

Variasi Temporal Material Padatan Tersuspensi Menggunakan Citra Sentinel di Muara Sungai Loji Pekalongan

Ariel Oscar Paskario Simatupang¹, Anindya Wirasatriya², Lilik Maslukah^{2*}, Muhammad Zainuri², Arij Kemala Yasmin Ridarto³, Muhammad Shulhan Jihadi³, Kunarso²

¹ Program Sarjana Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

² Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

³ Program Magister Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia

Email: *lilik_maslukah@gmail.com

Abstrak

Material Padatan Tersuspensi (MPT) merupakan partikel yang melayang dikolom perairan dan terdiri dari berbagai komponen organik maupun anorganik. Kehadirannya menyebabkan kekeruhan air sehingga menghalangi sinar matahari yang masuk ke perairan, mengganggu proses fotosintesis dan berdampak negatif pada ekosistem. Pemantauan MPT secara temporal dapat dilakukan melalui pemanfaatan teknologi penginderaan jauh. Nilai estimasinya sangat bergantung pada pemilihan sebuah algoritma. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kinerja beberapa algoritma sekaligus mengembangkan algoritma secara empiris menggunakan data MPT in situ dan nilai reflektan produk dari citra Sentinel-2 di Muara Loji. Hasil menunjukkan bahwa nilai estimasi MPT dari algoritma yang dikembangkan secara empiris pada penelitian ini menunjukkan kinerja terbaik dibanding algoritma lainnya. Algoritma yang dibangun menggunakan reflektan pada kanal hijau (B3) memiliki kinerja terbaik yang ditunjukkan dengan nilai koefisien determinasi (R^2) = 0.422, RMSE = 8.93 mg/L, MAPE = 18.2%, dan Bias = 1.43. Estimasi konsentrasi MPT lapangan memiliki rerata sebesar 39.19 mg/L, sementara hasil prediksi dengan algoritma Ajiperwata (37.88 mg/L), Wirasatriya (48.98 mg/L), Maslukah (11.54 mg/L), Laili (13.42 mg/L), dan algoritma baru memiliki nilai rerata 39.90 mg/L. Penelitian ini masih memiliki keterbatasan, karena algoritma dikembangkan berdasarkan satu kali pengambilan, yang mewakili musim peralihan, sehingga masih diperlukan pengujian atau validasi terhadap data MPT di waktu lainnya. Meskipun demikian algoritma yang dihasilkan dapat membantu dalam monitoring jangka panjang di musim yang sama.

Kata kunci : MPT, Temporal, Algoritma, Sentinel-2A

Abstract

Spatial Temporal Analysis of MPT Concentration and Distribution with Sentinel-2A Imagery in Loji River Estuary, Pekalongan

Total Suspended Solid (TSS) are particles that float in the water column and consist of various organic and inorganic components. Its presence causes water turbidity that prevents sunlight from entering the water and eventually can interfere with the photosynthesis process and have a negative impact on the ecosystem. Temporal monitoring of TSS can be carried by utilizing remote sensing technology. The estimated value is highly dependent on the selection of an algorithm. This study aims to test the performance of several algorithms as well as develop algorithms empirically using in situ TSS and product reflectance values from Sentinel-2 imagery in Loji Estuary. The results show that the TSS estimation from the algorithm developed in this study shows the best performance compared to other algorithms. The algorithm built using reflectance in the green channel (B3) has the best performance as shown by the coefficient of determination (R^2) = 0.422, RMSE = 8.93 mg/L, MAPE = 18.2%, and Bias = 1.43. The mean in situ TSS concentration estimate is 39.19 mg/L, the algorithms of Ajiperwata (37.88 mg/L), Wirasatriya (48.98 mg/L), Maslukah (11.54 mg/L) and Laili (13.42 mg/L), while the new algorithm was 39.90 mg/L. This study still has limitations, as the algorithm was developed

based on one collection (representing the transitional season), so it needs to be validated against in situ TSS at other times. Nonetheless, the algorithm can be helpful for long-term monitoring in the same season.

Keywords: TSS, Spatial, Temporal, Algorithm, Sentinel-2A

PENDAHULUAN

Material padatan tersuspensi (MPT) atau *Total Suspended Solids* (TSS) adalah partikel-partikel padat dengan ukuran di atas 1 μm yang melayang-layang dalam kolom perairan. Menurut Wulandari *et al.* (2022), MPT terdiri dari dua komponen utama: komponen biotik seperti zooplankton, fitoplankton, bakteri, dan jamur serta komponen abiotik, yaitu detritus dan partikel anorganik. Keberadaan MPT yang tinggi di perairan menyebabkan terjadinya kekeruhan air (Wirasatriya *et al.*, 2023) dan selanjutnya berdampak terhadap menurunnya intensitas cahaya yang masuk ke perairan dan mengganggu proses fotosintesis fitoplankton serta mengganggu ekosistem perairan (Wang *et al.*, 2017; Yu *et al.*, 2019). MPT di perairan bersumber dari pantai itu sendiri (internal) yaitu sebagai hasil dari proses abrasi dan resuspensi sedimen dasar serta hasil dari proses fotosintesis; dan secara eksternal, yaitu dari masukan sedimen daratan yang dibawa oleh aliran sungai atau limpasan air dan aktivitas manusia di hulu (Cianca *et al.*, 2020). Sebagai salah satu parameter penentu kualitas perairan, maka perlu dilakukan pemantauan konsentrasinya.

Pemantauan MPT dapat dilakukan melalui dua cara: (1) melalui pengambilan sampel dan analisis laboratorium dan (2) pemanfaatan melalui metode penginderaan jauh. Monitoring melalui pengambilan sampel lapangan dianggap tidak efisien (Doxaran *et al.*, 2014), karena memerlukan banyak waktu dan biaya (Saberioon *et al.*, 2020). Sedangkan metode penginderaan jauh akuatik merupakan metode yang dianggap lebih efisien dan efektif karena dapat dilakukan secara temporal dan skala yang lebih luas dengan biaya relatif lebih murah dibanding metode pengambilan sampel lapangan (Liu *et al.* 2017; Saberioon *et al.*, 2020). Metode penginderaan jauh dilakukan, dengan pemanfaatan gambar satelit seperti Sentinel 2.

Sentinel-2 merupakan salah satu satelit resolusi tinggi, memiliki keunggulan karena mampu membawa 13 kanal spektral yang membentang dari panjang gelombang tampak, inframerah dekat (NIR) hingga inframerah gelombang pendek dengan resolusi spasial yang lebih baik yaitu 10, 20, dan 60 meter (m) serta resolusi temporal 2 hingga 5 hari. Oleh karena itu, Sentinel-2 menjadi alternatif yang lebih efisien dan efektif untuk pemantauan dan pemetaan konsentrasi TSS (Saberioon *et al.*, 2020; Hafeez *et al.*, 2022). Di Indonesia, penelitian TSS dengan Sentinel-2 telah dilakukan di Teluk Awur oleh Maslukah *et al.*, (2023) dan di perairan Banjir Kanal Timur oleh Al-Faridzie *et al.* (2023). Akan tetapi, keakuratan nilai estimasi MPT yang dihasilkan memiliki bias (*overestimate* atau *underestimate*). Dengan demikian, penggunaan atau pemilihan algoritma sangat penting, sehingga prediksi MPT diharapkan dapat mencerminkan nilai aktualnya. Aplikasi sebuah algoritma tidak selalu dapat diterapkan secara universal pada setiap badan air (Premkumar *et al.*, 2021; Milenia *et al.*, 2021). Oleh karena itu perlu pemilihan algoritma yang aplikatif atau perlu melakukan kalibrasi terhadap nilai lapangannya serta perlunya mengembangkan algoritma khusus untuk perairan setempat.

Muara Sungai Loji, Pekalongan dipengaruhi oleh tingginya aktivitas manusia di perairan pantai itu sendiri seperti budidaya tambak dan aktivitas kapal di Pelabuhan Perikanan Nusantara Pekalongan (PPNP) serta aktivitas yang ada di daratan baik pertanian atau pemukiman. Aktivitas manusia tersebut tentunya memiliki kontribusi besar terhadap peningkatan pencemaran, termasuk padatan tersuspensi yang terbawa melalui aliran sungai serta yang dihasilkan dari proses pantai seperti abrasi dan resuspensi. Oleh karena itu perlu dilakukan monitoring konsentrasinya. Penelitian ini akan melakukan estimasi nilai MPT menggunakan beberapa algoritma yaitu algoritma yang dikembangkan oleh Laili, Ajiperwata, Wirasatriya dan Maslukah. Selain penggunaan algoritma dari perairan lain, penelitian ini juga mengembangkan algoritma sendiri untuk perairan Muara Loji, menggunakan metode empiris menggunakan persamaan regresi. Kinerja dari algoritma-algoritma ini selanjutnya ditentukan melalui *uji Root Mean Square Error* (RMSE), bias dan *Mean Absolute Prosentase Error* (MAPE). Algoritma terbaik selanjutnya digunakan untuk menentukan variasi temporalnya. Diharapkan penelitian ini memberikan nilai yang sangat berguna dalam pertimbangan pemilihan algoritma guna monitoring jangka panjang secara spasial maupun temporal.

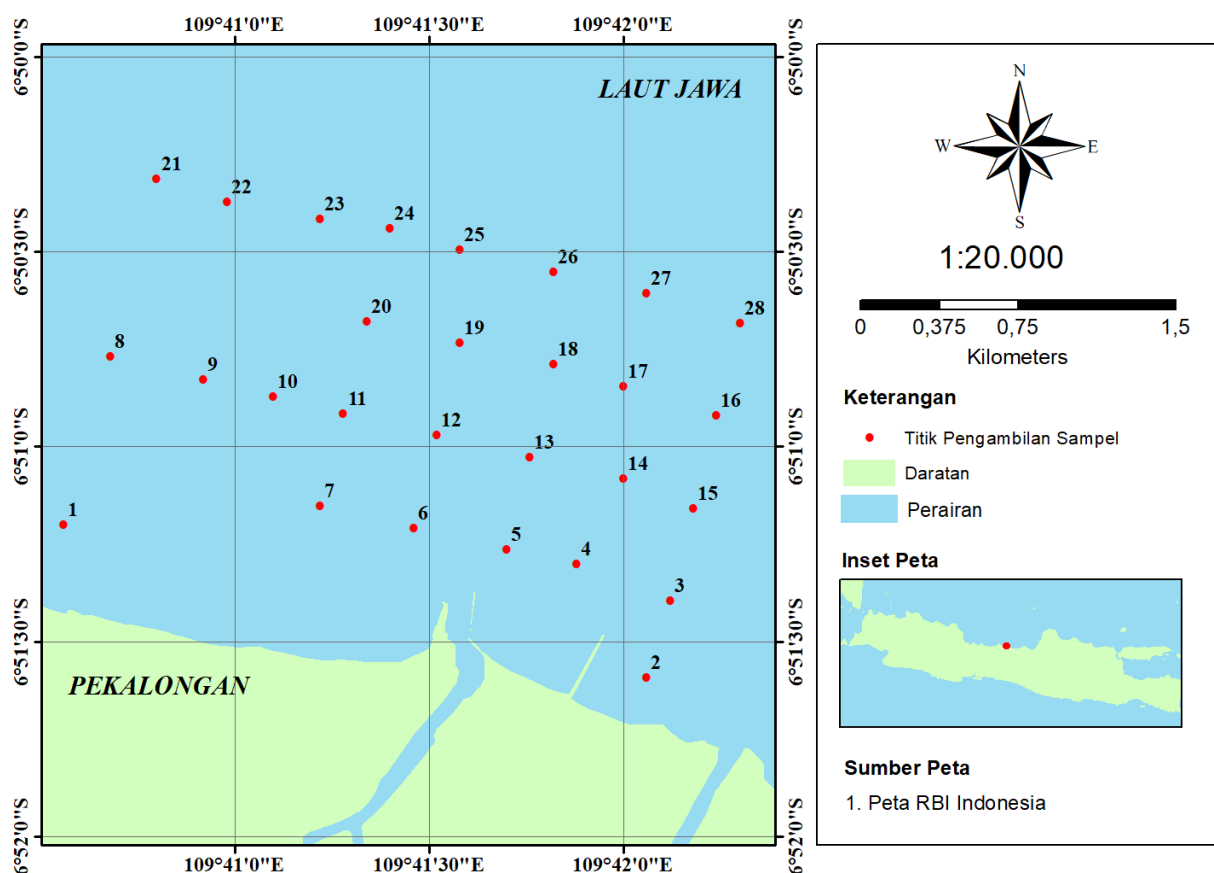
MATERI DAN METODE

Materi Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui pengukuran in situ di 28 titik lokasi penelitian guna menganalisis konsentrasi dan sebaran MPT. Sementara itu, data sekunder meliputi citra Sentinel-2A, data elevasi pasang surut dari <https://srgi.big.go.id/tides/pklg>, data kecepatan angin menggunakan MERRA-2 serta data curah hujan dari CHIRPS. Waktu penelitian ditentukan sesuai *passing time* satelit Sentinel-2A pada 30 Mei 2024 pukul 08.00-12.00. Menurut Ajiperwata *et al.* (2023), waktu satelit sentinel-2A melewati Pulau Jawa adalah sekitar pukul 10.00. Penelitian dilakukan di Perairan Muara Sungai Loji dengan bujur dari 109°40'33.61"E hingga 109°42'18.01"E dan lintang dari 6°50'18.78"S hingga 6°51'35.60"S seperti yang disajikan pada Gambar 1. Teknik pengambilan sampel secara *purposive* diterapkan agar lokasi sampel terwakili secara menyeluruh. Metode ini memastikan kesesuaian antara sampel dan tujuan penelitian, sehingga meningkatkan akurasi dan kepercayaan terhadap data (Campbell *et al.*, 2020).

Metode Pengambilan Sampel dan Analisis Laboratorium

Data lapangan dikumpulkan langsung di lokasi penelitian, dengan waktu pengambilan sampel disesuaikan orbit Sentinel-2A dan posisi kapal di titik stasiun (28 titik). Sampel air diambil dari permukaan menggunakan botol. Analisis konsentrasi MPT di laboratorium menggunakan metode gravimetri (SNI 06-6989.3-2004), yang melibatkan pengeringan kertas saring Whatman (0,45 μm) dalam oven pada suhu 100–110°C selama 1 jam, pendinginan di desikator selama 15 menit, dan penimbangan berulang hingga berat konstan. Sebelumnya, 1000 ml sampel air dikocok dan disaring dengan vacuum pump. Perhitungan MPT dilakukan dengan rumus $\text{MPT} = (a - b)/c$ (gram/liter), di mana a adalah berat kertas saring terfilter, b adalah berat awal kertas saring, dan c adalah volume air yang disaring.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Muara Sungai Loji Pekalongan

Metode Pengolahan Citra Sentinel-2A

Pengolahan citra Sentinel-2A dilakukan dengan Google Earth Engine (GEE) menggunakan data dari koleksi ee.ImageCollection ("COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED"). Menurut Latifa dan Marsisno (2024), GEE menyediakan akses gratis ke data besar dan terkini serta mendukung pemetaan interaktif. Citra dipilih berdasarkan tanggal dan lokasi pengambilan sampel. Nilai reflektansi diekstraksi, dikalibrasi (faktor skala 0.0001), dan diolah dengan perhitungan NDWI untuk memisahkan perairan dari daratan. Selanjutnya, nilai MPT dihitung menggunakan fungsi band.expression dengan referensi algoritma Laili (2015), Maslukah (2024), Wirasatriya (2023), dan Ajiperwata (2020). Nilai reflektansi dan nilai prediksi MPT kemudian diekstraksi melalui *sampleRegions*, sehingga data di setiap titik siap diunduh dalam format GeoTIFF atau CSV.

Metode Generate Algoritma Baru

Proses pengembangan algoritma dimulai dengan mengekstrak nilai reflektansi dari citra Sentinel-2A berdasarkan lokasi dan waktu pengambilan sampel, kemudian diuji dengan data lapangan melalui model regresi menggunakan band 2, 3, dan 4. Menurut Al Faridzie *et al.* (2023), nilai tersebut dapat dijadikan acuan untuk memprediksi TSS. Data dibagi menjadi dua kelompok genap untuk pembentukan algoritma dan ganjil untuk validasi. Algoritma dikembangkan menggunakan pendekatan regresi linear, eksponensial, logaritmik, dan polinomial hingga mencapai R^2 minimal 0.5, yang menunjukkan seberapa besar variasi variabel terikat dijelaskan oleh variabel bebas (Prasetyo *et al.*, 2019).

Uji Akurasi Secara Statistik

Akurasi model TSS dievaluasi dengan RMSE, Bias, dan MAPE. RMSE yang mendekati nol menunjukkan model lebih akurat, sementara Bias mengungkap perbedaan antara estimasi dan pengamatan cenderung lebih tinggi, lebih rendah, atau mendekati nilai sebenarnya (Wirasatriya *et al.*, 2023). MAPE mengukur kesalahan dalam persen; nilai MAPE di bawah 10% dikategorikan tinggi, 10–20% baik, 20–50% reasonable, dan di atas 50% rendah. Al Faridzie *et al.* (2023) menegaskan bahwa RMSE dan MAPE dapat menjadi acuan dalam menentukan algoritma pemetaan konsentrasi MPT. Berikut merupakan rumus dari ketiga uji statistik:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_e - X_o}{N}}$$

$$\text{MAPE} = \frac{100\%}{N} \times \sum_{i=1}^n \frac{|(X_e - X_o)|}{X_o}$$

$$\text{Bias} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_e - X_o)^2}{N}$$

dengan X_e sebagai nilai konsentrasi MPT prediksi dan X_o sebagai nilai MPT observasi lapangan.

Metode Pengolahan Data Hidro-Oseanografi

Distribusi konsentrasi MPT dianalisis dengan mengaitkan faktor-faktor hidro-oseanografi seperti kecepatan angin, presipitasi, dan elevasi pasang surut. Grafik hubungan antara konsentrasi MPT dengan faktor-faktor ini disusun, di mana data kecepatan angin diolah melalui GEE menggunakan koleksi ee.ImageCollection("NASA/GSFC/MERRA/slv/2") dari MERRA-2 (GMAO, 2015) dan data presipitasi dari koleksi ee.ImageCollection("UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY") (Funk *et al.*, 2015). Data elevasi pasang surut harian diperoleh dari stasiun BIG di Pekalongan, Jawa Tengah. Seluruh data hidro-oseanografi diolah serta divisualisasikan menggunakan *Excel*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

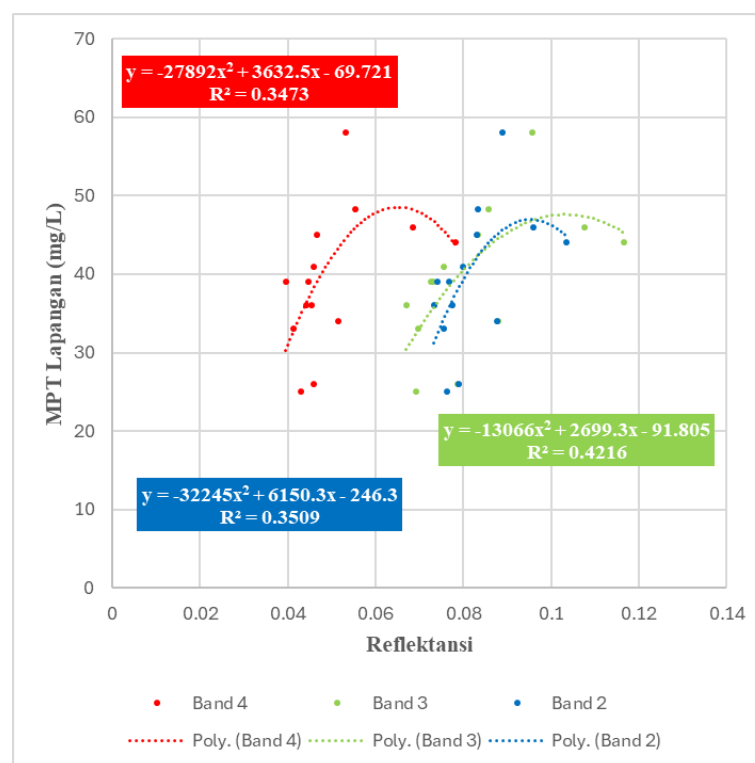
Sentinel-2A menggunakan sensor MSI dengan resolusi spasial 10, 20, dan 60 m, lebar petak 290 km, dan 13 band spektral (430–2320 nm) yang mencakup spektrum tampak, tepi merah, inframerah dekat, dan

inframerah gelombang pendek, dengan waktu kunjungan 10 hari (atau 5 hari dengan dua satelit) dan resolusi radiometrik 12-bit (Ouma *et al.*, 2020). Penelitian ini memanfaatkan band visible (red, green, blue) resolusi 10 m untuk mengestimasi MPT di perairan pesisir. Beberapa algoritma referensi, yaitu Laili (2015), Maslukah (2024b), Wirasatriya (2023), dan Ajiperwata (2020) diuji untuk menduga nilai MPT di Perairan Muara Sungai Loji yang dapat dilihat pada Tabel 1. Algoritma Laili (kombinasi Band 4 dan Band 2) dan Maslukah (Band 3) memberikan estimasi yang rendah (12.58–16.09 mg/L) dibandingkan data lapangan (25–58 mg/L), sedangkan algoritma Wirasatriya (Band 4) menunjukkan rentang yang sangat lebar dan overestimasi, sementara algoritma Ajiperwata (Band 4) menghasilkan nilai yang mendekati pengukuran lapangan. Perbedaan hasil ini disebabkan oleh dinamika perairan yang berbeda di masing-masing lokasi pengembangan algoritma.

Menurut Ajiperwata *et al.* (2023), jika estimasi MPT tidak mendekati nilai lapangan, perlu dikembangkan algoritma baru. Pengembangan algoritma baru pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data stasiun genap (14 stasiun). Penelitian ini mengembangkan algoritma baru berbasis Band 3 (green) karena menunjukkan nilai determinasi yang lebih tinggi ($r^2 = 0.4216$) dibandingkan Band 2 dan Band 4 yang dapat dilihat pada Gambar 2. Pendekatan ini sejalan dengan Maslukah *et al.* (2024a) di Perairan Bodri, Kendal, yang juga menggunakan Band 3 sebagai atribut utama. Algoritma baru dibangun menggunakan regresi polinomial orde 2, karena model tersebut menunjukkan korelasi lebih tinggi dibandingkan model eksponensial, logaritmik, atau linear, sebagaimana didukung oleh Ondrusek *et al.* (2012) di Pelabuhan Cheapsake. Penerapan algoritma baru menghasilkan nilai MPT antara 30,39–47,50 mg/L (rata-rata 39,90 mg/L). Perbedaan hasil ini disebabkan oleh dinamika perairan yang berbeda di masing-masing lokasi pengembangan algoritma.

Tabel 1. Perbandingan Nilai MPT Lapangan dengan MPT Prediksi

MPT (mg/L)	Lapangan	Laili	Maslukah	Wirasatriya	Ajiperwata	Baru (Band 3)
Min	25	12.58	9.50	27.21	28.37	30.39
Max	58	15.27	16.09	102.92	61.44	47.50
Rata-rata	39.19	13.42	11.54	48.98	37.88	39.90



Gambar 2. Korelasi antara Nilai Reflektansi Band 4, 3 dan 2 dengan Nilai MPT Lapangan

Pengujian validasi statistik (Tabel 2) mengungkapkan bahwa algoritma Laili dan Maslukah memiliki performa yang kurang baik dengan RMSE masing-masing 26,95 mg/L dan 28,55 mg/L, MAPE di atas 59%, serta bias negatif yang menunjukkan underestimasi. Sedangkan untuk algoritma Wirasatriya menunjukkan MAPE yang lebih rendah dan nilai bias adalah positif sebesar 10,69 yang mengindikasikan overestimasi. Di sisi lain, algoritma Ajiperwata menghasilkan RMSE 12,07 mg/L, MAPE 21,31%, dan bias -0,85, yang lebih mendekati nilai pengukuran lapangan.

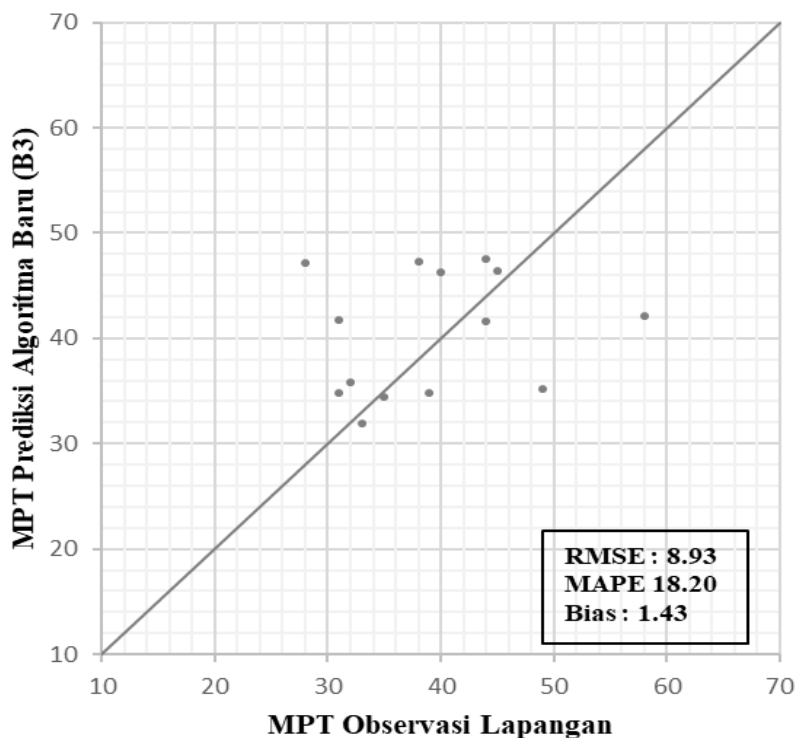
Selanjutnya, penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan algoritma baru berbasis Band 3 menunjukkan performa terbaik dengan RMSE 8,93 mg/L, MAPE 18%, dan bias 1,43. Gambar 3 menggambarkan plot scatter nilai MPT lapangan versus MPT prediksi. Meskipun terdapat sedikit sebaran di sekitar garis ideal, sebagian besar titik terkonsentrasi dekat garis 1:1, menandakan performa yang baik dalam memprediksi konsentrasi MPT di wilayah studi. Sehingga, algoritma ini memiliki sensitivitas yang tinggi dalam menggambarkan kondisi MPT di Muara Sungai Loji yang ditunjukkan pada persamaan 1 :

$$MPT \left(\frac{mg}{L} \right) = -13066(Rrs\ Green)^2 + 2699,3(Rrs\ Green) - 91,805 \quad (1)$$

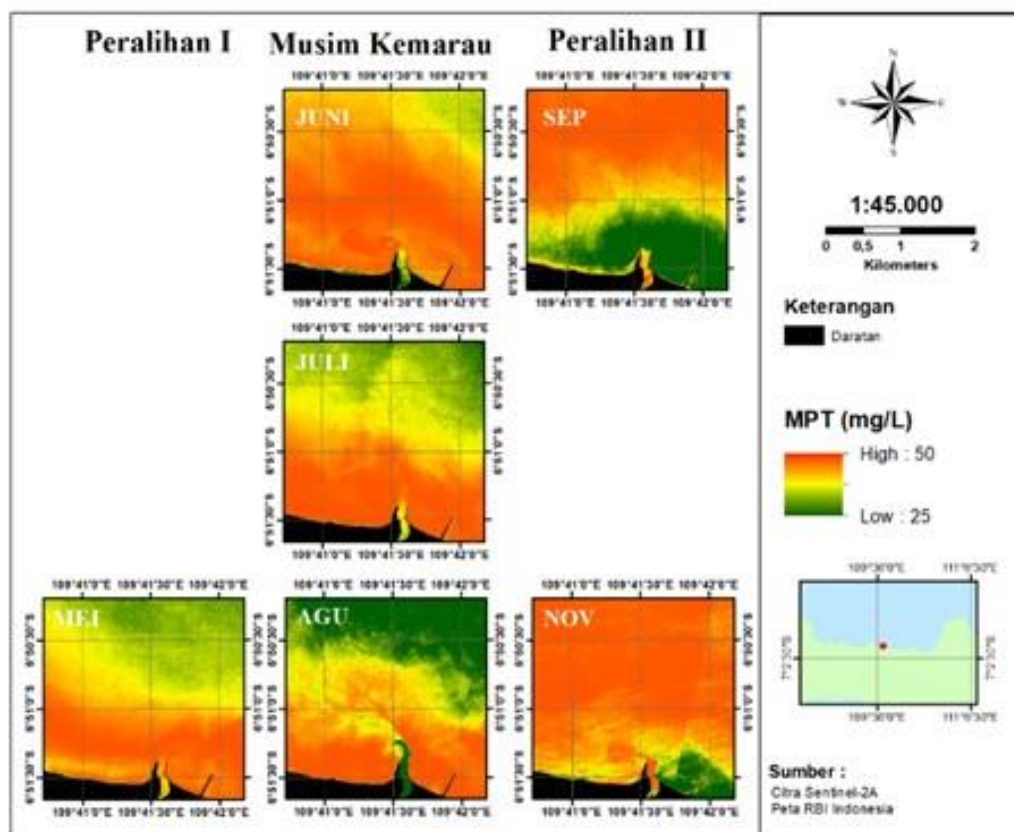
Keterangan : Rrs Green = Nilai Reflektan Band 3 (Hijau)

Tabel 2. Pengujian Error Secara Statistik

Algoritma	Parameter Statistik		
	RMSE (mg/L)	MAPE (%)	Bias
Laili (B2/B4)	26,95	59,90	-25,66
Maslukah (B3)	28,55	64,24	-27,35
Wirasatriya (B4)	24,02	43,46	10,69
Ajiperwata (B4)	12,07	21,31	-0,85
Baru (B3)	8,93	18,20	1,43



Gambar 3. Korelasi Nilai MPT Lapangan dengan MPT Prediksi Menggunakan Algoritma Baru



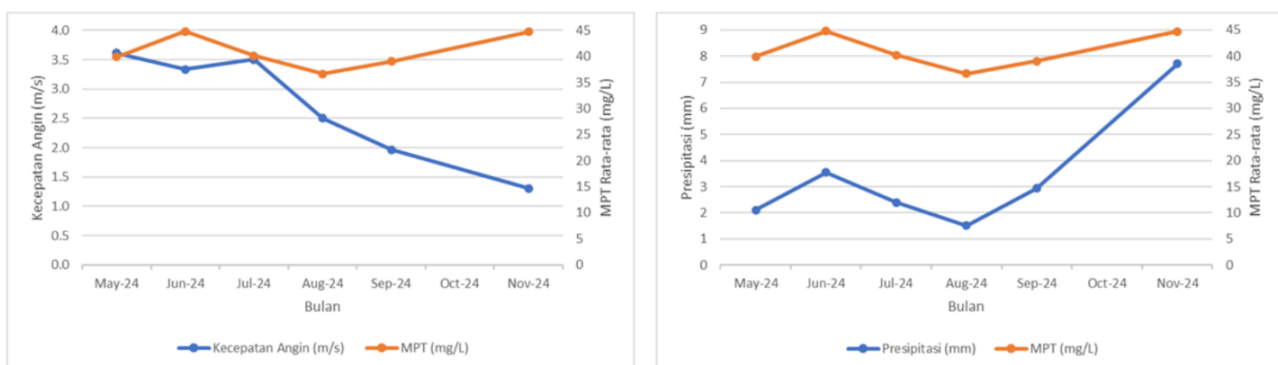
Gambar 4. Sebaran Spasial Temporal Prediksi MPT Menggunakan Algoritma Baru: a) 30 Mei 2024, b) 29 Juni 2024, c) 20 Juli 2024, d) 3 Agustus 2024, e) 22 September 2024, f) 6 November 2024

Sebaran MPT secara temporal dianalisis menggunakan Algoritma Baru (B3) dengan pengelompokan musim: Peralihan I (Mei), Musim Kemarau (Juni–Agustus), dan Peralihan II (September dan November) (Gambar 4), Bulan Desember–Maret serta Oktober tidak disertakan karena tutupan awan yang tinggi. Munawaroh *et al.*, (2023) menjelaskan bahwa tutupan awan dapat mengganggu interpretasi citra optis. Nilai MPT terendah tercatat 12 mg/L pada September, sedangkan nilai tertinggi mencapai 48 mg/L pada bulan Juni, Juli, September, dan November. Pada Mei, MPT berada di kisaran 30–47 mg/L (rata-rata 40 mg/L), menunjukkan kekeruhan tinggi akibat limpasan sungai yang membawa material dan limbah antropogenik (Al Faridizie *et al.*, 2023). Di Musim Kemarau, meskipun curah hujan menurun, MPT tetap tinggi terutama di Juni (38–48 mg/L, rata-rata 45 mg/L) menandakan peran resuspensi dan arus pasang surut, seperti yang dijelaskan oleh Yusuf *et al.* (2021). Pada Agustus, terjadi penurunan hingga 21 mg/L, namun kekeruhan di sekitar muara masih tinggi. Pada Peralihan II, nilai MPT kembali bervariasi, dengan rata-rata 39 mg/L di September dan 45 mg/L di November. Secara keseluruhan, fluktuasi MPT sepanjang tahun mengindikasikan bahwa selain faktor musim dan curah hujan, proses pasang surut dan limpasan sedimen juga berperan penting dalam menentukan kekeruhan di Muara Sungai Loji.

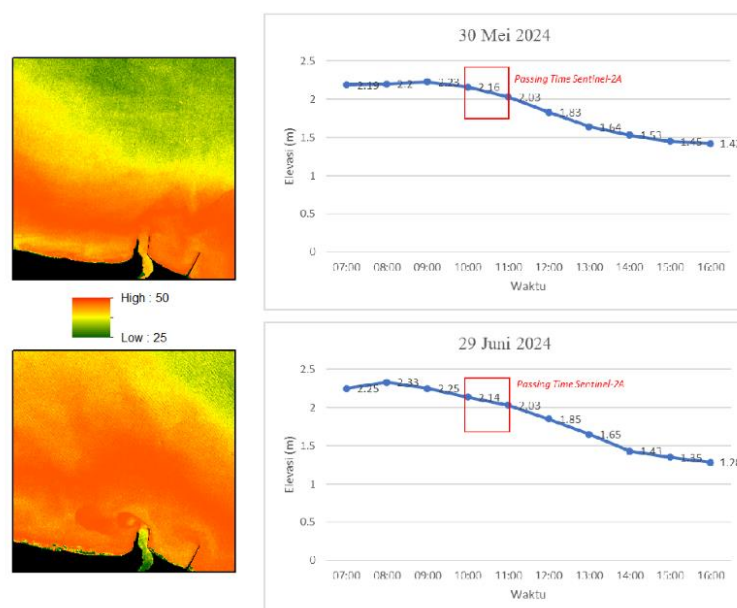
Variasi spasial dan temporal tersebut selanjutnya pada penelitian ini, dikaitkan dengan parameter lingkungannya seperti angin (Gambar 5) dan presipitasi serta kondisi pasang surut. Berdasarkan **Gambar 5**, meskipun kecepatan angin bervariasi, perubahan MPT tidak selalu sejalan. Misalnya, pada Juni, meski angin turun dari 3,6 m/s ke 3,3 m/s, MPT naik dari 40 mg/L ke 45 mg/L; sedangkan di Juli, peningkatan angin ke 3,5 m/s disertai penurunan MPT ke 40 mg/L. Pola ini menunjukkan bahwa pengaruh angin terhadap MPT tidak bersifat linier, sebagaimana dilaporkan oleh Wirasatriya *et al.* (2023) pada penelitiannya di Banjir Kanal Barat, Semarang. Di sisi lain, pada Agustus, September, dan November, penurunan kecepatan angin diiringi peningkatan MPT, berbeda dengan hasil Park (2007) yang menemukan korelasi positif antara kecepatan angin dan MPT. Hal ini mengindikasikan bahwa di Muara Loji, angin tenang menyebabkan TSS cenderung

mengendap di muara, sedangkan angin kencang menyebabkan sedimen lebih terdistribusi. Grafik presipitasi menunjukkan hubungan lebih konsisten dengan MPT; kenaikan curah hujan dari 2 mm di Mei ke 4 mm di Juni diikuti kenaikan MPT dari 40 mg/L ke 45 mg/L, dan peningkatan presipitasi hingga 8 mm di November kembali menaikkan MPT ke 45 mg/L. Maslukah *et al.* (2024a) dan Cahyono *et al.* (2015) menyatakan bahwa peningkatan curah hujan secara signifikan meningkatkan MPT, mengindikasikan peran penting limpasan sedimen dari daratan dalam menentukan kekeruhan di muara.

Elevasi pasang surut memainkan peran penting dalam distribusi MPT. Menurut Pristiwan *et al.* (2015), saat pasang, sedimen yang terbawa aliran sungai berkumpul di muara karena pencampuran, dan volume besar air laut mengencerkan massa air sungai sehingga konsentrasi MPT menurun. Sebaliknya, pada saat surut, sedimen cenderung menyebar lebih jauh ke laut lepas. Gambar 6 menunjukkan pola pasang surut serupa pada 30 Mei 2024 dan 29 Juni 2024, terutama sekitar jam 10.00 WIB, yang mengindikasikan kondisi menuju surut. Pola MPT pada citra mendukung hal tersebut dengan konsentrasi yang lebih tinggi di dekat muara, menunjukkan bahwa saat surut awal sedimen masih tertahan di daratan sebelum terdorong ke laut. Secara keseluruhan, interaksi antara curah hujan yang meningkatkan limpasan sedimen dan elevasi pasang surut yang mengatur distribusi partikel menghasilkan pola MPT yang kompleks di Muara Sungai Loji.



Gambar 5. Grafik Hubungan Kecepatan Angin (kiri) dan Presipitasi (kanan) dengan Nilai Konsentrasi MPT Rata-Rata Secara Temporal



Gambar 6. Pengaruh Elevasi Pasang Surut terhadap Pola Sebaran MPT Pada 30 Mei 2024 dan 29 Juni 2024

KESIMPULAN

Kinerja algoritma dari perairan yang berbeda, memiliki akurasi yang rendah dibanding algoritma hasil pengembangan sendiri. Pengembangan algoritma dapat dilakukan dengan menggunakan metode empiris, yaitu dengan mencari hubungan antara data MPT in situ dengan data reflektan produk Sentinel-2. Pada penelitian ini memperlihatkan bahwa pengembangan algoritma dengan Band 3 (hijau) menunjukkan kinerja (performa) terbaik untuk memperkirakan konsentrasi MPT di Perairan Muara Sungai Loji dengan persamaan : $MPT \text{ (mg/L)} = -13066(Rrs \text{ Green})^2 + 2699.3(Rrs \text{ Green}) - 91.805$. Algoritma ini menghasilkan prediksi nilai MPT yang sangat mendekati pengamatan lapangan dengan kesalahan minimal. Analisis temporal mengungkapkan bahwa kekeruhan di muara sudah tinggi sejak awal pengamatan (Musim Peralihan I) dan tetap tinggi selama Musim Kemarau berkaitan resuspensi sedimen, sementara variasi yang muncul pada periode peralihan menandakan peran signifikan faktor lokal seperti limpasan sedimen dan pergerakan air. Variasi temporal MPT tidak berkaitan dengan pengaruh langsung terhadap kecepatan angin namun lebih berkaitan dengan curah hujan dan pola pasang surut. Temuan ini secara jelas menjawab bahwa kalibrasi data in situ atau pengembangan algoritma sangat penting untuk monitoring klorofil-a dengan hasil yang memuaskan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh hibah dari Universitas Diponegoro yang merupakan bagian dari penelitian RPIBT nomor kontrak: 609-115/UN7.D2/PP/VII/2024.

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.
- Al Faridzie, M., 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.
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. SNI 06-6989.3-2004: Air dan Air Limbah, Bagian 3: Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid, TSS) Secara Gravimetri. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Cahyono, B. E., Jamilah, U. L., Misto, M., Nugroho, A. T., & Subekti, A., 2019. Analysis of Total Suspended Solids (TSS) at Bedadung River, Jember District of Indonesia Using Remote Sensing Sentinel 2A Data. *Singapore J. Sci. Res.*, 9 (4): 117-123. DOI: 10.3923/sjsres.2019.117.123
- Campbell, S., Greenwood, M., Prior, S., Shearer, T., Walkem, K., Young, S., & Walker, K., 2020., Purposive Sampling: Complex Or Simple? Research Case Examples. *Journal of research in Nursing*, 25(8): 652-661.
- Cianca, 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:10.3390/rs12132147>
- Doxaran, D., Lamquin, N., Park, Y.-J., Mazeran, C., Ryu, J.-H., Wang, M., & Poteau, A., 2014. Retrieval of the seawater reflectance for suspended solids monitoring in the East China Sea using MODIS, MERIS and GOCI satellite data. *Remote Sens. Environ.* 146: 36–48.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., & Michaelsen, J., 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*, 2(1):1-21.
- Global Modeling and Assimilation Office (GMAO). 2015. *inst3_3d_asm_Cp: MERRA-2 3D IAU State, Meteorology Instantaneous 3-hourly (p-coord, 0.625x0.5L42), version 5.12.4*, Greenbelt, MD, USA: Goddard Space Flight Center Distributed Active Archive Center (GSFC DAAC), Accessed February 21st, 2025 at doi: 10.5067/VJAFPLI1CSIV.

- Hafeez, S., Wong, M.S., Abbas, S., & Asim, M. 2022. Evaluating Landsat-8 and Sentinel-2 data consistency for high spatiotemporal inland and coastal water quality monitoring. *Remote Sensing*, 14(13): 3155. <https://doi.org/10.3390/rs14133155>
- Latifa, A., & Marsisno, W., 2024. Perbandingan Algoritma dan Pemetaan Total Suspended Solid di Kawasan Pesisir Indonesia Berdasarkan Data Penginderaan Jauh Berbasis Google Earth Engine. In *Seminar Nasional Official Statistics*, Vol. 2024, No. 1, pp. 471-480.
- 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). <https://doi.org/10.3390/rs9070761>
- Maslukah, L., Wirasatriya, A., Indrayanti, E., & Krisna, H. N., 2023. Estimation of Chlorophyll-a and Total Suspended Solid Based on Observation and Sentinel-2 Imagery in Coastal Water Teluk Awur, Jepara-Indonesia. *International Journal of Geoinformatics*, 19(8): 18-27.
- Maslukah, L., Basayep, I., Wirasatriya, A., Indrayanti, E., Prasetyawan, I. B., & Wijaya, Y. J., 2024a. Application of Sentinel-2 imagery for total suspended solids mapping off the Bodri River, Kendal Regency, Indonesia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 36, 101379.
- Maslukah, L., Wirasatriya, A., Wijaya, Y. J., Ismunarti, D. H., Widiarati, R., dan Krisna, H. N., 2024. The Assessment Of Chlorophyll-A Retrieval Algorithm and Its Spatial-Temporal Distribution Using Sentinel-2 MSI Off The Banjir Kanal Timur River, Semarang, Indonesia. *Regional Studies in Marine Science*, 103556.
- 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. DOI: 10.14710/ijoce.v3i3.11704
- Munawaroh, M., Wicaksono, P., & Rudiastuti, A. W., 2023. Pemetaan cepat batimetri perairan dangkal menggunakan citra Sentinel-2 dan Google Earth Engine di Perairan Tanjung Kelayang-Pulau Belitung. *Majalah Geografi Indonesia*, 37(2): 168-185.
- Ondrusek, M., Stengel, E., Kinkade, C. S., Vogel, R. L., Keegstra, P., Hunter, C., & Kim, C. 2012. The development of a new optical total suspended matter algorithm for the Chesapeake Bay. *Remote Sensing of Environment*, 119:243-254.
- Ouma, Y. O., Noor, K., & Herbert, K., 2020. Modelling Reservoir Chlorophyll-a, TSS, and Turbidity Using Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI Satellite Sensors with Empirical Multivariate Regression. *Journal of Sensors*, 2020(1), 8858408.
- Park, G. S. 2007., The role and distribution of total suspended solids in the macrotidal coastal waters of Korea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 135:153-162.
- 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.
- Premkumar, R., Venkatachalapathy, R., & Visweswaran, S. 2021. Mapping of total suspended matter based on Sentinel-2 data on the Hooghly River, India. *Indian Journal of Ecology*, 48(1): 159-165
- Pristiwan, H., Anugroho, A., & Nugroho D., 2015. Pemetaan Muatan Padatan Tersuspensi di Perairan Muara Banjir Kanal Barat Semarang Menggunakan Data Satelit Landsat 8. *Jurnal Oseanografi* 4(1): 280-86.
- Saberioo, M., Brom, J., Nedbal, V., Souček, P., & Císař, P. 2020. Chlorophyll-a and total suspended solids retrieval and mapping using Sentinel-2A and machine learning for inland waters. *Ecol. Indic.* (113) 106236. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106236>.
- 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 Higashihiroshima, Japan. *Remote Sensing*, 9(264): 1-14.
- 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.
- Wulandari, S. Y., Yulianto, B., Radjasa, O. K., Ismunarti, D. H., & Sedjati, S., 2022. Korelasi Konsentrasi Mikroplastik dengan Material Padatan Tersuspensi (MPT) di Perairan Delta Sungai Bodri, Kendal, Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(3):448-455.

- Yu, X., Lee, Z., Shen, F., Wang, M., Wei, J., Jiang, L., & Shang, Z. 2019. An empirical algorithm to seamlessly retrieve the concentration of suspended particulate matter from water color across ocean to turbid river mouths. *Remote Sensing of Environment*, 235(111491). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111491>
- Yusuf, M, A Pamungkas, M Hudatwi, & Irvani. 2021. Distribution of Turbidity Values, Total Suspended Solids and Heavy Metals Pb, Cu in Tanah Merah Beach Waters and Semujur Island Waters, Bangka Tengah Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 750(1):012038.