. Nilai konsentrasi klorofil-a citra sentinel-3 tertinggi terdapat pada stasiun 14 dan stasiun 15 yang merupakan wilayah pesisir dan dekat dengan dermaga. Sedangkan nilai konsentrasi klorofil-a citra Sentinel-3 terendah terdapat pada stasiun 3 wilayah tersebut berada di daerah lepas pantai.

Nilai konsentrasi klorofil-a data *insitu* yang ditampilkan pada Gambar 2, memiliki nilai tinggi yang berpusat pada stasiun 6 dimana daerah tersebut merupakan wilayah budidaya atau pertambakan. Sementara untuk nilai konsentrasi klorofil-a data citra Sentinel-3 dengan nilai klorofil-a yang paling tinggi berada di stasiun 14 dan stasiun 15 dengan perairan yang berdekatan dengan dermaga dan wilayah pesisir sehingga kedua wilayah perairan tersebut memiliki masukan unsur hara yang lebih tinggi akibat aktifitas manusia maupun kegiatan budidaya yang berpengaruh pada tingginya nilai klorofil-a yang diperoleh. Sedangkan sebaran klorofil-a baik data *insitu* maupun data citra Sentinel-3 dengan nilai konsentrasi klorofil-a yang rendah lebih banyak berada pada perairan yang lebih jauh dari daratan dan tidak banyak aktifitas manusia atau pertambakan yang dapat mempengaruhi unsur hara yang masuk kedalam perairan tersebut. Hal ini selaras dengan pernyataan Sihombing *et al.* (2017) yang menyatakan tinggi rendahnya kadar klorofil-a erat kaitannya dengan pasokan unsur hara dari daratan yang masuk ke perairan melalui aliran sungai. Konsentrasi klorofil-a lebih tinggi di perairan dekat dengan daratan dibandingkan dengan perairan lepas pantai. Hal ini diduga karena letak perairan laut lepas cukup jauh dari daratan, sehingga jumlah pasokan nutrisi dari daratan kadarnya kecil sehingga menurunkan konsentrasi klorofil-a di perairan tersebut.

Akurasi Data *Insitu* dan Data Citra

Hasil pengolahan data klorofil-a tahun 2021 digunakan untuk mengetahui estimasi perbedaan data konsentrasi klorofil-a antara data hasil dari citra sentinel-3 dengan data pengukuran lapangan di Perairan Menjangan Besar, Karimunjawa. Manessa *et al.* (2017) menyatakan pengukuran tingkat akurasi hasil perkiraan suatu model dapat dihitung dengan persamaan RMSE (akar rata-rata kuadrat simpangan).

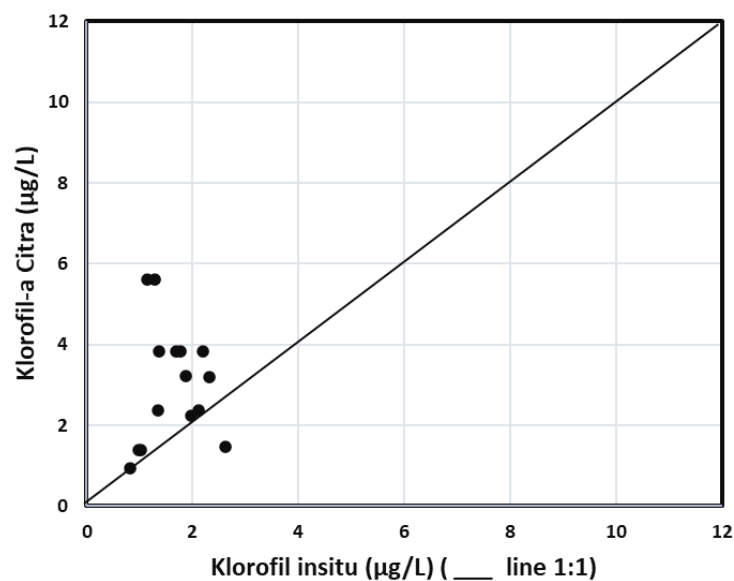
Hasil pengujian secara statistik konsentrasi klorofil-a pernah dilakukan dalam penelitian Ismunarti *et al.*, (2020) antara data pengukuran dengan data pengolahan citra satelit dengan beberapa metode pengujian salah satunya metode RMSE. Metode ini digunakan untuk mengetahui seberapa jauh perbedaan estimasi data citra dengan pengukuran data lapangan. Pola distribusi klorofil- a data *insitu* dan citra Sentinel-3 memiliki perbedaan nilai yang diperoleh data hasil olah data. Hasil uji analisis RMSE pada data *insitu* dengan data citra Sentinel-3 yang ditampilkan pada Tabel 4, nilai RMSE untuk konsentrasi klorofil-a sebesar 1,991 $\mu\text{g/L}$. Nilai tersebut termasuk kedalam kategori tingkat kesalahan data sangat besar dengan rentang data > 0.9 untuk data citra sentinel jika dibandingkan dengan data lapangan.

Menurut Conopio *et al.* (2019), nilai RMSE akan menunjukkan nilai yang akurat apabila hasil nilai tersebut semakin kecil atau memiliki tingkat akurasi yang tinggi jika nilai RMSE mendekati nilai 0. Selaras dengan penelitian Maslukah *et al.* (2022) di Perairan Teluk Semarang Barat yang juga menggunakan data citra Sentinel-3 sebagai data pembanding data klorofil-a pengukuran data lapangan diperoleh hasil perhitungan RMSE klorofil-a sebesar 5,255 $\mu\text{g/L}$, hasil tersebut menggambarkan nilai perbandingan *overestimate* untuk perairan yang relatif lebih dangkal. Hal ini menunjukkan bahwa nilai pengukuran lapangan dengan pengolahan data citra memiliki perbandingan nilai yang jauh berbeda dan menyebabkan data tidak terlalu akurat yang diduga karena faktor gangguan awan atau adanya pengaruh faktor lain, seperti batimetri yang dangkal atau adanya tutupan lamun, yang dalam penelitian ini tidak dikaji.

Berdasarkan hasil ditampilkan pada Gambar 3. menggambarkan bahwa nilai klorofil-a yang terukur dengan citra adalah *overestimate* (nilainya lebih besar dibanding data pengukuran lapangan). Perbedaan estimasi nilai yang jauh terlihat dari data *scatter plot*, titik-titik data berada jauh dari line hubungan data *insitu* dan data citra.

Tabel 4. Hasil Nilai RMSE

Stasiun	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)		RMSE
	<i>Insitu</i>	Sentinel-3	
1	0,996	1,389	1,991
2	1,021	1,389	
3	0,831	0,952	
4	1,358	1,478	
5	2,126	2,374	
6	2,617	2,374	
7	2,314	3,190	
8	1,871	3,224	
9	1,972	2,246	
10	1,765	3,822	
11	2,202	3,822	
12	1,688	3,822	
13	1,362	3,822	
14	1,282	5,619	
15	1,142	5,619	
Rerata	1,636	3,010	

**Gambar 3.** Grafik *Scatter Plot* Klorofil-a untuk data *insitu* dan data citra Sentinel-3.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa sebaran nilai klorofil-a *in situ* berkisar 0,831 – 2,617 $\mu\text{g/L}$ dan dari citra Sentinel-3 berkisar 0,952 – 5,619 $\mu\text{g/L}$. Konsentrasi klorofil tinggi ditemukan di perairan sekitar daerah budidaya dan sekitar dermaga sedangkan nilai lebih rendah ditemukan di perairan laut lepas. Hasil dari pengolahan pola sebaran menunjukkan data lapangan dan data citra sentinel-3 tidak menunjukkan pola sebaran yang sama. Hasil uji akurasi antara data lapangan dan citra sentinel-3 dihasilkan nilai RMSE untuk klorofil-a sebesar 1,991 $\mu\text{g/L}$. Nilai prediksi klorofil-a dari citra Sentinel-3 mengalami *overestimate* (diatas dari nilai lapangannya). Perbedaan estimasi nilai yang jauh terlihat dari data *scatter plot*, titik-titik data berada jauh dari line hubungan data *insitu* dan data citra.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, R., Suryosaputro, A. A. D., Subardjo, P., Handoyo, G., Wirasatriya, A., Maslukah, L., & Kunarso, K. 2018. Identifikasi Fishing Ground Ikan Teri (*Stolephorus* sp) Menggunakan Citra Modis di Perairan Karimunjawa, Jepara. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(2): 103 - 112. <https://doi.org/10.14710/buloma.v7i2.20549>
- Alhaq, M. S., Marwoto, J., Zainuri, M., Suryoputro, A. A. D., & Muslim, M. 2021. Analisa Sebaran Klorofil-a dan Kualitas Air di Perairan Pulau Sintok, Karimunjawa, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(4): 332–343. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i4.11728>
- Brockman, C., Doerffer, R., Peters, M., Stelzer, K., Embacher, S., & Ruescas, A. 2016. *Evolution of The C2RCC Neural Network For Sentinel 2 and 3 For The Retrieval of Ocean Colour Products In Normal and Extreme Optically Complex Waters*
- Chai, T., & Draxler, R. R. 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? -Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3): 1247 - 1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- Conopio, M., Japor, R. K., Blanco, A. C., & Tamondong, A. M. 2019. Estimation Of Chlorophyll-a Concentration In Laguna De Bay Using Sentinel-3 Satellite Data, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W19: 125-132. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W19-125-2019>
- Ismunarti, D. W., Zainuri M., Sugianto D. N., & Saputra S. W. 2020. Pengujian Reliabilitas Instrumen Terhadap Variabel Kontinu Untuk Pengukuran Konsentrasi Klorofil-a Perairan. *Buletin Oseanografi Marina*, 9(1): 1 - 8. <https://doi.org/10.14710/buloma.v9i1.23924>
- Jeffrey, S. W. & Humphrey G. F. 1975. New spectro-photometric equations for determining chlorophylls a, b, c1, and c2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Journal of Physiology and Biochemistry*, 167: 191 - 194.
- Jutz, S., & Milagro-Pérez, M. P. 2020. Copernicus: the European Earth Observation programme. *Revista de Teledetección*, 56: 5-9. <https://doi.org/10.4995/raet.2020.14346>
- Kunarso, K., Wirasatriya, A., Irwani, I., Satriadi, A., Helmi, M., Prayogi, H., & Munandar, B. 2019. Impact of Climate Variability to Aquatic Productivity and Fisheries Resources in Jepara Waters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 246(1): 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/246/1/012021>
- Li, C., Chen, B., Zhang, Y., Zhu, X., Mao, L., Ge, Z., Shi, H., Jiang, S., & Li, X. 2023. All-Weather Monitoring of *Ulva prolifera* in the Yellow Sea Based on Sentinel-1, Sentinel-3, and NPP Satellite Data. *Remote Sensing*, 15(24): 5772. <https://doi.org/10.3390/rs15245772>
- Manessa, M. D. M., Haidar, M., Hartuti, M., & Kresnawati, D. K. 2017. Determination of The Best Methodology For Bathymetry Mapping Using Spot 6 Imagery: A Study Of 12 Empirical Algorithms. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 14(2): 127-136.
- Maslukah, L., Wulandari, S.Y. & Prasetyawan, I.B. 2018. The Estuaries Contribution for Supplying Nutrients (N and P) in Jepara Using Numerical Modelling Approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 116: 012072. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/116/1/012072>
- Maslukah, L., Ismunarti, D.H., Widada, S., Sandi, N.F., & Prayitno, H.B. 2022. The interaction of chlorophyll-a and total suspended matter along the Western Semarang Bay, Indonesia, based on measurement and retrieval of Sentinel 3. *Journal of Ecological Engineering*, 23(10): 191-201. <https://doi.org/10.12911/22998993/152428>
- Samsu, S. 2017. *Metode Penelitian: Teori Dan Aplikasi Penelitian Kualitatif, Kuantitatif, Mixed Methods, Serta Research & Development*. Pusaka Jambi, Jambi, 187 hlm.
- Saberioon, M., Brom, J., Nedbal, V., Souček, P. & Čisáň, P. 2020. Chlorophyll-A and Total Suspended Solids Retrieval and Mapping Using Sentinel-2A and Machine Learning for Inland Waters. *Ecological Indicators*, 113: 106236. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106236>
- Sathyendranath, S., Brewin, R. J. W., Ciavatta, S., Jackson, T., Kulk, G., Jönsson, B., Vicente, V. M., & Platt, T. 2023. Ocean Biology Studied from Space. *Surveys in Geophysics*, 44(5): 1287-1308. <https://doi.org/10.1007/s10712-023-09805-9>
- Sugiyono. 2011. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Alfabeta, Bandung, 334 hlm.
- Sihombing, R. F., Aryawati, R., & Hartini. 2017. Kandungan Klorofil-a Fitoplankton di Sekitar Perairan Desa

- Sungsang Kabupaten Banyuasin Provinsi Sumatera Selatan. *Maspari Journal*, 5(1): 34-39.
- Ulqodry, T. Z., Yulisman, Syahdan, M., & Santoso. 2010. Karakteristik dan Sebaran Nitrat, Fosfat, dan Oksigen Terlarut di Perairan Karimunjawa, Jawa Tengah. *Jurnal Penelitian Sains*, 13(1): 35-41.
- Widiaratih, R., Agus A. D. S., & Gentur H. 2022. Korelasi Klorofil-a dengan Nutrien dan Kualitas Perairan di Pulau Seruni Karimunjawa Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(2): 249-256. <https://doi.org/10.14710/jkt.v25i2.14170>
- Zakiyah, U., Rohani, G. A., & Darmawan, A. 2019. Distribusi Spasial Klorofil-a Di Perairan Pantai Kabupaten Tulungagung Jawa Timur Menggunakan Teknologi Penginderaan Jauh. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 3(3): 315-321. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2019.003.03.5>
- Zhai, D., Kudela, R. M., & Beaulieu, C. 2024. Long-Term Trends in the Distribution of Ocean Chlorophyll. *Geophysical Research Letters*, 51(7): e2023GL106577. <https://doi.org/10.1029/2023g1106577>