

# Pemetaan distribusi Total Suspended Solid (TSS) di Waduk Gondang Lamongan menggunakan citra landsat multi temporal

Nurotun Na'imah, Didik Taryana\*, Purwanto

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia

\*Penulis korespondensi, Surel: didik.taryana.fis@um.ac.id

Paper received: 11-09-2023; revised: 25-10-2023; accepted: 10-11-2023

## Abstract

Total Suspended Solid (TSS) is defined as a collection of suspended matter and particles in water with a size of less than 2 microns. High concentrations of TSS are dangerous because they interfere with light penetration into the water. This disrupts the photosynthesis process and causes reduced oxygen levels in the waters. Conventional TSS monitoring in laboratory tests is considered less efficient regarding time, effort and cost. Therefore, remote sensing technology is a more efficient alternative solution for TSS monitoring in reservoirs. One type of imagery that can be used to monitor TSS in reservoirs is Landsat 8 satellite imagery. This article aims to determine the appropriate empirical algorithm in estimating TSS concentrations in the Gondang Lamongan Reservoir, to examine the spatial distribution of TSS in the Gondang Reservoir with a 3-year time span, namely 2016, 2019, and 2022, and to analyze changes in reservoir TSS conditions in recent years. The method used in this research is descriptive quantitative with the application of the Syarif, Parwati and Guzman & Santaella algorithms. The results showed that the condition of TSS from year to year continued to increase. The concentration of TSS is getting worse, which is indicated by an increase in the amount of TSS at the edge of the reservoir, especially at inlet area. The results of the accuracy test show a coefficient of determination of 0.71 for the syarif algorithm which indicates that the syarif algorithm method is quite accurate in estimating the TSS in the Gondang reservoir.

**Keywords:** TSS; Gondang Reservoir; landsat 8

## Abstrak

*Total Suspended Solid* (TSS) didefinisikan sebagai kumpulan dari materi dan partikel yang tersuspense di dalam air dengan ukuran mencapai kurang dari 2 mikrometer. Konsentrasi TSS yang tinggi bersifat membahayakan karena mengganggu penetrasi cahaya yang masuk ke dalam air. Hal ini berakibat pada terganggunya proses fotosintesis dan menyebabkan berkurangnya kadar oksigen di perairan. Pemantauan TSS secara konvensional melalui uji laboratorium secara masif dinilai kurang efisien baik dari segi waktu, tenaga dan biaya. Oleh karena itu, teknologi penginderaan jauh menjadi solusi alternatif yang lebih efisien untuk melakukan pemantauan TSS di waduk. Salah satu jenis citra yang dapat digunakan untuk memantau TSS di waduk adalah citra satelit Landsat 8. Artikel ini bertujuan untuk menentukan algoritma empiris yang sesuai dalam mengestimasi konsentrasi TSS di Waduk Gondang Lamongan, mengkaji distribusi spasial TSS di Waduk Gondang dengan rentang waktu 3 tahunan, yakni di tahun 2016, 2019, dan 2022, serta menganalisis perubahan kondisi TSS waduk di tahun-tahun penelitian. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif dengan penerapan algoritma Syarif, Parwati dan Guzman & Santaella. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi TSS dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan. Konsentrasi TSS semakin memburuk yang ditandai dengan peningkatan jumlah TSS di bagian tepi waduk yang merupakan area inlet. Hasil uji akurasi menunjukkan nilai koefisien determinasi sebesar 0,71 untuk algoritma syarif dimana hal tersebut menandakan bahwa metode algoritma syarif cukup akurat dalam mengestimasi TSS di Waduk Gondang.

**Kata kunci:** TSS; Waduk Gondang; Landsat 8

## 1. Pendahuluan

Sedimentasi ialah salah satu dari permasalahan umum yang sering dimiliki oleh waduk yang dibangun di Indonesia. Iklim tropis dengan curah hujan yang tinggi menyebabkan tingginya tingkat erosi yang terjadi di Daerah Aliran Sungai (DAS). Material erosi ini kemudian terangkut ke muara sungai yang berada di daerah waduk. Akibatnya terjadilah endapan berbagai material pada area waduk tersebut. Salah satu endapan material sedimen yang dapat membahayakan bagi produktifitas waduk adalah material padatan yang tersuspensi atau disebut juga sebagai *Total Suspended Solid* (TSS). Kadar TSS yang terus meningkat membuat waduk mengalami sedimentasi yang salah satunya menyebabkan terjadinya pendangkalan waduk serta penurunan produktifitas waduk.

*Total Suspended Solid* (TSS) menunjukkan gambaran dari kondisi materi dan partikel yang tersuspensi di dalam air. Materi yang tersuspensi ini memiliki ukuran  $< 2\mu\text{m}$  (Branigan, 2013). Materi tersebut terdiri dari padatan dengan sifat mudah menguap dan tetap. Zat padat yang bersifat mudah menguap meliputi senyawa organik dari tumbuhan maupun hewan, sedangkan padatan tetap meliputi material fisik seperti butiran pasir, kerikil dan garam (Lenhart & Lehman, 2006). TSS banyak berasal dari limbah-limbah rumah tangga, industri hingga pertanian yang masuk melalui aliran dan mengalir menuju badan air (Rinawati, Hidayat, Suprianto, & Dewi, 2016). Konsentrasi TSS dengan jumlah yang terlalu tinggi dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air sehingga mengakibatkan berkurangnya produksi utama dari fitoplankton dan hal ini tentunya berujung pada terganggunya proses fotosintesis di perairan (Qanita & Subiyanto, 2019). Proses fotosintesis yang terganggu mengakibatkan berkurangnya oksigen yang dilepaskan tumbuhan dan dapat menyebabkan ikan-ikan menjadi mati. Selain itu, konsentrasi TSS yang tinggi meningkatkan kadar kekeruhan pada air dan membuat tingkat produktivitas yang dimiliki oleh suatu perairan akan semakin menurun.

Distribusi dari kondisi TSS waduk dapat menunjukkan gambaran mengenai proses sedimentasi di waduk tersebut. Perairan waduk yang memiliki kadar TSS tinggi juga cenderung akan mengalami sedimentasi yang tinggi (Prasetyo, Rochaddi, & Satriadi, 2019). Distribusi TSS sangat bergantung pada pola pemanfaatan waduk. Di lain sisi, distribusi TSS menjadi acuan tingkat produktifitas dan daya guna serta kualitas air di waduk tersebut.

Waduk Gondang yang bersifat potensial di Kabupaten Lamongan memiliki luas sekitar 6,6 Hektar dan kedalaman  $\pm 29$  meter (Tourism, 2019). Waduk Gondang merupakan waduk yang dibangun dengan membendung Sungai Gondang yang mempunyai daerah aliran seluas 68,10 km<sup>2</sup>. Area Waduk Gondang mencakup pada dua kecamatan yaitu Sugio (Desa Gondang Lor, Desa Deketagung, Desa Kalitengah, Desa Daliwangun dan Desa Sidorejo) dan Sambeng (Desa Sekidang dan Wonorejo) (Shaleh & Rahayu, 2018).

Waduk Gondang memberikan manfaat yang besar bagi perkembangan daerah-daerah disekitarnya. Waduk ini dimanfaatkan sebagai pengairan atau irigasi pertanian, budidaya perikanan serta objek wisata (Prasetyo et al., 2019). Namun, seiring berjalannya waktu Waduk Gondang mengalami beberapa permasalahan, seperti penyempitan area luasan waduk, pendangkalan waduk serta penurunan kualitas air waduk.

Menurut Manshuri (tribunnews.com, 2015) sebanyak 3,5 juta m<sup>3</sup> volume sedimentasi terdapat di waduk dengan kapasitas maksimal daya tampung sebesar 23.712.500 m<sup>3</sup>. Hal tersebut menandakan bahwa sekitar 40% dari kapasitas total waduk telah terisi oleh

material sedimen. Jika peningkatan sedimen terjadi setiap tahun maka akan memberikan pengaruh terhadap fungsi waduk, padahal Waduk Gondang memiliki peranan yang sangat penting bagi daerah-daerah di sekitarnya. Oleh karena itulah, pemantauan secara berkala mengenai kondisi TSS waduk menjadi upaya yang harus dilakukan. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh bahan evaluasi dan juga kebijakan mengenai penetapan penanganan yang tepat bagi permasalahan berupa endapan sedimen di waduk.

Pengamatan TSS di laboratorium secara konvensional dinilai bersifat kurang efisien baik dari segi waktu, tenaga dan biaya. Wilayah waduk yang terbilang cukup luas tentunya memerlukan waktu dan tenaga serta biaya yang tidak sedikit jika pemantauan dilakukan secara konvensional. Oleh karena itu, teknik penginderaan jauh dengan memanfaatkan data satelit dapat menjadi solusi alternatif yang lebih efisien untuk melakukan pemantauan TSS di waduk. Citra landsat menjadi salah satu jenis citra yang sering digunakan sebagai bahan dalam memantau kondisi waduk. Citra Landsat memiliki berbagai kelebihan untuk digunakan dalam memantau kondisi perairan. Cakupan wilayah yang luas, perulangan yang tinggi dan kemudahan dalam analisis spasial karena memiliki berbagai kanal band yang sesuai untuk monitoring kualitas air menjadi salah satu alasan banyaknya penggunaan citra jenis ini.

Material sedimen di perairan yang diamati dari perkembangan distribusi nilai TSS diidentifikasi dari pantulan spektral yang ada pada citra landsat. Komponen air yang berbeda memiliki sifat spektral yang berbeda. Respon spektral air dalam spektrum tampak dapat memberikan informasi penting dan efektif tentang zat dalam air (Nurgiantoro et al., 2019).

Citra satelit landsat telah banyak digunakan untuk memantau kondisi TSS di objek perairan. Algoritma-algoritma TSS telah banyak dikembangkan untuk memudahkan pemantauan dan monitoring yang dilakukan. Hasil estimasi nilai TSS melalui penerapan algoritma dengan data citra satelit akan menunjukkan sebaran kadar TSS secara spasial dan teramati secara multitemporal. Algoritma yang telah banyak digunakan untuk melakukan pemantauan mengenai kondisi TSS di perairan salah satunya adalah algoritma milik Budhiman, Parwati dan Guzman & Santaella. Penelitian-penelitian sebelumnya yang memanfaatkan ketiga algoritma tersebut adalah Sukmono (2018), Sukmono et al. (2018), Sudarwati (2021), dan Budiando dan Hariyanto (2017).

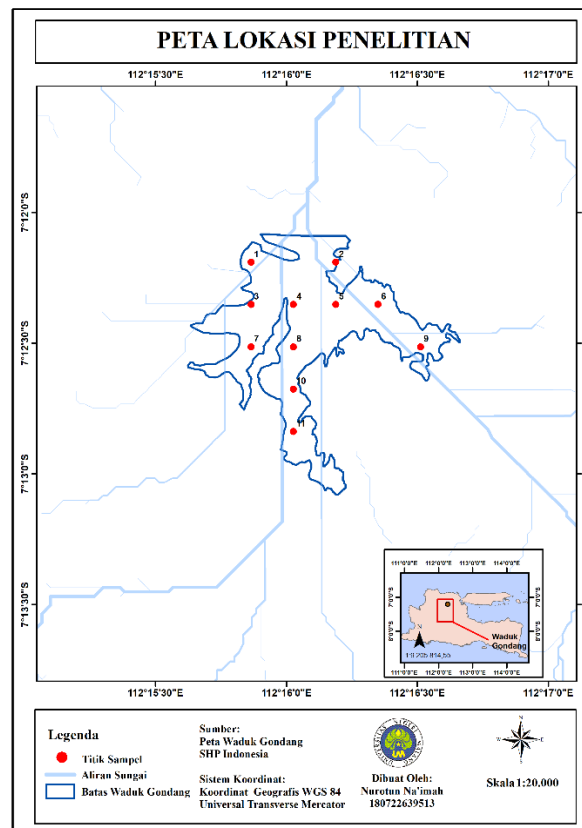
Berdasarkan pada permasalahan yang telah dijabarkan sebelumnya dan melihat begitu pentingnya pemantauan kondisi TSS di waduk Gondang dikarenakan waduk yang kondisinya terus mengalami peningkatan sedimentasi dan menyebabkan terjadinya penyempitan, pendangkalan dan penurunan fungsi waduk serta ditambah lagi dengan belum pernah ada penelitian terdahulu yang melakukan pemantauan TSS di waduk tersebut maka penulis bermaksud untuk melakukan penelitian dengan judul “Pemetaan Distribusi Total Suspended Solid (TSS) di Waduk Gondang Lamongan Menggunakan Citra Landsat Multi Temporal”. Penelitian dilakukan dengan beberapa tujuan, yaitu mengetahui algoritma empiris yang sesuai untuk digunakan dalam mengestimasi konsentrasi TSS di Waduk Gondang Lamongan, mengkaji distribusi spasial TSS di Waduk Gondang dengan rentang waktu 3 tahunan, yakni di tahun 2016, 2019, dan 2022, serta menganalisis perubahan kondisi TSS waduk di tahun-tahun tersebut. Penulis berharap bahwa penelitian dapat dijadikan sebagai bahan dan masukan dalam rangka penentuan kebijakan mengenai pengelolaan waduk dan tentunya bisa digunakan pula sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.

## 2. Metode

Penelitian tergolong pada jenis penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan menggunakan metode survei. Jenis data yang akan digunakan pada penelitian ini ialah data primer dan sekunder. Data primer didapatkan dari hasil pengukuran objek di lapangan. Sedangkan, data sekunder didapatkan dari literatur-literatur hasil penelitian sebelumnya.

### 2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian berlokasi di Waduk Gondang Lamongan yang terletak di Kecamatan Sugio, Kabupaten Lamongan. Waduk Gondang merupakan waduk yang dibentuk dengan membendung Sungai Gondang. Citra yang digunakan pada penelitian ini adalah citra Landsat 8 OLI/TIRS akuisisi tahun 2016, 2019, dan 2022. Waktu penelitian dilakukan saat musim kemarau tahun 2022 dengan tujuan meminimalisir tutupan awan pada citra yang digunakan. Jumlah titik sampel dalam penelitian ini berjumlah 11 titik yang diambil dengan metode *systematic grid sampling* dimana titik koordinat sampel dipilih secara acak dengan menyesuaikan jarak titik yang telah ditentukan. Tujuan dari pemilihan metode sampling ini adalah agar lebih memudahkan dalam membuat peta pola spasial yang berasal dari grid. Jarak 300x300 meter pergrid dinilai akan memudahkan peneliti untuk mengambil sampel di lokasi objek penelitian dengan kondisi yang cukup luas. Selain itu, metode pengambilan sampel yang dipilih ini juga bertujuan agar sampel yang diambil bersifat menyebar di seluruh bagian waduk. Efisiensi waktu dan tenaga serta biaya yang diperlukan untuk uji laboratorium juga menjadi pertimbangan terkait pemilihan jenis sampel yang dilakukan. Adapun, lokasi dari kegiatan penelitian ini terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

## 2.2. Alat dan Bahan

### 2.2.1. Perangkat Keras

- Laptop
- Botol sampel
- GPS
- Perahu motor
- *Cooling Box*
- Kamera
- Alat tulis
- Jam digital
- Timbangan analitik
- Oven
- Cawan
- Pipet
- Gelas ukur
- penjepit

### 2.2.2. Perangkat Lunak

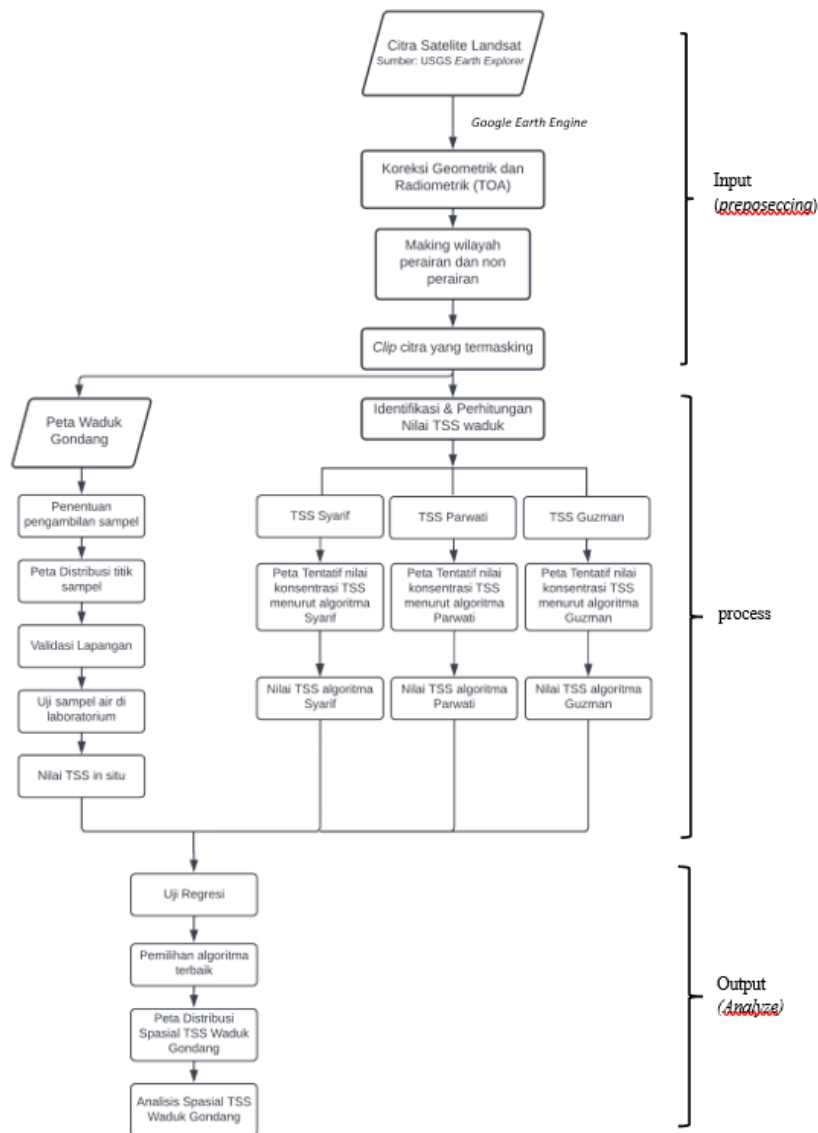
- *Google Earth Engine*, digunakan untuk pengolahan data citra
- ArcGIS 10.7, digunakan untuk menentukan titik validasi lapangan dan proses *layouting*
- *Microsoft Office 2013*, digunakan untuk penyusunan laporan.
- *Microsoft Excel 2013*, digunakan untuk proses kalkulasi perhitungan dan penentuan persamaan baru algoritma TSS.

Sedangkan, bahan yang digunakan terdiri atas:

- Citra Landsat 8 OLI/TIRS akuisisi tahun 2016, 2019 dan 2022
- Citra Sentinel 2A akuisisi tahun 2016, 2019 dan 2022
- Data *Digital Elevation Model* (DEM) wilayah Waduk Gondang
- Data sampel air dari survei lapangan
- Kertas saring
- Aquades

## 2.3. Analisis Data

Pada diagram alir (Gambar 2) diketahui bahwa pemetaan *Total Suspended Solid* (TSS) di Waduk Gondang dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu *preprocessing*, *processing*, dan *analysis*. Tahap *preprocessing* terdiri atas proses memuat citra yang telah terkoreksi dan masking serta *clipping* citra. Tahap *processing* terdiri atas perhitungan TSS temporal dengan algoritma terpilih. Tahap analisis terdiri atas pembuatan peta TSS dan validasi data insitu yang selanjutnya dilakukan regresi untuk menentukan algoritma terbaik di Waduk Gondang.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

### 2.3.1. Tahap Preprocessing Data

Citra yang diperlukan untuk melakukan kegiatan penelitian ini adalah citra Landsat 8 OLI/TIRS. Citra diperoleh melalui USGS Earth Explorer dengan akses pada Google Earth Engine (GEE). GEE merupakan *tools* utama yang digunakan untuk melakukan olah data spasial pada penelitian ini. GEE ialah salah satu *platform* yang memiliki kemampuan kinerja komputasi tinggi dalam mengolah dan menganalisis data geospasial yang berukuran besar (Kumar & Mutanga, 2018). GEE juga memungkinkan pengguna untuk tidak melakukan pengunduhan ketika mengakses data penginderaan jauh yang tersimpan dalam database GEE (Gorelick et al., 2017). Citra Tipe Tier 1 dipilih sebagai citra yang akan digunakan untuk bahan analisis. Hal ini dikarenakan tipe Tier 1 merupakan tipe yang telah mengalami proses koreksi radiometrik dan geometric. Adapun, tahapan yang dilakukan untuk proses preprocessing adalah sebagai berikut:

### 2.3.1.1. Proses Memuat Citra

Tahapan pertama pada proses preprocessing adalah memuat citra yang hendak digunakan. Citra kategori Tier 1 TOA (Top of Atmospheric) dipilih sebagai bahan yang akan dianalisis. Citra jenis ini merupakan citra yang telah mengalami proses koreksi geometric menggunakan sudut matahari dan terkoreksi radiometric TOA dimana Digital Number diubah menjadi Top of Atmospheric (Chander, Markham, & Helder, 2009).

### 2.3.1.2. Masking Citra

Masking merupakan tahapan untuk memisahkan badan air dengan daratan. Proses masking pada penelitian ini memanfaatkan metode index perairan yang berupa MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index). MNDWI merupakan bentuk modifikasi dari metode NDWI (Normalized Difference Water Index). Rumus yang diterapkan untuk penggunaan metode MNDWI (Han-Qiu, 2005) adalah sebagai berikut:

$$\text{MNDWI} = \frac{(B3+B6)}{B3-B6} \quad (1)$$

Setelah memasukkan persamaan MNDWI maka dilakukanlah masking untuk memisahkan badan air dan daratan. Nilai badan air ditunjukkan dengan index >0,5. Jika nilai kurang dari 0,5 maka bagian tersebutlah yang akan termasking.

### 2.3.1.3. Clipping Citra

Clipping dilakukan dengan tujuan memotong citra landsat yang telah dipilih dengan hasil indeks perhitungan MNDWI. Selanjutnya hasil clipping citra inilah yang akan digunakan untuk bahan analisis.

## 2.3.2. Tahap Processing Data

Nilai konsentrasi TSS (*Total Suspended Solid*) diketahui dari penerapan algoritma yang telah dikembangkan sebelumnya oleh Syarif Budhiman, Parwati dan Guzman&Santaella. Algoritma tersebut dipilih berdasarkan banyaknya penggunaannya untuk perhitungan TSS di perairan waduk dan juga berdasarkan pada karakteristik dari Waduk Gondang. Adapun penjelasan dari ke tiga algoritma yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

### 2.3.2.1. Syarif Budhiman

Syarif Budhiman mengembangkan algoritma TSS dengan lokasi penelitian di Delta Mahakam. Metode *Bio Optical Modelling* mendeteksi materi TSS dan menganalisis sebaran atau distribusinya. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut (Budhiman, 2005):

$$\text{TSS (mg/l)} = 8,1429 \times (\exp (23,704 \times 0,94 \times \text{Red Band})) \quad (2)$$

Keterangan:

TSS = *Total Suspended Solid*

Red Band = Reflektansi band 4

Exp = eksponen (pangkat)

### 2.3.2.2. Parwati

Parwati mengembangkan algoritma saat melakukan penelitian mengenai optimalisasi terhadap pengawasan TSS di lingkungan pantai Pulau Poteran. TSS di lokasi tersebut sebagian besar mendapat pengaruh dari adanya limbah industri (Parwati & Purwanto 2017):

$$\text{TSS (mg/l)} = 3,3238 \times \exp(34,099 \times \text{Red Band}) \quad (3)$$

Keterangan:

TSS = *Total Suspended Solid*  
Red Band = Nilai reflektan Red Band  
Exp = eksponen (pangkat)

### 2.3.2.3. Guzman & Santaella

Algoritma yang dikembangkan oleh Guzman & Santaella di tahun 2009 memanfaatkan reflektansi band 4 untuk Landsat 8 dan Band 3 untuk Landsat 7. Hal tersebut didasarkan pada nilai reflektan yang paling baik dihasilkan dengan menggunakan panjang gelombang tertentu (Guzman & Santaella, 2009):

$$\text{TSS (mg/l)} = 602,63 \times (0,0007 \exp(47,755 \times \text{Red Band})) + 3,1481 \quad (4)$$

Keterangan:

TSS = *Total Suspended Solid*  
Red Band = Nilai reflektan Red Band  
Exp = eksponen (pangkat)

### 2.3.3. Tahap Analysis

Nilai TSS dari hasil perhitungan dengan penerapan ketiga algoritma kemudian diklasifikasikan kedalam 4 kelas, yakni kelas normal, tercemar ringan, tercemar sedang dan tercemar berat. TSS masuk pada kategori normal apabila bernilai 0-30 mg/L, tercemar ringan dengan nilai 30-50 mg/L, tercemar sedang dengan nilai 50-75 mg/L dan tercemar berat jika bernilai >75 mg/L. Langkah selanjutnya adalah nilai TSS hasil penerapan algoritma divalidasi dengan pengukuran sampel di lapangan. Air sampel diambil di lokasi titik sampel yang telah dibuat sebelumnya. Air waduk yang dijadikan sampel adalah air yang berada di permukaan (<50 cm). air diambil dan disimpan pada botol AQUA yang telah dilakban berwarna hitam dengan tujuan untuk mencegah masuknya sinar matahari yang dapat mengubah sifat fisik air. Pengolahan data in situ dilakukan di laboratorium. Cara pengujian nilai TSS di laboratorium dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri yang sesuai dengan prosedur dari BSN (2004), Standar Nasional Indonesia (SNI 06-6989.3-2004). Metode gravimetri dipilih karena merupakan metode yang paling akurat dan sederhana dalam pengukuran TSS. Metode ini mempertimbangkan hasil dari reaksi pengendapan sejumlah zat dengan cara pengukuran berat. Cara uji dan prinsip dari metode ini adalah: 1) Menimbang kertas dan menyaring sampel yang digunakan, 2) Hasil saringan berupa residu dikeringkan pada suhu 103-105°C, 3) Berat yang bertambah dari semula merupakan berat materi TSS, 4) Nilai TSS dihitung dengan persamaan 5 (BSN, 2004).

$$\text{TSS (mg/l)} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume (ml)}} \quad (5)$$



Keterangan:

- A = Berat kertas saring + residu kering (mg)  
B = Berat kertas saring awal (mg)

Agar pengukuran TSS di laboratorium yang dilakukan terjamin mutu dan validitasnya maka terdapat aturan yang harus dilakukan selama proses pengujian sampel air di laboratorium: 1) Sebelum digunakan, gelas harus disterilisasi dengan menggunakan aquades agar bebas dari kontaminasi, 2) Alat yang digunakan adalah alat yang telah dikalibrasi, 3) Segera melakukan analisis laboratorium setelah mengambil sampel, dan 4) Selang waktu maksimal adalah selama 24 jam (batas maksimum) untuk menyimpan sampel.

Setelah diperoleh estimasi TSS dari uji laboratorium yang telah dilakukan, selanjutnya dilakukanlah tahap uji ketelitian data hasil olah citra dengan nilai hasil uji laboratorium. Tahapan tersebut dilakukan dengan menggunakan uji regresi linear sederhana. Hasil dari regresi linear sederhana akan menunjukkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ). Koefisien Determinasi ( $R^2$ ) merupakan kriteria kecocokan yang memiliki nilai dengan kisaran 0 (nol) hingga 1 (satu). Jika nilai yang dihasilkan mendekati 1 maka akan semakin dekat pula kedekatan antara dua hal yang dibandingkan dan model tersebut menunjukkan model terbaik. Persamaan yang digunakan dari Titi (2006), yaitu:

$$y = a + bx \quad (6)$$

Keterangan:

- y = Variabel kriterium  
x = Variabel prediktor  
a = Variabel konstan  
b = Koefisien arah regresi linear

Nilai dari  $R^2$  dan  $RMSerror$  bersifat berbanding terbalik. Semakin tinggi nilai dari  $R^2$  akan menunjukkan nilai  $RMSerror$  yang semakin kecil. nilai  $RMSerror$  mendekati 0 menunjukkan model pendugaan terbaik. Rumus yang digunakan, yaitu:

$$RMS\ Error = \sqrt{\frac{\text{nilai sesungguhnya (in situ)} - \text{nilai duga}}{n-2}} \quad (7)$$

Keterangan:

- n = Jumlah sampel

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Analisis Algoritma TSS Terbaik di Waduk Gondang

Algoritma terbaik untuk mengestimasi sebaran TSS di Waduk Gondang ditentukan dengan melakukan tahap uji regresi data hasil olah citra dengan data in situ berupa uji sampel air di laboratorium. Tujuan dari ditentukannya algoritma terbaik adalah untuk memilih algoritma yang paling sesuai dengan kondisi dari sebaran TSS di Waduk Gondang. Nilai TSS hasil olah citra didapatkan dari penerapan ketiga algoritma terpilih, yakni algoritma Syarif, Parwati dan Guzman & Santaella yang diaplikasikan pada citra Landsat 8 OLI/TIRS dengan waktu akuisisi di tanggal 3 Juni 2022. Sedangkan, data in situ diambil pada tanggal

yang sama dengan data akuisisi citra yang digunakan yakni di tanggal 3 Juni 2022. Data in situ tersebut diambil pada pukul 15.00 WIB. Data in situ berupa sampel air berjumlah sebanyak 11 sampel yang diambil dari 11 titik lokasi yang menyebar di seluruh bagian sisi waduk. Data sampel air tersebut kemudian di uji laboratorium dengan menggunakan metode gravimetri. Hasil perhitungan nilai TSS dari uji laboratorium menggunakan metode gravimetri dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1. Nilai TSS in Situ (Laboratorium) dengan Menggunakan Metode Gravimetri**

No	Sampel (mg)		Volume Uji (ml)	Nilai TSS (mg/l)
	berat awal (b)	berat akhir (a)		
1	40.909	42.309	50	28
2	44.087	45.187	50	22
3	38.844	40.044	50	24
4	38.737	39.787	50	21
5	44.267	45.767	50	30
6	41.049	43.649	50	52
7	39.568	42.068	50	50
8	44.110	45.310	50	24
9	41.546	42.746	50	24
10	41.966	44.516	50	51
11	41.567	44.667	50	62

Data in situ berupa hasil uji laboratorium dari nilai TSS di lapangan juga merupakan bentuk uji validasi untuk data yang telah diolah dengan menggunakan penerapan algoritma pada citra terpilih. Data TSS yang didapatkan dari hasil olah citra dengan menerapkan ketiga algoritma, yaitu algoritma Syarif, Parwati, dan Guzman & Santaella terlihat pada Tabel 2.

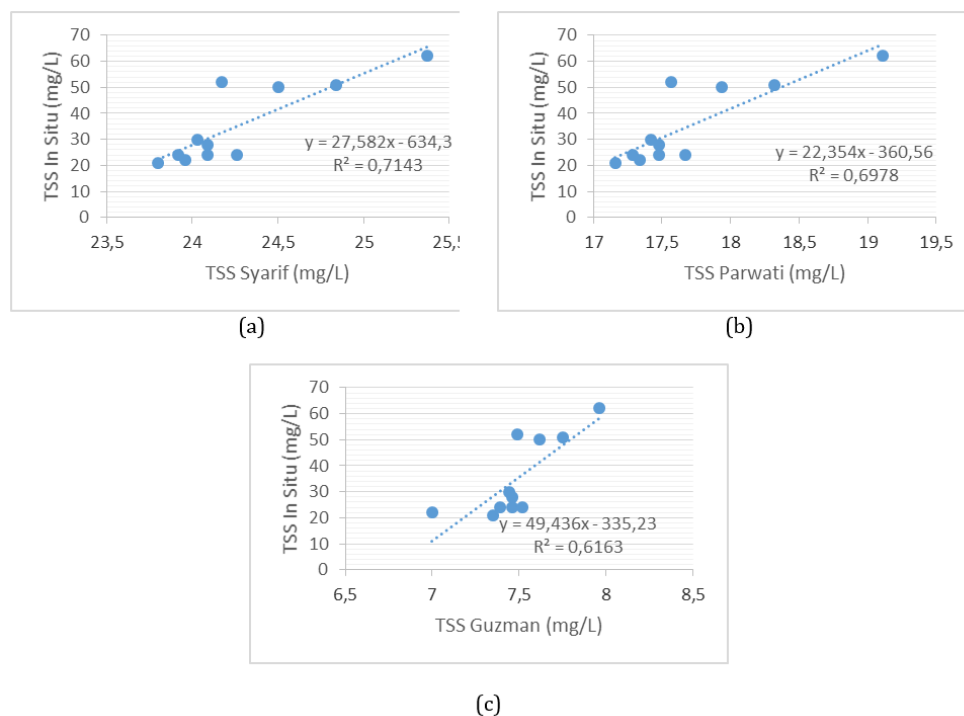
**Tabel 2. Nilai Konsentrasi TSS Algoritma Syarif, Parwati, dan Guzman&Santaella**

No	Koordinat Geografis		TSS In Situ (mg/L)	TSS Algoritma Syarif (mg/L)	TSS Algoritma Parwati (mg/L)	TSS Algoritma Guzman&Santaella (mg/L)
	x	y				
1	112.2643	-7.2031	28	24.09	17.48	7.46
2	112.2698	-7.2030	22	23.96	17.34	7
3	112.2643	-7.2057	24	24.09	17.48	7.46
4	112.2670	-7.2057	21	23.8	17.16	7.35
5	112.2697	-7.2057	30	24.03	17.42	7.44
6	112.2724	-7.2057	52	24.17	17.57	7.49
7	112.2643	-7.2084	50	24.5	17.94	7.62
8	112.2670	-7.2085	24	23.92	17.29	7.39
9	112.2752	-7.2085	24	24.26	17.67	7.52
10	112.2671	-7.2111	51	24.84	18.32	7.75
11	112.2671	-7.2138	62	25.37	19.11	7.96

Hasil uji regresi untuk menentukan algoritma terbaik dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil menunjukkan bahwa nilai R2 (Koefisien Determinasi) tertinggi dimiliki oleh algoritma Syarif dengan nilai R2 sebesar 0,71. Selanjutnya, nilai R2 tertinggi kedua dimiliki oleh algoritma Parwati sebesar 0,69 dan nilai R2 terendah dimiliki oleh algoritma milik Guzman & Santaella, yaitu sebesar 0,61. Nilai koefisien determinasi (R2) yang semakin mendekati 1

menandakan bahwa semakin dekat dan semakin baik pula algoritma yang digunakan untuk mengestimasi nilai TSS di Waduk Gondang.

Pada Gambar 3 juga terlihat bahwa nilai TSS hasil olah data citra dengan TSS In situ menunjukkan hubungan persamaan yang positif, selain itu persamaan yang dihasilkan juga bersifat berbanding lurus dan searah. Nilai R<sup>2</sup> tertinggi yang dimiliki oleh algoritma Syarif dapat diartikan bahwa algoritma syarif merupakan algoritma terbaik untuk mengestimasi nilai TSS di Waduk Gondang jika dibandingkan dengan algoritma milik Parwati dan Guzman&Santaella. Model persamaan yang digunakan untuk estimasi TSS dengan algoritma Syarif di Waduk Gondang adalah  $TSS = 27.582x - 634.3$  dengan X adalah nilai reflektan hasil perhitungan algoritma Syarif.



**Gambar 3. Hasil dari Proses Regresi Nilai TSS Algoritma Syarif dan In Situ (a), Parwati dan In Situ (b) dan Guzman & Santaella dan In Situ (c)**

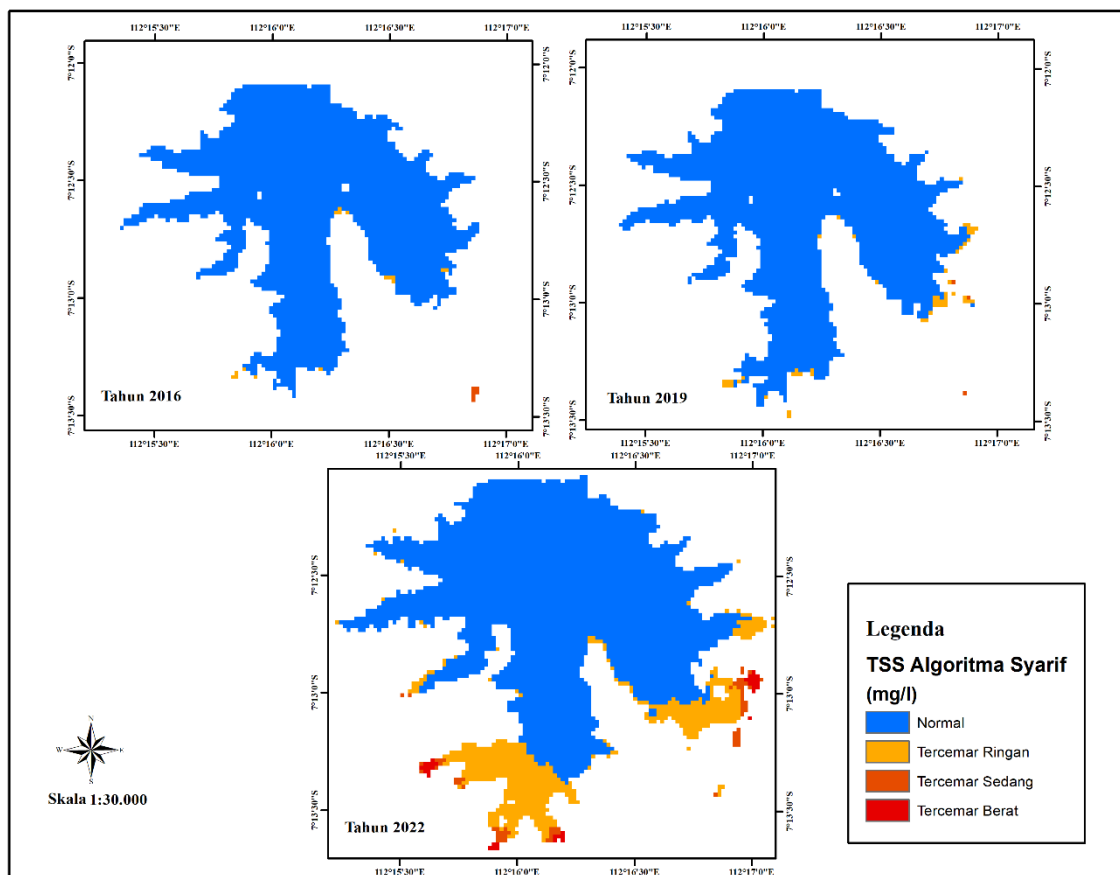
### 3.2. Analisis Distribusi Spasial TSS di Waduk Gondang Pada Tahun 2019 dan 2022

Hasil pengolahan data citra untuk mengetahui perkembangan dari distribusi spasial kondisi TSS di Waduk Gondang menunjukkan bahwa pola kandungan TSS di setiap tahun penelitian terus mengalami peningkatan. Peningkatan ini terjadi pada setiap kategori kelas, baik untuk kelas normal (0-30 mg/L), kelas tercemar ringan (30-50 mg/L), kelas tercemar sedang (50-75 mg/L), maupun pada kelas tercemar berat (>75 mg/L). Peningkatan tersebut ditunjukkan dengan semakin bertambah luasnya area cakupan TSS untuk masing-masing kelas. Berdasarkan hasil olah data yang telah dilakukan diketahui bahwa algoritma terbaik untuk memetakan sebaran TSS di Waduk Gondang adalah dengan menggunakan algoritma Syarif Budhiman. Nilai R<sup>2</sup> untuk algoritma Syarif didapatkan sebesar 0,71 atau 71%. Hal ini menandakan bahwa sebagian besar kondisi TSS di lapangan dapat dijelaskan oleh citra yang

diolah dengan menerapkan algoritma Syarif. Adapun, penjelasan mengenai sebaran dari kondisi TSS di Waduk Gondang dari tahun 2016 hingga 2022 berdasarkan penerapan ketiga algoritma adalah sebagai berikut.

### 3.2.1. Algoritma Syarif Budhiman

Berdasarkan algoritma Syarif diketahui bahwa konsentrasi TSS di Waduk Gondang dari tahun 2016, 2019 ke tahun 2022 terus mengalami peningkatan. Konsentrasi TSS pada tahun 2016 berkisar diantara 16 mg/L hingga 50 mg/L. Pada tahun 2019 nilai konsentrasi TSS meningkat menjadi 20 mg/L hingga 69 mg/L dan di tahun 2022 nilai konsentrasi TSS mengalami peningkatan yang sangat signifikan menjadi 23 mg/L hingga 109 mg/L.



**Gambar 4. Distribusi Spasial TSS Tahun 2016, 2019 dan 2022 menurut Algoritma Syarif Budhiman**

Selain mengalami peningkatan kadar konsentrasi nilai TSS, peningkatan ini juga terjadi pada jumlah luas di setiap kategori kelas. Tahun 2016 sebaran TSS di Waduk Gondang didominasi pada konsentrasi 0-30 mg/L yang berarti bahwa perairan tersebut tergolong belum tercemar atau normal. Sedangkan, sisanya berada pada kelas tercemar ringan (30-50 mg/L) dengan area cakupan yang berada sedikit di bagian tepi waduk dan memiliki luas sebesar 1,65 Ha.

Pada tahun 2019 luasan terbesar juga berada pada kelas normal (0-30 mg/L), yaitu seluas 289,3 Ha. Kelas tercemar ringan (30-50 mg/L) mengalami penambahan luasan

menjadi sebesar 5,04 mg/L. Adapun, sisanya berada pada kelas tercemar sedang (50-75 mg/L) dengan luasan sebesar 0,27 Ha.

Pada tahun 2022 penambahan luasan dan peningkatan kadar TSS terjadi sangat signifikan. Kelas normal (0-30 mg/L) bertambah luas menjadi sebesar 351.3 Ha, kelas tercemar ringan bertambah luas menjadi sebesar 63,18 Ha dan kelas tercemar sedang bertambah menjadi seluas 6,39 Ha, selain itu di tahun 2022 ini konsentrasi TSS di Waduk Gondang juga ada yang mencapai hingga kelas tercemar berat (>75 mg/L) dengan area cakupan luas sebesar 3,42 Ha.

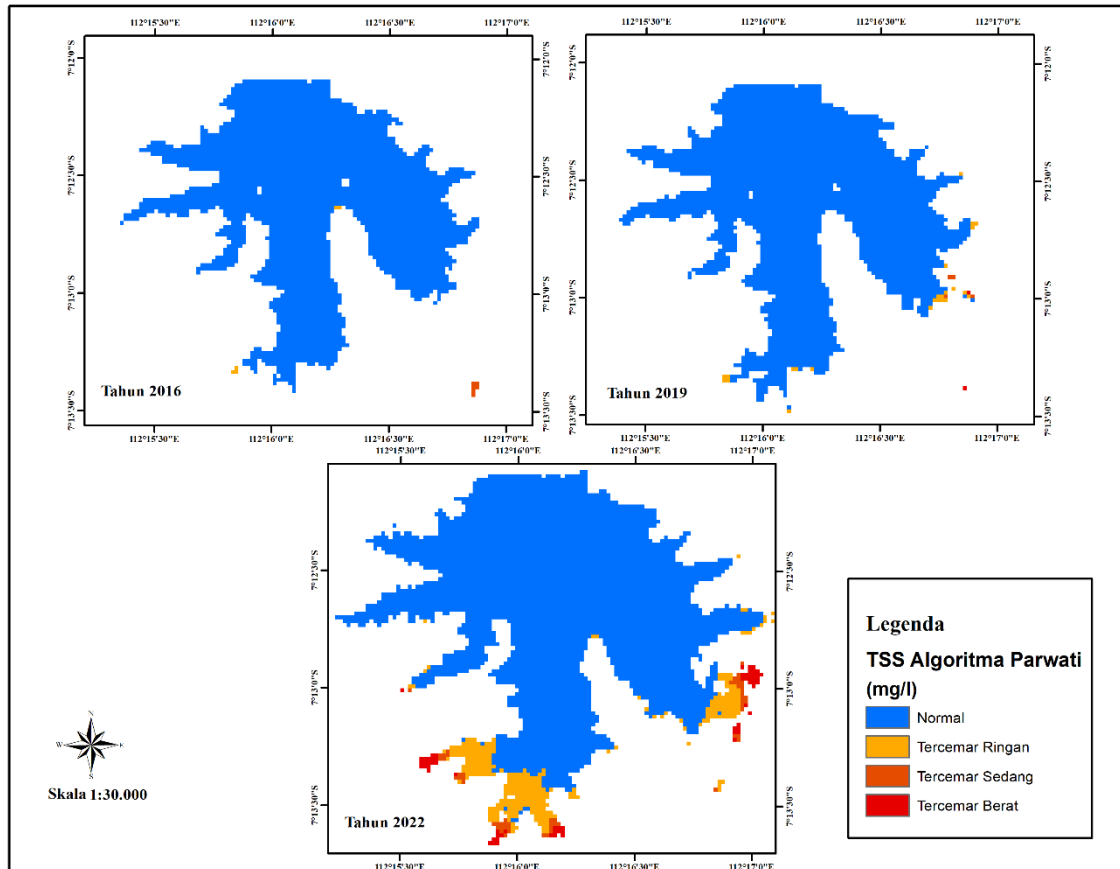
**Tabel 3. Perbandingan Luas TSS Tahun 2016, 2019 dan 2022 Menurut Algoritma Syarif**

No	Tahun	Luas (Ha)			
		0-30 mg/L	30-50 mg/L	50-75 mg/L	>75 mg/L
1	2016	286.8	1.65	-	-
2	2019	289.3	5.04	0.27	-
3	2022	351.3	63.18	6.39	3.42

Berdasarkan data pada Gambar 4 dan Tabel 3 dapat diketahui bahwa secara keseluruhan nilai konsentrasi TSS di Waduk Gondang selama tahun 2016, 2019 hingga 2022 mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Hal ini ditunjukkan dengan terjadinya penambahan area luasan pada kelas tercemar sedang, tercemar ringan hingga tercemar berat. Konsentrasi TSS di tahun 2016 dan 2019 hanya mengalami perubahan berupa peningkatan yang tidak begitu signifikan. Namun, di tahun 2022 konsentrasi TSS meningkat sangat signifikan. Hal tersebut dipengaruhi oleh intensitas hujan yang masih cukup tinggi selama bulan Juni tahun 2022. Intensitas hujan yang tinggi ini terjadi dikarenakan adanya fenomena La Nina moderat (Mufarida, 2022) yang melanda wilayah Indonesia. Intensitas hujan yang tinggi ditambah dengan terjadinya fenomena pasang membuat volume dan luasan air di Waduk Gondang saat bulan Juni tahun 2022 menjadi berbeda sangat signifikan jika dibandingkan pada tahun 2016 dan 2019. Berdasarkan pada peta di Gambar 4 juga terlihat bahwa peningkatan konsentrasi TSS terjadi dibagian sisi timur, tenggara dan selatan waduk. Bagian-bagian ini merupakan bagian inlet dan juga area muara dari sungai yang mengalir Waduk Gondang. Selain itu, bagian tersebut juga merupakan area yang berhadapan dan berbatasan langsung dengan aktivitas pertanian dan perikanan yang dilakukan oleh masyarakat di sekitar Waduk Gondang. Hal tersebut tentunya memberikan dampak pada tingginya kadar TSS di sisi tepian selatan, tenggara dan timur waduk dikarenakan material-material sisa dari limbah pertanian maupun limbah yang dihasilkan dari aktivitas tambak akan langsung jatuh ke perairan waduk.

### 3.2.2. Algoritma Parwati

Berdasarkan algoritma parwati, nilai konsentrasi TSS dari tahun 2016 hingga ke 2022 juga terus mengalami peningkatan. Konsentrasi TSS pada tahun 2016 berkisar diantara 10 mg/L hingga 75 mg/L. Pada tahun 2019 nilai konsentrasi TSS meningkat menjadi 13 mg/L hingga 88 mg/L dan di tahun 2022 nilai konsentrasi TSS mengalami peningkatan yang sangat signifikan menjadi 17 mg/L hingga 175 mg/L.



**Gambar 5. Distribusi Spasial TSS Tahun 2016, 2019 dan 2022 Menurut Algoritma Parwati**

Sama halnya dengan algoritma syarif, perhitungan yang dihasilkan dari algoritma Parwati juga menunjukkan bahwa peningkatan kadar TSS tidak hanya terjadi pada tingkat konsentrasinya, tetapi juga pada area cakupan luasan dari setiap kategori kelas. Tahun 2016 sebagian besar area waduk berada di kelas normal (0-30 mg/L) dengan luas sebesar 288 Ha. Kelas tersemar ringan (30-50 mg/L) hanya seluas 0,36 Ha dan sisanya masuk kategori kelas tercemar sedang dengan luas sebesar 0,09 Ha.

Pada tahun 2019 area luasan untuk kelas tercemar ringan (0-30 mg/L) bertambah menjadi sebesar 291,9 Ha, sedangkan untuk kelas tercemar ringan (30-50 mg/L) bertambah menjadi seluas 2,16 Ha. Adapun, untuk kelas tercemar sedang (50-75 mg/L) bertambah menjadi 0,36 Ha dan terdapat area waduk yang masuk pada kelas tercemar berat dengan luas sebesar 0,18 Ha.

Tahun 2022 peningkatan kadar TSS terjadi sangat signifikan. Kategori kelas normal (0-30 mg/L) bertambah menjadi seluas 381,1 Ha. Kelas tercemar ringan (30-50 mg/L) menjadi seluas 32,2 Ha. Kelas tercemar sedang (50-75 mg/L) dan kelas tercemar berat (>75 mg/L) memiliki luasan sebesar 5,13 dan 5,85 Ha.

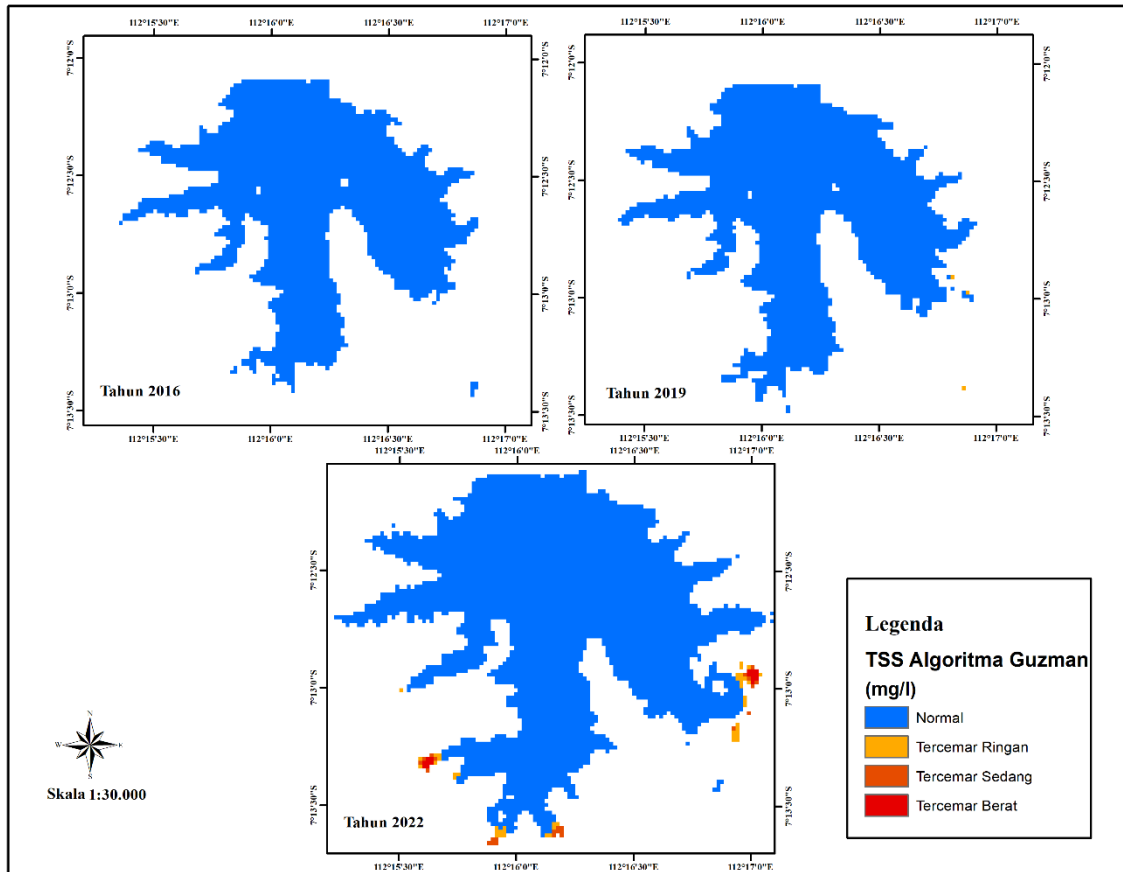
**Tabel 4. Perbandingan Luas TSS Tahun 2016, 2019 dan 2022 Menurut Algoritma Parwati**

No	Tahun	Luas (Ha)			
		0-30 mg/L	30-50 mg/L	50-75 mg/L	>75 mg/L
1	2016	288	0.36	0.09	
2	2019	291.9	2.16	0.36	0.18
3	2022	381.1	32.22	5.13	5.85

Algoritma parwati mengestimasi konsentrasi TSS di Waduk Gondang dengan hasil yang tidak jauh berbeda dengan algoritma Syarif Budhiman. Hasil regresi juga menunjukkan selisih nilai  $R^2$  yang kecil antara regresi syarif dengan milik parwati. Algoritma parwati dikembangkan pertama kali untuk mengestimasi nilai TSS di lingkungan perairan pantai yang tercemar akibat limbah industri. Perbedaan antara sifat perairan pantai dengan waduk inilah yang memungkinkan adanya sedikit perbedaan hasil estimasi dengan algoritma parwati ketika diterapkan untuk perairan waduk.

### 3.2.3. Algoritma Guzman & Santaella

Hasil olah data citra dengan menggunakan algoritma guzman juga menunjukkan adanya peningkatan kadar TSS dari tahun ke tahun (2016-2022). Konsentrasi TSS pada tahun 2016 berkisar diantara 5 mg/L hingga 30 mg/L. Pada tahun 2019 nilai konsentrasi TSS meningkat menjadi 6 mg/L hingga 44 mg/L dan di tahun 2022 nilai konsentrasi TSS kembali mengalami peningkatan menjadi 7 mg/L hingga 112 mg/L.



**Gambar 6. Distribusi Spasial TSS Tahun 2016, 2019 dan 2022 Menurut Guzman & Santaella**

Algoritma Guzman memberikan hasil estimasi nilai TSS lebih kecil (rendah) jika dibandingkan dengan estimasi yang dilakukan oleh algoritma syarif dan algoritma parwati, namun hasil estimasi algoritma guzman juga menunjukkan jika peningkatan kadar TSS tidak hanya terjadi pada tingkat konsentrasinya, tetapi juga pada area cakupan luasan dari setiap kategori kelas. Tahun 2016 seluruh bagian waduk memiliki kadar TSS dengan kelas normal (0-30 mg/L) yang seluas 288,4 Ha. Pada tahun 2019 terjadi peningkatan konsentrasi TSS dimana kelas normal menjadi seluas 294,33 Ha dan sisanya masuk kategori kelas tercemar ringan (30-50 mg/L) dengan luasan sebesar 0,27 Ha. Tahun 2022 konsentrasi TSS mengalami peningkatan yang sangat signifikan, kelas normal menjadi seluas 416,5 Ha, kelas tercemar ringan bertambah menjadi 4,14 Ha, kelas tercemar sedang (50-75 mg/L) menjadi 2,16 Ha dan sisanya seluas 1,5 Ha berada pada kelas tercemar berat (>75 mg/L).

Hasil olah data citra dengan penerapan algoritma guzman menunjukkan nilai yang rendah jika dibandingkan dengan hasil dari algoritma syarif dan algoritma parwati. Nilai  $R^2$  dari regresi data insitu dengan data algoritma guzman juga hanya bernilai sebesar 61% atau 0,61. Perbedaan yang terbilang cukup jauh antara hasil olah data algoritma guzman dengan algoritma syarif dan parwati menjadi indikasi bahwa algoritma guzman tidak sesuai jika diterapkan di Waduk Gondang. Algoritma Guzman dikembangkan di perairan tropis Amerika, yaitu perairan Teluk Mayaguez di bagian barat Puerto Rico.(Indeswari, 2018). Lokasi pengembangan algoritma yang berada di luar Indonesia, meskipun sesama perairan tropis tentunya tetap akan memberi perbedaan jika harus diterapkan di perairan Indonesia. Selain itu, perairan *Mayaguez Bay* yang luas dan perairan Waduk Gondang yang lebih kecil juga



menjadi salah satu faktor yang menyebabkan adanya ketidaksesuaian penerapan algoritma guzman untuk estimasi kondisi TSS di Waduk Gondang.

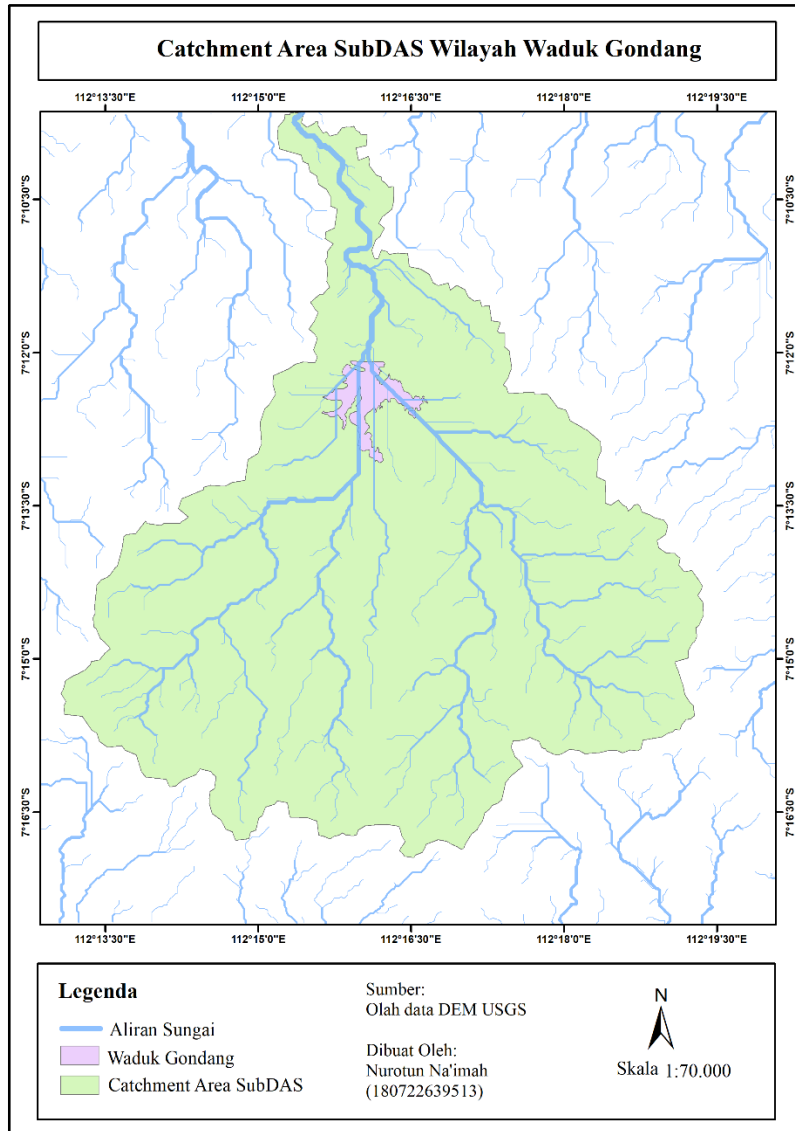
Hasil perhitungan nilai TSS di Waduk Gondang menunjukkan bahwa sebagian besar konsentrasi TSS di Waduk tersebut berada pada klasifikasi normal dan tercemar ringan. Hal ini dapat terlihat dari luasan area dari nilai konsentrasi TSS yang berada di kisaran 0-30 mg/L dan 30-50 mg/L mendominasi luasan secara keseluruhan. Sedangkan, kategori tercemar berat (>75 mg/L) dari tahun ke tahun juga terus mengalami peningkatan. Hal tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi TSS di Waduk Gondang semakin memburuk. Sebagian besar penambahan kadar TSS terjadi dibagian muara sungai dan tepian waduk yang merupakan area *inlet*. Hal tersebut dikarenakan bagian-bagian inilah yang akan memiliki kontak langsung dengan material padatan yang ikut terlarut bersama aliran sungai yang mengairi waduk, maupun material suspended yang dihasilkan dari limbah berbagai aktivitas yang dijalankan di lokasi waduk tersebut, seperti pertanian, tambak ikan dan kegiatan pariwisata .

Kondisi kualitas perairan waduk berdasarkan hasil perhitungan nilai TSS yang telah dilakukan menunjukkan bahwa mutu air waduk di beberapa titik tidak memenuhi kriteria kelas satu dan dua untuk klasifikasi mutu air berdasarkan PP No 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air. Pada peraturan tersebut dituliskan bahwa mutu air untuk kelas satu dan dua memiliki nilai TSS tidak lebih dari 50mg/L. Sedangkan, seperti yang telah diketahui bahwa terdapat beberapa area atau titik lokasi di Waduk Gondang yang memiliki konsentrasi TSS lebih dari 50 mg/L. Pada PP No 82 Tahun 2001 dijelaskan bahwa kelas satu merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air bakti air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut; sedangkan kelas dua ialah air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan ,air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut (Pemerintah Pusat, 2001). Berdasarkan hal tersebut maka dapat terlihat bahwa kondisi perairan di beberapa titik pada Waduk Gondang bersifat kurang baik karena memiliki kualitas air yang tidak sesuai jika dimanfaatkan untuk air minum, pengairan bagi pertanian hingga pembudidayaan ikan dan sebagai sarana prasarana rekreasi air.

### **3.3. Analisis Pola Perubahan TSS Waduk Gondang dilihat dari Kondisi SubDAS**

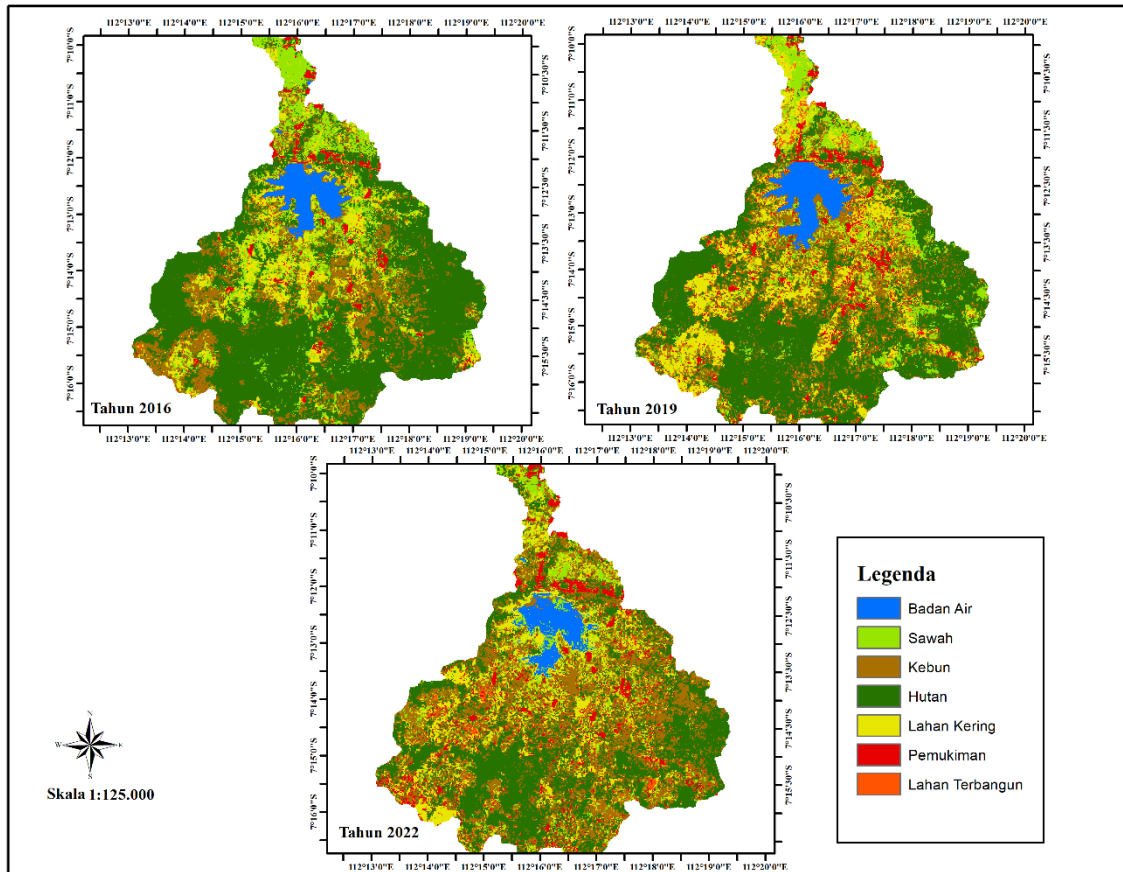
Waduk Gondang yang berlokasi di Kecamatan Sugio, Kabupaten Lamongan berada pada kawasan DAS Bengawan Solo bagian Hilir. DAS Bengawan Solo ialah DAS terbesar di Pulau Jawa dengan luas mencapai 16.100 km<sup>2</sup>. Adapun, luas dari bagian hilir DAS Bengawan Solo ini adalah sebesar 6.273 km<sup>2</sup> (Kementerian Pekerjaan Umum, 2010).

Berdasarkan hasil olah data DEM untuk menentukan wilayah sub-sub DAS yang mengalir Waduk Gondang diketahui bahwa Waduk Gondang merupakan waduk yang dialiri oleh SubDAS utama dengan luas mencapai 7.712 Ha. SubDAS yang mengalir waduk ini berbentuk melebar. Peta dari Sub DAS yang mengalir Waduk Gondang ditunjukkan pada Gambar 7 berikut.



**Gambar 7. Peta Sub DAS yang mengalir Waduk Gondang**

Peta distribusi spasial TSS hasil klasifikasi yang telah dibuat selanjutnya dianalisis dengan melihat kondisi dari Daerah Aliran Sungai yang mengalir Waduk Gondang. Jika dilihat berdasarkan kondisi SubDAS, persebaran TSS dipengaruhi oleh jumlah aliran sungai dan luas dari area SubDAS. SubDAS yang mengalir Waduk Gondang merupakan SubDAS terluas jika dibandingkan Sub-sub DAS lain di sekitarnya. Kondisi TSS Waduk Gondang di bagian tepian waduk terkhusus di bagian inlet dan muara sungai memiliki konsentrasi yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan area pinggiran atau tepi waduk berlokasi dekat dengan bagian daratan yang mana tanah yang terkikis dan tererosi akan langsung bercampur dengan air waduk, selain itu, material erosi yang terbawa oleh aliran sungai dari hulu ke hilir juga akan mengendap dibagian tepian waduk.



**Gambar 8. Peta Perubahan Penggunaan Lahan di SubDAS yang Mengaliri Waduk Gondang**

Berdasarkan peta yang ditunjukkan pada Gambar.8 dan data yang ditunjukkan oleh Tabel.5 terlihat bahwa area Sub DAS yang mengalir Waduk Gondang mengalami perubahan penggunaan lahan yang signifikan. Perubahan penggunaan lahan terlihat jelas dari tahun ke tahun. Alih fungsi lahan menjadi pemukiman dan lahan terbangun terus mengalami peningkatan, sedangkan lahan hijau seperti hutan dan area persawahan justru semakin mengalami penurunan. Area waduk dengan kadar TSS yang tinggi dan terus mengalami peningkatan berada di bagian inlet sisi Tenggara dan Selatan waduk. Bagian ini merupakan area yang didominasi dengan penggunaan lahan berupa kebun, lahan kering dan pemukiman. Material-material endapan hasil dari limbah industri, rumah tangga dan perkebunan tentu memberikan pengaruh pada tingginya kadar TSS di area tersebut. Perubahan penggunaan lahan pada bagian waduk yang memiliki kadar TSS tinggi juga terjadi secara masif yang pada mulanya area ini masih didominasi oleh kebun, lahan kering dan sawah di tahun 2022 berubah menjadi kebun, pemukiman dan lahan kering. Bentuk penggunaan lahan berupa area pemukiman semakin meningkat dan menjadi salah satu penggunaan lahan dominan di sisi Tenggara dan Selatan waduk.

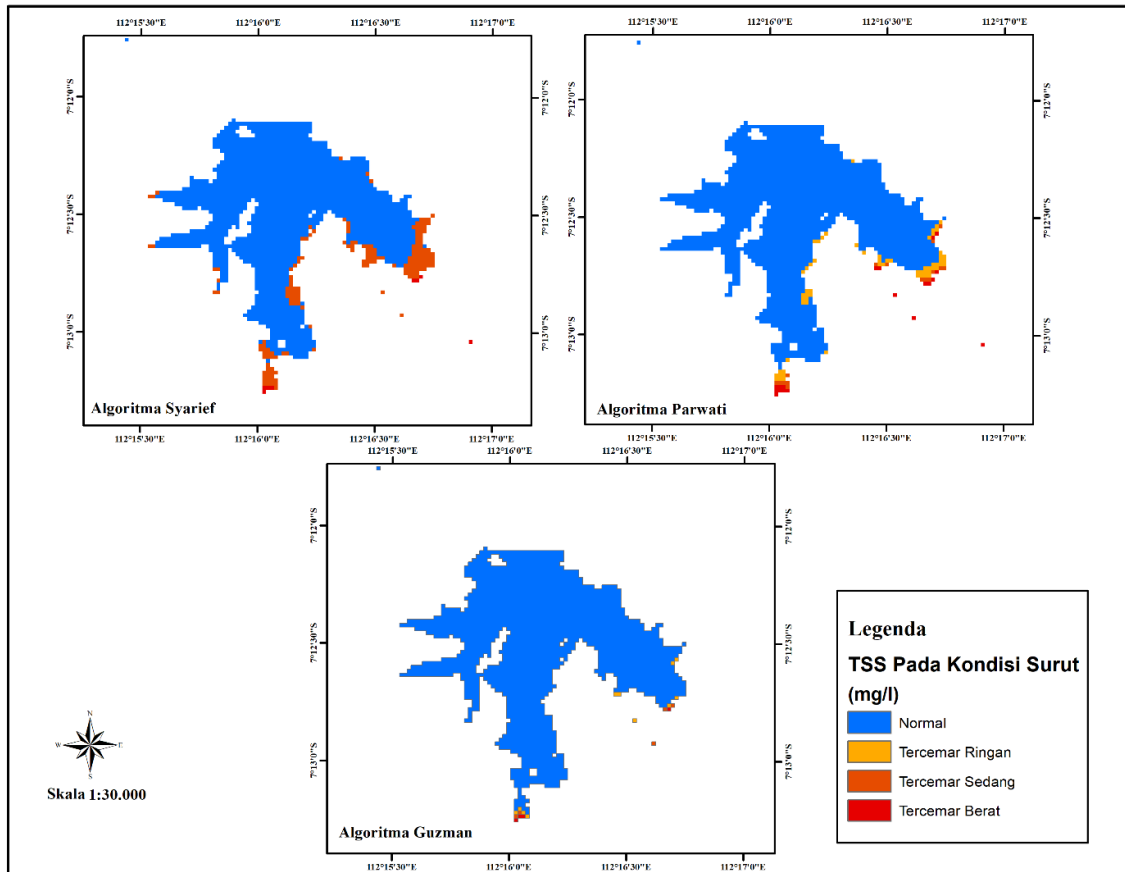
**Tabel 5. Perubahan Penggunaan Lahan di Sub DAS Gondang Tahun 2016, 2019 dan 2022**

No	Penggunaan Lahan	Luas (Km <sup>2</sup> )			Perubahan PL
		2016	2019	2022	
1	Badan Air	2.97	3.61	3.08	+
2	Sawah	9.90	7.51	3.92	-
3	Kebun	14.64	16.14	21.20	+
4	Hutan	39.57	32.15	28.17	-
5	Lahan Kering	7.59	12.75	12.81	+
6	Pemukiman	2.23	4.27	6.98	+
7	Lahan Terbangun	0.12	0.69	0.95	+

Berdasarkan Tabel 5 di atas dapat diketahui bahwa perubahan penggunaan lahan yang terjadi di SubDAS yang mengalir di Waduk Gondang bersifat fluktuatif. Bentuk Penggunaan lahan yang mengalami perubahan berupa peningkatan area luasan selama tahun 2016 hingga 2022 adalah badan air, kebun, lahan kering, pemukiman dan lahan terbangun. Adapun, bentuk penggunaan lahan yang mengalami penurunan area luasan, yaitu sawah dan hutan. Jika dilihat berdasarkan luasan dari seluruh bentuk penggunaan lahan maka diketahui bahwa perubahan penggunaan lahan dominan terjadi pada bentuk penggunaan lahan berupa pemukiman dan lahan terbangun, sedangkan perubahan terkecil terjadi pada bentuk penggunaan lahan berupa badan air dan hutan.

### 3.4. Nilai TSS di Waduk Gondang pada Saat Kondisi Surut

Pola sebaran dari TSS di Waduk Gondang pada saat kondisi surut dapat dilihat pada Gambar 9 dan Tabel 6. Berdasarkan hasil olah data yang dilakukan dengan penerapan ketiga algoritma pada citra Landsat 8 akuisisi tanggal 14 September 2022 dihasilkan bahwa konsentrasi TSS dengan algoritma Syarief pada saat surut berkisar antara 21 mg/L hingga 126 mg/L, algoritma Parwati 14 mg/L hingga 219 mg/L dan algoritma Guzman sebesar 6 mg/L hingga 152 mg/L. Konsentrasi TSS tertinggi dari ke-11 titik lokasi pengambilan sampel berada pada titik lokasi sampel ke-9, yaitu dengan nilai konsentrasi sebesar 24,50 mg/L untuk algoritma Syarief, 17,93 mg/L untuk algoritma Parwati dan 7,61 mg/L untuk algoritma Guzman.



Gambar 9. Peta Sebaran Kondisi TSS pada Saat Surut di Tahun 2022

Tabel 6. Nilai TSS di Waduk Gondang Saat Kondisi Surut

No	Koordinat Geografis		TSS Algoritma Syarif (mg/L)	TSS Algoritma Parwati (mg/L)	TSS Algoritma Guzman&Santaella (mg/L)
	x	y			
1	112.2643	-7.2031	22.66	15.92	6.93
2	112.2698	-7.2030	22.50	15.75	6.87
3	112.2643	-7.2057	22.52	15.77	6.88
4	112.2670	-7.2057	22.41	15.65	6.84
5	112.2697	-7.2057	22.73	15.99	6.95
6	112.2724	-7.2057	22.93	16.21	7.02
7	112.2643	-7.2084	22.46	15.70	6.85
8	112.2670	-7.2085	23.48	16.81	7.23
9	112.2752	-7.2085	24.50	17.93	7.61
10	112.2671	-7.2111	22.79	16.06	6.97
11	112.2671	-7.2138	22.64	15.89	6.92

Berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan sebelumnya, didapatkan bahwa nilai TSS di Waduk Gondang pada Bulan Juni tahun 2022 yang mana bertepatan dengan kondisi pasang adalah sebesar 23-109 mg/L untuk algoritma Syarief, 17-175 mg/L untuk algoritma Parwati dan 7-112 mg/L untuk algoritma Guzman. Jika dibandingkan dengan nilai TSS pada saat kondisi surut maka terlihat bahwa nilai TSS dalam kondisi surut lebih tinggi dibandingkan pada saat kondisi pasang. Nilai TSS yang lebih tinggi saat kondisi surut

dipengaruhi oleh faktor arus yang mana pada saat surut arus akan keluar dari dalam waduk menuju ke arah luar yakni laut lepas. Arah arus yang keluar ini akan membawa konsentrasi TSS pada bagian dalam waduk dan muara sungai menuju keluar waduk. Sehingga konsentrasi pada bagian tengah dan mulut waduk akan memiliki konsentrasi TSS yang lebih tinggi karena terdapat proses pengenceran polutan (Riswana, Hendrawan, & Suteja, 2017).

#### 4. Simpulan

Uji regresi antara data citra dengan data in situ menghasilkan algoritma terbaik untuk mengestimasi kondisi TSS di Waduk Gondang. Algoritma terbaik berdasarkan uji regresi yang telah dilakukan adalah algoritma milik Syarif Budhiman dengan nilai R Square sebesar 0,71. Hal tersebut berarti bahwa sebesar 71% kondisi sebenarnya dapat dijelaskan dan terdeteksi dengan bantuan citra, sedangkan 29% dipengaruhi oleh faktor lain yang tidak teramati dan terdeteksi oleh citra. Hal tersebut menjelaskan bahwa citra Landsat 8 OLI/TIRS cukup representatif jika digunakan untuk memantau kondisi TSS di Waduk Gondang. Penggunaan algoritma Syarif, Parwati dan Guzman yang sesuai diterapkan di Waduk Gondang belum tentu akan sesuai pula jika diterapkan di waduk lain. Hal ini bergantung pada sifat fisik waduk serta daerah di sekitar waduk.

Konsentrasi TSS di Waduk Gondang sangatlah bervariasi. Kondisi TSS dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan. Konsentrasi TSS semakin memburuk yang ditandai dengan peningkatan jumlah TSS di area *inlet*, terutama di bagian muara sungai. Material yang berasal dari daratan yang berbatasan langsung dengan tepian waduk dan juga material erosi yang ikut terbawa oleh aliran sungai ketika mengalir dari hulu ke hilir menjadi penyebab tingginya tingkat konsentrasi TSS di bagian tersebut.

Penelitian mengenai konsentrasi TSS di Waduk Gongdang perlu dilanjutkan sebagai masukan bagi pengelolaan waduk dan sub-DAS di sekitarnya. Pada penelitian selanjutnya, metode yang digunakan dapat lebih kompleks atau ditambahkan variabel lain yang memiliki hubungan dan pengaruh terhadap tingkat konsentrasi TSS di Waduk Gondang.

#### Daftar Rujukan

- Branigan, J. (2013). *Development of a Field Test Method for Total Suspended Solids Analysis*. University of Nebraska-Lincoln.
- Budhiman, S. (2005). Pemetaan Sebaran Total Suspended Solid TSM Menggunakan Data Aster dengan Pendekatan BIO-Optical Model. *Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV*. Surabaya: MAPIN.
- Budianto, S., & Hariyanto, T. (2017). Analisis Perubahan Konsentrasi Total Suspended Solids (TSS) Dampak Bencana Lumpur Sidoarjo Menggunakan Citra Landsat Multi Temporal (Studi Kasus: Sungai Porong, Sidoarjo). *Jurnal Teknik ITS*, 6(1).
- Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893–903.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27.
- Guzman, V. R., & Santaella, F. G. (2009). Using MODIS 250 m Imagery to Estimate Total Suspended Sediment in a Tropical Open Bay. *International Journal of System Applications, Engineering & Development.*, 3(1).
- Han-Qiu, X. U. (2005). A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI). *Journal of Remote Sensing*, 5, 589–595.
- Indeswari, L. (2018). *Pemetaan Sebaran Total Suspended Solid dengan Memanfaatkan Citra Satelit Landsat Multitemporal dan Data In Situ (Studi Kasus: Perairan Muara Sungai Porong, Sidoarjo)*. ITS.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). *Pola Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Bengawan Solo* (No. Nomor: 266/KPTS/M/2010). Jakarta.

- Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. *Remote Sensing*, 10(10), 1509.
- Lenhart, J. H., & Lehman, J. M. (2006). Measuring Total Volatile Suspended Solids in Stormwater to Understand the Influence of Organic Matter on BMP Performance. *World Environmental and Water Resources Congress 2006*, 375–375.
- Manshuri, H. (2015, April). *Sedimentasi Waduk di Lamongan Capai 40 Persen*.
- Mufarida, B. (2022). *Intensitas Hujan Masih Tinggi di Juni, Ini Penjelasan BMKG*.
- Nurgiantoro, N., Mustika, W., & Abriansyah, A. (2019). Analisis Konsentrasi TSS dan Pengaruhnya Pada Kinerja Pelabuhan Menggunakan Data Remote Sensing Optik di Teluk Kendari. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 16(2), 71–82.
- Parwati, E., & Purwanto, D. (2017). Analisis Perubahan Konsentrasi Total Suspended Solids (TSS) Dampak Bencana Lumpur Sidoarjo Menggunakan Citra Landsat Multi Temporal (Studi Kasus: Sungai Porong, Sidoarjo). *Jurnal Penginderaan Jauh Lapan*.
- Pemerintah Pusat. (2001). *Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/53103/pp-no-82-tahun-2001>.
- Prasetyo, B. E., 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.
- Qanita, H., & Subiyanto, S. (2019). Analisis Distribusi Total Suspended Solid Dan Kandungan Klorofil-A Perairan Banjir Kanal Barat Semarang Menggunakan Citra Landsat 8 Dan Sentinel-2a. *Jurnal Geodesi Universitas Diponegoro*, 8(1), 435–445.
- Rinawati, R., Hidayat, D., Suprianto, R., & Dewi, P. S. (2016). Penentuan Kandungan Zat Padat (Total Dissolve Solid dan Total Suspended Solid) Di Perairan Teluk Lampung. *Analytical and Environmental Chemistry*, 1(1), 36–46.
- Risuana, I. G. S., Hendrawan, I. G., & Suteja, Y. (2017). Distribusi Spasial Total Padatan Tersuspensi Puncak Musim Hujan Di Permukaan Perairan Teluk Benoa. *Journal of Marine Sciences*, 3(2), 223–232.
- Shaleh, F. R., & Rahayu, A. P. (2018). Status Kesuburan Perairan Waduk Gondang Kabupaten Lamongan. *Seminar Nasional Unisla 2018*. Lamongan.
- Sudarwati, N. (2021). *Sebaran Total Suspended Solid (TSS) dan Endapan Sedimen di Perairan Kecamatan Pasirian Kabupaten Lumajang*. UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Sukmono, A., Rajagukguk, T., Subiyanto, S., & Bashit, N. (2018). Pemantauan Sedimentasi Total Suspended Solid (TSS) di Waduk Kedungombo Periode 2014-2018 Berbasis Citra Landsat 8. *Jurnal Geografi Unnes*, 15(2).
- Sukmono, A. (2018). Pemantauan Total Suspended Solid (TSS) Waduk Gajah Mungkur Periode 2013-2017 dengan Citra Satelit Landsat-8. *Jurnal Geodesi Dan Geomatika*, 01(01), 33–38.