

Sebaran Total Suspended Solid dan Klorofil-A Menggunakan Perbedaan Model Geospasial Di Perairan Depan Sungai Bedahan, Kabupaten Pekalongan

Zalfa Apricia Durotunasha¹, Muhammad Zainuri¹, Lilik Maslukah^{1*}, Rizqi Ayu Fariyah²

¹Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais. Tembalang Semarang Jawa Tengah 50275, Indonesia

²Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr Soeparno, Komplek GOR Soesilo Soedarman, Karangwangkal, Karang Bawang, Grendeng,
Purwokerto, Banyumas, Jawa Tengah 53122
Email: *lilikmaslukah@lecturer.undip.ac.id

Abstrak

Total Suspended Sediment (TSS) merupakan salah satu variabel penting yang menentukan kualitas air karena TSS mengontrol proses biologis di perairan pesisir. TSS ini terdiri dari komponen hidup dan tidak hidup, termasuk didalamnya adalah fitoplankton yang mengandung pigmen klorofil-a. Tujuan penelitian ini adalah memetakan TSS dan klorofil-a menggunakan tiga metode interpolasi dan menentukan model hubungan keduanya. Sampel air diambil sebanyak 57 stasiun yang diambil di epan muara sungai Bedahan. Sebanyak 70% data in situ digunakan untuk inputan model dan 30% lainnya digunakan untuk validasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa metode interpolasi Kriging memiliki akurasi lebih tinggi diikuti *Spline* dan *Inverse Distance Weighted* (IDW). Melalui hasil penelitian ini, kami juga mendapatkan model hubungan antara TSS terhadap klorofil-a dengan koefisien determinasi sebesar ($R^2=0,40$). Model regresi ini memperlihatkan bahwa klorofil-a sebagai pigmen utama fitoplankton berkontribusi terhadap tingginya nilai TSS di perairan. Kontribusi ini memperlihatkan bahwa wilayah depan muara Sungai Bedahan masih menunjukkan ekosistem muara yang sehat, akibat keberadaan fitoplankton dan tidak terjadi dominasi dari material anorganik yang dapat mengurangi masuknya cahaya ke kolom perairan.

Kata kunci : model geospasial, padatan tersuspensi, klorofil-a, interpolasi.

Abstract

Analysis of Total Suspended Solids and Chlorophyll-A Distribution Utilizing Various Geospatial Models off the Bedahan River, Pekalongan Regency

Total Suspended Sediment (TSS) is one of the determinants of water quality because it controls biological processes in coastal waters. TSS consists of living and non-living components, including phytoplankton containing chlorophyll-a pigments. The purpose of this study was to map TSS and chlorophyll-a using three interpolation methods and determine the relationship model between them. Water samples were collected at 57 stations in front of the Bedahan River estuary. Seventy percent of the in situ data (70%) was used for model input and the other 30% was used for validation. The analysis results showed that the Kriging interpolation method had higher accuracy, followed by Spline and Inverse Distance Weighted (IDW). Through this study, we also obtained a relationship model between TSS and chlorophyll-a with a coefficient of determination of ($R^2 = 0.40$). This regression model shows that chlorophyll-a, as the main pigment of phytoplankton, contributes to high TSS values in the waters. This contribution shows that the area in front of the Bedahan River estuary still shows a healthy estuarine ecosystem, due to the presence of phytoplankton and the absence of dominance of inorganic materials that can reduce the entry of light into the water column..

Keywords : geospatial model, suspended, chlorophyll-a, interpolation

PENDAHULUAN

Total Suspended Solid (TSS) di perairan merupakan salah satu parameter kualitas air. TSS dapat mempengaruhi tingkat kekeruhan air yang dapat mengganggu proses fotosintesis (Ciancia *et al.*, 2020) serta

dapat meningkatkan suhu perairan. Proses fotosintesis secara umum diperairan dilakukan oleh fitoplankton. Pigmen utama yang bertanggung jawab dalam proses fotosintesis adalah klorofil-a. Oleh karena itu biomassa fitoplankton dapat ditentukan dari konsentrasi klorofil-a yang merupakan bagian dari komponen biotik penyusun TSS. Keberadaan fitoplankton memiliki kontribusi terhadap naiknya TSS (Poddar *et al.*, 2019; Maslukah *et al.*, 2022a). TSS dan klorofil-a merupakan variabel yang saling berkaitan dan keduanya dapat digunakan dalam penentu kualitas perairan (Wang *et al.*, 2017).

Tingginya konsentrasi klorofil-a di perairan dapat meningkatkan konsentrasi TSS, namun disisi lain tingginya TSS dapat menyebabkan pigmen klorofil-a menjadi menurun sebagai akibat terganggunya proses fotosintesis sebagai dampak lanjutan berkurangnya intensitas cahaya matahari yang masuk (Julita *et al.*, 2023). Oleh karena itu hubungan atau korelasi antara konsentrasi TSS dan klorofil-a di tiap perairan ditemukan bervariasi (negatif/positif). Penelitian sebelumnya mengenai hubungan antara konsentrasi TSS dan klorofil-a pernah dilakukan di beberapa perairan antara lain oleh Fanela *et al.*, (2019), Maslukah *et al.*, (2022b) dan Julita *et al.*, (2023). Pemetaan parameter TSS dan klorofil-a di perairan membutuhkan data yang banyak sehingga berdampak kebutuhan biaya tinggi. Penggunaan metode interpolasi dalam memvisualisasikan pola sebaran kedua parameter tersebut dapat menekan biaya. Namun kajian untuk perbandingan beberapa metode interpolasi belum pernah dilakukan. Demikian juga untuk hasil uji validasi pada setiap metodenya. Ada tiga metode interpolasi dalam menggambarkan pola sebaran spasial yaitu *interpolasi Spline*, *Inverse Distance Weight (IDW)* dan *Kriging*. Wardani *et al.* (2024) dalam penelitiannya tentang TSS dan klo-a di Muara Loji menggunakan metode Spline. Namun penelitian tersebut belum di lakukan uji validasi. Untuk menentukan tingkat akurasi perlu dilakukan uji validasi menggunakan sebagian data lapangan, dan data lainnya sebagai inputan interpolasi pola sebarannya.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi TSS dan klorofil-a serta menganalisis korelasi antara TSS terhadap klorofil-a. Selain itu, pada studi ini juga akan ditentukan metode interpolasi terbaik dalam menyajikan pola sebaran spasial berbasis model geospasial yaitu metode interpolasi Spline, IDW, Kriging. Pemilihan metode terbaik berdasarkan pada uji validasi terhadap data pengukuran lapangan. Demikian juga model hubungan antara klorofil-a dan TSS, pada penellitian ini juga akan dianalisis. Hal ini akan menggambarkan seberapa besar kontribusi klorofil-a sebagai pigmen fotosintesis dapat berkontribusi terhadap TSS. Kontribusi yang besar tentunya menggambarkan derajat kesehatan ekosistem yang semakin baik. Diharapkan hasil penelitian ini sebagai bahan pertimbangan dalam penyajian data yang terbatas, namun dapat memberikan informasi yang lebih banyak dengan biaya yang efisien dan efektif.

MATERI DAN METODE

Pengambilan sampel dilakukan pada 57 stasiun dengan lokasi titik koordinat berada pada 6° 50' 31.05" - 6° 49' 21.49" LS sampai dengan 109° 38' 0.22" - 109° 37' 48.23" BT (Gambar 1). Sampling dilakukan pada 25 Juni 2023 dengan kondisi perairan dalam kondisi surut menuju pasang. Sampel air laut diambil di lapisan permukaan dengan menggunakan botol Nansen sebanyak 1000 ml dan segera disimpan dalam cool box untuk meminimalkan dekomposisi mikrobiologis (Riswana *et al.*, 2017).

Metode Analisis TSS : Analisis TSS menggunakan metode gravimetri APHA 2540 mengikuti yang dilakukan oleh Wirasatriya *et al.* (2023). Sebanyak 1 liter air laut di saring dengan whatman (*grade* GF/F ukuran 47mm, *pore size* 0,7 µm). Padatan yang tertahan dikeringkan dengan suhu 103°- 105°C selama 1 jam. Konsentrasi TSS dihitung dengan menggunakan persamaan 1 :

$$\text{TSS (mg/l)}: \frac{(A - B) \times 1000}{C} \quad (1)$$

Keterangan: B = Berat Kertas Saring (gr); A = Berat Kertas Saring + Residu Kering (gr); C = Volume Sampel Air (Liter)

Analisis Klorofil-a : Analisis sampel klorofil-a menggunakan metode standar APHA 2005 dengan 3 panjang gelombang (trikromatik) yaitu λ664, λ647 dan λ630. Perhitungan klorofil-a menggunakan persamaan 2 dan 3.

$$Ca = [(11.85 \times \lambda 664) - (1.54 \times \lambda 647) - (0.08 \times \lambda 630)] \quad (2)$$

Keterangan : Ca= Konsentrasi Klorofil-a dalam kuvet (µg/mL); λ664, λ647, λ630 adalah absorbansi pada panjang gelombang 664 nm, 647 nm, dan 630 nm

$$\text{Klorofil-a } (\mu\text{g/L}) = \frac{(Ca \times Va)}{(Vs \times d)} \quad (3)$$

Keterangan : Ca= Konsentrasi klorofil-a dalam kuvet ($\mu\text{g/mL}$); Va Volume ekstrak aseton (mL); Vs = Volume sampel yang disaring (L); d= Lebar kuvet (1 cm)

Metode Pemetaan Distribusi Geospasial Interpolasi Spline

Teknik interpolasi *Spline* merupakan metode mengestimasi nilai yang tidak terdapat pada sampel data dengan model permukaan yang dihasilkan akan tepat melewati titik-titik sampel serta cukup akurat walaupun data yang digunakan hanya sedikit (Kresic, 2007; Widiawaty *et al.*, 2018). Pada penelitian ini menggunakan *Output cell size* sebesar 6,11159999997E-05, angka tersebut merupakan tampilan *default* dari ArcGIS untuk memberikan hasil interpolasi terbaik. Persamaan yang digunakan untuk interpolasi *Spline* menggunakan rumus interpolasi permukaan mengikuti persamaan 4:

$$s(x,y) = T(x,y) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_j) \quad (4)$$

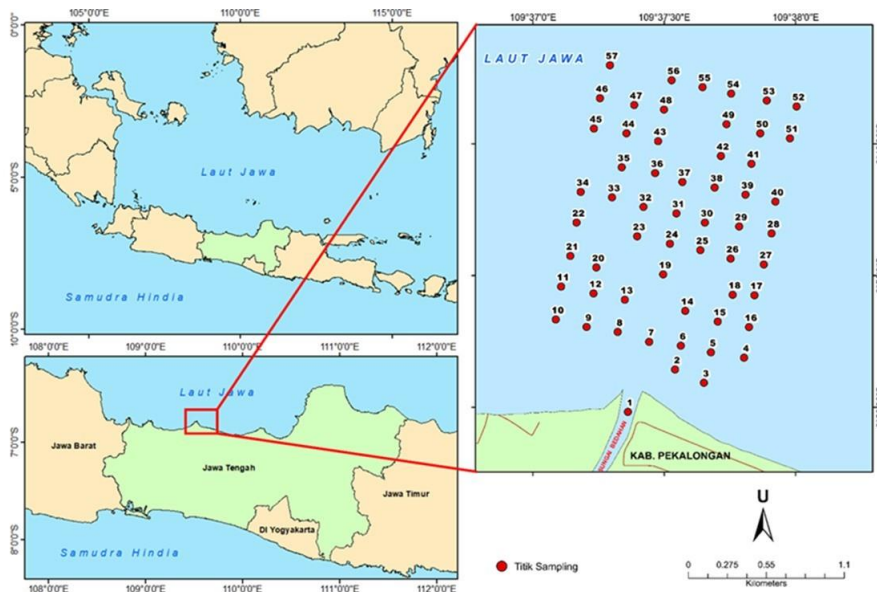
Keterangan : $j = 1, 2, \dots, n$; r_j = Jarak antara titik (x,y) ke titik jth; λ_j = Koefisien yang ditemukan dari sistem persamaan linear; N = Jumlah titik; T (x,y) dan R(r) didefinisikan secara berbeda, berdasarkan cara seleksi baik itu *regularized spline* maupun *tension spline* (ArcGIS 10.8)

Metode Pemetaan Distribusi Geospasial Interpolasi IDW

Metode interpolasi *Inverse Distance Weighted* (IDW) mengasumsikan setiap plot mempunyai pengaruh yang bersifat lokal dan nilai plot tersebut akan semakin berkurang terhadap jarak dari titik stasiun pengambilan sampel, dimana akan diestimasi terhadap blok-blok (Pasaribu dan Haryani, 2012). Pada penelitian ini menggunakan *Output cell size* sebesar 6,11159999997E-05 dan nilai *power* 2, angka tersebut merupakan tampilan *default* dari ArcGIS untuk memberikan hasil interpolasi terbaik. Persamaan yang digunakan untuk interpolasi IDW menggunakan persamaan 5, 6 dan 7:

$$Z^* = \sum_{i=1}^N \omega_i z_i \quad (5)$$

Keterangan : Z^* = Perkiraan nilai pada titik ke- 1,2,3,...; z_i = Nilai z pada titik kontrol i; N = Jumlah titik yang akan diinterpolasi; ω_i = Bobot ke-i ($i = 1,2,3 \dots N$)



Gambar 1. Lokasi Titik Penelitian

$$\omega_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=0}^n h_j^{-p}} \quad (6)$$

Keterangan : P = parameter power bernilai positif (1,2,3,4,5,...n) yang dapat diubah-ubah; h_i = jarak dari sebaran titik ke titik.

$$h_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (7)$$

Keterangan : (x,y) = koordinat titik interpolasi; (x_i,y_i) = koordinat untuk sebaran setiap titik
 Fungsi perubah *weight* bervariasi untuk keseluruhan data sebaran titik sampai pada nilai nol dan jarak bertambah terhadap sebaran titik.

Metode Pemetaan Distribusi Geospasial Interpolasi Kriging

Interpolasi Kriging merupakan metode dengan penilaian secara prediktif, karena mengasumsikan nilai kesalahan secara random, yaitu mengestimasi nilai z pada titik yang tidak tersampel berdasarkan informasi dari karakteristik nilai z tersampel yang berada pada wilayah sekitarnya. Interpolasi ini dapat digolongkan sebagai interpolasi stokastik. Interpolasi kriging menggunakan semivariogram untuk mempertimbangkan korelasi spasial antar data (Sun *et al.*, 2009, Hadi, 2013). Persamaan yang digunakan untuk interpolasi Kriging menggunakan persamaan 8:

$$Z^* = \sum_{i=1}^N \omega_i z_i \quad (8)$$

Keterangan : Z^* = Perkiraan nilai pada titik ke- 1,2,3,...; z_i = Nilai z pada titik kontrol i; N = Jumlah titik yang akan diinterpolasi; ω_i = Bobot ke-i (i = 1,2,3...N)

Arus

Arus yang digunakan dalam penelitian ini merupakan arus hasil pengolahan model. Inputan dalam model meliputi data batimetri dan pasang surut pada bulan Juni 2023. Data pasang surut pada penelitian ini merupakan data peramalan pasang surut yang tersedia pada software Mike 21 dan data batimetri perairan Pekalongan (diunduh dari batnas.big.go.id).

Uji Validasi

Uji validasi dilakukan melalui perhitungan *Root Mean Square Error* (RMSE) (persamaan 9), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) (persamaan 10) dan Bias (persamaan 11). Analisis perbandingan nilai data lapangan dengan hasil interpolasi metode Spline, IDW dan Kriging yang diolah menggunakan *software* ArcGIS 10.8, dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui tingkat keakuratan antara nilai prediksi dengan nilai pengukuran lapangan. Rumus perhitungan RMSE sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{interpolasi} - X_{insitu})^2}{n}} \quad (9)$$

Rumus perhitungan MAPE sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_{interpolasi} - X_{insitu}}{X_{insitu}} \right| \times 100\% \quad (10)$$

Rumus perhitungan nilai bias sebagai berikut:

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n X_{interpolasi} - X_{insitu}}{n} \quad (11)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi dan Sebaran TSS

Hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa TSS di perairan sekitar Muara Sungai Bedahan menunjukkan rentang nilai 16,25 mg/L – 40,60 mg/L (rerata 24,58 mg/L). Variasi nilai konsentrasi TSS di perairan dapat dipengaruhi oleh komponen penyusunnya yang terdiri dari sedimen *biogenous* dari sisa rangka organisme dan bahan organik lainnya, serta hasil flokulasi, presipitasi sedimen dan produksi biologis organisme (Chester, 1990; Handoyo *et al.*, 2020). Berdasarkan PP no 21 tahun 2020, nilai TSS masih dalam toleransi ambang batas yang ditetapkan untuk kelangsungan kehidupan biota laut yaitu 20 mg/L. Rata-rata konsentrasi TSS pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan penelitian Arfastya *et al.* (2023), dengan rata-rata konsentrasi sebesar 110,26 mg/L di perairan muara Sungai Slamaran yang terletak tidak jauh dari Perairan Muara Sungai Bedahan, Pekalongan.

Nilai konsentrasi relatif tinggi ditemukan pada area dekat dengan muara, berada pada stasiun 8 dengan nilai sebesar 40,8 mg/L. Konsentrasi TSS yang tinggi pada area muara terjadi karena adanya suplai konsentrasi TSS yang dibawa oleh badan air Sungai Bedahan. Massa air yang terbawa pada daerah aliran sungai dihasilkan dari aktivitas manusia berupa limbah pencemar yang berkontribusi terhadap kenaikan konsentrasi elemen–elemen kimia organik dan konsentrasi material padatan tersuspensi (Helmi dan Wibowo, 2012). Tingginya konsentrasi TSS pada area sekitar muara juga disebabkan kedalamannya yang relatif dangkal, memicu proses pengadukan sedimen yang lebih intensif (Manulu *et al.*, 2021). Tingginya konsentrasi TSS pada daerah muara juga terjadi pada penelitian Amna *et al.* (2022), di Muara Bodri, Jawa Tengah; dan penelitian Ridarto *et al.* (2023), di Muara Banger, Pekalongan.

Nilai konsentrasi terendah tercatat di stasiun 39 pada area transisi, area yang jauh dari pesisir dengan nilai konsentrasi sebesar 16,25 mg/L. Nilai konsentrasi TSS akan semakin rendah apabila menjauhi daerah muara serta daerah yang jauh dari aktivitas antropogenik (Utama *et al.*, 2021; Maslukah *et al.*, 2022b). Sebelum sampai ke laut terbuka, material padatan tersuspensi cenderung mengendap di dasar perairan. Akibatnya, konsentrasi TSS di laut terbuka menjadi lebih rendah karena proses pencampuran dan pengenceran oleh volume air laut yang besar (Amna *et al.*, 2022; Ridarto *et al.*, 2023). Pola sebaran konsentrasi TSS di perairan sekitar muara Sungai Bedahan disajikan pada Gambar 2.

Analisis Konsentrasi dan Sebaran Klorofil-a

Berdasarkan hasil analisis laboratorium, konsentrasi klorofil-a di perairan sekitar Muara Sungai Bedahan memiliki rentang nilai 0,1536 µg/L – 9,3874 µg/L. Rata-rata konsentrasi klorofil-a pada 57 stasiun menunjukkan nilai sebesar 2,4694 µg/L. Berdasarkan rerata nilai konsentrasi klorofil-a, tingkat kesuburan pada perairan tergolong ke dalam mesotrofik (tingkat kesuburan sedang) (Hakanson & Bryhn, 2008; Rahfiani *et al.*, 2023). Perairan dengan status mesotrofik memiliki kandungan unsur hara dalam kategori sedang (Prihatin *et al.*, 2018). Sementara berdasarkan klasifikasi Alves *et al.* (2013), nilai klorofil-a < 4 termasuk kelas tidak subur (oligotrophic). Tinggi rendahnya nilai konsentrasi pada perairan dapat dipengaruhi suplai unsur zat hara yang terbawa oleh badan air sungai keluar menuju muara hingga laut lepas. Demikian dengan pola distribusi konsentrasi klorofil-a, dipengaruhi oleh dinamika arus laut serta faktor hidro oseanografi seperti pasang surut, arah dan kecepatan angin.

Rata-rata konsentrasi klorofil-a pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian Qotrunada *et al.* (2023), dengan rata-rata konsentrasi sebesar 0,8005 µg/L di perairan muara Sungai Slamaran, Pekalongan. Nilai konsentrasi tertinggi terdapat pada stasiun 1 (9,3874 µg/L) yang terletak di mulut muara, sedangkan nilai konsentrasi terendah ada pada stasiun 32 (0,1536 µg/L) yang terletak di area transisi, area yang jauh dari area pesisir (Gambar 3). Konsentrasi klorofil-a lebih tinggi ditemukan di perairan muara dan pantai, dikarenakan tingginya unsur zat hara yang berasal dari limbah organik daratan yang terbawa oleh badan air sungai menuju muara (Nuzapril *et al.*, 2017). Konsentrasi lebih rendah ditemukan pada perairan laut lepas, hal tersebut dikarenakan minimnya proses pengadukan massa air laut dari sumber nutrien. Pola sebaran klorofil-a seperti ini juga ditemukan pada penelitian di Muara Sungai Banyuasin, Sumatera (Zulhaniarta *et al.*, 2015), Muara Sungai Bodri (Amna *et al.*, 2022), dan Muara Sungai Sungai Jajar, Demak (Nugraheni *et al.*, 2022).

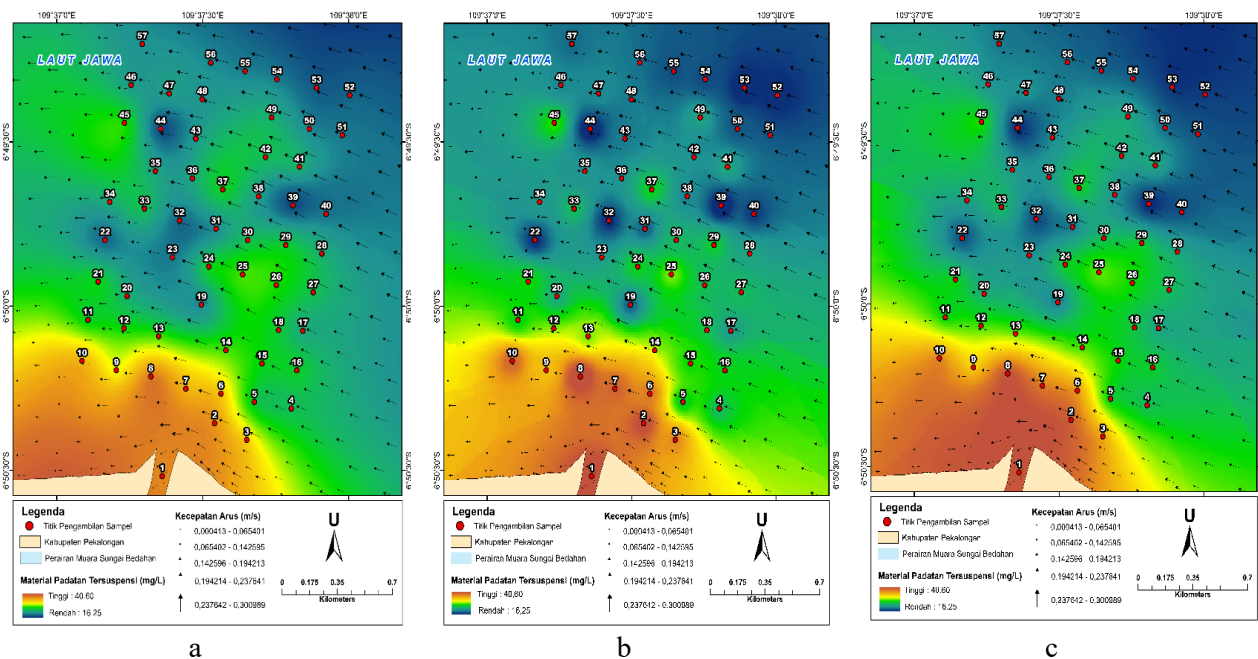
Analisis Perbandingan Akurasi Metode Interpolasi dengan Hasil Pengukuran Lapangan

Analisis perbandingan akurasi menggunakan parameter *error* berupa RMSE, MAPE dan nilai bias pada model yang dihasilkan melalui metode interpolasi Spline, IDW dan Kriging. Analisis perbandingan akurasi

ditujukan untuk mengetahui metode terbaik dalam pemetaan persebaran konsentrasi TSS dan klorofil-a. Dapat dilihat pada Gambar 2 bahwa hasil interpolasi konsentrasi TSS terakurat ada pada metode interpolasi Kriging, di posisi kedua oleh interpolasi Spline, dan terakhir oleh interpolasi IDW. Pada konsentrasi TSS menggunakan interpolasi Kriging, didapatkan nilai RMSE sebesar 2,43; nilai MAPE sebesar 8,69% yang menginterpretasikan prediksi sangat akurat. Apabila hasil interpolasi memiliki nilai RMSE mendekati 0 serta nilai MAPE dibawah 10%, maka nilai tersebut menginterpretasikan prediksi sangat akurat (Hamdanah dan Fitriana, 2021). Nilai bias pada interpolasi konsentrasi TSS menunjukkan angka positif dengan nilai sebesar 0,12. Nilai positif menandakan peramalan melampaui diatas rata-rata (*overestimate*) (Sutisna dan Hendy, 2019).

Pada hasil interpolasi konsentrasi klorofil-a, metode interpolasi Kriging menunjukkan hasil yang paling akurat, posisi kedua oleh interpolasi IDW dan terakhir interpolasi Spline (Gambar 3). Berbeda dengan TSS, hasil interpolasi pada konsentrasi klorofil-a menggunakan metode interpolasi Kriging didapatkan nilai RMSE lebih rendah, dengan nilai sebesar 1,14. Namun demikian, nilai MAPE yang didapatkan sebesar 42,99% yang menginterpretasikan prediksi dengan kategori layak (Sumari *et al.*, 2017). Nilai bias klorofil-a menggunakan interpolasi Kriging menunjukkan angka negatif dengan nilai -0,67. Nilai negatif menandakan prediksi dibawah rata-rata (*underestimate*) (Sutisna dan Hendy, 2019). Milenia *et al.* (2021) menjelaskan bahwa nilai bias mendekati angka nol menunjukkan hasil data memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Keakuratan nilai interpolasi dengan data lapangan disebabkan oleh persebaran titik sampel yang merata, teratur, rapat, serta jumlah sampel yang diuji pun banyak (Sejati, 2019).

Pada penelitian oleh Lagueche (2006), metode interpolasi Kriging memiliki keunggulan dalam mengukur variansi dari nilai yang diestimasi. Dengan demikian, dapat diketahui tingkat keakuratan dari hasil estimasi. Selain itu, metode kriging tetap dapat digunakan bahkan ketika tidak ditemukan korelasi spasial antara data. Metode Kriging dapat memperkirakan rata-rata konsentrasi dalam blok-blok (grid) dalam ukuran yang berbeda. Hasil interpolasi TSS dan klorofil-a menunjukkan keakuratan interpolasi Kriging dibandingkan dengan interpolasi *Spline* dan IDW. Hal tersebut dapat disebabkan oleh kekurangan dari Interpolasi *Spline* yang tidak bisa mengestimasi nilai konsentrasi pada titik-titik stasiun yang berdekatan dengan perbedaan nilai yang sangat jauh. Demikian dengan kekurangan interpolasi IDW, tidak dapat mengestimasi nilai diatas nilai maksimum dan dibawah nilai minimum dari titik-titik sampel (Pramono, 2008; Pasaribu dan Haryani, 2012).

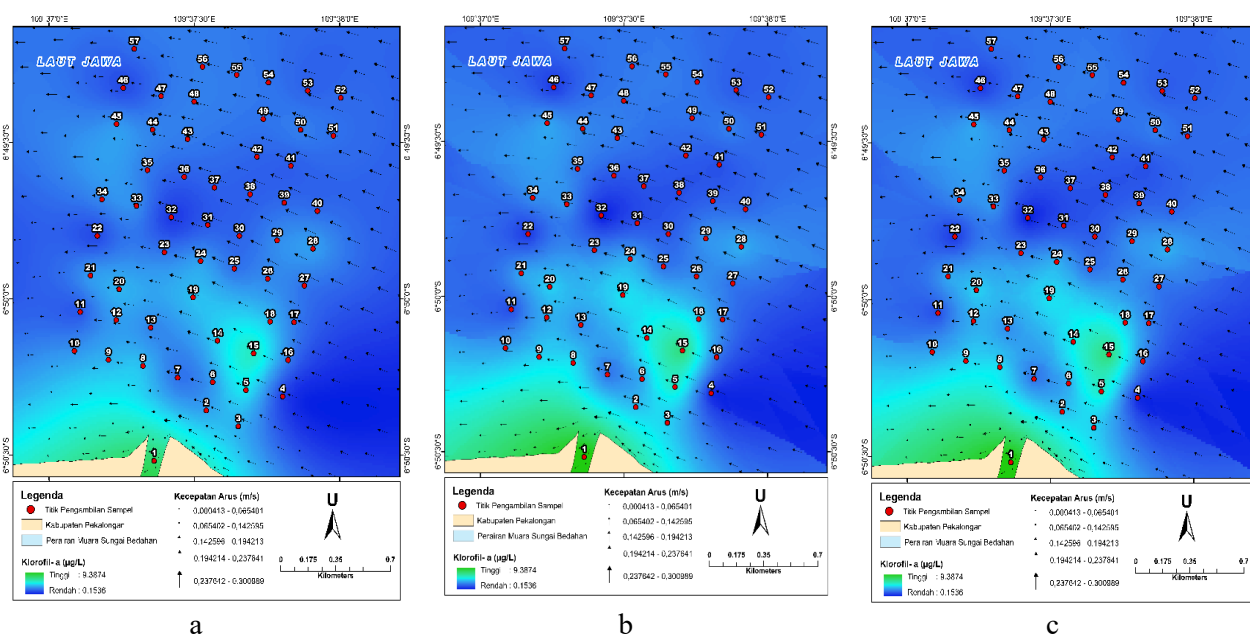


Gambar 2. Peta sebaran konsentrasi total suspended solids dan arus berdasarkan interpolasi (a) Spline, (b) IDW, dan (c) Kriging.

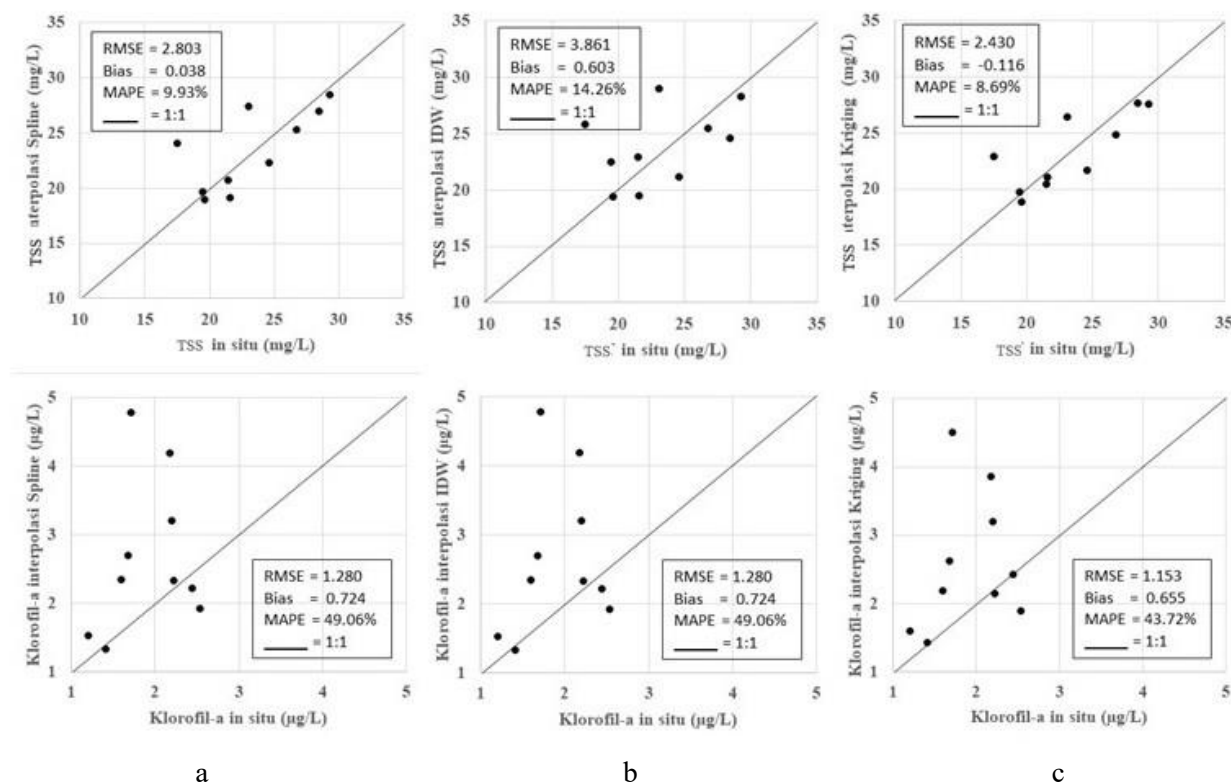
Pada penelitian Sejati (2019), mengenai pemetaan muka air tanah, penggunaan metode interpolasi Kriging menghasilkan data estimasi yang lebih akurat daripada metode interpolasi IDW. Hal tersebut juga terjadi pada penelitian Darmawan *et al.* (2023), mengenai penggunaan metode interpolasi Spline, IDW dan Kriging pada data sebaran curah hujan, dimana hasil penelitian menunjukkan interpolasi Kriging menghasilkan nilai RMSE terkecil sebesar 87,3. Hasil interpolasi antara metode *Spline*, IDW dan Kriging, dapat menghasilkan perbedaan nilai yang tidak begitu signifikan. Pada penelitian oleh Nirwansyah (2015), mengenai pembentukan DEM, penggunaan interpolasi Kriging dan Spline tidak menunjukkan perbedaan hasil yang begitu signifikan. Keakuratan interpolasi disebabkan oleh beberapa faktor di antaranya jumlah, jarak, kerapatan titik stasiun. Berbeda dari penelitian sebelumnya, pada penelitian oleh Pramono (2008), mengenai sebaran material padatan tersuspensi, metode IDW memberikan hasil interpolasi lebih akurat daripada metode Kriging. Hal berkaitan dengan metode Kriging yang terkadang memberikan hasil interpolasi dengan kisaran yang rendah, sedangkan hasil dengan metode IDW memberikan nilai mendekati nilai minimum dan maksimum dari sampel data.

Model Hubungan TSS terhadap Klorofil-a

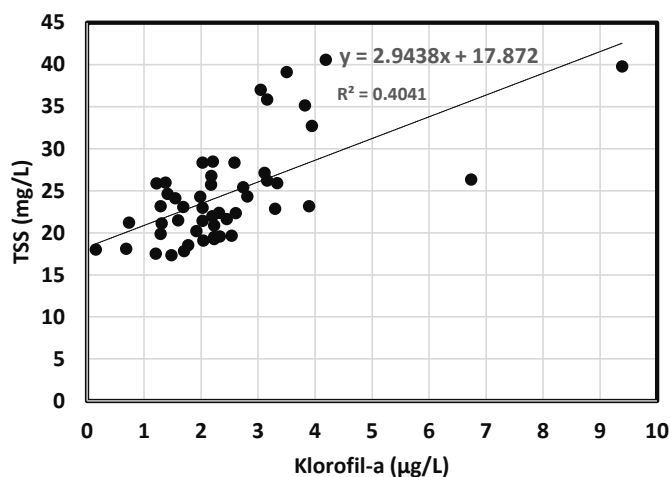
Hasil analisis statistik penelitian ini menunjukkan adanya hubungan antara konsentrasi TSS dengan Klorofil-a di perairan sekitar Muara Sungai Bedahan (Gambar 5). Hasil perhitungan koefisien korelasi (r) terdapat nilai sebesar 0,63493. Dengan nilai r mendekati angka 1, menunjukkan adanya hubungan linear positif (Tamin, 2000; Sari *et al.*, 2023). Tingkat hubungan antara konsentrasi TSS terhadap sebaran konsentrasi klorofil-a tergolong kuat. Hal tersebut membuktikan, bahwa meningkatnya konsentrasi TSS disebabkan kontribusi klorofil-a, ditandai dengan tingginya kelimpahan fitoplankton di perairan (Amna *et al.*, 2023; Maslukah *et al.*, 2022). Perhitungan koefisien determinasi (R^2) menunjukkan nilai sebesar 0,40. Hal ini menggambarkan bahwa klorofil-a memiliki kontribusi sebesar 40,31% terhadap konsentrasi TSS. Tingginya TSS di perairan tidak hanya disebabkan oleh melimpahnya fitoplankton yang memiliki pigmen hijau (klorofil-a), namun ada komponen lainnya seperti material an organik seperti pasir atau lempung, yang dalam penelitian ini tidak didiskusikan yang pengaruhnya mencapai 59,69%. Setiap perairan memiliki hubungan korelasi konsentrasi TSS dan klorofil-a yang berbeda, hubungan dengan korelasi positif juga ditemukan di Perairan Pulau Barrang Caddi dengan nilai faktor pengaruh sebesar 23,04% (Maslukah *et al.*, 2022) dan Muara Banjir Kanal Barat, Semarang dengan nilai sebesar 39,2 % (Marwoto *et al.*, 2021). Pola hubungan dengan korelasi negatif bahkan juga ditemukan pada Perairan Teluk Kendari (Fanela *et al.* (2019).



Gambar 3. Peta Sebaran Konsentrasi Klorofil-a dan Arus berdasarkan Interpolasi (a) *Spline*, (b) IDW dan (c) Kriging.



Gambar 4.Validasi in situ TSS dan Klorofil-a berdasarkan interpolasi dari (a) Spline, (b) IDW dan (c) Kriging.



Gambar 5. Model Regresi Klorofil-a terhadap TSS

Model regresi (seperti yang tertera pada Gambar 5 menjelaskan bahwa variabel x mempunyai pengaruh terhadap kenaikan variabel y (Maslukah *et al.*, 2022b). Setiap kenaikan 1 µg/L konsentrasi klorofil-a, maka konsentrasi TSS akan meningkat sebanyak 2.9438 mg/L. Kelimpahan fitoplankton merupakan partikel organik penyusun TSS, yang kelimpahannya dapat diestimasi melalui konsentrasi klorofil-a.

KESIMPULAN

Penggunaan metode interpolasi Kriging memiliki keakuratan yang lebih tinggi dalam memetakan distribusi *Total Suspended Solid* (TSS) dan klorofil-a dibanding Spline dan *Inverse Distance Weighted* (IDW).

Performa model terbaik untuk TSS (klorofil-a) ini ditunjukkan oleh nilai RMSE sebesar 2,43 mg/L (1,14 µg/L), MAPE sebesar 8,69% (42,99%) dan nilai bias sebesar 0,12 (-0,67). Metode Kriging memiliki kinerja yang lebih baik untuk parameter TSS dibanding klorofil-a. Namun secara umum penggunaan tiga metode geospasial ini memiliki kesamaan dalam menggambarkan sebaran spasial baik TSS maupun klorofil dengan pola yang mirip, yaitu konsentrasi tinggi ditemukan di wilayah depan sungai, dan secara perlahan-lahan menurun menuju ke arah laut. Konsentrasi TSS perairan depan Muara Sungai Bedahan menunjukkan rentang nilai 16,25 mg/L – 40,60 mg/L dan klorofil-a berkisar antara 0,1536 µg/L – 9,3874 µg/L. Model hubungan antara TSS dan klorofil-a memiliki korelasi positif kuat ($R^2=0,40$). Klorofil-a memiliki kontribusi sebagai penyusun TSS sebesar 40,31%.

DAFTAR PUSTAKA

- Alves, G., Flores-Montes, M., Gaspar, F., Gomes, J., & Feitosa, F. 2013. Eutrophication and Water Quality in a Tropical Brazilian Estuary. *Journal of Coastal Research*, 65: 7-12.
- Amna, A. M., Maslukah, L., & Wulandari, S. Y. 2022. Distribusi Horizontal Klorofil-a dan Material Padatan Tersuspensi di Muara Bodri, Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(2): 232-240. <https://doi.org/10.14710/jkt.v25i2.13949>
- Arfastya, F. D., Wulandari, S. Y., & Rifai, A. 2023. Studi Persebaran Kandungan Fosfat dan Material Padatan Tersuspensi di Perairan Muara Sungai Slamaran, Kota Pekalongan. *Journal of Marine Research*, 12(4): 563-570. <https://doi.org/10.14710/jmr.v12i4.41538>
- Ciancia, E., Campanelli, A., Lacava, T., Palombo, A., Pascucci, S., Pergola, N., Pignatti, S., Satriano, V., & Tramutoli, V. 2020. Modeling and Multi-Temporal Characterization of Total Suspended Matter by the Combined Use of Sentinel 2-MSI and Landsat 8-OLI Data: The Pertusillo Lake Case Study (Italy). *Remote Sensing*, 12: 2147. <https://doi.org/10.3390/rs12132147>
- Chester, R. 1990. *Marine Geochemistry*. London: Unwin Hyman Ltd.
- Darmawan, N., Muliadi., & Adriat, R. 2023. Perbandingan Metode Interpolasi Menggunakan Data CHIRPS untuk Sebaran Curah Hujan di Kabupaten Kubu Raya. *Prisma Fisika*, 11(2): 42-50.
- Fanela, M. A. P., Takarina, N. D., & Supriatna. 2019. Distribution of Total Suspended Solids (TSS) and Chlorophyll-a in Kendari Bay, Southeast Sulawesi. *Journal of Physics: Conference Series*, 1217(1): 012150. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1217/1/012150>
- Hadi, B. S. 2013. Metode Interpolasi Spasial dalam Studi Geografi (Ulasan Singkat dan Contoh Aplikasinya). *Geomedia*, 11(2): 235-252.
- Hakanson, L., & Bryhn, A. C. 2008. *Eutrophication in the Baltic Sea: Present Situation, Nutrient Transport Processes, Remedial Strategies*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Hamdanah, F. H., & Fitriana, D. 2021. Analisis Performansi Algoritma Linear Regression dengan Generalized Linear Model untuk Prediksi Penjualan pada Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah. *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika*, 10(1): 23-32. <https://doi.org/10.23887/janapati.v10i1.31035>
- Handoyo, G., Subardjo, P., Kusumadewi, V., Rochaddi, B., & Widada, S. 2020. Pengaruh Pasang Surut terhadap Sebaran Material Padatan Tersuspensi di Pantai Dasun, Kabupaten Rembang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(1): 16-23. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v2i1.6915>
- Helmi, M., & Wibowo, M. A. 2012. Alos Avnir-2 Digital Data Analysis for Turbidity Mapping in Semarang Coastal Area, Central Java, Indonesia. *Buletin Oseanografi Marina*, 1: 7-12.
- Julita, N. P., Simarmata, A. H., & Purwanto, E. 2023. Hubungan Total Padatan Tersuspensi (TSS) dengan Klorofil-a di Perairan Pesisir Kecamatan Dumai Barat, Kota Dumai, Riau. *Jurnal Ilmu Perairan*, 11: 202-210.
- Kresic, N. 2007. *Hydrogeology and Groundwater Modelling*. New York: CRC Press.
- Largueche, F. Z. B. 2006. Estimating Soil Contamination with Kriging Interpolation Method. *American Journal of Applied Sciences*, 6(3): 1894-1898. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2006.1894.1898>
- Manulu, J. P., Subardjo, P., Marwoto, J., Setiyono, H., & Ismunarti, D. H. 2021. Sebaran Material Padatan Tersuspensi Secara Horizontal dan Vertikal di Muara Sungai Jajar. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(3): 72-82.
- Marwoto, J., Windyartanti, O., & Muslim, M. 2021. Pengaruh Padatan Tersuspensi terhadap Konsentrasi Klorofil-a dan Fosfat Inorganik Terlarut di Muara Banjir Kanal Barat, Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 24(2): 223-231. <https://doi.org/10.14710/jkt.v24i2.10703>

- Maslukah, L., Setiawan, R. Y., Nurdin, N., Helmi, M., & Widiaratih, R. 2022a. Phytoplankton Chlorophyll-a Biomass and the Relationship with Water Quality in Barrang Caddi, Spermonde, Indonesia. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 23(1): 25-33. <https://doi.org/10.12912/27197050/143064>
- Maslukah, L., Ismunarti, D. H., Widada, S., Sandi, N. F., & Prayitno, H. B. 2022b. 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>
- Milenia, A. P., Wirasatriya, A., Maslukah, L., Yusuf, M., & Helmi, M. 2021. Distribusi Material Padatan Tersuspensi di Perairan Semarang dengan Penginderaan Jauh. *Indonesian Journal of Oceanography*, 3(3): 280-285. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v3i3.11704>
- Nirwansyah, A. W. 2015. Komparasi Teknik Ordinary Kriging dan Spline dalam Pembentukan DEM (Studi Data Titik Tinggi Kota Pekalongan, Provinsi Jawa Tengah). *Geoedukasi*, 4(1): 55-57.
- Nugraheni, A. D., Zainur, M., Wirasatriya, A., & Maslukah, L. 2022. Sebaran Klorofil-a Secara Horizontal di Perairan Muara Sungai Jajar, Demak. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2): 221-230. <https://doi.org/10.14710/buloma.v11i2.40004>
- Nuzapril, M., Susilo, S. B., & Panjaitan, J. P. 2017. Hubungan Antara Konsentrasi Klorofil-a dengan Tingkat Produktivitas Primer Menggunakan Citra Satelit Landsat-8. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 8(1): 105-114.
- Pasaribu, J. M., & Haryani, N. S. 2012. Perbandingan Teknik Interpolasi DEM SRTM dengan Metode Inverse Distance Weighted (IDW), Natural Neighbor dan Spline. *Jurnal Penginderaan Jauh*, 9(2): 126-139.
- Poddar, S., Chacko, N., & Swain, D. 2019. Estimation of Chlorophyll-a in Northern Coastal Bay of Bengal Using Landsat-8 OLI and Sentinel-2 MSI Sensors. *Frontiers in Marine Science*, 6: 589. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00598>
- Pramono, G. H. 2008. Akurasi Metode IDW dan Kriging untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi. *Forum Geografi*, 22(1): 97-110.
- Prihatin, A., Setyono, P., & Sunarto. 2018. Sebaran Klorofil-a, Nitrat, Fosfat dan Plankton sebagai Indikator Kesuburan Ekosistem di Mangrove Tapak Tugurejo Semarang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 16(1): 68-77. <https://doi.org/10.14710/jil.16.1.68-77>
- Qotrunada, Y. A., Suryoputra, A. A. D., & Kunarso. 2023. Analisis Distribusi Klorofil-a Secara Horizontal di Perairan Pantai Slambaran, Pekalongan, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(2): 141-150. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v5i2.16832>
- Rahfiani, W., Dahril, T., & Sibagariang, R. D. 2023. Status Kesuburan Perairan Berdasarkan Klorofil- α di Wilayah Pesisir Kecamatan Dumai Barat Provinsi Riau. *Jurnal Ilmu Perairan (Aquatic Science)*, 11(2): 120-127.
- Ridarto, A. K. Y., Zainuri, M., Helmi, M., Kunarso, Rochaddi, B., Maslukah, L., Endrawati, H., Handoyo, G., & Koch, M. 2023. Assessment of Total Suspended Solid Concentration Dynamics Based on Geospatial Models as an Impact of Anthropogenic in Pekalongan Waters, Indonesia. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(1): 142-152.
- Risuana, I. G. S., Hendrawan, I. G., & Suteja, Y. 2017. Distribusi Spasial Total Padatan Tersuspensi Puncak Musim Hujan di Permukaan Perairan Teluk Benoa, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 3(2): 223-232. <https://doi.org/10.24843/jmas.2017.v3.i02.223-232>
- Sari, F. M., Hadiati, R. N., & Sihotang, W. P. 2023. Analisis Korelasi Pearson Jumlah Penduduk dengan Jumlah Kendaraan Bermotor di Provinsi Jambi. *Multi Proximity: Jurnal Statistika Universitas Jambi*, 2(1): 39-44. <https://doi.org/10.22437/multiproximity.v2i1.25568>
- Sejati, S. P. 2019. Perbandingan Akurasi Metode IDW dan Kriging dalam Pemetaan Muka Air Tanah. *Geografi Indonesia*, 33(2): 49-57. <https://doi.org/10.22146/mgi.41473>
- Sumari, A. D. W., Musthafa, M. B., Ngatmari., & Putra, D. R. H. 2017. Perbandingan Kinerja Metode-Metode Prediksi pada Transaksi Dompot Digital di Masa Pandemi. *Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi*, 4(4): 642-647.
- Sutisna, F., & Hendy. 2019. Analisis Perbandingan Tingkat Kesalahan Metode Peramalan sebagai Upaya Perencanaan Pengelolaan Persediaan yang Optimal pada PT Duta Indah Sejahtera. *Jurnal Bina Manajemen*, 8(1): 34-50.

- Tamin, O. Z. 2000. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi Edisi Kedua*. Bandung: Penerbit ITB.
- Utama, I. M. R. P., Maslukah, L., & Wulandari, S. Y. 2021. Sebaran Konsentrasi Material Padatan Tersuspensi dan Fosfat di Perairan Semarang, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 10(1): 89-96. <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i1.28533>
- Wang, Z., Kawamura, K., Sakuno, Y., Fan, X., Gong, Z., & Lim, J. 2017. Retrieval of Chlorophyll-a and Total Suspended Solids Using Iterative Stepwise Elimination Partial Least Squares (ISE-PLS) Regression Based on Field Hyperspectral Measurements in Irrigation Ponds in Higashi Hiroshima, Japan. *Remote Sensing*, 9: 264. <https://doi.org/10.3390/rs9030264>
- Wardani, A. E., Zainuri, M., Wulandari, S. Y., & Rochaddi, B. 2024. Sebaran Klorofil-a dan Material Padatan Tersuspensi (MPT) di Muara Sungai Loji, Pekalongan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(3): 229-238. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v6i3.18194>
- Widiawaty, M. A., Dede, M., & Ismail, A. 2018. Kajian Komparatif Pemodelan Air Tanah Menggunakan Sistem Informasi Geografis di Desa Kayuambon, Kabupaten Bandung Barat. *Jurnal Pendidikan Geografi*, 18(1): 63-71.
- Wirasatriya, A., Maslukah, L., Indrayanti, E., Yusuf, M., Milenia, A. P., Adam, A. A., & Helmi, M. 2023. Seasonal Variability of Total Suspended Sediment off the Banjir Kanal Barat River, Semarang, Indonesia Estimated from Sentinel-2 Images. *Regional Studies in Marine Science*, 57: 102735. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102735>
- Zulhaniarta, D., Fauziyah, F., Sunaryo, A. I., & Aryawati, R. 2015. Sebaran Konsentrasi Klorofil-a Terhadap Nutrien di Muara Sungai Banyuasin Kabupaten Banyuasin Provinsi Sumatera Selatan. *Maspari Journal*, 7(1): 9-20.