

Evaluasi Algoritma Sentinel-2 untuk Estimasi Konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) di Perairan Cirebon

Muhammad Khairan Saptari¹, Alfianu Adhi Riztiawan^{1,2}, Jasmine Puteri Pertama¹, Rizqi Akbar Maulana¹, Hasna May Nurlaila², Nora Akbarsyah³, Yudi Nurul Ihsan⁴, dan Qurnia Wulan Sari^{4*}

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Indonesia

²Program Studi Magister Konservasi Laut, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran Indonesia

³Departemen Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Indonesia

⁴Departemen Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Indonesia; email: qurnia.w.sari@unpad.ac.id

ABSTRAK

Kualitas perairan merupakan indikator penting untuk menggambarkan kondisi ekosistem perairan. Salah satu parameter utama adalah *Total Suspended Solid* (TSS) yang berpengaruh terhadap visibilitas perairan dan proses fotosintesis, sehingga mempengaruhi produktivitas primer. Pemantauan TSS dapat dilakukan melalui pemanfaatan citra satelit menggunakan algoritma kanal yang berbeda. Pemanfaatan citra satelit menjadi metode efektif dalam memantau kualitas perairan secara spasial dan temporal berdasarkan warna laut. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi nilai TSS menggunakan algoritma Laili, Ajiperwata, Budhiman, dan Liu, serta menentukan algoritma yang paling sesuai untuk perairan Cirebon melalui validasi dengan data in situ yang dilakukan pada Mei 2025 dengan 18 titik stasiun. Hasil penelitian menunjukkan adanya variasi spasial nilai TSS, dengan konsentrasi tertinggi terletak di bagian timur wilayah Cirebon yang berbatasan dengan Brebes. Analisis nilai error menunjukkan bahwa algoritma Laili memiliki performa terbaik dengan nilai RMSE sebesar 27.22 mg/L, MAE sebesar 26.52 mg/L, dan NMAE sebesar 0.60, lebih rendah dibandingkan algoritma Ajiperwata, Budhiman, dan Liu. Berdasarkan temuan tersebut, algoritma Laili merupakan algoritma dengan performa terbaik pada data dan periode penelitian ini. Selanjutnya, hasil visualisasi algoritma Laili secara spasial menunjukkan perairan Cirebon berada di kelas I dan kelas II.

Kata kunci: Kualitas Perairan, TSS, Sentinel-2A/B, Algoritma, Cirebon

ABSTRACT

Water quality is an essential indicator for describing the condition of aquatic ecosystems. One of the key parameters is Total Suspended Solid (TSS), which influences water visibility and photosynthesis, thereby affecting primary productivity. Monitoring TSS can be conducted using satellite imagery with different band algorithms. The use of satellite imagery is an effective method for spatial and temporal monitoring of water quality based on ocean color. This study aims to identify TSS values using the Laili, Ajiperwata, Budhiman, and Liu algorithms, and to determine the most suitable algorithm for the waters of Cirebon through validation using in situ data collected in May 2025 from 18 sampling stations. The results reveal spatial variations in TSS values, with the highest concentrations located in the eastern part of Cirebon, adjacent to Brebes. Error analysis indicates that the Laili algorithm achieved the best performance, with an RMSE of 27.22 mg/L, MAE of 26.52 mg/L, and NMAE of 0.60, which were lower than those obtained using the Ajiperwata, Budhiman, and Liu algorithms. Based on these findings, the Laili algorithm demonstrated the best performance within the data and temporal scope of this study. Furthermore, the spatial visualization results of the Laili algorithm indicate that the waters of Cirebon fall into Class I and Class II categories.

Keywords: Water Quality, TSS, Sentinel-2A/B, Algorithms, Cirebon

Citation: Saptari, M. K., Riztiawan, A. A., Pertama, J. P., Maulana, A.M., Nurlaila, H.M., Akbarsyah, N., Ihsan, Y. D., dan Sari, Q. W. (2026). Evaluasi Algoritma Sentinel-2 untuk Estimasi Konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) di Perairan Cirebon. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(2), 398-409, doi:10.14710/jil.24.2.398-409

1. PENDAHULUAN

Pemantauan kualitas perairan menjadi hal penting untuk menjaga keberlanjutan ekosistem

pesisir. Salah satu parameter yang sering digunakan untuk menilai kualitas air adalah *Total Suspended Solid* (TSS), yang menunjukkan jumlah partikel padatan

tersuspensi di dalam air. Peningkatan TSS dapat mengurangi penetrasi cahaya, mengganggu fotosintesis fitoplankton, dan menurunkan kualitas habitat biota laut (Yonar et al., 2021). Pada wilayah pesisir Cirebon, aktivitas pariwisata, dan budidaya perikanan berpotensi meningkatkan pencemaran, sehingga memengaruhi nilai TSS perairan. Kondisi ini menuntut adanya metode pemantauan yang efektif, akurat, dan berkelanjutan (Ramadhan et al., 2023). Berdasarkan penelitian (Rajib et al., 2026), aktivitas industri di wilayah Cirebon dilaporkan menghasilkan limbah cair dan padatan tersuspensi yang dapat masuk ke badan air melalui pembuangan langsung maupun limpasan air hujan. Kondisi tersebut menyebabkan aktivitas industri berkontribusi terhadap peningkatan TSS dan kekeruhan, yang mengakibatkan konsentrasi TSS di Sungai Cigayam, Kabupaten Cirebon, mencapai 1.042,33 mg/L. Selanjutnya, penelitian (Rezeki et al., 2026) menunjukkan bahwa wilayah pesisir Cirebon mengalami tingkat sedimentasi yang tinggi, salah satunya di kawasan Mundu. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sedimen didominasi oleh fraksi halus berupa lanau dan lempung (>70%) yang banyak ditransportasikan dalam bentuk suspensi akibat pengaruh arus dan pasang surut. Partikel halus tersebut dapat tetap melayang di kolom air sebelum mengalami pengendapan sehingga berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi Total Suspended Solid (TSS). Selain itu, pasokan sedimen yang berasal dari aliran sungai dan wilayah utara Cirebon menyebabkan akumulasi material tersuspensi secara berkelanjutan di kawasan pesisir. Oleh karena itu, pemantauan distribusi TSS secara spasial menjadi penting untuk mendukung pengelolaan kualitas lingkungan dan keberlanjutan ekosistem pesisir di Cirebon.

Penginderaan jauh merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk memantau kualitas air secara efisien (Warren et al., 2019). Teknologi ini memanfaatkan citra satelit yang diambil melalui sensor tertentu, kemudian diolah menggunakan algoritma untuk mengekstraksi parameter perairan (Santos & Rapp, 2019). Dalam proses pengolahan, pemilihan kanal (*band*) satelit menjadi tahap penting karena setiap kanal merepresentasikan panjang gelombang tertentu (Prasetya et al., 2023). Beberapa kanal dapat digabungkan (*composite band*) untuk menampilkan informasi spesifik dan meningkatkan akurasi estimasi parameter perairan.

Salah satu satelit yang banyak digunakan untuk pengamatan wilayah pesisir adalah Sentinel-2. Satelit ini dilengkapi sensor multispektral dengan resolusi spasial 10–60 m, resolusi temporal 5 hari, serta tiga kanal tepi merah tambahan yang memberikan keunggulan dibandingkan sensor OLI pada Landsat (Yang et al., 2023). Sentinel-2 dirancang untuk pengamatan terestrial, termasuk

vegetasi, perairan, pesisir, perubahan iklim, dan penggunaan lahan (Grivei et al., 2020), sehingga sangat sesuai untuk analisis kualitas air.

Dalam identifikasi TSS, berbagai algoritma berbasis indeks warna dan kombinasi kanal telah dikembangkan (Hu et al., 2019). Setiap algoritma memiliki karakteristik dan tingkat akurasi yang berbeda tergantung kondisi perairan. Terdapat beberapa algoritma yang sering digunakan untuk estimasi TSS di perairan Indonesia, di antaranya algoritma Laili, Ajiperwata, Budhiman, dan Liu, yang telah diuji dan diterapkan pada berbagai wilayah perairan di Indonesia (Prasetyo et al., 2019). Akan tetapi, perbandingan kinerja keempat algoritma tersebut pada wilayah pesisir Cirebon belum pernah dilaporkan. Kondisi ini menyebabkan belum diketahui algoritma yang paling sesuai untuk mendeteksi TSS di wilayah Cirebon, mengingat setiap perairan memiliki karakteristik optik dan lingkungan yang berbeda. Oleh karena itu, masih terdapat kesenjangan pengetahuan mengenai algoritma yang paling sesuai untuk estimasi TSS di perairan Cirebon.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja algoritma Laili, Ajiperwata, Budhiman, dan Liu dalam mengestimasi TSS di perairan Cirebon. Hasil penelitian diharapkan dapat menentukan algoritma yang paling sesuai untuk karakteristik perairan setempat, sehingga mendukung pemantauan kualitas air secara efektif dan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan sampel dilakukan di perairan Cirebon pada tanggal 27 – 28 Mei 2025. Cirebon terletak di Provinsi Jawa Barat, dimana pada bagian timur berbatasan dengan Brebes Jawa Tengah dan bagian barat berbatasan dengan Indramayu. Area penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

Pengambilan dan uji laboratorium data TSS dilakukan berdasarkan SNI 06-6989.3-2004 dengan beberapa tahapan penelitian yaitu, pengambilan data dilakukan di 18 titik stasiun, dengan penentuan titik stasiun dilakukan berdasarkan geografis dan jarak terhadap wilayah pesisir. 18 titik stasiun mewakili 6 stasiun wilayah pesisir, 6 stasiun mewakili wilayah peralihan, dan 6 stasiun mewakili wilayah laut lepas. Prosedur pengambilan data in situ dilakukan dengan mengambil sampel air laut sebanyak ±5 liter pada setiap stasiun pengamatan menggunakan wadah pengambilan sampel. Sampel kemudian dihomogenkan, selanjutnya sebanyak 1 liter air dari wadah sampel dimasukkan ke dalam botol sampel berkapasitas 1 liter. Selanjutnya, botol yang sudah berisi sampel dimasukkan ke dalam *coolbox*. selanjutnya Uji laboratorium parameter TSS dilakukan di laboratorium dengan cara menyaring 1 liter sampel air laut dengan kertas saring, kertas saring dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 103°C- 105°C selama satu jam, kertas saring di dinginkan, selanjutnya kertas saring ditimbang untuk mengetahui nilai TSS pada setiap stasiun. Sementara itu, untuk melihat kondisi

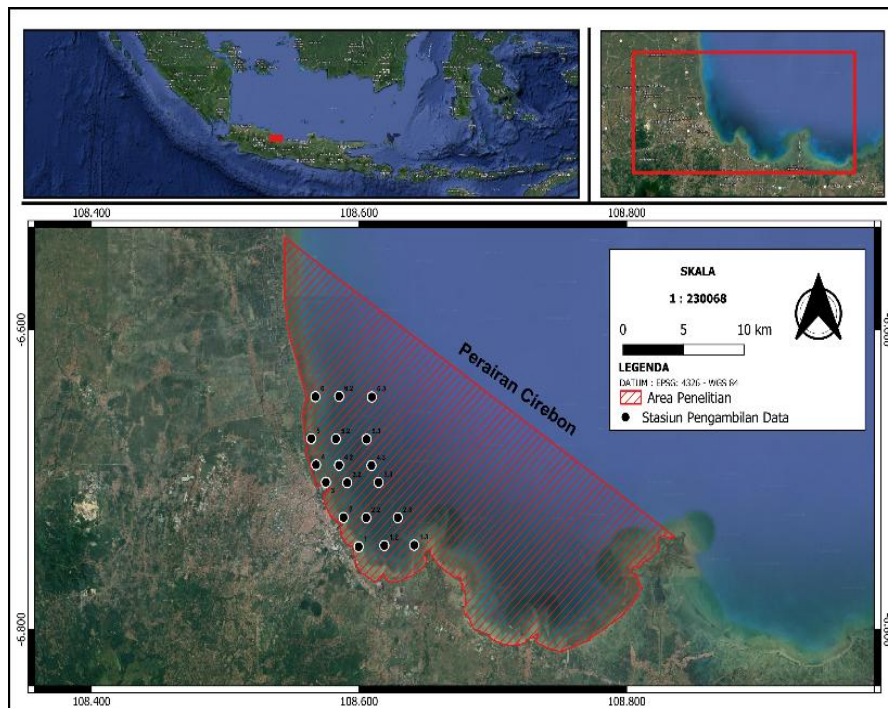
spasial TSS dilakukan pengumpulan data citra untuk periode Januari 2024, April 2024, Juli 2024, dan Oktober 2024, karena bulan tersebut merepresentasikan musim-musim yang ada di Indonesia. Selanjutnya, data Mei 2025 juga diperoleh untuk melakukan validasi dengan data observasi, karena pengambilan data in situ dilakukan pada bulan Mei 2025. Data TSS diunduh dari Sentinel 2A/B melalui website Copernicus. Sementara itu, data batimetri diperoleh melalui website Ina-Geoportal.

2.2. Pengolahan Data Citra

Data citra yang digunakan dalam penelitian ini merupakan citra Sentinel-2 Level-2A yang diperoleh dari Copernicus Open Access Hub. Produk Level-2A dipilih karena telah melalui koreksi atmosfer sehingga menghasilkan nilai

reflektansi Bottom of Atmosphere (BOA) yang siap digunakan untuk analisis kualitas perairan. Citra yang digunakan memiliki persentase tutupan awan (cloud cover) antara 10–30%. Pengolahan citra dilakukan dengan menerapkan algoritma estimasi TSS pada citra Sentinel-2 untuk menghasilkan peta sebaran konsentrasi TSS. Selanjutnya, hasil estimasi TSS dipotong (*clipping*) menggunakan batas wilayah perairan penelitian sehingga hanya area laut yang dianalisis. Setelah itu, nilai TSS pada setiap stasiun pengamatan diekstraksi untuk keperluan validasi menggunakan data in situ serta analisis lebih lanjut.

Pada penelitian ini dilakukan pengolahan data citra dengan menggunakan algoritma Laili, Ajiperwata, Budhiman, dan Liu. Algoritma Laili, Budhiman, Ajiperwata, dan Liu memiliki persamaan yang sesuai dengan persamaan (1), (2), (3) dan (4).



Gambar 1. Area dan Titik Stasiun Penelitian

Tabel 1. Spesifikasi Sentinel-2

Band	Panjang Gelombang (nm)	Resolusi Spasial (m)
Band 1 - Coastal Aerosol	443	60
Band 2 - Blue	490	10
Band 3 - Green	560	10
Band 4 - Red	665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	783	20
Band 8 - NIR	842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	865	20
Band 9 - Water Vapour	945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1375	60
Band 11 - SWIR	1610	20
Band 12 - SWIR	2190	20

Tabel 2. Klasifikasi TSS ((Timurani & Anna, 2024)

Kelas	TSS (mg/L)	Dampaknya Terhadap Perikanan
Kelas I	< 25 mg/L	Tidak berdampak
Kelas II	25 – 80 mg/L	Sedikit berdampak
Kelas III	81 – 400 mg/L	kurang menguntungkan bagi kepentingan perikanan
Kelas IV	> 400 mg/L	Tidak baik untuk perikanan

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = 31.420 \times \frac{\log Rrs(\lambda 2)}{\log Rrs(\lambda 4)} - 12.719 \quad \dots(1)$$

(Laili et al., 2015)

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = 8.1429 \times \exp^{(23.704 \times Rrs(\lambda 4))} \quad \dots(2)$$

(Budhiman, 2004)

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = 854.4(Rrs(\lambda 4)) - 5.3743 \quad \dots(3)$$

(Ajiperwata et al., 2023)

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = 2.950 \times Rrs(\lambda 4)^{1.357} \quad \dots(4)$$

(Liu et al., 2017)

2.3. Uji RMSE, MAE, dan NMAE

Data *in-situ* yang didapatkan dilakukan perbandingan dengan data satelit. Untuk menentukan perbandingan tersebut digunakan uji *Root Mean Square Error* (RMSE). Persamaan yang digunakan pada uji (RMSE) berdasarkan penelitian (Restele et al., 2022) memiliki persamaan seperti pada Persamaan (5).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad \dots(5)$$

Data *in-situ* juga dilakukan uji *Mean Absolute Error* (MAE) dan *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE) untuk menguji kemampuan nilai algoritma dalam memprediksi nilai data lapangan, dengan cara membandingkan nilai satelit dengan nilai lapangan. Persamaan yang digunakan terdapat pada Persamaan 6 dan Persamaan 7 (Borgogno-Mondino et al., 2022).

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad \dots(6)$$

$$NMAE = \frac{MAE}{mean(y_i)} \quad \dots(7)$$

Keterangan: y_i = data lapangan; $\hat{y}_i$ = nilai satelit; n = banyaknya periode.

2.4. Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan analisis korelasi Spearman dan klasifikasi TSS untuk mengevaluasi hubungan antara parameter penelitian serta mengidentifikasi dampak konsentrasi TSS terhadap lingkungan pesisir. Analisis korelasi Spearman digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan antara dua variabel. Pada penelitian ini, analisis korelasi Spearman diterapkan untuk mengetahui hubungan antara konsentrasi TSS hasil estimasi dengan kedalaman perairan (batimetri). Persamaan yang

digunakan dalam perhitungan analisis korelasi spearman sesuai dengan persamaan (8).

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N d_i^2}{N(N^2 - 1)} \quad \dots(8)$$

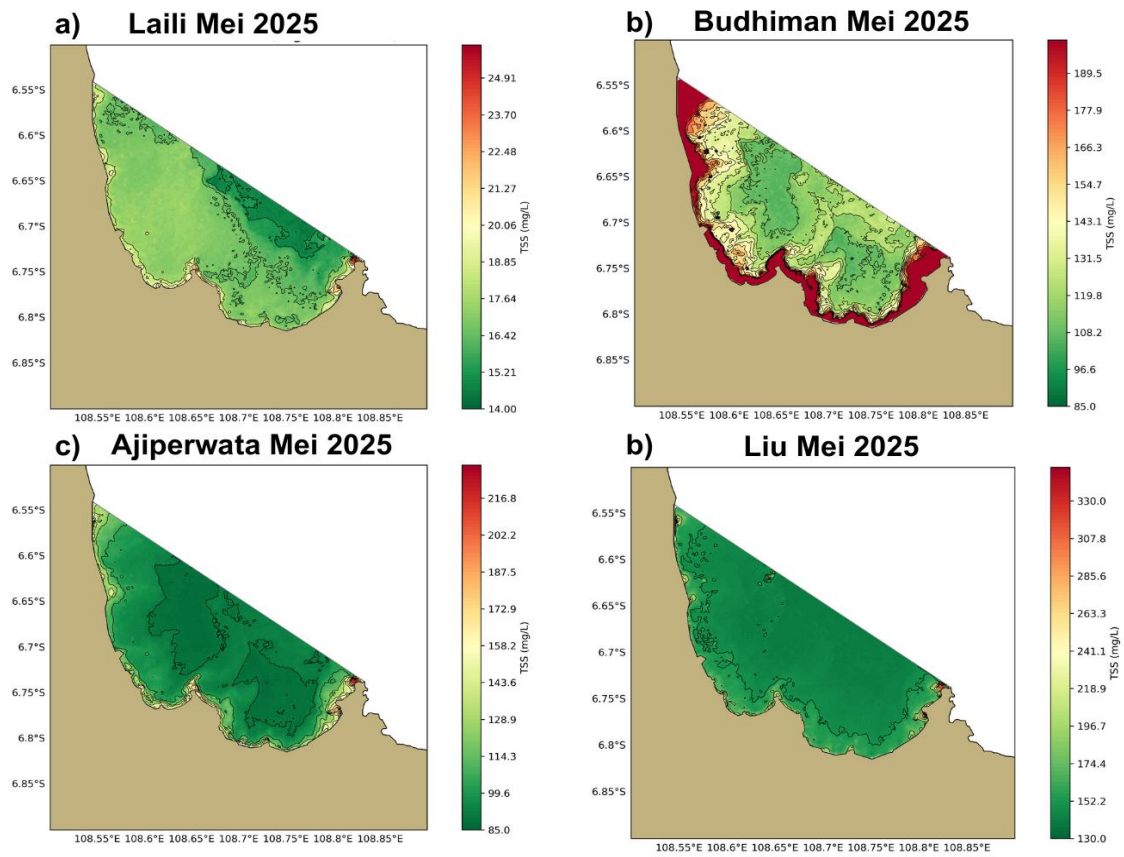
Kategori kelas pada Tabel 2 menunjukkan kelas tertentu untuk setiap rentang TSS. Kelas tersebut dijadikan acuan dalam penafsiran data yang didapatkan. Selanjutnya, klasifikasi ini juga digunakan untuk membantu dalam pemantauan kualitas air. Hal ini dapat dijadikan acuan untuk seberapa baik atau buruknya suatu perairan (Timurani & Anna, 2024).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

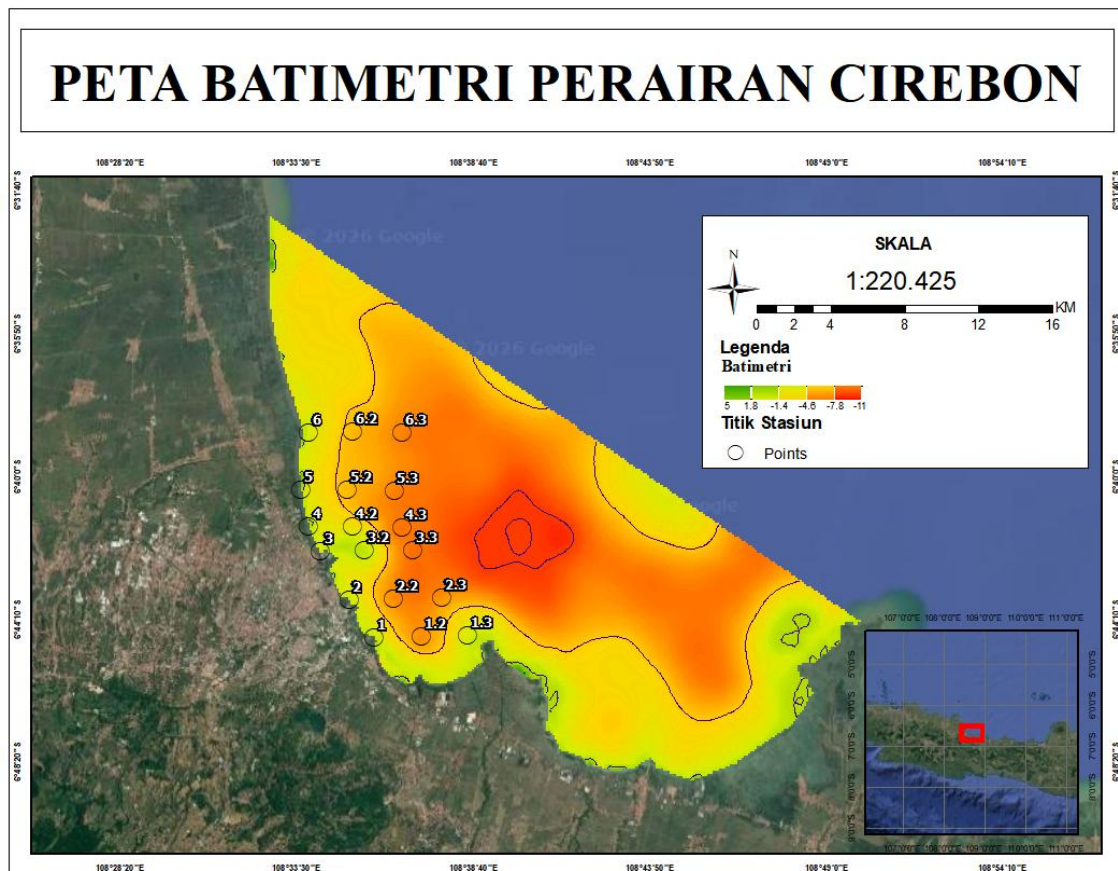
3.1. Perbandingan Algoritma Kondisi Spasial TSS di Cirebon

Hasil pada Gambar 2 (a) menunjukkan bahwa algoritma Laili menghasilkan nilai TSS pada rentang 14 – 25 mg/L, algoritma Budhiman (b) pada rentang 85 – 200 mg/L, algoritma Ajiperwata (c) pada rentang 85 – 220 mg/L, dan algoritma Liu (d) menunjukkan nilai TSS pada rentang 130 - 350 mg/L. Meskipun setiap peta Gambar 2 (a), (b), (c), dan (d) memperlihatkan nilai rentang yang berbeda, tetapi pola umum di mana konsentrasi TSS tertinggi berada di pesisir bagian timur memiliki nilai tertinggi untuk setiap algoritma. Wilayah ini berbatasan langsung dengan pesisir Brebes, sehingga pola TSS di area tersebut berpotensi dipengaruhi oleh masukan sedimen dari wilayah Brebes (Riasasi, 2019).

Berdasarkan penelitian (Faridzie et al., 2023) hasil perbandingan estimasi TSS yang berbeda pada setiap algoritma diduga disebabkan oleh perbedaan karakteristik wilayah tempat algoritma tersebut dikembangkan. Algoritma Laili dikembangkan berdasarkan kondisi perairan Pulau Poteran, algoritma Budhiman dikembangkan pada wilayah Delta Mahakam, Kalimantan Timur, algoritma Ajiperwata dikembangkan di perairan Tanjung Jati, Jepara, sedangkan algoritma Liu dikembangkan untuk Danau Poyang, China. Perbedaan karakteristik optik perairan pada masing-masing lokasi menyebabkan respons reflektansi terhadap konsentrasi TSS menjadi berbeda ketika algoritma diterapkan pada wilayah lain. Selain itu, bentuk matematis persamaan yang digunakan juga berbeda. Algoritma Budhiman pada Persamaan (2) menggunakan fungsi eksponensial yang lebih sensitif terhadap perubahan nilai reflektansi, sedangkan algoritma Laili pada Persamaan (1) menggunakan rasio logaritmik, algoritma Ajiperwata pada Persamaan (3) menggunakan regresi linear, dan algoritma Liu pada Persamaan (4) menggunakan fungsi pangkat (*power function*). Perbedaan karakteristik lokasi pengembangan dan bentuk persamaan tersebut menyebabkan rentang estimasi TSS yang dihasilkan oleh masing-masing algoritma menjadi berbeda ketika diterapkan pada perairan Cirebon.



Gambar 2. Perbandingan Kondisi Spasial Parameter TSS untuk Algoritma (a) Laili, (b) Budhiman, (c) Ajiperwata, dan (d) Liu



Gambar 3. Peta Batimetri Perairan Cirebon

Pola distribusi TSS juga dipengaruhi oleh kondisi batimetri perairan Cirebon. Berdasarkan Gambar 3 kedalaman perairan di wilayah ini berkisar antara 5 hingga -11 meter. Titik terdalam tercatat di stasiun 3.3 dengan kedalaman -8.129 meter, sedangkan titik terdangkal berada di stasiun 3 dengan kedalaman -0.755 meter. Nilai rata-rata kedalaman dari 18 stasiun pengukuran adalah -4.509 meter.

Menurut (Kurnianto et al., 2025), sumber utama TSS berasal dari daratan melalui proses pengikisan sedimen, yang kemudian terbawa ke perairan oleh dinamika laut. Hal ini menjelaskan mengapa nilai TSS umumnya tinggi di wilayah pesisir. Secara spasial, variabilitas TSS juga dipengaruhi oleh karakteristik batimetri. Pada umumnya, perairan yang lebih dalam cenderung memiliki konsentrasi TSS lebih rendah dibandingkan dengan perairan dangkal. Hal ini menyebabkan perairan di zona transisi dan laut lepas menampilkan distribusi TSS yang lebih bervariasi (Setyawati et al., 2023).

Untuk menguji secara kuantitatif tingkat hubungan spasial tersebut, dilakukan analisis statistik menggunakan uji koefisien korelasi Rank Spearman. Analisis ini menghubungkan parameter kedalaman perairan (batimetri) dengan nilai estimasi TSS dari empat algoritma yang diuji, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, seluruh model algoritma estimasi TSS menunjukkan nilai signifikansi $p < 0,001$, yang berarti terdapat hubungan yang sangat nyata antara batimetri dan sebaran TSS pada tingkat konfidensi 99%. Koefisien korelasi (r_s) pada

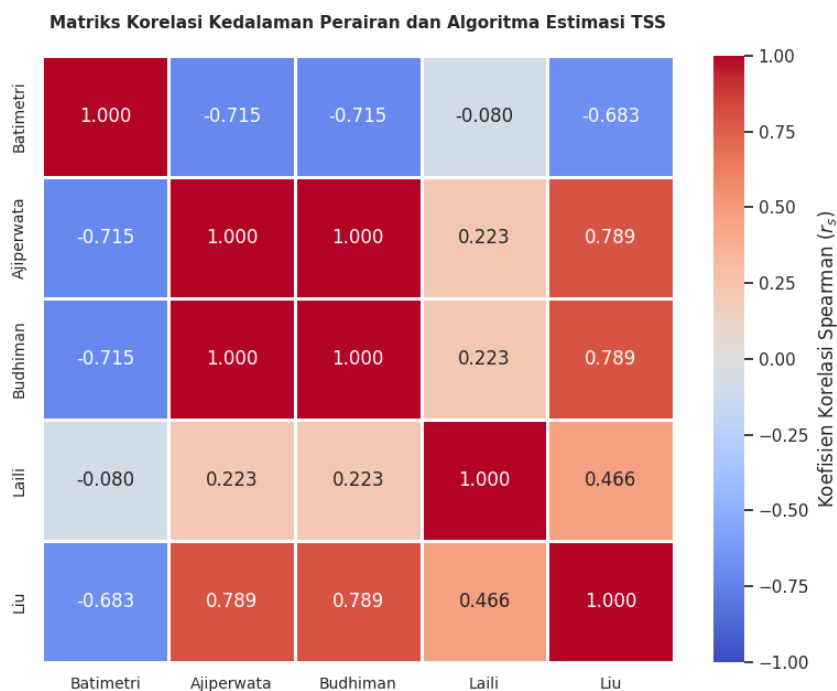
seluruh algoritma bernilai negatif, membuktikan secara fisis bahwa semakin dalam suatu perairan, maka konsentrasi TSS akan semakin rendah akibat berkurangnya pengaruh pengadukan dasar perairan oleh gelombang (resuspensi sedimen). Visualisasi keeratan hubungan antarparameter tersebut dikuatkan melalui matriks korelasi spasial penuh yang disajikan pada Gambar 4.

Tabel 3. Parameter Statistik Korelasi Rank Spearman Antara Kedalaman Perairan dan Berbagai Algoritma Estimasi TSS

Algoritma	Spearman (r_s)	Nilai- p	Signifikansi
Ajiperwata	-0.715	< 0.001	Signifikan**
Budhiman	-0.715	< 0.001	Signifikan**
Laili	-0.080	< 0.001	Signifikan**
Liu	-0.683	< 0.001	Signifikan**

Keterangan: ** Signifikan pada tingkat konfidensi 99% ($p < 0,01$); * Signifikan pada tingkat konfidensi 95% ($p < 0,05$)

Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4 menunjukkan bahwa algoritma Ajiperwata dan Budhiman memiliki hubungan spasial yang identik terhadap batimetri, yang ditunjukkan oleh nilai korelasi Spearman sebesar $r_s=1.000$. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa kedua algoritma menghasilkan pola distribusi konsentrasi TSS yang sangat serupa. Selain itu, hubungan antara TSS dan batimetri pada algoritma Budhiman ($r_s=-0.715$), Ajiperwata ($r_s=-0.715$), dan Liu ($r_s=-0.683$). Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan kedalaman perairan cenderung diikuti oleh penurunan konsentrasi TSS. Sementara itu, algoritma Laili menunjukkan korelasi terhadap batimetri senilai $r_s=-0.080$, sehingga variasi kedalaman perairan tidak memberikan pengaruh yang terlalu signifikan terhadap pola distribusi TSS yang dihasilkan oleh algoritma Laili.



Gambar 4. Matriks Korelasi Spasial Kedalaman Perairan dan Berbagai Algoritma Estimasi TSS

Temuan ini sejalan dengan penelitian (Sukmawati et al., 2023) yang menunjukkan bahwa konsentrasi TSS cenderung lebih tinggi pada perairan dangkal dibandingkan perairan yang lebih dalam. Kondisi tersebut terjadi karena sedimen yang berasal dari muara sungai terakumulasi dan mengendap pada wilayah perairan dangkal. Sebaliknya, pada perairan yang lebih dalam proses pengendapan sedimen relatif lebih kecil, sehingga konsentrasi TSS cenderung lebih rendah. Oleh karena itu, hubungan negatif antara kedalaman perairan dan konsentrasi TSS yang ditemukan pada algoritma Budhiman, Ajiperwata, dan Liu mendukung karakteristik distribusi TSS yang umum dijumpai di wilayah pesisir dan muara sungai.

Akan tetapi, hasil tersebut berbeda dengan penelitian Syafiqah et al. (2023), yang melaporkan adanya hubungan positif antara TSS dan batimetri. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kedalaman perairan diikuti oleh peningkatan konsentrasi TSS. Perbedaan arah korelasi ini mengindikasikan bahwa hubungan antara batimetri dan TSS sangat dipengaruhi oleh karakteristik hidrodinamika, sumber sedimen, serta kondisi lingkungan pada masing-masing wilayah penelitian. Dengan demikian, pengaruh kedalaman terhadap distribusi TSS tidak bersifat universal dan dapat bervariasi sesuai dengan karakteristik perairan yang dikaji.

3.2. Perbandingan Nilai Error

Tabel 4 menunjukkan hasil pengukuran TSS pada 18 titik stasiun di perairan Cirebon. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa stasiun 3.3 memiliki nilai TSS tertinggi, yaitu 48.90 mg/L, sedangkan stasiun 6.2 memiliki nilai TSS terendah, yaitu 39.58 mg/L. Sementara itu, hasil

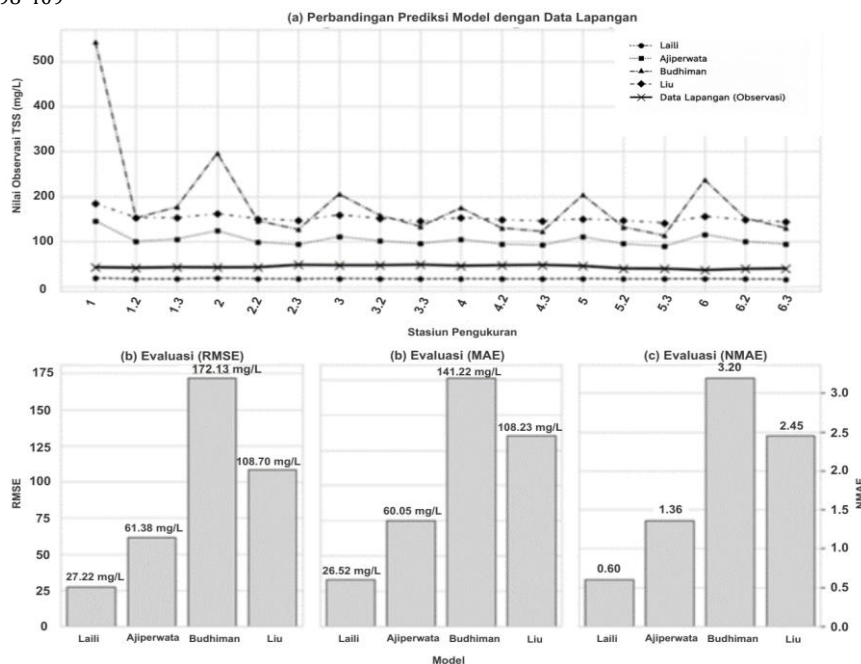
perbandingan antara algoritma Laili, Ajiperwata, Budhiman, dan Liu dengan data lapangan ditunjukkan pada Gambar 5 menyajikan evaluasi komprehensif terhadap performa empat model prediksi Laili, Ajiperwata, Budhiman, dan Liu dengan membandingkannya terhadap data observasi lapangan. Untuk mengkuantifikasi temuan visual ini, performa keseluruhan setiap model dianalisis menggunakan tiga metrik kesalahan statistik, yang disajikan pada Gambar 5 (b) hingga (d). Ketiga metrik tersebut *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Error* (MAE), dan *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE) secara konsisten menunjukkan hasil yang seragam.

Analisis diawali dengan perbandingan visual pada Gambar 5 (a), yang memetakan tren prediksi setiap model di seluruh stasiun pengukuran. Dari plot ini, terlihat jelas bahwa prediksi dari model 'Laili' menunjukkan kesesuaian pola yang paling dekat dengan data lapangan (garis solid tebal). Sebaliknya, model 'Budhiman' secara konsisten menunjukkan deviasi prediksi yang paling signifikan, sementara model lainnya berada di antara keduanya. Hal ini dapat disebabkan karena algoritma Laili memiliki persamaan yang memanfaatkan kombinasi kanal, di mana di antara algoritma lainnya hanya algoritma Laili yang menggunakan kombinasi kanal, sehingga menghasilkan nilai TSS yang mendekati dengan nilai lapangan (Restele et al., 2022).

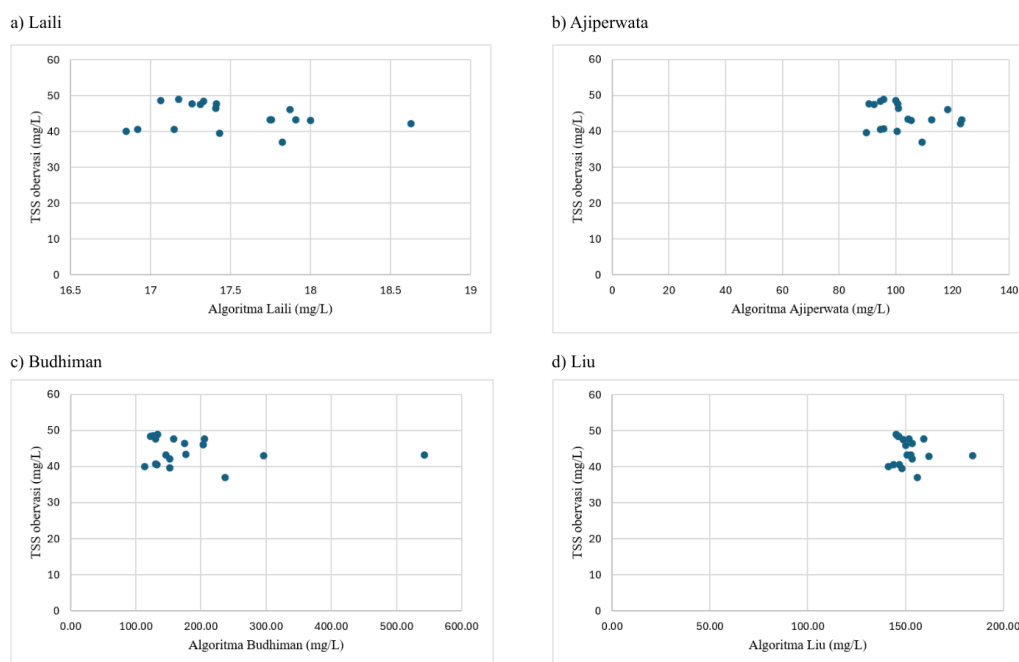
Algoritma Laili dikembangkan pada tahun 2015 dengan studi kasus di perairan Pulau Poteran, Sumenep, Pulau Madura (Laili et al., 2015). Algoritma ini dirancang untuk mengestimasi nilai TSS di wilayah tersebut. Berdasarkan hasil validasi terhadap data in-situ di perairan Cirebon Gambar 5 (b-d), algoritma Laili menghasilkan nilai RMSE sebesar 27.22 mg/L, MAE 26.52 mg/L, dan NMAE 0.60. Uji ini dilakukan untuk mengukur tingkat perbedaan antara hasil estimasi algoritma Laili dengan data lapangan.

Tabel 4. *Total Suspended Solid (TSS) Perairan Cirebon*

Stasiun	TSS (mg/L)
Stasiun 1	43.18
Stasiun 1.2	42.14
Stasiun 1.3	43.30
Stasiun 2	43.00
Stasiun 2.2	43.25
Stasiun 2.3	48.53
Stasiun 3	47.73
Stasiun 3.2	47.68
Stasiun 3.3	48.90
Stasiun 4	46.43
Stasiun 4.2	47.58
Stasiun 4.3	48.38
Stasiun 5	46.03
Stasiun 5.2	40.52
Stasiun 5.3	40.07
Stasiun 6	36.94
Stasiun 6.2	39.58
Stasiun 6.3	40.63



Gambar 5. Evaluasi Performa Empat Model Prediksi. (a) Perbandingan Tren Prediksi Terhadap Data Observasi. (b-d) Perbandingan Kesalahan Model (RMSE, MAE, NMAE) secara Kuantitatif



Gambar 6. Hubungan antara TSS Observasi dan TSS Hasil Prediksi dengan Algoritma (a) Laili, (b) Ajiperwata, (c) Budhiman, (d) Liu

Meskipun algoritma Laili menghasilkan nilai RMSE terendah sebesar 27.22 mg/L dibandingkan algoritma lainnya, nilai tersebut masih relatif besar apabila dibandingkan dengan rentang konsentrasi TSS hasil estimasi yang hanya berkisar antara 14–25 mg/L. Kondisi ini mengindikasikan bahwa nilai TSS hasil observasi lapangan cenderung lebih tinggi dibandingkan nilai yang diprediksi oleh algoritma Laili, sehingga algoritma tersebut menunjukkan kecenderungan *underestimation* pada perairan Cirebon. Hasil ini menunjukkan bahwa algoritma Laili kemungkinan lebih sesuai

untuk perairan dengan konsentrasi TSS yang relatif lebih rendah, sesuai dengan karakteristik lokasi pengembangan algoritma. Meskipun demikian, dibandingkan dengan algoritma Ajiperwata, Budhiman, dan Liu, algoritma Laili tetap menghasilkan nilai RMSE, MAE, dan NMAE yang paling rendah, sehingga memberikan estimasi yang paling mendekati data observasi pada penelitian ini.

Penelitian (Ajiperwata et al., 2023) dilakukan di perairan Tanjung Jati, Jepara. Algoritma yang dikembangkan diuji dengan membandingkan hasil estimasi terhadap data lapangan. Berdasarkan Gambar 5

(b-d), algoritma Ajiperwata menghasilkan nilai RMSE 61.38 mg/L, MAE 60.05 mg/L, dan NMAE 1.36. Nilai *error* ini lebih tinggi dibandingkan dengan algoritma Laili.

Algoritma Budhiman, sebagaimana dalam penelitian (Kurniadin & Maria, 2020), dikenal sebagai salah satu algoritma terbaik untuk identifikasi TSS di perairan Indonesia. Namun, hasil validasi pada Gambar 5 (b-d) menunjukkan bahwa algoritma Budhiman memiliki RMSE sebesar 172.13 mg/L, MAE 141.22 mg/L, dan NMAE 3.2, yang merupakan nilai kesalahan tertinggi di antara ketiga algoritma yang diuji.

Algoritma Liu sebelumnya sudah pernah dilakukan uji di perairan Indonesia dan pada umumnya algoritma ini sering digunakan untuk menentukan TSS di perairan tropis, terutama Indonesia. Hasil yang didapatkan berdasarkan Gambar 5 (b-d) menunjukkan nilai RMSE algoritma ini 108,70 mg/L, nilai MAE 108,23 mg/L, dan nilai NMAE sebesar 2.45.

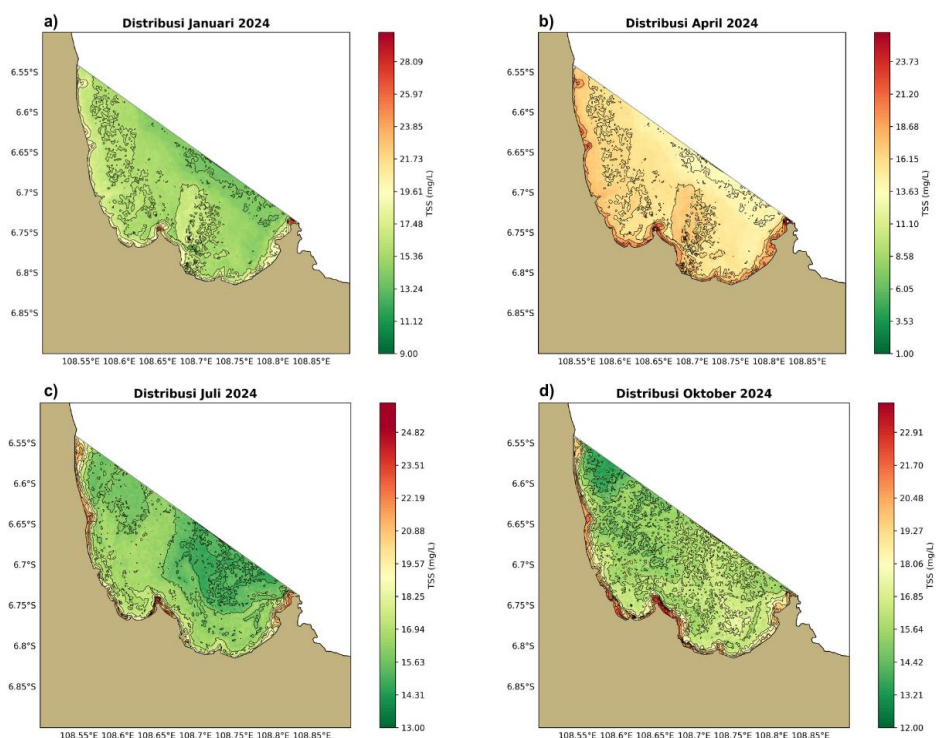
Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa nilai algoritma Laili memiliki nilai *error* terendah dibandingkan dengan algoritma lainnya. Hal ini sesuai dengan penelitian (Kurniadin & Maria, 2020) bahwa algoritma Laili menunjukkan performa yang baik pada beberapa studi di wilayah Indonesia. Oleh karena itu, dalam identifikasi nilai TSS di perairan Cirebon digunakan algoritma Laili.

Gambar 6 menunjukkan perbandingan antara nilai TSS hasil observasi lapangan dengan nilai TSS hasil prediksi algoritma, yaitu (a) algoritma Laili, (b) algoritma Ajiperwata, (c) algoritma Budhiman, dan (d) algoritma Liu. Berdasarkan interpretasi visual grafik, keempat algoritma menunjukkan pola

distribusi yang berbeda terhadap data observasi. Algoritma Laili menunjukkan sebaran nilai yang lebih dekat dengan data observasi lapangan. Sementara itu, algoritma Ajiperwata, Budhiman, dan Liu menunjukkan penyimpangan yang lebih besar, sehingga nilai prediksinya cenderung menjauhi data lapangan. Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 6 sejalan dengan hasil evaluasi statistik pada Gambar 5, di mana algoritma Laili memiliki tingkat kesalahan yang lebih rendah dibandingkan algoritma lainnya.

3.3. Distribusi Spasial Tahun 2024

Hasil persebaran TSS dilakukan dengan menggunakan algoritma dengan nilai *error* terendah, yaitu algoritma Laili. Sementara itu, pemilihan bulan berdasarkan puncak dari setiap musim yang ada di Indonesia. Bulan Januari, April, Juli, dan Oktober dipilih untuk merepresentasikan kondisi musiman di Indonesia. Januari mewakili Musim Barat yang ditandai curah hujan tinggi (Bimaprawira & Rejeki, 2021), April mewakili Musim Peralihan I yang merupakan periode transisi antara Monsun Asia dan Monsun Australia (Trenggono & Agustyadi, 2019), Juli mewakili Musim Timur (Kurnyawati et al., 2025), dan Oktober mewakili Musim Peralihan II sebagai periode transisi dari Musim Timur menuju Musim Barat (Anam et al., 2026). Hasil yang didapatkan berdasarkan Gambar 7 pada bulan Januari nilai TSS berada pada kisaran 9 - 28 mg/L, bulan April 1 - 23.73 mg/L, bulan Juli 13 - 24.82 mg/L, dan bulan Oktober 12 - 22.91 mg/L. Persebaran TSS memiliki sumber utama pada wilayah daratan yang berupa gerusan sedimen oleh adanya fenomena dinamika lautan sehingga sedimen dapat terdistribusi ke perairan (Kurnianto et al., 2025).



Gambar 7. Distribusi TSS Spasial (a) Januari 2024, (b) April 2024, (c) Juli 2024, dan (d) Oktober 2024

Hasil Gambar 7 (a) menunjukkan persebaran saat bulan Januari berada di kisaran 9 - 28 mg/L, (b) menunjukkan persebaran di bulan April yang berada di kisaran 1 - 23.73 mg/L, (c) menunjukkan persebaran Juli pada kisaran 13 - 24.82 mg/L, dan (d) mengidentifikasi pada bulan Oktober berada pada rentang 12 - 22.91 mg/L. Hasil Gambar 7 (a) menunjukkan bahwa nilai yang terdapat pada bulan Januari memiliki kisaran atau rentang tertinggi, dimana bulan Januari mewakili musim barat yang cenderung memiliki nilai TSS tinggi karena curah hujan tinggi (Galuh et al., 2019).

Bulan Januari yang mewakili musim barat dipengaruhi oleh curah hujan tinggi. Hal ini menyebabkan peningkatan debit air muara, dikarenakan adanya masukan dari daratan ke muara dan dapat terbawa hingga lautan. Selain itu, peningkatan debit air muara juga dapat menyebabkan sedimen lebih mudah untuk tergerus sehingga terjadi endapan di laut pesisir. Oleh karena itu, pada musim barat nilai TSS di wilayah pesisir lebih tinggi dibandingkan dengan nilai TSS pada musim lainnya (Timurani & Anna, 2024).

Tabel 2 menunjukkan klasifikasi kategori TSS, dimana hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa pada bulan April, Juli, dan Oktober terdapat pada kelas I, Sedangkan pada bulan Januari nilai TSS tergolong pada kelas II. Kelas I menandakan tidak adanya dampak terhadap aktivitas perikanan tangkap dan kelas II menandakan adanya sedikit dampak terhadap perikanan tangkap. Oleh karena itu, dapat diketahui bahwa nilai TSS yang terdapat di perairan Cirebon ini tidak terlalu berdampak terhadap ekosistem perairan dan aktivitas penangkapan ikan (Timurani & Anna, 2024).

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa keempat algoritma (Laili, Ajiperwata, Budhiman, dan Liu) menghasilkan pola distribusi spasial *Total Suspended Solid* (TSS) yang relatif serupa di perairan Cirebon, dengan konsentrasi yang cenderung lebih tinggi pada wilayah pesisir timur yang berbatasan dengan Kabupaten Brebes.

Berdasarkan validasi terhadap 18 stasiun pengamatan menggunakan data in situ bulan Mei 2025, algoritma Laili menghasilkan performa terbaik dengan nilai RMSE sebesar 27.22 mg/L, MAE sebesar 26.52 mg/L, dan NMAE sebesar 0.60. Sementara itu, algoritma Ajiperwata menghasilkan RMSE 61.38 mg/L, MAE 60.05 mg/L, dan NMAE 1.36; algoritma Budhiman menghasilkan RMSE 172.13 mg/L, MAE 141.22 mg/L, dan NMAE 3.20; sedangkan algoritma Liu menghasilkan RMSE 108.70 mg/L, MAE 108.23 mg/L, dan NMAE 2.45. Berdasarkan hasil validasi tersebut, algoritma Laili memberikan estimasi TSS yang paling mendekati data observasi pada kondisi penelitian ini.

Analisis distribusi musiman menggunakan algoritma Laili menunjukkan bahwa konsentrasi TSS

pada tahun 2024 berada pada kisaran 9–28 mg/L pada Januari, 1–23.73 mg/L pada April, 13–24.82 mg/L pada Juli, dan 12–22.91 mg/L pada Oktober. Secara umum, nilai TSS yang diperoleh berada pada kategori kelas I hingga kelas II, yang menunjukkan kondisi perairan relatif baik dan berdampak rendah terhadap aktivitas perikanan.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa citra Sentinel-2 dan algoritma Laili dapat dimanfaatkan untuk mendukung pemantauan kualitas perairan dan distribusi sedimen secara spasial di perairan Cirebon. Namun, kesimpulan mengenai performa terbaik algoritma Laili dalam penelitian ini terbatas pada lokasi penelitian dan data validasi yang diperoleh pada Mei 2025. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan data observasi multimusim, mengembangkan algoritma atau model regresi lokal yang sesuai dengan karakteristik perairan Cirebon, serta melakukan validasi lintas waktu guna meningkatkan keandalan model estimasi TSS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Padjadjaran atas dana hibah penelitian yang dinaungi oleh Hibah Riset Unpad (HRU), melalui program Riset Keunggulan Keilmuan Unpad (RKKU) dengan nomor hibah No. 1003/UN6.3.1/PT.00/2025. Saya juga ingin mengucapkan terimakasih kepada laman penyedia *Copernicus* dan lama *Ina-Geoportal* yang membantu dalam menyediakan data untuk penelitian ini. Selanjutnya saya juga berterima kasih kepada PPN Kejawan yang sudah membantu dalam proses pengambilan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajiperwata, D., Indrayanti, E., & Rochaddi, B. (2023). Sebaran Material Padatan Tersuspensi Berdasarkan Data Citra Sentinel-2 di Perairan Tanjung Jati, Jepara. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(2), 349–356. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i2.18468>
- Anam, M. C., Khamidah, N., Yasmin, D. A., & Harlyan, L. I. (2026). POLA MUSIM PENANGKAPAN IKAN PELAGIS: STUDI KASUS ARMADA PERAHU SEKOCI DAN SLEREK DI PELABUHAN PERIKANAN PANTAI PONDOKDADAP SEASONAL PATTERNS OF PELAGIC FISH FISHERIES: A CASE STUDY OF THE SEKOCI AND SLEREK FISHING FLEETS AT PONDOKDADAP COASTAL FISHING P. *Journal of Fisheries and Marine Research*, November 2025.
- Bimaprrowira, A. K., & Rejeki, H. A. (2021). KETERKAITAN PERIODISITAS CURAH HUJAN DI DAERAH PESISIR DAN PEGUNUNGAN PROVINSI JAWA TIMUR DENGAN VARIABILITAS CUACA SKALA GLOBAL DAN REGIONAL Relationship of Rainfall Periodicity in Coastal dan Mountain Areas of East Java Province with Global and Regional. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 22(2), 51–59.
- Borgogno-Mondino, E., Farbo, A., Novello, V., & de Palma, L. (2022). A Fast Regression-Based Approach to Map Water Status of Pomegranate Orchards with Sentinel 2 Data. *Horticulturae*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090759>
- Budhiman, S. (2004). *Mapping TSM Concentrations From Multisensor Satellite Images in Turbid Tropical Coastal*

- Waters of Mahakam Delta, Indonesia*. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), University of Twente, Netherlands.
- Faridzie, M. Al, Maslukah, L., Ismunarti, D. H., & Wirasatriya, A. (2023). Uji Akurasi Beberapa Algoritma Material Padatan Tersuspensi Menggunakan Citra Sentinel-2A di Muara Banjir Kanal Timur Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(3), 503–513. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i3.17496>
- Galuh, G. N. A., Baharuddin, & Dewi, I. P. (2019). ANALISIS SEBARAN TOTAL SUSPENDED SOLID (TSS) MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL 2 DI PERAIRAN TELUK TAMIANG KABUPATEN KOTABARU. *Jurnal Kelautan*, 3.
- Grivei, A. C., Neagoe, I. C., Georgescu, F. A., Griparis, A., Vaduva, C., Bartalis, Z., & Datcu, M. (2020). Multispectral Data Analysis for Semantic Assessment-A SNAP Framework for Sentinel-2 Use Case Scenarios. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 4429–4442. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3013091>
- Hu, C., Feng, L., Lee, Z., Franz, B. A., Bailey, S. W., Werdell, P. J., & Proctor, C. W. (2019). Improving Satellite Global Chlorophyll a Data Products Through Algorithm Refinement and Data Recovery. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124(3), 1524–1543. <https://doi.org/10.1029/2019JC014941>
- Kurniadin, N., & Maria, E. (2020). EVALUASI ALGORITMA TOTAL SUSPENDED SOLID (TSS) PADA CITRA LANDSAT 8 TERHADAP DATA TSS IN-SITU. *ELIPSOIDA*, 3(1).
- Kurnianto, A., Khaldun, M. H. I., Leni, Y., & Hamzah, H. (2025). ANALISIS SEBARAN TOTAL SUSPENDED SOLID (TSS) MENGGUNAKAN CITRA SENTINEL-2 DI PERAIRAN SADU KABUPATEN TANJUNG JABUNG TIMUR, PROVINSI JAMBI. *Mantis Journal of Fisheries*, 2(01), 7–13. <https://doi.org/10.22437/mjfv2i01.41828>
- Kurnyawati, P., Handoko, E. Y., & Syariz, M. A. (2025). Studi Variasi Suhu Permukaan Tanah Di Wilayah Jawa Timur Menggunakan Sentinel-3 Slstr. *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 4(1), 30–37. <https://doi.org/10.12962/jpji.v4i1.3390>
- Laili, N., Arafah, F., Jaelani, L. M., Subehi, L., Pamungkas, A., Koenhardono, E. S., & Sulisetyono, A. (2015). DEVELOPMENT of WATER QUALITY PARAMETER RETRIEVAL ALGORITHMS for ESTIMATING TOTAL SUSPENDED SOLIDS and CHLOROPHYLL-A CONCENTRATION USING LANDSAT-8 IMAGERY at POTERAN ISLAND WATER. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(2W2), 55–62. <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-2-W2-55-2015>
- Liu, H., Li, Q., Shi, T., Hu, S., Wu, G., & Zhou, Q. (2017). Application of Sentinel 2 MSI Images to Retrieve Suspended Particulate Matter Concentrations in Poyang Lake. *Remote Sensing*, 9(7), 761. <https://doi.org/10.3390/rs9070761>
- Prasetyo, B. A., Rochaddi, B., & Satriadi, A. (2019). Aplikasi Citra Sentinel-2 untuk Pemetaan Sebaran Material Padatan Tersuspensi Di Muara Sungai Wulan Demak. *Journal of Marine Research*, 8(4), 379–386.
- Prasetya, M. I., Siregar, V. P., & Agus, S. B. (2023). Comparison of Satellite-Derived Bathymetry Algorithm Accuracy Using Sentinel-2 Multispectral Satellite Image. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(1), 113–125. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i1.16050>
- Rajib, R. K., Ningsih, P. R., Septiani, N., Hukum, I., Semarang, U. N., Air, D. K., Tambang, A., Industri, L., Alam, B., Cirebon, K., Degradation, W. Q., Activities, M., Waste, I., Stone, N., & Regency, C. (2026). DEGRADASI KUALITAS AIR DI CIREBON AKIBAT PEMBUANGAN LIMBAH INDUSTRI TAMBANG BATU ALAM KE BADAN AIR. *Global Research and Innovation Journal (GREAT)*, 2, 546–560.
- Ramadhan, A. W. W., Safitri, F. E., Khairunnisa, H., Pramitasari, T. A., Sholiqin, M., & Rachmawati, S. (2023). Dampak Tingkat Cemar Sungai Jenes Terhadap Kualitas Air Tanah Warga di Kelurahan Joyotakan, Kecamatan Serengan, Surakarta. *JURNAL ILMU LINGKUNGAN*, 21(2).
- Restele, L. O., Jaya, L. O. M. G., Muliddin, M., Sabaruddin, L., & Utami, L. N. D. T. (2022). Evaluasi Algoritma Total Suspended Solid (Tss) Pada Citra Sentinel-2 Di Teluk Kendari. *Sebatik*, 26(2), 495–501. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v26i2.2015>
- Rezeki, M. S., Ms, Y., Taofiuroman, A., & Sari, Q. W. (2026). Studi Karakteristik Sedimen Berdasarkan Analisis Ukuran Besar Butir Sedimen di Perairan Mundu, Kabupaten Cirebon. *Buletin Oseanografi Marina*, 15(1), 70–80. <https://doi.org/10.14710/buloma.v15i1.75637>
- Riasasi, W. (2019). Identifikasi Garis Pantai Kawasan Pesisir Kabupaten Brebes Berbasis Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis. *Geomedia: Majalah Ilmiah Dan Informasi Kegeografian*, 17(1), 47–53. <https://journal.uny.ac.id/index.php/geomedia/index>
- Santos, C., & Rapp, L. (2019). Satellite imagery, very high-resolution and processing-intensive image analysis: Potential risks under the GDPR. *Air and Space Law*, 44(3), 275–295. <https://doi.org/10.54648/aila2019018>
- Setyawati, D. A., Nuzula, N. I., Jayanthi, O. W., Kartika, A. G. D., & Rahayu, E. P. (2023). Pola Persebaran Vertikal dan Horizontal Total Suspended Solid di Perairan Padelegan, Pamekasan. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(2), 213–222. <https://doi.org/10.14710/buloma.v12i2.49510>
- Sukmawati, D., Supriatna, & Rustanto, A. (2023). Spatial study of total suspended solid (TSS) for shrimp catching areas based on changes in watershed land cover and oceanographic factors in Ciletuh Bay 2017-2021. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1251(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1251/1/012033>
- Timurani, E. C., & Anna, A. N. (2024). Dynamics of seasonal impacts on Total Suspended Solid (TSS) concentrations in coastal Semarang City using landsat 8. *Remote Sensing Technology in Defense and Environment*, 1.
- Trenggono, M., & Agustiadi, T. (2019). Observasi Parameter Meteo-Oseanografi dalam Musim Peralihan I di Selat Lirang. *Akuatika Indonesia*, 3(1), 60. <https://doi.org/10.24198/jaki.v3i1.23393>
- Warren, M. A., Simis, S. G. H., Martinez-Vicente, V., Poser, K., Bresciani, M., Alikas, K., Spyarakos, 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, 267–289.

- Saptari, M. K., Riztiawan, A. A., Pertama, J. P., Maulana, A.M., Nurlaila, H.M., Akbarsyah, N., Ihsan, Y. D., dan Sari, Q. W. (2026). Evaluasi Algoritma Sentinel-2 untuk Estimasi Konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) di Perairan Cirebon. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 24(2), 398-409, doi:10.14710/jil.24.2.398-409
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.018>
- Yang, Z., Gong, C., Lu, Z., Wu, E., Huai, H., Hu, Y., Li, L., & Dong, L. (2023). Combined Retrievals of Turbidity from Sentinel-2A/B and Landsat-8/9 in the Taihu Lake through Machine Learning. *Remote Sensing*, 15(17).
<https://doi.org/10.3390/rs15174333>
- Yonar, M., Luthfi, O. M., Isdianto, A., Studi, P., Kelautan, I., & Perikanan, F. (2021). Dinamika Total Suspended Solid (TSS) Di Sekitar Terumbu Karang Pantai Damas, Trenggalek Dynamics Of Total Suspended Solid (TSS) Around Coral Reef Beach Damas, Trenggalek. *Journal of Marine and Coastal Science*, 10(1). <https://ejournal.unair.ac.id/JMCS>