

Pola Sebaran Klorofil-A Berdasarkan Citra Landsat-9 Dengan Perbedaan Algoritma Di Perairan Jepara

Fatiha Hening Prastiwi*, Lilik Maslukah, Elis Indrayanti

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia
Email: *fatihahening12@gmail.com

Abstrak

Perairan Jepara memiliki produktivitas tinggi potensi perikananannya. Potensi perikanan perairan dapat di tinjau melalui pemantauan produktivitas primernya, yang dapat diidentifikasi melalui parameter klorofil-a yang merupakan pigmen fotosintesis dalam fitoplankton. Untuk mengidentifikasi klorofil-a dapat menggunakan metode penginderaan jauh, seperti citra Sentinel atau Landsat yang memiliki resolusi tinggi sehingga dapat diaplikasikan di perairan pantai. Penelitian ini mengkaji pola sebaran klorofil-a citra Landsat-9 menggunakan empat algoritma berbeda di Perairan Jepara bagian barat. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data insitu klorofil-a yang diambil pada Juli 2023 dan perekaman citra Landsat-9 pada waktu yang sama. Analisis konsentrasi klorofil-a menggunakan metode spektrofotometri dan empat algoritma yang digunakan yaitu Algoritma Wibowo, Jaelani, Arif & Laksmi, dan Pentury. Berdasarkan pengolahan data, konsentrasi klorofil-a insitu memiliki rentang nilai 0,736-21,130 $\mu\text{g/L}$. Nilai prediksi klorofil-a hasil Algoritma Wibowo, Jaelani, Arif & Laksmi, dan Pentury masing-masing 24,6065-115,5899 $\mu\text{g/L}$; 0,0597-0,0144 $\mu\text{g/L}$; 1,0133-0,4602 $\mu\text{g/L}$; 2,6512-2,5199 $\mu\text{g/L}$. Hasil Akurasi menunjukkan kinerja Algoritma Pentury lebih baik dari algoritma lain dengan nilai RMSE, MAPE, Bias sebesar 4236 $\mu\text{g/L}$; 49%; dan -2,74. Namun demikian untuk pola sebaran Algoritma Wibowo memperlihatkan kemiripan dengan sebaran dari data insitu yaitu dengan konsentrasi tertinggi di bagian Selatan Perairan Teluk Awur. Sedangkan algoritma lain memiliki pola sebaran yang jauh berbeda daripada data insitu. Untuk mendapatkan nilai klorofil-a mirip lapangan, tentunya perlu di kembangkan algoritma khusus untuk penggunaan Landsat-9.

Kata kunci: Klorofil-a, Landsat-9, pola sebaran, Perairan Jepara

Abstract

Estimation of Chlorophyll-a with Several Algorithms of Landsat-9 Imagery in the Waters of Awur Bay, Jepara Regency

Jepara waters have high productivity of fisheries potential. The potential of aquatic fisheries can be reviewed through monitoring of its primary productivity, which can be identified through the chlorophyll-a parameter which is a photosynthetic pigment in phytoplankton. To identify chlorophyll-a, remote sensing methods can be used, such as Sentinel or Landsat imagery which has high resolution so that it can be applied in coastal waters. This study examines the distribution pattern of chlorophyll-a Landsat-9 imagery using four different algorithms in the western Jepara waters. The data used in this study are in-situ chlorophyll-a data taken in July 2023 and Landsat-9 image recording at the same time. Analysis of chlorophyll-a concentration using the spectrophotometric method and four algorithms used, namely the Wibowo, Jaelani, Arif & Laksmi, and Pentury algorithms. Based on data processing, the in-situ chlorophyll-a concentration has a value range of 0.736-21.130 $\mu\text{g/L}$. The predicted chlorophyll-a values of the Wibowo, Jaelani, Arif & Laksmi, and Pentury Algorithms are 24.6065-115.5899 $\mu\text{g/L}$; 0.0597-0.0144 $\mu\text{g/L}$; 1.0133-0.4602 $\mu\text{g/L}$; 2.6512-2.5199 $\mu\text{g/L}$, respectively. The accuracy results show that the performance of the Pentury Algorithm is better than other algorithms with RMSE, MAPE, Bias values of 4236 $\mu\text{g/L}$; 49%; and -2.74. However, the distribution pattern of the Wibowo Algorithm shows similarities with the distribution of in-situ data, namely with the highest concentration in the southern part of Teluk Awur Waters. While other algorithms have distribution patterns that are much different from in-situ data. To obtain field-like chlorophyll-a values, it is certainly necessary to develop a special algorithm for the use of Landsat-9.

Keywords: Chlorophyll-a, Landsat-9, distribution pattern, Jepara

PENDAHULUAN

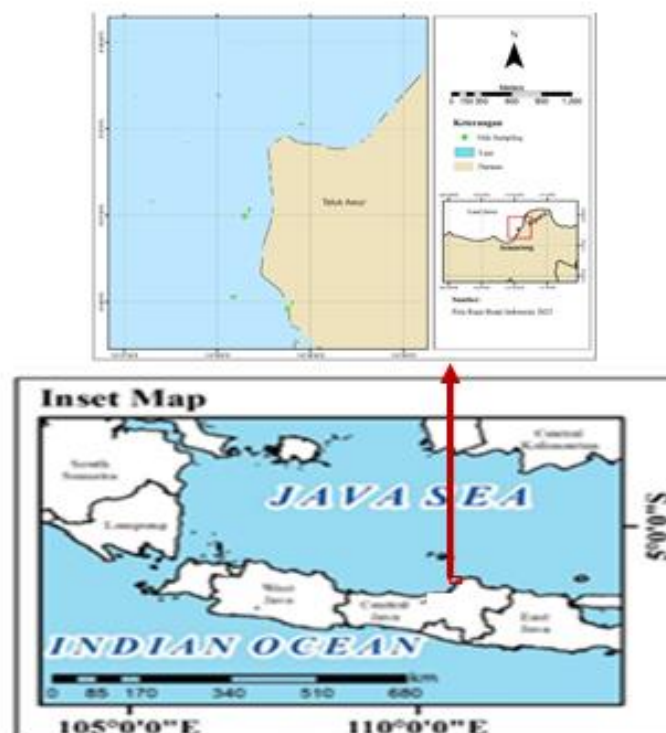
Laut merupakan sumber daya terbesar yang bisa dimanfaatkan manusia sebagai sumber bahan pangan, tempat rekreasi, sarana transportasi dan lainnya. Dalam Rencana Pembangunan Daerah (RPD) Kabupaten

Jepra Tahun 2023-2026, memiliki sasaran untuk peningkatan produksi perikanan tangkap, budidaya dan olahan hasil perikanan. Kurniawan *et al.* (2021) menyatakan bahwa Perairan Teluk Awur sebagai perairan pesisir memiliki nilai produktivitas tinggi. Namun seiring berjalannya waktu dan perubahan iklim yang terjadi di dunia dapat mempengaruhi kondisi oseanografi yang berdampak terhadap kualitas perairan.

Pantai Teluk Awur Jepra memiliki potensi perikanan yang besar. Berdasarkan penelitian Elisa *et al.* (2020) menyatakan bahwa keanekaragaman larva ikan di Pantai Teluk Awur termasuk dalam kategori sedang, dan nilai keseragaman larva ikan tergolong tinggi. Salah satu indikator kelimpahan larva adalah fitoplankton. Di lingkungan perairan, biomassa fitoplankton dapat diestimasi melalui pengukuran klorofil-a. Pengujian nilai klorofil-a secara insitu di lapangan membutuhkan biaya dan waktu yang kurang efisien dan efektif, sehingga alternatifnya menggunakan penginderaan jauh, yang salah satunya adalah data citra Landsat-9.

Citra Landsat-9 memiliki instrumen yang sama dengan Landsat-8 dengan beberapa perbaikan yaitu rasio signal-to-noise yang lebih baik dari Landsat-8. Pengembangan lainnya adalah resolusi radiometrik untuk sensor OLI-2 mencapai 14 bit, hal ini menjadikan sensor lebih baik dalam mendeteksi perbedaan yang kecil terutama pada area yang gelap seperti air dan hutan lebat. Dengan resolusi radiometrik yang tinggi, Landsat-9 bisa mendeteksi hingga 16.384 warna dari pantulan panjang gelombang yang dihasilkan.

Penelitian citra Landsat untuk mengetahui konsentrasi klorofil-a sudah pernah dilakukan oleh Buditama *et al.* (2018) di Perairan Cirebon, Nuzapril *et al.* (2017) di Perairan Kepulauan Karimun Jawa, serta Pentury & Waas (2009) di Perairan Teluk Kayeli, Pulau Buru. Penelitian ini dilaksanakan guna mengkaji dinamika spasial untuk menentukan algoritma yang paling mendekati nilai klorofil-a insitu. Penggunaan saluran multispektral sebesar 30 m pada citra Landsat-9 (OLI 2) untuk mengetahui parameter kualitas perairan klorofil-a di Perairan Teluk Awur, Jepra. Pengambilan data secara langsung diperlukan sebagai validasi terhadap formula algoritma yang dikembangkan. Sehingga waktu pengambilan data perlu disesuaikan dengan waktu perekaman pada citra saat melewati daerah penelitian. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji nilai prediksi beberapa Algoritma Wibowo, Jaelani, Arif & Laksmi, dan Pentury terhadap data insitu klorofil-a di Perairan Teluk Awur. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui algoritma yang memiliki kinerja terbaik untuk Perairan Jepra. Diharapkan kajian ini dapat sebagai pertimbangan dalam pemilihan algoritma yang lebih baik untuk menggambarkan dinamika klorofil-a di perairan pantai, baik untuk kepentingan pemetaan daerah fishing ground atau dalam kajian eutrofikasi yang sudah mulai terjadi di perairan Indonesia, khususnya di perairan Jepra.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Tabel 1. Algoritma Citra Landsat-9

Sumber	Algoritma	Keterangan
Wibowo <i>et al.</i> , (1994)	Log Chl = (2,41*B4/B3) + 0,187	band 4 (<i>red</i>) dan band 3 (<i>green</i>)
Jaelani <i>et al.</i> , (2016)	Log Chl = -0,9889 (B4/B5) + 0,3619	band 4 (<i>red</i>) dan band 5 (<i>NIR</i>)
Pentury (1997)	Chl = 2,3868 (B3/B2) - 0,4671	band 3 (<i>green</i>) dan band 2 (<i>blue</i>)
Arief & Laksmi (2006)	Chl a = 171,912 (B1-B2/B1+B2) - 0,3343	band 1 (<i>violet</i>) dan band 2 (<i>blue</i>)

MATERI DAN METODE

Data Lapangan

Pengambilan sampel air dilakukan pada 85 titik stasiun di wilayah Perairan Teluk Awur pada tanggal 22 Juli 2023 pukul 09.00-12.00 WIB (Gambar 1). Waktu pengambilan sampel dipilih berdasarkan perkiraan cuaca cerah untuk memastikan kualitas data citra yang optimal. Sampel air sebanyak 1000 mL diambil pada kedalaman 1 meter dari permukaan air menggunakan botol Niskin. Pemilihan kedalaman 1 meter didasarkan pada asumsi bahwa lapisan permukaan merupakan habitat utama fitoplankton yang mengandung klorofil-a.

Proses analisis klorofil-a menggunakan metode spektrofotometri mengikuti prosedur dari APHA (Maslukah *et al.*, 2021). Sampel air yang telah disaring kemudian diekstraksi dengan 90% aseton selama 24 jam dalam kondisi gelap pada suhu 4°C untuk memaksimalkan ekstraksi pigmen. Filtrat yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 630 nm, 645 nm, 664 nm, dan 750 nm. Konsentrasi klorofil-a dihitung berdasarkan persamaan trikromatik yang telah terstandarisasi oleh *American Public Health Association* (APHA, 2012).

$$Chl - a = \frac{C_a \times V_a}{V \times d}$$

Dimana Chl-a adalah nilai konsentrasi klorofil-a; Ca (11,8 (λ664 – λ750) – 1,54(λ647 – λ750) – 0,08(λ630 – λ750)); Va (volume aseton/ml); V (volume sampel disaring/L); d(diameter cuvet/cm).

Data Citra

Data satelit yang digunakan adalah citra level 1 dari satelit Landsat-9 wilayah pesisir Teluk Awur. Citra dipilih dengan kriteria resolusi tutupan awan di bawah 30% untuk meminimalkan gangguan atmosfer terhadap hasil analisis. Pengolahan citra dilakukan menggunakan ENVI 5.3. Sebelum dilakukan analisis lebih lanjut, data citra telah melalui proses pra-pengolahan yang meliputi koreksi geometris dan radiometrik. Koreksi geometris bertujuan untuk memperbaiki posisi dan orientasi piksel citra agar sesuai dengan koordinat geografi yang sebenarnya di permukaan bumi. koreksi radiometrik dilakukan untuk mengkalibrasi nilai digital (DN) piksel menjadi nilai radiasi *top-of-atmosphere* (TOA) yang merepresentasikan energi elektromagnetik yang diterima sensor satelit. Langkah-langkah pra-pengolahan ini mengacu pada metode yang telah dijelaskan oleh Muchsin *et al.* (2017), yang memastikan akurasi dan reliabilitas data yang digunakan dalam analisis. Nilai reflektan band yang didapat, selanjutnya diolah dengan model algoritma yang digunakan Tabel 1.

Uji Akurasi

Uji akurasi algoritma yang dikembangkan dalam penelitian ini didasarkan pada tiga teknik statistik yang umum digunakan dalam regresi, yaitu koefisien determinasi (R²), *root mean squared error* (RMSE), dan *mean absolute percentage error* (MAPE). Koefisien determinasi (R²) menunjukkan proporsi variabilitas variabel dependen yang dapat dijelaskan oleh model, dengan nilai mendekati 1 menunjukkan model yang sangat baik (Huang *et al.*, 2013). Selain itu, bias digunakan untuk mengukur kecenderungan model untuk memprediksi nilai yang lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai aktual. Perhitungan seluruh metrik evaluasi ini dilakukan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel*. Persamaan matematika yang digunakan ditunjukkan dibawah ini:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(z_i - z_j)^2}{n}}$$

$$MAPE = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Chl_{pre} - Chl_{obs}}{Chl_{obs}} \right| \right) \times 100$$

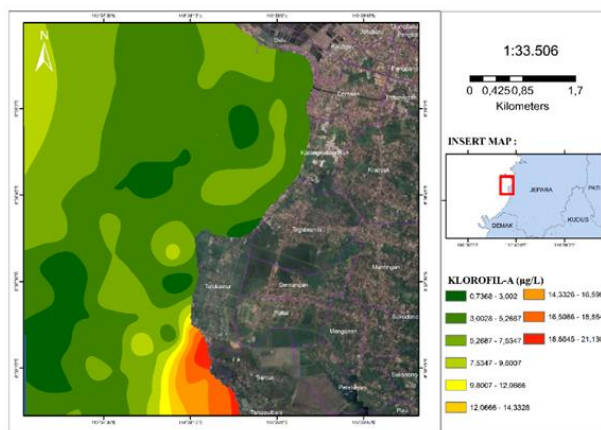
$$BIAS = X_{pre} - X_{obs}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

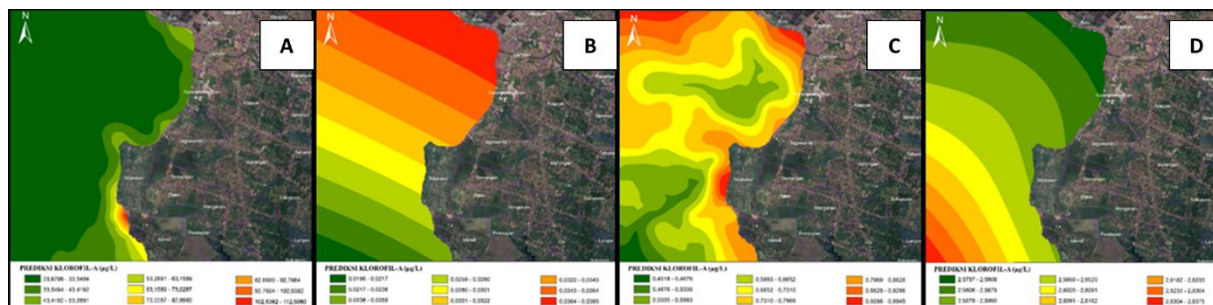
Pola Sebaran Klorofil-a Data insitu dan Data Prediksi Citra

Pola sebaran antara konsentrasi klorofil-a data insitu mencapai nilai tertinggi di daerah muara dan nilai semakin menurun di daerah menuju laut lepas (Gambar 2). Hal ini dilihat berdasarkan peta sebaran yang dihasilkan, nilai klorofil-a akan semakin kecil apabila daerah menjauh dari muara. Konsentrasi klorofil-a di laut lepas cenderung lebih rendah karena suplai nutrisi secara langsung tidak ada, sedangkan di muara dan pesisir terdapat suplai nutrisi secara langsung yang merupakan run-off dari daratan dan proses pengadukan dasar perairan (*mixing*). Kondisi ini dipengaruhi ketersediaan nutrisi dan intensitas cahaya, sehingga klorofil-a dapat dihasilkan secara optimal (Rianingtyas *et al.*, 2016).

Secara umum, pola sebaran konsentrasi klorofil-a yang dihasilkan oleh keempat algoritma tersebut berbeda-beda. Beberapa algoritma menunjukkan pola yang real dibandingkan yang lainnya. Namun, secara keseluruhan, data prediksi yang dihasilkan oleh keempat algoritma belum mampu menggambarkan kondisi sebenarnya di lapangan (data insitu). Pola sebaran Algoritma Wibowo, memperlihatkan konsentrasi klorofil tertinggi di satu titik utama yang letaknya di Pesisir Selatan Perairan Teluk Awur dan konsentrasi semakin menurun di segala arah terutama ke arah laut lepas (Gambar 3A). Pola sebaran Algoritma Arief & Laksmi, menggambarkan persebaran klorofil-a dengan konsentrasi tinggi di Pesisir Teluk Awur dan dari arah Utara Perairan Pantai Kartini dan konsentrasi akan akan berkurang ketika menjauhi pesisir (Gambar 3C). Pola sebaran Algoritma Jaelani, hasil sebaran dari algoritma ini kurang representatif karena sebaran terlihat sangat konstan dari perairan utara menuju selatan (Gambar 3B). Pola sebaran Algoritma Pentury, memperlihatkan konsentrasi klorofil-a yang tinggi pada bagian selatan lokasi studi yaitu mulai dari perairan laut lepas di bagian selatan menuju ke pesisir utara (Gambar 3D). Hal ini berbeda dengan penelitian Isnaini *et al.* (2024) yang mendapatkan bahwa algoritma Wibowo menunjukkan kinerja yang lebih baik dengan nilai klorofil-a mendekati data insitu.



Gambar 2. Peta Sebaran Klorofil-a Insitu.



Gambar 3. Peta Sebaran Klorofil-a Prediksi Citra Landsat-9 dengan Algoritma (A) Wibowo (B) Jaelani (C) Arief & Laksmi (D) Pentury.

Tabel 2. Rentang dan Rerata Nilai Prediksi, Nilai R², RMSE, MAPE, dan Bias

Algoritma	Rentang Nilai Prediksi ($\mu\text{g/L}$)	Mean ($\mu\text{g/L}$)	R ²	RMSE	MAPE (%)	Bias
Wibowo	24.6065-115.5899	31.9283	0.5385	28.3311	660.2037	26.5865
Jaelani	0.0597-0.0144	0.0301	0.0046	6.3418	99.2201	-5.3117
Arief & Laksmi	1.0133-0,4602	0.6763	0.0344	5.7956	82.7954	-4.6655
Pentury	2.6512-2.5199	2.5991	0.0551	4.4236	49.4400	-2.7426
Insitu	0.736-21.130	5.3418	-	-	-	-

Nilai Konsentrasi Klorofil-a Data insitu dan Data Prediksi Citra

Nilai prediksi klorofil-a yang diperoleh dari pengolahan data citra Landsat memang menunjukkan rentang yang variatif, bahkan jika dibandingkan dengan konsentrasi klorofil-a yang diukur secara *insitu*. Variasi ini disebabkan karena setiap algoritma memiliki kombinasi band dan persamaan regresi yang unik, yang didesain untuk mengoptimalkan estimasi klorofil-a pada kondisi perairan tertentu. Seperti yang dijelaskan oleh Permadi *et al.* (2022), interaksi antara cahaya dan pigmen klorofil merupakan fenomena yang kompleks. Klorofil menyerap cahaya pada spektrum biru dan merah, lalu memancarkan cahaya hijau. Oleh karena itu, pemilihan band yang sensitif terhadap penyerapan dan pemancaran cahaya oleh klorofil akan sangat mempengaruhi akurasi hasil estimasi. Dari pernyataan diatas dapat menjelaskan bahwa perbedaan band yang dipakai dari setiap algoritma menyebabkan nilai prediksi yang rentangnya berbeda-beda.

Berdasarkan hasil uji akurasi, Algoritma Wibowo memiliki nilai R² yang paling baik diantara algoritma lainnya tetapi nilai RMSE terbilang tinggi. Namun jika dilihat dari perhitungan kesalahan relatif, nilai prediksi klorofil-a ternyata jauh diatas dari konsentrasi klorofil-a insitu. Menurut Nuryadi *et al.* (2017) dalam bukunya, menyatakan bahwa nilai bias yaitu penyimpangan dari kebenaran yang diketahui untuk meminimalisir bias supaya hasil prediksi akurat. Nilai MAPE dari keseluruhan algoritma masih tergolong besar sehingga perlu diketahui penyebab eror supaya model yang dipakai bisa menghasilkan prediksi yang representatif.

Kinerja keempat algoritma yang diuji masih belum optimal dalam memprediksi kondisi perairan. Hal ini disebabkan oleh kompleksitas interaksi fisik di perairan, seperti gelombang, arus, pasang surut, dan sedimen. Jika faktor-faktor tersebut tidak diperhitungkan dalam algoritma, terkait dalam penggunaan band, akan menyebabkan hasil prediksi kurang akurat. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa pemilihan algoritma harus disesuaikan dengan kondisi spesifik lokasi studi. Demikian juga bahwa dalam menggunakan algoritma untuk estimasi Chl-a, kalibrasi dengan data insitu lebih di sarankan. Setiap pantai memiliki karakteristik yang bervariasi, sehingga membutuhkan generate algoritma. Perlu ada kajian lebih lanjut untuk mengembangkan algoritma berbasis perairan lokal. Selain itu proses kalibrasi juga dapat dilakukan menggunakan algoritma sebelumnya yang telah memperlihatkan kemiripan.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa algoritma Wibowo, Pentury, Arif & Laksmi, dan Jaelani untuk estimasi klorofil-a berdasarkan citra Landsat-9 di perairan Teluk Awur masih memperlihatkan nilai error yang tinggi. Dari keempat algoritma yang diuji, Algoritma Pentury menunjukkan kinerja terbaik. Hal ini terlihat dari nilai kesalahan prediksi (RMSE, MAPE, dan Bias) yang lebih rendah dibandingkan algoritma lainnya. Prediksi nilai klorofil-a dari algoritma Wibowo lebih tinggi daripada klorofil-a insitu-nya (*overestimated*), sedangkan algoritma lainnya adalah *underestimate*. Hal ini berbeda dengan pola sebaran, dimana algoritma Wibowo memiliki kemiripan yang lebih tinggi dengan pola sebaran insitu (yaitu terpusat di bagian Selatan), dibanding algoritma Arief & Laksmi yang memiliki pola yang lebih terfokus disebelah utara dan menyebar di perairan dekat pantai. Sementara Algoritma Jaelani dan Pentury memperlihatkan pola yang terbalik. Nilai tinggi prediksi klorofil-a Algoritma Jaelani terfokus di sebelah utara dengan sebaran yang rata dan mengecil menuju ke perairan sebelah Selatan, sedangkan Algoritma Pentury memiliki sebaran yang berkebalikan. Untuk penelitian selanjutnya perlu dikembangkan algoritma lebih khusus untuk perairan Jepara sehingga nilai klorofil-a yang diperoleh memiliki error lebih rendah atau dapat dilakukan melalui proses kalibrasi menggunakan algoritma Wibowo, yang dalam kajian ini memiliki pola sebaran yang mirip data in situ.

DAFTAR PUSTAKA

- American Public Health Association. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*. 22nd ed. APHA. Washington, USA.
- Arief, M. J. & Lestari Laksmi. 2006. Analisis Kesesuaian Perairan Tambak Di Kabupaten Demak Ditinjau Dari Nilai Klorofil-a, Suhu Permukaan Perairan, Dan Muatan Padatan Tersuspensi Menggunakan Data Citra Satelit Landsat 7 ETM+. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 3(1): 108-118.
- Buditama, G., Damayanti, A. & Pin, T. G. 2017. Identifying distribution of chlorophyll-a concentration using Landsat-8 oli on marine waters area of Cirebon. *The 5th Geoinformation Science Symposium 2017 (GSS 2017)*, Yogyakarta, Indonesia. 27–28 September 2017.
- Elisa, P. A., Ghofar, A. & Solichin, A. 2020. Distribusi Dan Kelimpahan Larva Ikan di Pantai Teluk Awur, Kabupaten Jepara. *Jurnal Pasir Laut*, Vol. 4(2): 79-85. <https://doi.org/10.14710/jpl.2020.33687>.
- Huang, J., Pan, C., Kuang, C., Zeng, J. & Chen, G. 2013. Experimental hydrodynamic study of the Qiantang River tidal bore. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 25(3): 481-490. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(11\)60387-X](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(11)60387-X).
- Isnaini, I., Diansyah, G., Ulqodry, T. Z., Surbakti, H., Arsyey, L.F. & Aryawati, R. 2024. Distribusi Klorofil-A Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 Di Muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan. *Buletin Oseanografi Marina*, 13(3): 391-400. <https://doi.org/10.14710/buloma.v13i3.61216>.
- Jaelani, L. M., Limehuwey, R., Kurniadin, N., Pamungkas, A., Koenhardono, E. S. & Sulisetyono, A. 2016. Estimation of Total Suspended Sediment and Chlorophyll-A Concentration from Landsat 8-Oli: The Effect of Atmosphere and Retrieval Algorithm. *IPTEK the Journal for Technology and Science*, 27(1): 16-23. <https://doi.org/10.12962/j20882033.v27i1.1217>.
- Kurniawan, H., Yulianto, B. & Riniatsih, I. 2021. Kondisi Padang Lamun di Perairan Teluk Awur Jepara Terkait dengan Parameter Lingkungan Perairan dan Keberadaan Sampah Makro Plastik. *Journal of Marine Research*, 10(1): 29-38. <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i1.28266>.
- Maslukah, L., Setiawan, R. Y., Nurdin, N., Wirasatriya, A. & Helmi, M. 2021. Estimation of Chlorophyll-a Phytoplankton in The Coastal Waters of Semarang and Jepara for Monitoring the Eutrophication process using MODIS-AQUA imagery and conventional methods. *Journal of Ecological Engineering*, 22(1): 51-59. <https://doi.org/10.12911/22998993/128874>.
- Muchsin, F., Liana, F. & Kuncoro, A., 2017. Model Koreksi Atmosfer Citra Landsat-7 (Atmospheric Correction Models of Landsat-7 Imagery). *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 14(2): 101-110. <http://dx.doi.org/10.30536/j.pjpdcd.1017.v14.a2595>.
- Nuryadi, Astuti, T. D., Utami, E. S. & Budiantara, M. 2017. *Dasar-Dasar Statistik Penelitian*. Sibuku Media. Yogyakarta.
- Nuzapril, M., Susilo, S. B. & Panjaitan, J. P. 2017. Estimasi Produktivitas Primer Perairan Berdasarkan Konsentrasi Klorofil-a Yang Diekstrak Dari Citra Satelit Landsat-8 di Perairan Kepulauan Karimun Jawa. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 14(1): 25-36. <http://dx.doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2017.v14.a2548>.
- Pentury, R. & Waas, H. J. D. 2009. Penentuan Konsentrasi Klorofil-a Perairan Teluk Kayeli Pulau Buru Menggunakan Metode Inderaja. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 5(2): 60-66.
- Pentury, R. 1997. Algoritma pendugaan konsentrasi klorofil-a di Teluk Ambon dengan menggunakan citra Landsat [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Permadi, A., Suhendra, Ahda, M., Zufar, A. F., Padya, S. A., Anugrah, N., Hadi, S. & Suharto, T. E. 2022. Perbandingan Kandungan Klorofil dan Antioksidan Spirulina dengan Beberapa Jenis Sayuran. *Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ 2022*. Kota Solo.
- Rianingtyas, C., Yusuf, M. & Setiyono, H. 2016. Studi Sebaran Konsentrasi Nitrat dan Klorofil-a Di Perairan Teluk Ujungbatu Jepara. *Jurnal Oseanografi*, 5(2):169-179.
- Wibowo, A., Sumartono, B. & Setyantini, W.H. 1994. The application of satellite data improvement site selection and monitoring shrimp pond culture case study on Cirebon, Lampung, Jambi, and Jepara Coasts. *Remote Sensing and Geographic Information System*, 16-27.