

# Analisis Tren Spasial-Temporal Total Suspended Solids (TSS) Periode 2018-2025 Menggunakan Model Regresi Band 8 Near-Infrared Sentinel-2 (Studi Kasus: Waduk Gajah Mungkur, Wonogiri)

Muhammad Habi Bulloh <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Geografi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Amikom Yogyakarta, Sleman Yogyakarta, 55283, Indonesia

<sup>\*)</sup> Email Korespondensi: [bulloh.geograf@gmail.com](mailto:bulloh.geograf@gmail.com)

---

## Abstract

### Sitasi:

Bulloh, M. H. (2025). *Analisis Tren Spasial-Temporal Total Suspended Solids (TSS) Periode 2018-2025 Menggunakan Model Regresi Band 8 Near-Infrared Sentinel-2*. Jurnal Sains Geografi. Vol. 4, No. 1.

### Sejarah Artikel:

Diterima: 16 Mei 2026  
Revisi: 25 Mei 2026  
Disetujui: 12 Juni 2026  
Online: 16 Juni 2026  
Publikasi: 31 Mei 2026

Sedimentation poses a major threat to the sustainability of the Gajah Mungkur Reservoir (WGM) as a strategic water resource infrastructure. This study aims to map the spatial-temporal dynamics of Total Suspended Solid (TSS) in WGM using Sentinel-2 MSI satellite imagery for the periods of 2018, 2022, and 2025. The method integrates in-situ measurements with reflectance extraction from the Near-Infrared channel (Band 8). Linear regression analysis yielded a TSS estimation algorithm with very high accuracy, indicated by a Coefficient of Determination ( $R^2$ ) of 0.969. Mapping results reveal that sediment distribution is heavily influenced by climate variability. In dry years (2018 and 2025), sedimentation was concentrated in marginal areas due to resuspension mechanisms, while the reservoir's main body remained relatively clear. Conversely, the wet climate anomaly (La Niña) in 2022 triggered a massive turbidity spike covering the entire reservoir surface. Crucially, the study identifies the Keduang Sub-watershed as a consistent and dominant sediment pollutant source across all seasonal conditions. Consequently, reservoir management strategies must prioritize source-control erosion management through land conservation in the upstream Keduang area rather than relying solely on downstream dredging.

Keyword: Gajah Mungkur Reservoir, TSS, Sentinel-2, Sedimentation, Keduang Sub-watershed.

---

## Abstrak



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Sedimentasi merupakan ancaman utama bagi keberlanjutan fungsi Waduk Gajah Mungkur (WGM) sebagai infrastruktur strategis sumber daya air. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan dinamika spasial-temporal *Total Suspended Solid* (TSS) di WGM menggunakan citra satelit Sentinel-2 MSI pada periode 2018, 2022, dan 2025. Metode yang digunakan adalah integrasi data pengukuran lapangan (*in-situ*) dengan ekstraksi nilai reflektansi saluran *Near-Infrared* (Band 8). Analisis regresi linier menghasilkan model algoritma estimasi TSS dengan akurasi yang sangat tinggi, ditunjukkan oleh nilai Koefisien Determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,969. Hasil pemetaan menunjukkan bahwa distribusi sedimen sangat dipengaruhi

oleh variabilitas iklim. Pada tahun kering (2018 dan 2025), sedimentasi terkonsentrasi di area tepian akibat mekanisme resuspensi, sementara area tengah waduk relatif jernih. Sebaliknya, fenomena anomali iklim basah (*La Niña*) pada tahun 2022 memicu lonjakan kekeruhan yang meluas hingga menutupi seluruh permukaan waduk. Temuan krusial menunjukkan bahwa Sub-DAS Keduang konsisten menjadi penyumbang polutan sedimen terbesar dalam segala kondisi musim. Oleh karena itu, strategi pengelolaan waduk harus memprioritaskan pengendalian erosi berbasis konservasi lahan di wilayah hulu Keduang daripada sekadar pengerukan di hilir.

Kata Kunci: TSS, Sentinel-2, Sedimentasi, Sub-DAS Keduang, Waduk Gajah Mungkur.

---

## 1. PENDAHULUAN

Waduk Gajah Mungkur (WGM) memegang peranan vital sebagai infrastruktur multiguna untuk irigasi, pembangkit listrik, pariwisata, dan pengendalian banjir di Pulau Jawa. Namun, keberlanjutan fungsi strategis ini terancam oleh laju sedimentasi tinggi yang mereduksi kapasitas tampung waduk secara signifikan. Material sedimen yang masuk didominasi oleh Total Suspended Solid (TSS), yang tidak hanya memicu pendangkalan tetapi juga menghalangi penetrasi cahaya matahari dan merusak keseimbangan ekosistem akuatik akibat kekeruhan ekstrem (Hidayah et al., 2025).

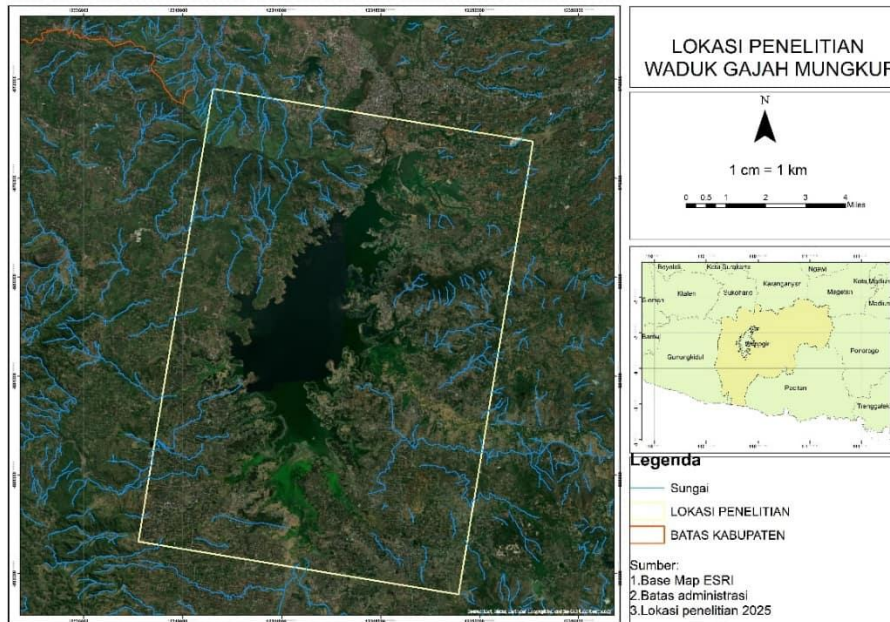
Tingginya pasokan sedimen ini berkorelasi linear dengan degradasi lahan di wilayah hulu, khususnya akibat alih fungsi lahan tanpa kaidah konservasi. Sub-DAS Keduang teridentifikasi sebagai penyumbang beban sedimen terbesar karena karakteristik tanahnya yang peka erosi dan topografi curam. Pemantauan distribusi sedimen ini seringkali terkendala jika hanya mengandalkan metode in-situ yang mahal dan terbatas cakupannya. Oleh karena itu, teknologi penginderaan jauh menawarkan solusi pemantauan yang efektif secara spasial dan temporal.

Penelitian ini memanfaatkan citra satelit Sentinel-2 MSI yang memiliki resolusi spasial 10 meter, sehingga mampu mendeteksi variasi TSS dengan lebih detail dibandingkan sensor generasi sebelumnya. Analisis difokuskan pada saluran Near-Infrared (Band 8) yang memiliki respons spektral sensitif terhadap konsentrasi materi tersuspensi (Zhang et al., 2023). Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memetakan sebaran dan menganalisis tren dinamika TSS di Waduk Gajah Mungkur pada periode 2018 hingga 2025 sebagai landasan ilmiah pengelolaan waduk yang berkelanjutan.

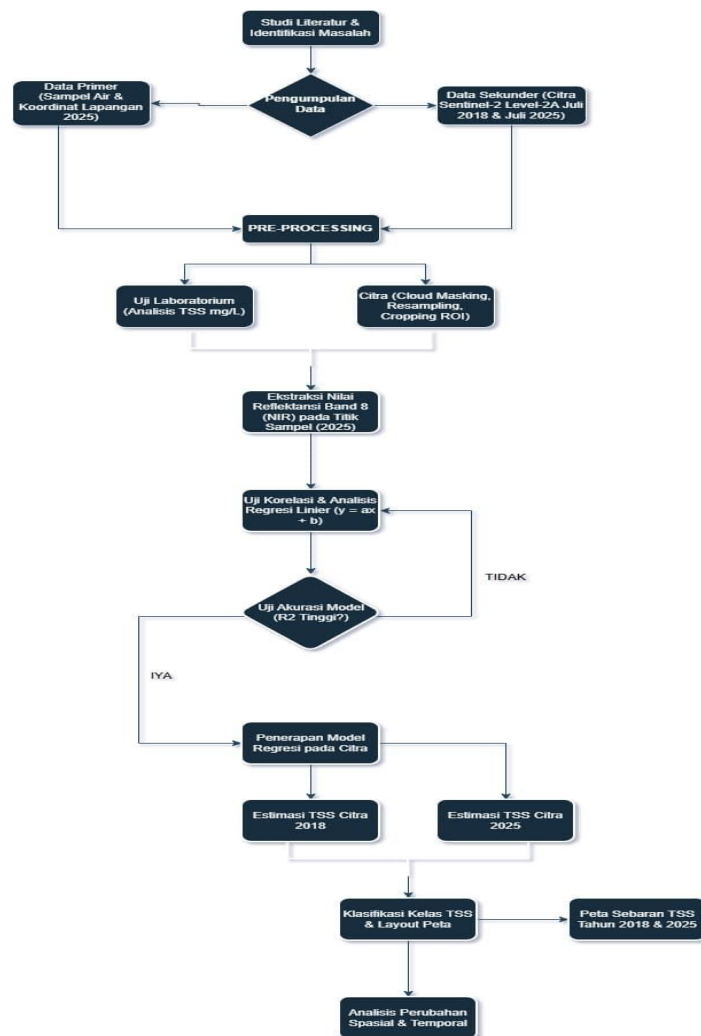
## 2. METODE

### 2.1 Lokasi dan Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan di Waduk Gajah Mungkur, Kabupaten Wonogiri, Jawa Tengah pada koordinat 7°50' - 8°03' LS dan 110°51' - 111°03' BT. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan integrasi data primer dan sekunder. Secara rinci, peta penelitian ada di gambar 1 sedangkan tahapan pelaksanaan penelitian mulai dari pra-pemrosesan hingga analisis spasial disajikan pada diagram alir di bawah ini.



Gambar 1. Lokasi penelitian



Gambar 2. alur pelaksanaan penelitian

## 2.2 Pengumpulan Data

Data primer berupa sampel *Total Suspended Solid* (TSS) diambil pada 10 Juli 2025 menggunakan metode *purposive sampling* di 25 stasiun pengamatan. Analisis kadar TSS dilakukan secara gravimetri sesuai standar SNI 06-6989.3-2004. Sedangkan data sekunder berupa citra satelit Sentinel-2 MSI Level-2A (*Surface Reflectance*) perekaman Juli 2018 dan Juli 2025 diunduh melalui platform *Google Earth Engine*. Ekstraksi nilai reflektansi difokuskan pada Band 8 (*Near-Infrared*) karena sensitivitasnya yang tinggi terhadap material padatan tersuspensi (Hidayah et al., 2025).

Data lapangan yang diperoleh kemudian disandingkan dengan nilai piksel citra pada koordinat yang sama untuk digunakan sebagai basis data pembangunan model. Rincian data sampel yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data TSS Lapangan

TSS_lapang	b8_25
15.0	0.0292
15.0	0.0094
20.0	0.0394
27.0	0.0230
63.0	0.0515
21.0	0.0177
26.0	0.0104
20.0	0.0206
90.0	0.0989
493.0	0.3530
22.0	0.0303
21.0	0.0379
16.0	0.0148
18.0	0.0119
17.0	0.0119
19.0	0.0087
21.0	0.0114
18.0	0.0067
18.0	0.0102
19.0	0.0064
19.0	0.0093
19.0	0.0106
18.0	0.0076
22.0	0.0097
21.0	0.0416

Sumber: Data lapangan dan Citra satelit Sentinel-2

## 2.3 Analisis Data

Hubungan antara data konsentrasi TSS hasil pengukuran lapangan (*in-situ*) dan nilai reflektansi citra Sentinel-2 dimodelkan menggunakan Analisis Regresi Linier Sederhana. Model ini bertujuan untuk membangun algoritma estimasi TSS pada seluruh piksel citra berdasarkan persamaan matematis sebagai berikut:

Rumus Regresi Linier Sederhana:

$$y = ax + b \dots\dots\dots(1)$$

y = Konsentrasi TSS (mg/L)

x = Nilai Reflektansi Citra (Band 8)

a = Koefisien regresi (*slope*)

b = Konstanta (*intercept*)

Setelah model terbentuk, dilakukan uji validasi untuk mengetahui tingkat akurasi model tersebut dalam mengestimasi TSS. Parameter statistik yang digunakan adalah Koefisien Determinasi ( $R^2$ ), yang menunjukkan seberapa besar variabel reflektansi citra mampu menjelaskan variasi konsentrasi TSS di lapangan. Rumus koefisien determinasi adalah sebagai berikut:

Rumus Koefisien Determinasi ( $R^2$ )

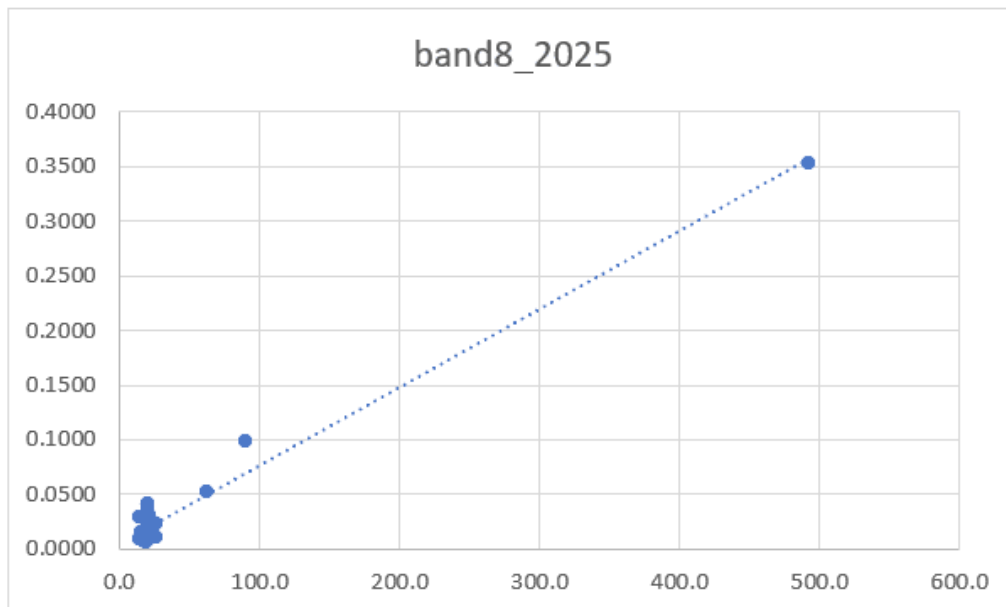
$$R^2 = \left( \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{([n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2])}} \right)^2 \dots\dots\dots(2)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. EVALUASI DAN VALIDASI MODEL ESTIMASI TSS

Pengembangan model estimasi *Total Suspended Solid* (TSS) dalam penelitian ini menggunakan pendekatan regresi empiris berbasis saluran tunggal (*single band*). Berbeda dengan penggunaan indeks rasio seperti NDWI yang seringkali bias pada perairan keruh kompleks, penggunaan Band 8 (*Near-Infrared/NIR*) dipilih karena sensitivitasnya yang tinggi terhadap variasi konsentrasi sedimen di perairan tropis seperti Waduk Gajah Mungkur (Astuti et al., 2024).

Berdasarkan hasil uji korelasi Pearson terhadap 25 titik sampel lapangan (*in-situ*) yang diambil pada Juli 2025, ditemukan hubungan linier positif yang sangat kuat antara nilai reflektansi Band 8 Sentinel-2 dengan konsentrasi TSS. Sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 2, sebaran data membentuk pola linier yang konsisten, di mana peningkatan konsentrasi TSS diikuti oleh peningkatan nilai reflektansi secara signifikan.



Gambar 3. Grafik *Scatter Plot*

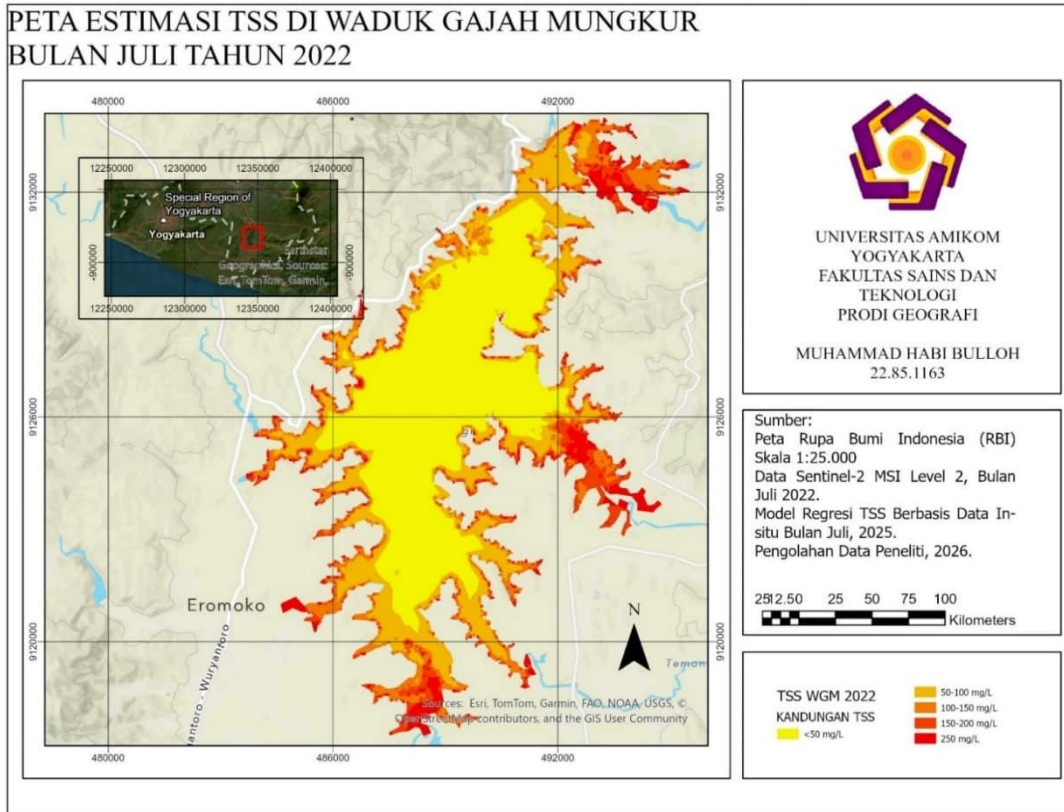
Analisis statistik menghasilkan nilai Koefisien Korelasi ( $R^2$ ) sebesar 0,985 dan Koefisien Determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,969. Nilai  $R^2$  ini mengindikasikan bahwa 96,9% variasi konsentrasi TSS di lapangan dapat dijelaskan dengan sangat baik oleh variabel reflektansi Band 8, sementara sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Berdasarkan hasil tersebut, model persamaan regresi yang terbentuk adalah:

$$y = 1352,9x - 4,580 \quad (P\text{-value} < 0.05)$$

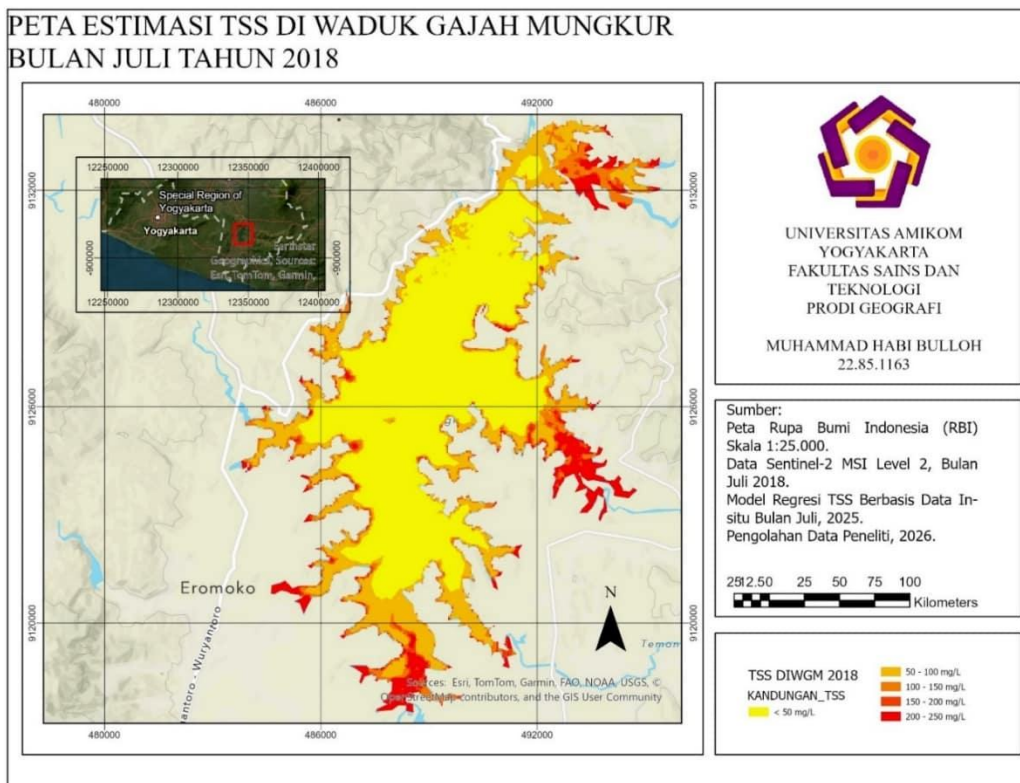
Tingginya akurasi model pada saluran NIR (panjang gelombang ~842 nm) disebabkan oleh karakteristik interaksi fisik antara cahaya dan materi tersuspensi. Partikel sedimen memiliki sifat memantulkan kembali (*backscattering*) radiasi gelombang NIR lebih kuat dibandingkan air jernih yang cenderung menyerapnya. Fenomena ini sejalan dengan temuan (Bioresita et al., 2018) yang menyatakan bahwa saluran NIR merupakan prediktor paling optimal untuk memetakan TSS pada rentang konsentrasi yang lebar.

### 3.2. Dinamika Spasial-Temporal Sedimentasi (2018–2025)

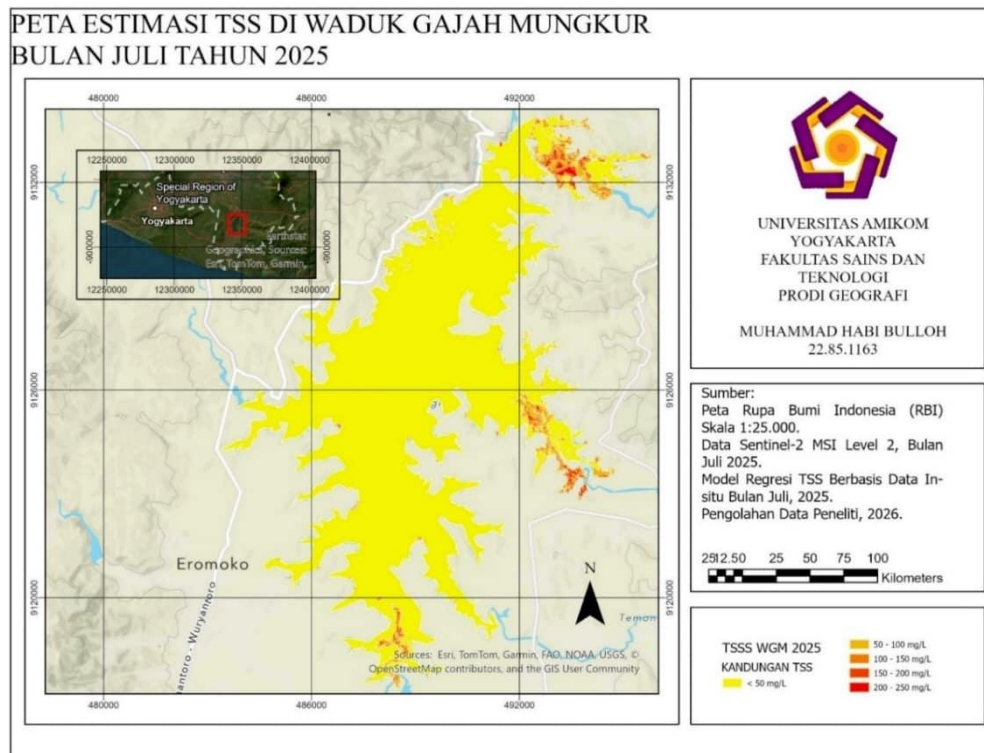
Penerapan model pada citra *time-series* tahun 2018, 2022, dan 2025 mengungkapkan fluktuasi sedimentasi yang signifikan di Waduk Gajah Mungkur. Peta sebaran spasial hasil pengolahan citra disajikan pada Gambar 3.



Gambar 4. Peta sedimentasi tahun 2018



Gambar 5. Peta sedimentasi tahun 2022



Gambar 6, Peta sedimentasi tahun 2025

Visualisasi pada Gambar 4,5 dan 6 memperlihatkan perbedaan pola yang kontras yang dipengaruhi oleh faktor klimatologis,

#### 1. Pola Musim Kering (2018 dan 2025)

Visualisasi pada tahun 2018 dan 2025 memperlihatkan karakteristik sedimentasi pada puncak musim kemarau (Juli), di mana intensitas hujan dan debit aliran sungai (*inflow*) dari hulu sangat minim. Secara umum, area tubuh waduk (*main body*) didominasi warna kuning (TSS rendah <50 mg/L) karena minimnya suplai sedimen baru, yang memungkinkan terjadinya proses pengendapan partikel (*settling*) di kolom air yang tenang.

Namun, terdapat perbedaan visual spesifik di mana zona tepian pada tahun 2018 terlihat memiliki konsentrasi TSS yang lebih tinggi dibandingkan tahun 2025. Fenomena ini diindikasikan terjadi akibat mekanisme resuspensi sedimen dasar dan adanya fenomena kekeringan hidrologis, berdasarkan historis lapangan periode musim kemarau tahun 2018 mencatat penurunan elevasi muka air waduk sehingga munculnya kembali situs pemukiman lama. Pada bulan Juli 2018 (Surya, 2018), kondisi muka air waduk mengalami penyusutan musiman yang signifikan. Pada perairan dangkal, endapan lumpur di dasar waduk sangat rentan teraduk kembali (*resuspension*) ke permukaan akibat dinamika angin dan arus internal waduk. Akibatnya, sensor satelit menangkap nilai pantulan spektral yang tinggi di area tepian tersebut, meskipun tidak ada banjir kiriman dari sungai.

Sebaliknya, pada tahun 2025, meskipun pola distribusi relatif sama (kuning di tengah), intensitas kekeruhan di tepian tampak lebih rendah, yang dapat merepresentasikan kondisi muka air yang relatif lebih stabil atau kondisi atmosfer (angin) yang lebih tenang saat perekaman citra. Konsistensi zona merah hanya

ditemukan secara persisten di muara Sub-DAS Keduang, yang mengonfirmasi statusnya sebagai penyumbang sedimen paling aktif dalam berbagai kondisi musim.

## 2. Anomali Tahun Basah (2022)

Pola sebaran tahun 2022 menunjukkan anomali ekstrem akibat fenomena iklim *La Niña* (Kemarau Basah). Tingginya curah hujan memicu lonjakan erosi dan debit limpasan (*runoff*) yang besar. Akibatnya, zona TSS tinggi (warna merah/oranye >150 mg/L) meluas dari muara sungai hingga menutupi hampir seluruh permukaan waduk. Fenomena ini membuktikan bahwa mekanisme pengenceran alami waduk gagal berfungsi saat terjadi input hidrologis ekstrem, yang berpotensi mempercepat laju pendangkalan waduk.

### 3.3. Diskusi Temuan

Temuan penelitian ini menegaskan bahwa sedimentasi di Waduk Gajah Mungkur bersifat sangat dinamis mengikuti siklus hidrologi. Fase "jernih" pada citra satelit tahun 2018 dan 2025 bukan mengindikasikan tidak adanya sedimentasi, melainkan penanda terjadinya fase deposisi sedimen ke dasar waduk.

Konsistensi tingginya TSS di muara Keduang pada seluruh periode pengamatan menjadi temuan kunci. Hal ini mengindikasikan bahwa upaya penanganan sedimentasi tidak cukup hanya mengandalkan pengerukan di area waduk. Diperlukan pergeseran paradigma menuju pengendalian erosi di sumbernya (*source control*) melalui rehabilitasi lahan kritis dan penerapan teknik konservasi tanah dan air di wilayah hulu Sub-DAS Keduang untuk memitigasi dampak sedimentasi secara berkelanjutan.

### 3.4. PEMBAHASAN

#### 3.2.1. Sensitivitas Spektral Sentinel-2 terhadap

Penelitian ini memperkuat validitas penggunaan saluran Near-Infrared (NIR) pada citra Sentinel-2 MSI untuk pemantauan kualitas air perairan darat. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,969 yang diperoleh menunjukkan bahwa Band 8 memiliki sensitivitas yang sangat tinggi terhadap rentang konsentrasi TSS yang lebar, mulai dari kondisi jernih di tubuh waduk hingga keruh pekat di muara sungai.

Hasil ini sejalan dengan studi (Bioresita et al., 2018) dan (Muzdalifah Hidayah, Zainul Wiyanto, 2025), yang menyatakan bahwa pada panjang gelombang ~842 nm (NIR), absorpsi oleh molekul air murni meningkat drastis, sementara partikel sedimen memberikan respons hamburan balik yang kuat. Hal ini meminimalkan kesalahan deteksi akibat pantulan dasar perairan (*bottom reflectance*) yang sering terjadi jika menggunakan saluran tampak (*visible bands*) pada perairan dangkal, menjadikan algoritma ini sangat andal untuk diterapkan di Waduk Gajah Mungkur.

#### 3.2.2. Fenomena Resuspensi pada Musim Kering (2018 dan 2025)

Analisis temporal pada tahun 2018 dan 2025 menyoroti dinamika menarik pada saat musim kemarau. Secara umum, kedua periode ini menunjukkan pola di mana sedimentasi terkonsentrasi di tepian, sementara bagian tengah waduk relatif jernih akibat minimnya debit inflow dari sungai. Kondisi ini memungkinkan terjadinya proses pengendapan gravitasi (*gravitational settling*) partikel suspensi ke dasar waduk.

Namun, pengamatan visual pada peta tahun 2018 memperlihatkan zona kekeruhan di tepian yang lebih intensif dibandingkan tahun 2025. Fenomena ini dapat dijelaskan melalui mekanisme resuspensi sedimen (*sediment resuspension*) dan penurunan elevasi muka air

waduk akibat kekeringan ekstrim pada puncak kemarau tahun 2018, penyusutan volume air mengakibatkan pendangkalan signifikan di area tepian (littoral zone). Dalam kondisi kolom air yang dangkal, endapan lumpur di dasar waduk menjadi sangat rentan teraduk kembali ke permukaan akibat turbulensi yang dipicu oleh hembusan angin atau aktivitas gelombang kecil.

Akibatnya, sensor satelit merekam nilai TSS yang tinggi, yang sebenarnya bukan berasal dari suplai sedimen baru dari sungai, melainkan material lama yang terangkat kembali. Sebaliknya, pada tahun 2025, kondisi perairan teramati lebih stabil, mengindikasikan bahwa faktor hidrometeorologis (angin) saat perekaman citra cenderung lebih tenang atau elevasi muka air yang relatif lebih terjaga dibandingkan 2018.

### 3.2.3. Dampak Anomali Iklim Basah (2022)

Perubahan drastis pola sedimentasi pada tahun 2022 menjadi bukti nyata kerentanan Waduk Gajah Mungkur terhadap variabilitas iklim ekstrem. Meluasnya zona TSS tinggi (>150 mg/L) hingga menutupi hampir seluruh permukaan waduk berkaitan erat dengan fenomena La Niña yang memicu "Kemarau Basah".

Peningkatan curah hujan di Daerah Tangkapan Air (DTA) meningkatkan energi kinetik aliran permukaan (run-off), yang secara masif menggerus lapisan tanah atas (topsoil) di wilayah hulu. Debit sungai yang besar kemudian mentransportasikan material sedimen halus ini hingga ke zona bendungan, mencegah terjadinya pengendapan. Temuan ini mengonfirmasi bahwa mekanisme pemulihan diri (self-purification) waduk melalui pengenceran alami memiliki ambang batas ketika input hidrologis melampaui kapasitas normal, kualitas air akan terdegradasi secara menyeluruh.

### 3.2.4. Peran Dominan Sub-DAS Keduang

Satu pola yang konsisten muncul pada ketiga tahun pengamatan (2018, 2022, dan 2025) adalah persistensi "Zona Merah" (TSS Tinggi) di muara Sub-DAS Keduang. Bahkan pada musim kemarau saat sungai lain tidak membawa sedimen, muara Keduang tetap terdeteksi memiliki konsentrasi TSS tinggi.

Hal ini memvalidasi penelitian sebelumnya oleh (Santoso, 2017) dan (Pradana et al., 2022) yang mengidentifikasi Sub-DAS Keduang sebagai penyumbang beban sedimen terbesar. Karakteristik tanah yang peka erosi, kemiringan lereng curam, dan alih fungsi lahan yang intensif di hulu Keduang menjadikannya sumber polutan sedimen yang kronis. Implikasi manajerial dari temuan ini sangat jelas upaya pengerukan sedimen (dredging) di tubuh waduk tidak akan efektif memberikan solusi jangka panjang tanpa disertai pengendalian erosi di sumbernya (source control) melalui konservasi tanah dan air yang agresif di wilayah Sub-DAS Keduang.

## 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan tiga temuan utama, pertama, citra satelit Sentinel-2 MSI terbukti sangat andal sebagai instrumen pemantauan sedimentasi di Waduk Gajah Mungkur. Pemanfaatan saluran *Near-Infrared* (Band 8) mampu mendeteksi variasi konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) dengan akurasi model yang sangat tinggi ( $R^2 = 0,969$ ), sehingga valid untuk menggantikan survei lapangan konvensional yang mahal.

Kedua, dinamika sedimentasi waduk sangat responsif terhadap anomali iklim. Pada tahun kemarau normal (2018 dan 2025), perairan cenderung jernih di bagian tengah akibat proses pengendapan, namun mengalami kekeruhan di tepian akibat mekanisme resuspensi

sedimen dasar. Sebaliknya, fenomena "Kemarau Basah" (*La Niña*) pada tahun 2022 memicu lonjakan sedimentasi ekstrem yang meluas hingga menutupi seluruh permukaan waduk.

Ketiga, wawasan baru yang diperoleh dari studi ini adalah teridentifikasinya Sub-DAS Keduang sebagai sumber polutan sedimen yang persisten dalam segala kondisi musim. Temuan ini mengimplikasikan bahwa strategi pengelolaan waduk yang hanya berfokus pada pengerukan sedimen (*dredging*) di hilir tidak akan efektif secara berkelanjutan. Diperlukan pergeseran prioritas manajemen menuju pengendalian erosi di sumbernya (*source control*) melalui rehabilitasi lahan kritis secara intensif di wilayah hulu Keduang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, N., Murti, S. H., Widayani, P., Jauh, M. P., Geografi, F., Mada, U. G., Geografi, F., & Mada, U. G. (2024). Kajian total suspended solid (TSS) pada Waduk Gajah Mungkur berdasarkan analisis citra Landsat. *Jurnal Fisika Flux*, 21(1), 137–147.
- Bioresita, F., Pribadi, C. B., Firdaus, H. S., Hariyanto, T., & Puissant, A. (2018). The use of Sentinel-2 imagery for total suspended solids (TSS) estimation in Porong River, Sidoarjo. *Elipsoida: Jurnal Geodesi Dan Geomatika*, 01(01), 1–6.
- Muzdalifah Hidayah, Zainul Wiyanto, D. B. (2025). Pemanfaatan Citra Sentinel-2 untuk Pemetaan Sebaran Total Suspended Solids ( TSS ) di Muara Sungai Porong Sidoarjo *Application of Sentinel-2 Imagery Data to Map the Distribution of Total*. 18(3), 347–358.
- Pradana, H. A., Novita, E., & Purnomo, B. H. (2022). Simulation for water quality management using system dynamics modeling in the Bedadung Watershed, East Java, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(2), 3317–3327. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.092.3317>
- Santoso, A. A. (2017). SUNGAI ( DAS ) BENGAWAN SOLO TERHADAP TOTAL SUSPENDED Jurnal Geodesi Undip OKTOBER 2017. *Jurnal Geodesi Undip OKTOBER*, 6, 463–473.
- Surya, M. (2018, October 19). Awal musim hujan terlambat di Waduk Gajah Mungkur. *Antara News*. <https://www.antaraneews.com/foto/1169685/awal-musim-hujan-terlambat>
- Zhang, X., Huang, J., Chen, J., & Zhao, Y. (2023). Remote sensing monitoring of total suspended solids concentration in Jiaozhou Bay based on multi-source data. *Ecological Indicators*, 154, 110513. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110513>