

Pemantauan Nilai *Total Suspended Solid* dari Citra Sentinel-2A dan Turbidity Lapangan Melalui *Google Earth Engine* (Studi Kasus: Situ Gede Tasikmalaya)

Andre Galih Rismawan*, Hary Nugroho

Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung

*Koresponden email: andre.galih@mhs.itenas.ac.id

Diterima: 1 Agustus 2025

Disetujui: 6 Agustus 2025

Abstract

Monitoring water quality in inland water bodies such as lakes and reservoirs is essential for environmental management. One of the key parameters is Total Suspended Solid (TSS), which indicates water turbidity caused by suspended particles. This study aims to monitor the spatial distribution of TSS in Situ Gede, Tasikmalaya using Sentinel-2A satellite imagery and the Google Earth Engine (GEE) platform. TSS mapping was conducted for three observation periods: February, May, and August 2024. Validation was carried out by comparing TSS estimates with turbidity data from field measurements. The results showed that TSS values ranged from 10.68 mg/L to 45.08 mg/L. A linear correlation analysis between satellite-derived TSS and field turbidity data yielded an R^2 value of 0.186, indicating a weak linear relationship. However, the spatial pattern of TSS distribution from the imagery aligned well with actual field conditions. These findings demonstrate the significant potential of Sentinel-2A imagery and GEE for efficient and spatially explicit water quality monitoring, especially in areas that are difficult to access.

Keywords: *Situ Gede, Total Suspended Solid (TSS), Sentinel-2A, Google Earth Engine, turbidity*

Abstrak

Pemantauan kualitas air pada badan air situ atau danau merupakan hal penting dalam pengelolaan lingkungan. Salah satu parameter penting adalah *Total Suspended Solid* (TSS) yang memperlihatkan tingkat kekeruhan air akibat partikel tersuspensi. Penelitian ini bertujuan untuk memantau sebaran nilai TSS di Situ Gede, Tasikmalaya dengan menggunakan citra satelit Sentinel-2A dan platform *Google Earth Engine* (GEE). Proses pemetaan dilakukan untuk tiga periode waktu, yaitu Februari, Mei, dan Agustus 2024. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil nilai TSS dengan data turbidity dari pengukuran lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai TSS berkisar antara 10,68 mg/L hingga 45,08 mg/L. Uji korelasi linier antara nilai TSS dari citra dan data turbidity lapangan menunjukkan nilai R^2 sebesar 0,186, yang mengindikasikan hubungan linier lemah. Namun demikian, pola spasial sebaran nilai TSS dari citra memiliki kesesuaian dengan kondisi di lapangan. Hasil ini menunjukkan bahwa citra Sentinel-2A dan GEE memiliki potensi besar untuk pemantauan kualitas air secara efisien dan spasial, terutama di lokasi yang sulit diakses.

Kata Kunci: *Situ Gede, Total Suspended Solid (TSS), Sentinel-2A, Google Earth Engine, turbidity*

1. Pendahuluan

Provinsi Jawa Barat memiliki kurang lebih 757 situ dengan volume air total lebih dari 7.5 miliar kubik dan luas lebih dari 23 ribu hektar (Dinas Sumber Daya Air Jawa Barat, 2023). Situ merupakan suatu danau kecil/genangan air di atas tanah yang terbentuk secara alami maupun buatan (Kementerian PUPR, 2024). Situ memiliki fungsi sebagai penampungan sekaligus resapan air, pemasok cadangan air tanah, mengurangi volume air permukaan (*run off*) yang tak tertampung menjadi banjir, pengairan irigasi sawah, serta sarana rekreasi maupun olahraga air (Sulastridkk., 2017).

Salah satu situ yang berperan penting dalam pengelolaan air adalah Situ Gede Tasikmalaya, yang memiliki luas sekitar 47 hektar. Situ Gede dimanfaatkan sebagai pemasok kebutuhan air irigasi persawahan seluas ± 233 Ha dan dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai tempat rekreasi. Berdasarkan fungsi yang strategis ini, pemantauan kualitas air menjadi sesuatu kegiatan yang krusial. Perlu diketahui bahwa jika suatu situ tidak dikelola dengan baik maka dapat menyebabkan terjadinya suatu pengendapan material berupa lumpur, pasir maupun material lainnya yang berukuran $>1 \mu\text{m}$ (Sasmito, 2022). Peningkatan material sedimen di perairan dapat mengakibatkan kekeruhan yang lebih tinggi, sehingga mengurangi intensitas cahaya yang menembus kolom air. Berkurangnya cahaya membatasi proses fotosintesis

fitoplankton dan tanaman air, yang pada akhirnya menurunkan kadar oksigen terlarut (DO). Kekurangan oksigen ini berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem perairan dan memicu kematian ikan secara massal (Boyd, 2020).

Menurut WHO (2017) Air yang keruh dan sedimen juga berpotensi membawa polutan serta mikroorganisme patogen yang membahayakan kesehatan, terutama jika air tersebut digunakan untuk kebutuhan domestik. Oleh karena itu, pemantauan kualitas air secara berkala menjadi sangat penting untuk menjaga fungsi ekologis dan sosial dari situ tersebut.

Salah satu parameter yang dapat dilakukan untuk melihat kualitas air pada situ yaitu dengan *Total Suspended Solid* (TSS). Pada parameter TSS ini dapat dilihat ketika suatu air mengalami kualitas buruk maka nilai dalam pengamatan TSS tinggi, nilai yang tinggi ini mengindikasikan bahwa kurangnya kadar oksigen dan juga penetrasi cahaya dalam tubuh air (Naurel, 2024). Parameter kualitas air memiliki hubungan yang kuat dengan nilai pantulan citra penginderaan jauh dimana piksel yang merekam dapat mendeteksi kekeruhan, kedalaman *secchi disk*, sedimen tersuspensi, sedimen terlarut, klorofil-a, suhu permukaan air. Band-band pada piksel yang merekam area ini memperlihatkan suatu karakteristik visual tertentu yang berbeda dengan hasil perekaman pada air yang jernih (Ramadianto dkk., 2014).

Pendekatan yang dilakukan untuk memantau TSS secara spasial adalah dengan menggunakan data citra satelit Sentinel-2A, yang memiliki band-band multispektral resolusi tinggi seperti Band 2 (*Blue*), Band 3 (*Green*), Band 4 (*Red*), dan Band 8 (*NIR*). Band-band ini sangat sensitif terhadap partikel tersuspensi dan dapat digunakan untuk mendeteksi kualitas air seperti kekeruhan dan TSS secara efisien (Ratnaningsih, 2017). Pengolahan data dilakukan dengan memanfaatkan *Google Earth Engine* (GEE) yang memungkinkan analisis data penginderaan jauh dalam jumlah besar secara cepat dan berbasis cloud (Papilaya, 2022).

Agar hasil nilai TSS dari citra satelit dapat dipercaya, maka perlu dilakukan perbandingan dengan data lapangan, salah satunya dengan membandingkan hasil nilai TSS terhadap nilai turbidity (kekeruhan) yang diukur secara langsung. Meskipun TSS dan turbidity merupakan dua parameter yang berbeda, namun keduanya memiliki hubungan yang kuat dan linier, tergantung pada karakteristik partikel tersuspensi dan kondisi badan air (Parwati & Budhiman, 2014). Hubungan ini dimanfaatkan dalam berbagai studi untuk menguji akurasi hasil pemodelan TSS berbasis citra satelit. Maka, perbandingan antara hasil estimasi TSS dengan nilai turbidity lapangan dapat digunakan sebagai bentuk validasi pengolahan citra, dan memberikan gambaran terhadap tingkat keakuratan metode yang digunakan (Arwitama dkk, 2024).

Selain itu, faktor curah hujan dan aktivitas di area hulu maupun sekitar badan air dianalisis sebagai variabel eksternal yang berpotensi mempengaruhi konsentrasi TSS. Curah hujan dengan intensitas tinggi dapat menyebabkan peningkatan limpasan permukaan (*runoff*) yang membawa sedimen, nutrien, dan partikel tersuspensi ke dalam situ, sehingga meningkatkan nilai TSS (Sasmito dkk, 2022). Selain itu, sistem irigasi sawah di sekitar Situ Gede yang mengalirkan air kembali ke badan air juga dapat menjadi jalur masuknya sedimen dari lahan pertanian. Oleh karena itu, perubahan nilai TSS tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi atmosferik, tetapi juga oleh aktivitas antropogenik di wilayah sekitar, yang perlu dianalisis untuk memahami fluktuasi TSS dari waktu ke waktu secara lebih menyeluruh.

Penelitian ini dilakukan secara *multi-temporal* pada tiga periode waktu, yaitu Februari, Mei, dan Agustus 2024, yang dipilih berdasarkan ketersediaan data citra dengan tutupan awan minimal. Diharapkan, hasil dari penelitian ini dapat memberikan pemahaman menyeluruh mengenai kondisi kualitas air di Situ Gede Tasikmalaya, serta mendukung sistem pemantauan dan pengelolaan sumber daya air secara berkelanjutan berbasis teknologi penginderaan jauh.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini di Situ Gede Tasikmalaya yang terletak di Kecamatan Mangkubumi, Kota Tasikmalaya, Provinsi Jawa Barat dengan luas mencapai ± 47 hektar. Secara geografis, lokasi ini berada pada koordinat sekitar $7^{\circ}20' - 7^{\circ}21'$ LS dan $108^{\circ}11' - 108^{\circ}12'$ BT. Situ ini memiliki karakteristik topografi cekungan dangkal yang memungkinkan terjadinya akumulasi air dari daerah tangkapan hujan di sekitarnya. Keberadaan aliran masuk (*inlet*) dari Sungai Cibantaran yang melewati irigasi persawahan serta drainase pemukiman menjadikan badan air ini rentan terhadap sedimentasi dan pencemaran.

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu laptop, perangkat lunak *Google Earth Engine*, *Microsoft Word*, *ArcGIS*, dan *Microsoft Excel*. Data utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi citra satelit Sentinel-2A dan data pengukuran turbidity lapangan. Citra Sentinel-2A diperoleh dari *Copernicus Open Access Hub* melalui platform *Google Earth Engine* (GEE) dalam level pemrosesan Level-2A, yang sudah terkoreksi atmosfer. Selain data tersebut digunakan juga data curah hujan yang terdapat pada dua stasiun hujan yaitu Stasiun Singaparna (**Gambar 3**) dan Stasiun Kawalu (**Gambar 2**).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

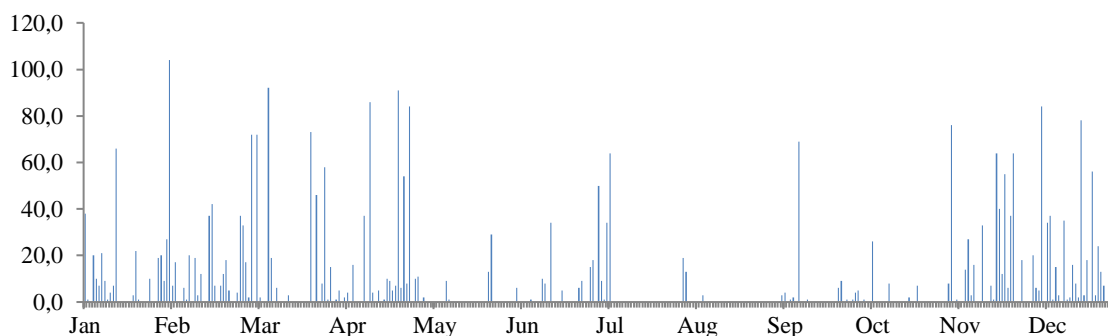
Citra digunakan pada tiga tanggal akuisisi yang mewakili musim berbeda, yaitu 20 Februari 2024, 10 Mei 2024, dan 12 Agustus 2024. Band yang digunakan adalah Band 4 (merah), Band 3 (hijau), dan Band 2 (biru), serta *Scene Classification Layer* (SCL) untuk masking awan. Sementara itu, data lapangan diperoleh dari pengukuran langsung nilai turbidity menggunakan alat turbidimeter di 10 titik pengamatan pada bulan Mei 2024 yang mewakili distribusi spasial Situ Gede (**Tabel 1**).

Tabel 1. Data Lapangan

No	Lokasi		Parameter						
	x	y	pH	ORP	Salinity (ppt)	TDS (g/l)	DO (mg/l)	Turbidit y(NTU)	Temp (°C)
1	108,190022	7,33756666	6,10	298	0,12	0,169	10,59	19,5	29,11
2	108,189072	7,33752777	10,12	272	0,04	0,052	8,23	16,6	28
3	108,188438	7,33743611	10,23	279	0,12	0,17	11,42	19,4	29,36
4	108,188722	7,33612222	10,37	260	0,12	0,17	10,23	21,6	29,84
5	108,188152	7,33455555	10,40	261	0,12	0,168	12,88	18,8	29,70
6	108,187627	7,3338166	6,59	266	0,12	0,168	10,94	19,6	29,45
7	108,1853	7,3328388	6,57	267	0,12	0,17	10,49	20,8	29,63
8	108,184622	7,3365861	7,11	241	0,12	0,171	11,13	27,7	30,07
9	108,18639	7,3358805	7,01	258	0,12	0,17	10,14	28,6	30,16
10	108,185063	7,3372194	7,03	267	0,12	0,169	9,21	21,3	30,27

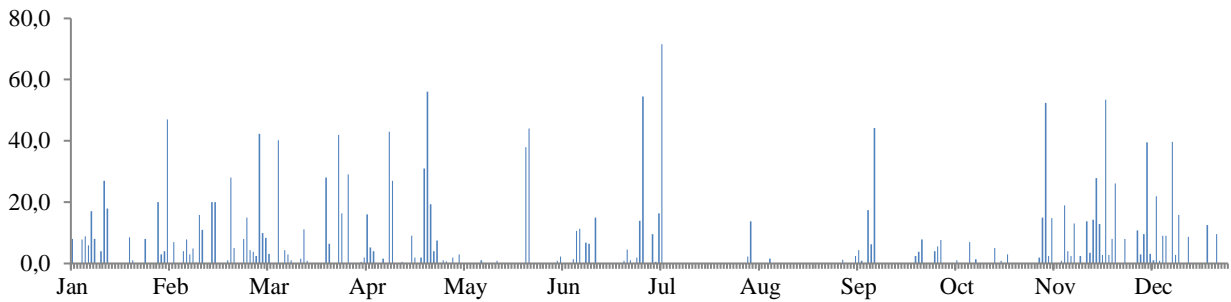
Sumber : Hasil Pengukuran Lapangan

Grafik Hujan STA Kawalu (MM)



Gambar 2. Grafik Curah Hujan STA Kawalu 2024
Sumber : Dinas Sumber Daya Air Provinsi Jawa Barat

Grafik Hujan STA Singaparna (mm)



Gambar 3. Grafik Curah Hujan STA Singaparna 2024
Sumber : Dinas Sumber Daya Air Provinsi Jawa Barat



Gambar 4. Diagram Alir Pengolahan Data

Pengolahan citra dilakukan sepenuhnya di platform Google Earth Engine. Tahap awal mencakup seleksi citra berdasarkan area minat dan tingkat tutupan awan rendah, serta masking piksel berawan menggunakan SCL. Selanjutnya, ekstraksi badan air dilakukan dengan menerapkan indeks NDWI (*Normalized Difference Water Index*) untuk membatasi area analisis pada wilayah perairan saja. Estimasi nilai TSS dilakukan dengan menerapkan dengan menerapkan algoritma empiris Parwati & Budhiman (2014), yang mengadaptasi rumus budhiman menggunakan reflektansi band merah untuk menghitung nilai TSS berdasarkan persamaan eksponensial sebagai berikut:

$$TSS \text{ (mg/L)} = 8,1429 \times \exp(23,704 \times 0,94 \times Sr_{red}) \quad (1)$$

Keterangan:

di mana Sr_{red} adalah reflektansi band merah hasil koreksi atmosfer.

Setelah estimasi dilakukan, nilai TSS dari citra diekstrak pada koordinat titik lapangan untuk divalidasi dengan nilai turbidity hasil pengukuran. Validasi dilakukan menggunakan uji korelasi linier Pearson, dengan menghitung koefisien determinasi (R^2) untuk mengetahui kekuatan hubungan antara nilai TSS hasil estimasi citra dan turbidity lapangan. Selain itu dilakukan penetapan baku mutu air berdasarkan standar kualitas air di Indonesia yang mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Dalam peraturan ini, kualitas air permukaan dibagi menjadi empat kelas berdasarkan peruntukannya (**Tabel 2**)

Tabel 2. Ambang Batas TSS

Kelas Air	Peruntukan	Baku Mutu TSS (mg.L)
Kelas I	Air Minum (Setelah Pengolahan)	≤ 50 mg/L
Kelas II	Rekreasi,perikanan, peternakan	≤ 50 mg/L
Kelas III	Irigasi, pertanian, industri	≤ 400 mg/L
Kelas IV	Kegiatan terbatas (pelabuhan, industri)	Tidak disebutkan

Sumber: PP No. 22 Tahun 2021

Untuk parameter turbidity, PP No. 22 Tahun 2021 tidak menyebutkan nilai baku secara eksplisit. Namun, berdasarkan SNI 6989.25:2009 dan WHO (2017), nilai turbidity air yang masih dapat diterima untuk kegiatan domestik dan konsumsi setelah pengolahan adalah < 5 NTU untuk air minum (ideal < 1 NTU) dan < 25 NTU sebagai ambang batas umum untuk air permukaan (KLHK dan WHO).

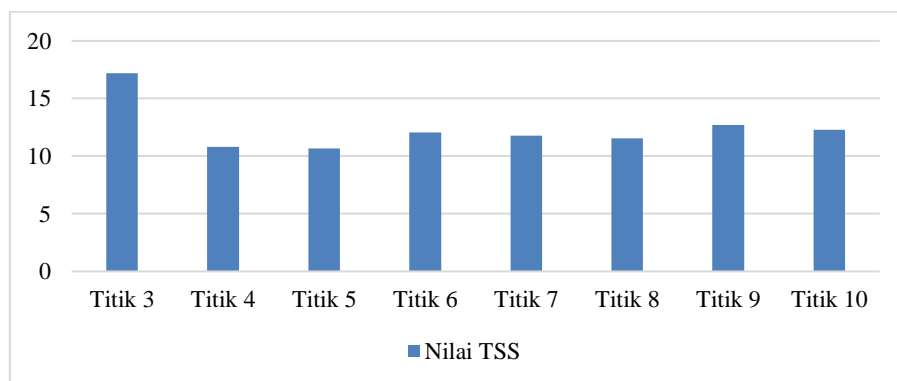
3. Hasil dan Pembahasan

Pemanfaatan lahan di sekitar Situ Gede didominasi oleh area pemukiman, lahan pertanian (sawah), dan sebagian kecil area terbuka hijau. Selain berfungsi sebagai sumber irigasi untuk lahan pertanian seluas ±233 ha, Situ Gede juga digunakan untuk sarana rekreasi oleh masyarakat sekitar. Aktivitas manusia pembuangan limbah rumah tangga, serta pertanian intensif dengan penggunaan pupuk kimia berpotensi menjadi kontributor beban pencemar yang berdampak pada tingginya nilai TSS dan parameter kualitas air lainnya.

Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh pada citra Sentinel-2A yang digunakan adalah tanggal 20 Februari 2024 dengan tutupan awan sebesar 17,49%, hanya 8 dari 10 titik lokasi pengamatan yang berhasil diekstrak nilai TSS-nya. Kedua titik yang tidak terukur ini dikarenakan lokasi tertutup oleh awan. Nilai TSS yang diperoleh berkisar antara 10,68 mg/l (Titik 5) hingga 17,18 mg/l (Titik 3). Hasil nilai TSS dapat dilihat pada (**Tabel 3**) dan grafik pada (**Gambar 5**).

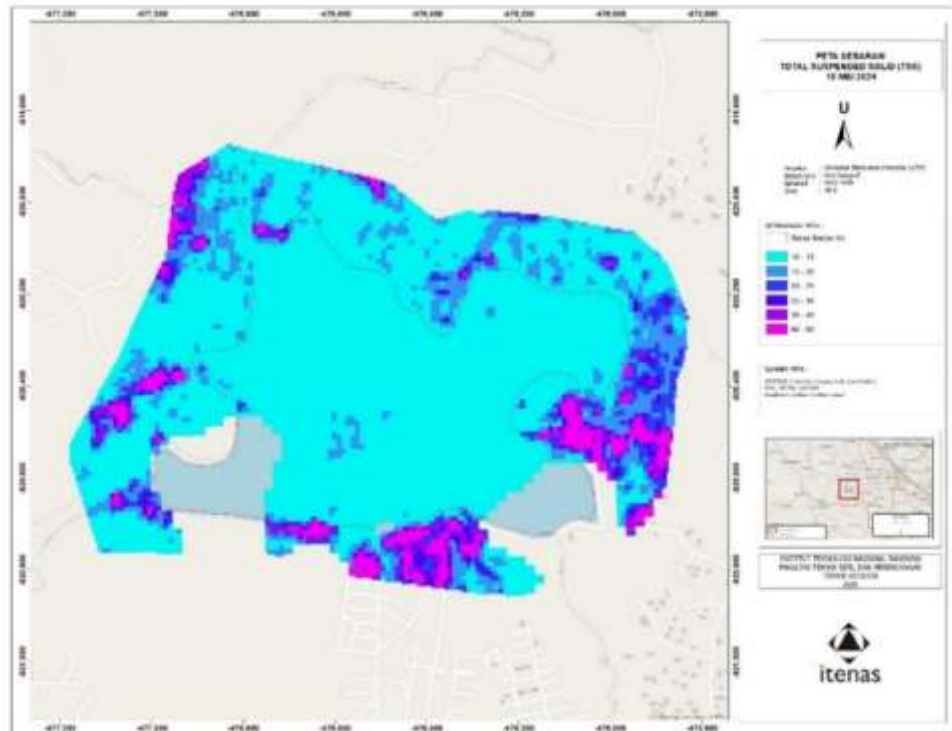
Tabel 3. Nilai TSS 20 Februari 2024

Titik	TSS (mg/l)	X (longitude)	Y (Latitude)
Titik 3	17,1772415	108,1884664956	-7,3373943249
Titik 4	10,8062507	108,1887359902	-7,3361366835
Titik 5	10,6865277	108,1881970011	-7,3345197160
Titik 6	12,0529008	108,1876580119	-7,3338010638
Titik 7	11,7610758	108,1853223921	-7,3328129170
Titik 8	11,5275732	108,1846037399	-7,3365858412
Titik 9	12,7149896	108,1864003705	-7,3358671889
Titik 10	12,2696749	108,18505289756	7,33721466187



Gambar 5. Grafik Nilai TSS 20 Februari 2024

Distribusi spasial nilai TSS pada bulan Februari sebagian besar area badan air didominasi oleh warna biru hingga cyan yang merepresentasikan nilai TSS (**Gambar 6**).



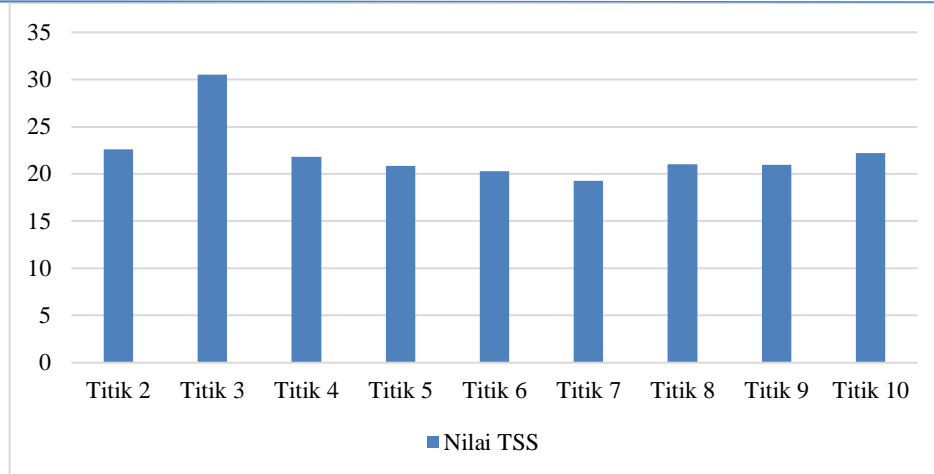
Gambar 6. Visualisasi Tanggal 20 Februari 2024

Berdasarkan hasil nilai TSS pada delapan titik pengamatan dan distribusi spasial yang dihasilkan dari citra Sentinel-2A, terlihat bahwa sebaran nilai TSS di Situ Gede pada tanggal 20 Februari 2024 cenderung merata. Pola ini tampak jelas di mana sebaran warna menunjukkan keseragaman nilai TSS di seluruh permukaan badan air. Hal ini mengindikasikan bahwa pada awal musim hujan, kondisi perairan masih relatif stabil dan belum banyak terpengaruh oleh aktivitas eksternal seperti limpasan sedimen dari lahan pertanian. Nilai TSS yang seragam ini juga menunjukkan bahwa tingkat kejernihan air masih cukup baik, dengan distribusi partikel tersuspensi yang rendah dan homogen di seluruh area situ.

Hasil Pengolahan Citra Tanggal 10 Mei 2024 memiliki tutupan awan sebesar 17,35%. Dari hasil pengolahan data menunjukkan peningkatan signifikan nilai TSS, dimana 9 titik berhasil diekstrak dengan nilai berkisar antara 19,24 mg/l (Titik 7) hingga 30,52 mg/l (Titik 3). Hasil nilai TSS dapat dilihat pada (Tabel 4) dan (Gambar 7).

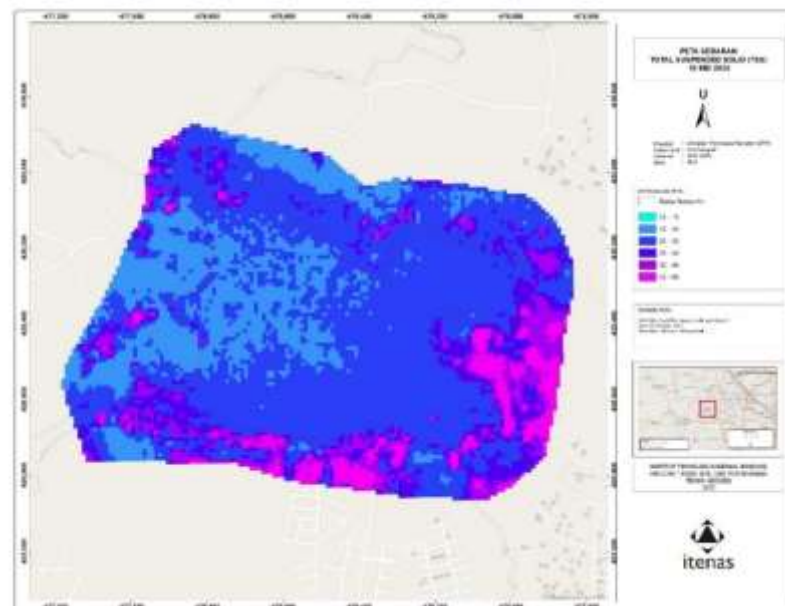
Tabel 4. Nilai TSS 10 Mei 2024

Titik	TSS (mg/l)	X (longitude)	Y (Latitude)
Titik 2	22,5932455	108,1890953	-7,337484156
Titik 3	30,52221411	108,1884665	-7,337394325
Titik 4	21,80196654	108,188736	-7,336136684
Titik 5	20,85172448	108,188197	-7,334519716
Titik 6	20,25639135	108,187658	-7,333801064
Titik 7	19,2444425	108,1853224	-7,332812917
Titik 8	21,03840039	108,1846037	-7,336585841
Titik 9	20,94485446	108,1864004	-7,335867189
Titik 10	22,1940799	108,1850529	-7,337214662



Gambar 7. Grafik Nilai TSS 10 Mei 2024

Distribusi spasial nilai TSS pada tanggal 10 Mei 2024 ditunjukkan pada (**Gambar 8**). Dari peta tersebut terlihat bahwa sebagian besar area badan air didominasi oleh warna biru tua dan terdapat beberapa bagian badan air yang berwarna biru muda yang merepresentasikan nilai TSS.



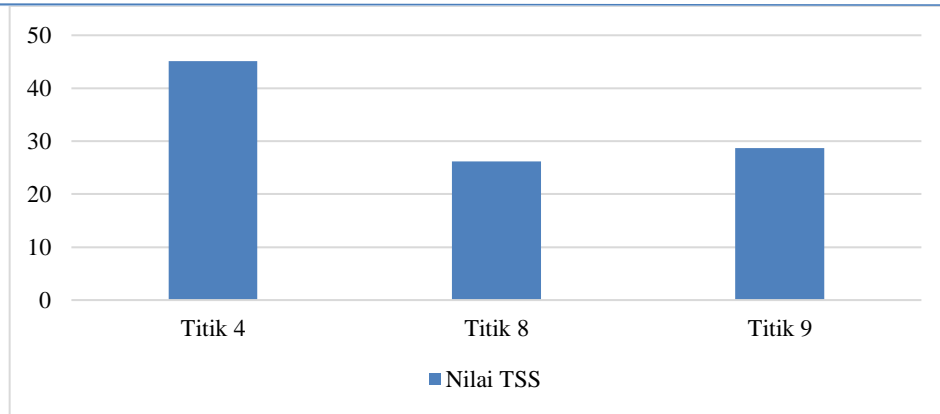
Gambar 8. Visualisasi Tanggal 10 Mei 2024

Berdasarkan hasil Nilai TSS pada citra 10 Mei 2024, terlihat adanya peningkatan nilai TSS di beberapa bagian wilayah situ hal ini menunjukkan adanya variasi warna yang lebih mencolok dibandingkan periode sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun nilai rata-rata TSS belum ekstrem, distribusi partikel tersuspensi mulai tidak merata. Kondisi ini mencerminkan peningkatan beban sedimen yang mulai masuk ke badan air, baik dari aliran permukaan maupun aktivitas antropogenik di sekitar situ.

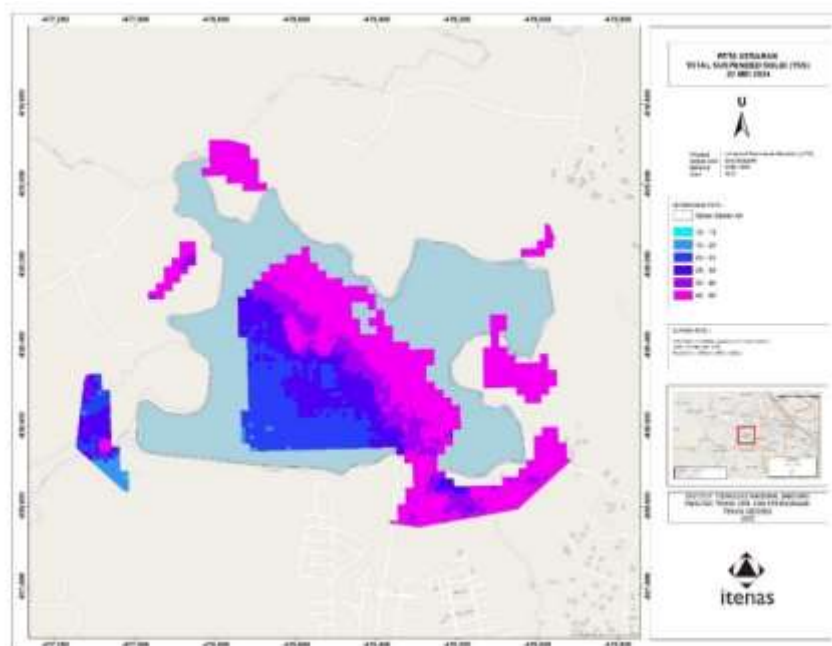
Citra pada tanggal 20 Mei 2024 memiliki tutupan awan sebesar 36,48%. Dari hasil pengolahan data diperoleh nilai TSS sebanyak 3 titik. 7 titik lainnya terdapat kekosongan data karena lokasi pengujian tertutup oleh awan. Dari hasil pengolahan didapatkan nilai terendah pada titik 8 berkisar 28,23 mg/l dan nilai tertinggi pada titik 4 berkisar 45,07 mg/l. Nilai TSS dapat dilihat pada (**Tabel 5**) dan (**Gambar 9**).

Tabel 5. Nilai TSS 20 Mei 2024

Titik	TSS (mg/l)	X (longitude)	Y (Latitude)
Titik 4	45,07760455	108,188736	-7,336136684
Titik 8	26,23091775	108,1846037	-7,336585841
Titik 9	28,67615158	108,1864004	-7,335867189



Gambar 9. Grafik Nilai TSS 20 Mei 2024



Gambar 10. Visualisasi Tanggal 20 Mei 2024

Berdasarkan nilai TSS dari citra tanggal 20 Mei 2024, terlihat adanya peningkatan nilai TSS yang cukup mencolok di beberapa area, khususnya di bagian tengah hingga barat daya situ hal ini menunjukkan pola distribusi spasial yang lebih kontras dibanding periode sebelumnya, dengan sebaran warna yang cenderung tidak merata dan terdapat area lokal dengan nilai TSS yang tinggi. Meskipun demikian, data ini tetap digunakan sebagai referensi untuk menunjukkan adanya kemungkinan dinamika lingkungan yang cepat berubah dalam satu bulan, terutama di sekitar pertengahan Mei..

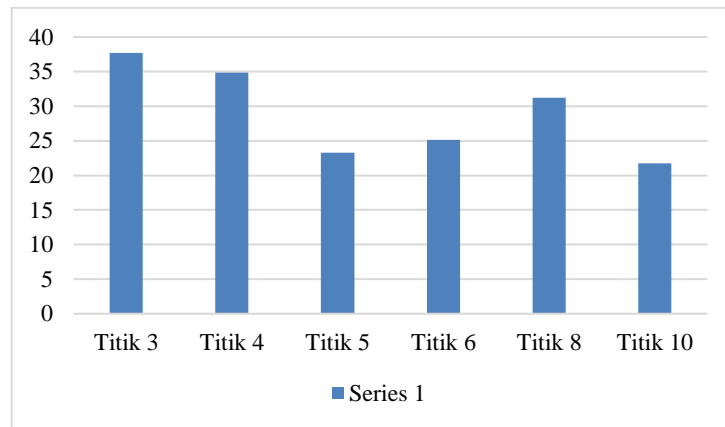
Citra pada tanggal 30 Mei 2024 memiliki tutupan awan sebesar 29,40%. Dari hasil pengolahan data diperoleh data TSS sebanyak 6 titik. 4 titik lainnya terdapat kekosongan data karena lokasi pengujian tertutup oleh awan. Meskipun jumlah titik tidak lengkap akibat tutupan awan parsial, persebaran titik yang cukup menyebar memberikan gambaran umum yang cukup representatif terhadap kondisi badan air saat itu.

Karena waktu akuisisi citra sangat dekat dengan pengambilan data lapangan (hanya berselang 1 hari), citra ini dipilih sebagai dasar utama untuk uji validasi terhadap nilai turbidity lapangan. Hasil nilai TSS dapat dilihat pada (**Tabel 6**) dan grafik pada (**Gambar 11**).

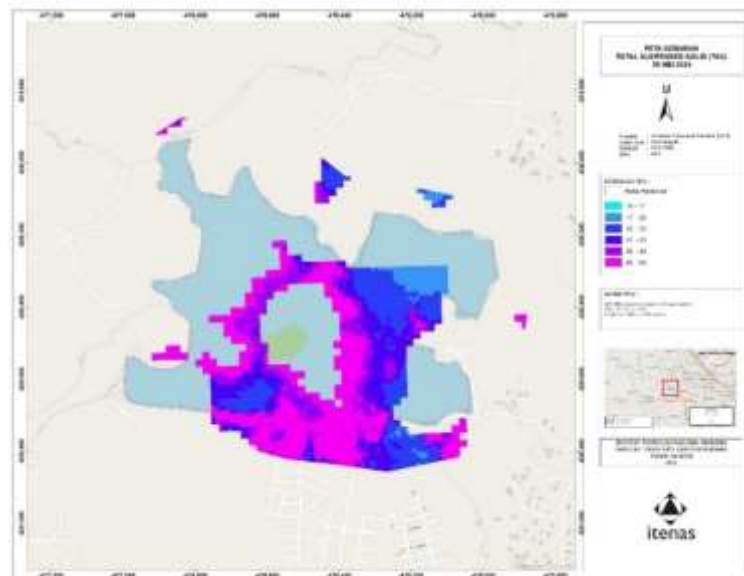
Tabel 6. Nilai TSS 30 Mei 2024

Titik	TSS (mg/l)	X (longitude)	Y (Latitude)
Titik 3	37,71777504	108,1884665	-7,337394325
Titik 4	34,88808301	108,188736	-7,336136684
Titik 5	23,30913757	108,188197	-7,334519716

Titik	TSS (mg/l)	X (longitude)	Y (Latitude)
Titik 6	25,14360118	108,187658	-7,333801064
Titik 8	31,20993613	108,1846037	-7,336585841
Titik 10	21,70502546	108,1850529	-7,337214662



Gambar 11. Grafik Nilai TSS 30 Mei 2024



Gambar 12. Visualisasi Tanggal 30 Mei 2024

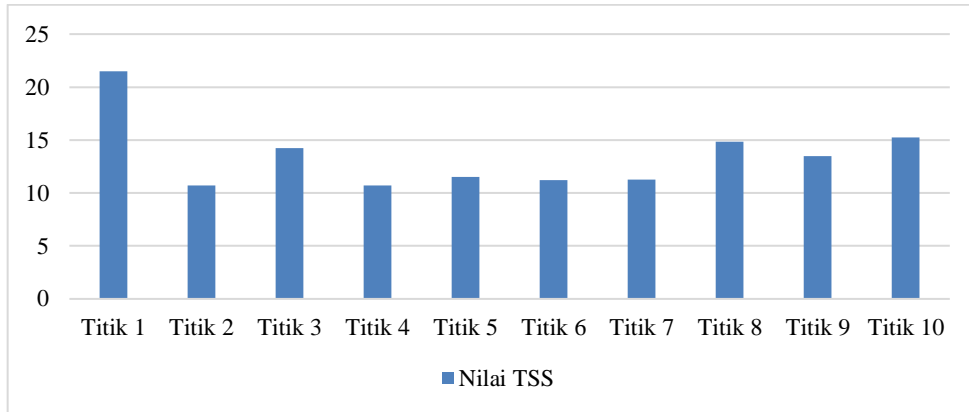
Berdasarkan nilai TSS dan visualisasi menunjukkan sebaran spasial TSS tampak tidak homogen, dengan konsentrasi tinggi terkonsentrasi di bagian barat daya dan barat laut situ. Area ini berdekatan dengan lokasi inlet dari situ dimana aliran masuk dari lahan pertanian dan Sungai Cibanjaran. Sementara itu, bagian timur situ menunjukkan nilai TSS yang relatif rendah dan stabil (warna biru muda).

Hasil pengolahan citra pada tanggal 18 Agustus 2024 memiliki tutupan awan 11,76%. Dari hasil pengolahan data diperoleh data TSS sebanyak 10 titik. Pada tanggal ini kondisi awan cukup bersih sehingga seluruh titik dapat terlihat tanpa adanya gangguan awan. Hasil nilai TSS dapat dilihat pada (Tabel 7) dan grafik pada (Gambar 13).

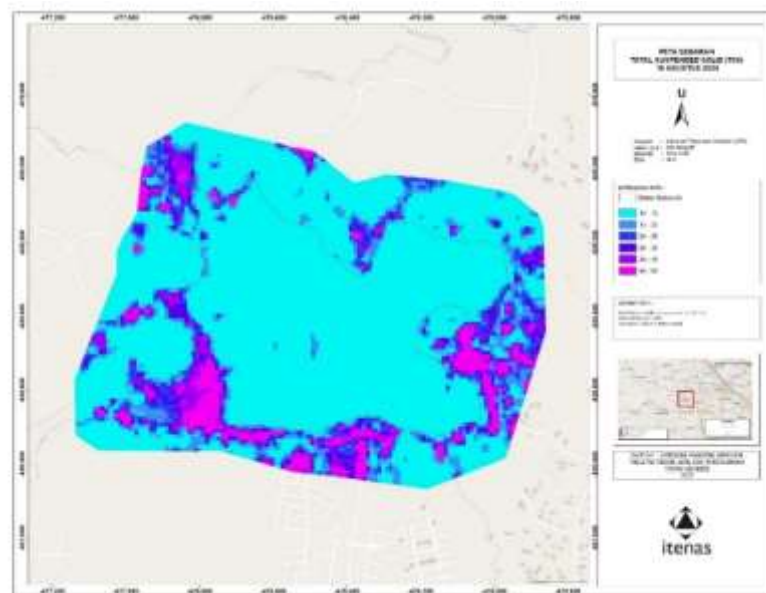
Tabel 7. Nilai TSS 18 Agustus 2024

Titik	TSS (mg/l)	X (longitude)	Y (Latitude)
Titik 1	21,51243452	108,1899936	-7,337573988
Titik 2	10,7103657	108,1890953	-7,337484156
Titik 3	14,24517935	108,1884665	-7,337394325
Titik 4	10,68652769	108,188736	-7,336136684

Titik	TSS (mg/l)	X (longitude)	Y (Latitude)
Titik 5	11,50191637	108,188197	-7,334519716
Titik 6	11,19845195	108,187658	-7,333801064
Titik 7	11,27355906	108,1853224	-7,332812917
Titik 8	14,82812516	108,1846037	-7,336585841
Titik 9	13,4733567	108,1864004	-7,335867189
Titik 10	15,26392214	108,1850529	-7,337214662



Gambar 13. Grafik Nilai TSS 18 Agustus 2024



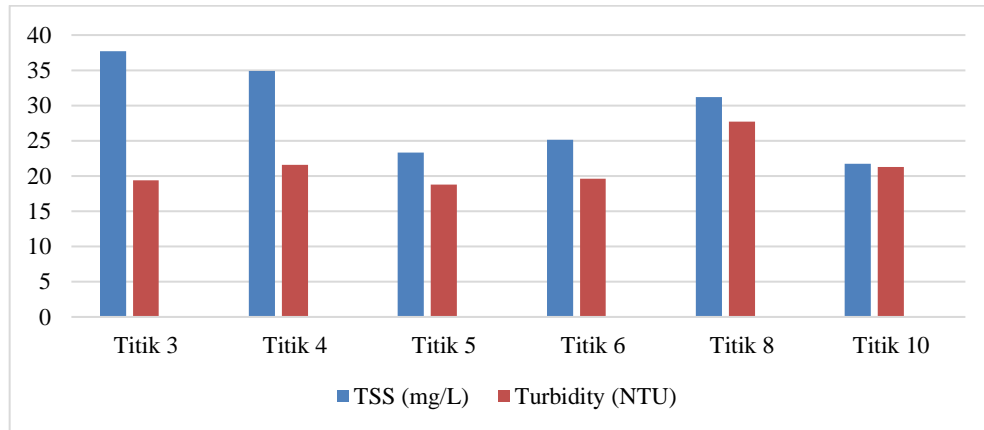
Gambar 14. Visualisasi Tanggal 18 Agustus 2024

Berdasarkan nilai TSS dari citra satelit dan secara spasial pada 18 Agustus 2024 menunjukkan nilai TSS yang cenderung menurun secara umum di seluruh area situ. Sebaran spasialnya tampak lebih seragam dengan dominasi warna yang menunjukkan konsentrasi rendah. Hal ini mengindikasikan kondisi perairan situ yang mulai stabil kembali.

Untuk mendukung validasi hasil estimasi TSS menggunakan citra Sentinel-2A, dilakukan perbandingan terhadap data turbidity hasil pengukuran lapangan pada tanggal 31 Mei 2024. Perbandingan dilakukan berdasarkan waktu terdekat citra satelit dan pengambilan sample lapangan, dari data citra yang ada diperoleh waktu terdekat yaitu pada citra tanggal 30 Mei 2024. Berikut adalah tabel perbandingan nilai TSS dan turbidity pada titik yang tersedia sebagai berikut.

Tabel 8. Perbandingan Data TSS Hasil Citra dan Turbidity Lapangan

Titik	TSS (mg/L)	Turbidity (NTU)
3	37,72	19,4
4	34,89	21,6
5	23,31	18,8
6	25,14	19,6
8	31,21	27,7
10	21,71	21,3



Gambar 15. Grafik Perbandingan Nilai TSS dan Turbidity

Titik 1, 2, 7, dan 9 tidak tersedia pada citra karena tertutup awan, sehingga tidak disertakan dalam pengamatan. Berdasarkan hasil pengamatan, terdapat pola kesesuaian secara spasial antara nilai TSS hasil estimasi citra dan nilai turbidity lapangan pada beberapa titik pengamatan. Berdasarkan (Gambar 15), titik dengan nilai TSS tinggi cenderung memiliki nilai turbidity tinggi pula. Sebagai contoh, titik 8 memiliki nilai TSS sebesar 31,21 mg/L dan nilai turbidity sebesar 27,7 NTU, sementara titik 5 yang memiliki nilai TSS lebih rendah yaitu 23,31 mg/L juga menunjukkan nilai turbidity yang relatif lebih rendah yaitu 18,8 NTU. Korelasi yang terjadi antara estimasi TSS dan nilai turbidity lapangan mengindikasikan bahwa pendekatan penginderaan jauh menggunakan citra Sentinel-2A dapat memberikan estimasi yang cukup representatif terhadap tingkat kekeruhan air dengan catatan bahwa kondisi awan pada lokasi yaitu minimal.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis regresi linier sederhana. Hasil analisis didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,186, yang menunjukkan bahwa hubungan antara kedua variabel tersebut tergolong lemah, dimana hanya sekitar 18,6% variasi dalam nilai turbidity dapat dijelaskan oleh nilai TSS hasil estimasi citra satelit. Beberapa faktor dapat menyebabkan rendahnya nilai R^2 dimana satu faktor utama adalah terbatasnya jumlah data yang digunakan dalam analisis regresi ini. Dari 10 titik pengamatan, hanya 6 titik nilai TSS hasil pengolahan data citra satelit karena sebagian besar area tertutup awan. Menurut Randahl (2024), jumlah observasi yang sedikit dapat mengurangi stabilitas estimasi regresi, terutama jika data memiliki sebaran nilai yang bervariasi tinggi.

Beberapa panduan metodologi di Indonesia menyarankan bahwa untuk menghasilkan estimasi regresi yang andal, ukuran sampel minimal adalah 10–15 kali jumlah variabel bebas yang digunakan dalam model (Sarwono, 2016), bahkan dalam kondisi distribusi yang lebih kompleks disarankan minimal 20–30 observasi (Bujang dkk, 2022). Dengan jumlah hanya 6 titik, model regresi dalam penelitian ini sangat mungkin tidak representatif dan cenderung bias. Selain jumlah data, terdapat faktor lain yang turut mempengaruhi lemahnya hubungan antara TSS dan turbidity, di antaranya perbedaan waktu akuisisi data dimana citra Sentinel-2A diambil pada tanggal 30 Mei 2024, sementara pengambilan data turbidity dilakukan pada 31 Mei 2024.

Analisis Pengaruh Curah Hujan berdasarkan data curah hujan dari Stasiun Singaparna dan Kawalu menunjukkan bahwa pada bulan Mei terjadi hujan dengan intensitas tinggi, yaitu 38 mm pada tanggal 24 Mei dan 44 mm pada tanggal 25 Mei. Kejadian hujan tersebut bertepatan dengan rentang waktu sebelum pengambilan citra Sentinel-2A pada tanggal 30 Mei 2024. Sebaliknya, pada bulan Februari dan Agustus 2024, curah hujan tercatat relatif lebih rendah dan tidak menunjukkan peningkatan signifikan. Hal ini berdampak pada kondisi air di Situ Gede yang cenderung lebih jernih pada citra yang digunakan untuk menentukan nilai TSS di kedua bulan tersebut.

Hubungan curah hujan dan nilai TSS menunjukkan adanya hubungan yang konsisten antara curah hujan dan nilai TSS. Ketika curah hujan meningkat, nilai TSS cenderung mengalami lonjakan. Hal ini terlihat jelas pada periode Mei 2024 dari kedua stasiun hujan yang digunakan, di mana terjadi hujan deras beberapa hari sebelum pengambilan citra, dan diikuti oleh peningkatan nilai TSS. Hal ini menunjukkan bahwa curah hujan menjadi faktor pemicu utama terjadinya peningkatan partikel tersuspensi dalam air, melalui proses limpasan permukaan (*runoff*) yang membawa material sedimen dari sekitar situ ke dalam badan air. Sebaliknya, saat curah hujan rendah seperti pada Februari dan Agustus, nilai TSS cenderung rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh curah hujan terhadap kekeruhan air sangat berpengaruh dan perlu diperhatikan dalam perencanaan pemantauan kekeruhan air secara berkala.

Selain curah hujan, terdapat beberapa faktor eksternal yang turut mempengaruhi fluktuasi nilai TSS, seperti aktivitas pertanian sekitar dimana adanya sumber beban sedimen dan bahan organik, serta pembuangan limbah domestik dari pemukiman sekitar situ ke dalam badan air. Faktor lainnya adalah proses resuspensi sedimen oleh angin atau arus mikro di permukaan danau, terutama saat cuaca kering/kemarau dan angin pada saat musim tersebut kencang yang merupakan salah satu faktor antropogenik dan alami yang berkontribusi terhadap fluktuasi nilai TSS dalam badan air.

Penilaian mutu air Situ Gede dilakukan dengan mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, yang menyatakan bahwa ambang batas TSS untuk kelas I dan II adalah ≤ 50 mg/L. Hasil estimasi TSS dari citra Sentinel-2A pada bulan Februari, Mei, dan Agustus 2024 menunjukkan bahwa seluruh nilai TSS berada di bawah ambang batas tersebut. Nilai TSS tertinggi tercatat pada bulan Mei sebesar 45,08 mg/L, sedangkan nilai terendah tercatat pada bulan Februari sebesar 10,68 mg/L. Seluruh nilai tersebut masih berada dalam kategori air permukaan yang dapat digunakan untuk keperluan air irigasi dan sarana rekreasi oleh masyarakat, dimana hal tersebut sesuai dengan fungsi dari Situ Gede Tasikmalaya saat ini. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa secara umum kondisi kualitas air Situ Gede Tasikmalaya masih berada dalam kategori baik dan memenuhi mutu air kelas I dan II.

Pemanfaatan citra satelit dalam penelitian ini menunjukkan bahwa dengan metode penginderaan jauh dapat menjadi salah satu alternatif dalam monitoring kekeruhan secara spasial dan temporal. Nilai TSS yang diperoleh dari citra satelit mampu memberikan gambaran sebaran kekeruhan air di seluruh area Situ Gede, termasuk mengidentifikasi lokasi-lokasi dengan konsentrasi TSS yang tinggi, yang kemungkinan besar dipengaruhi oleh aktivitas manusia dan faktor curah hujan. Oleh karena itu, penggunaan citra Sentinel-2A dalam monitoring kualitas air ini dapat digunakan khususnya kekeruhan pada situ atau danau dan juga untuk mengidentifikasi perubahan spasial dan tren nilai TSS dari waktu ke waktu.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan citra Sentinel-2A melalui platform *Google Earth Engine* (GEE) dapat digunakan untuk memantau sebaran nilai *Total Suspended Solid* (TSS) secara spasial di Situ Gede, Tasikmalaya. Hasil estimasi TSS dari citra menunjukkan nilai berkisar antara 10,68 hingga 45,08 mg/L, dengan variasi temporal yang dipengaruhi oleh curah hujan dan aktivitas di sekitar badan air. Meskipun hasil validasi menunjukkan nilai korelasi linier yang lemah ($R^2 = 0,186$), distribusi spasial nilai TSS dari citra menunjukkan kesesuaian dengan pola lapangan. Oleh karena itu, pendekatan berbasis penginderaan jauh ini dinilai memiliki potensi besar untuk digunakan dalam pemantauan kualitas air secara efisien, khususnya di wilayah yang sulit dijangkau. Penggunaan Sentinel-2A sebagai sumber data utama dapat menjadi alternatif dalam pemantauan berkala, selama didukung oleh model estimasi yang telah dikalibrasi dan validasi awal di lapangan.

5. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim penguji dari Program Studi Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Bandung atas bimbingan dan masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada Kori Aina, Siti Ridhatul L, Desy Nurfitiani dan teman lainnya yang telah membantu dalam penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

- [1] Arwitama, M. F., Nadin, A. S., & Anisa, A. D. (2024). Analisis Normalized Different Turbidity Index dan Total Suspended Solid Sungai di Sekitar Ibu Kota Nusantara sebagai Sumber Data Air Bersih dalam Mendukung Kebutuhan Sanitasi Air. *Jurnal Literasi Pendidikan Fisika*, 5(2), 127-141. <https://doi.org/10.30872/jlpf.v5i2.3845>
- [2] Bujang, M. A., Sa'at, N., & Azlan, C. A. (2022). The minimum sample size required for regression analysis: A review. *Journal of Applied Medical Sciences*, 11(2), 78-88.

- [3] Boyd, C. E. (2020). *Water Quality: An Introduction* (3rd ed.). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-23335-8>
- [4] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (n.d.). *Direktorat Jenderal Sumber Daya Air*. Diakses pada 17 November 2024, dari <https://sda.pu.go.id/>
- [5] Naurel Ekklesia Nirwana Putri. (2024). *_Analisis Perubahan Kualitas Air Bendungan Selorejo Periode 2021–2024 Menggunakan Citra Sentinel 2A_* (Skripsi). Institut Teknologi Nasional Malang. (Diakses tanggal 16 November 2024)
- [6] Papilaya, P. P. E. (2022). Aplikasi Google Earth Engine dalam menyediakan citra satelit sumber daya alam bebas awan (Google Earth Engine Application in Providing Satellite Images of Natural Resources Free of Clouds). *MAKILA: Jurnal Penelitian Kehutanan*, 16(2), 96–103. <https://doi.org/10.30598/makila.v16i2.6586>
- [7] Parwati, E., & Budhiman, S. (2014). Simulasi nilai reflektansi penginderaan jauh parameter kualitas perairan menggunakan algoritma Budhiman. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(2), 429–441. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v6i2.9282>
- [8] Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- [9] Ramadianto, A., & Gunawan, T. (2014). Pemanfaatan citra penginderaan jauh untuk pemetaan kualitas air. *Jurnal Bumi Indonesia*, 3(3).
- [10] Randahl, M. (2024). Rethinking sample size in linear regression: A simulation-based perspective. *Journal of Applied Statistics*, 51(1), 55–72.
- [11] Ratnaningsih, Rossita Yuli (2017) Analisis Distribusi Spasial dan Temporal Parameter Kualitas Perairan Darat Menggunakan Data Sentinel-2 (Studi Kasus: Danau Matano dan Towuti, Sulawesi Selatan). Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [12] Sarwono, J. (2016). *Statistik itu mudah: Panduan lengkap mengolah data dengan SPSS*. Jakarta: Andi.
- [13] Sasmito, B., Bashit, N., & Rachmadiana, E. (2022). Analisis perubahan konsentrasi Total Suspended Solid secara multitemporal menggunakan citra Sentinel 2A (Studi kasus: Danau Rawa Pening, Jawa Tengah). *TEKNIK*, 43(2), 178–189.
- [14] Sulastris, I., Nurulita, Y., & Rahmawati, R. (2017). Karakteristik limnologis dan fungsi ekosistem danau di Indonesia. *Limnotek: Perairan Darat Tropis di Indonesia*, 24(1), 1–14. <https://doi.org/10.14203/limnotek.v24i1.317>
- [15] World Health Organization (WHO). (2017). *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed., incorporating the 1st addendum). Geneva: WHO. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/254637>