

Analisis Perubahan Sedimentasi *Total Suspended Solids* (TSS) Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2A (Studi Kasus: Waduk Wonorejo, Kabupaten Tulungagung)

Bowo Eko Cahyono^{1*}, Ach. Fauzan Mas'udi², Anila Kusuma Mawar Dhani³,
Mutmainnah⁴

^{1,3,4} Jurusan Fisikan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember
bowo_ec.fmipa@unej.ac.id, anilamawardhani01@gmail.com, diinsastro@gmail.com

²Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Air Pertanian, Pascasarjana Universitas Jember
kubortters@gmail.com

Keywords:

Reservoir,
Water Quality,
TSS,
Satellite Imagery,
Sentinel 2A

ABSTRACT

Wonorejo Reservoir is one of the reservoirs in Indonesia that is used as a supplier of raw water for PDAMs in the Surabaya area. The presence of sedimentation will reduce the volume of air that can be used. Wonorejo Reservoir has an area of 3,850 hectares, it will require energy and that is not small if done conventionally. Remote sensing technology with Sentinel 2A satellite imagery can be used as an alternative technology that is more efficient in monitoring sedimentation reservoirs. Monitoring of reservoir sedimentation can be observed from the development of the total suspension solid (TSS) value. This study aims to monitor sedimentation in the Wonorejo Reservoir for the 2016-2019 period. Sentinel image data taken in 2016, 2017, 2018, and 2019. The data used is data with a cloud cover level of less than 30%. The results of multitemporal TSS processing for the 2016-2019 period show the quality of the Wonorejo Reservoir TSS in general is starting to improve. The heavily polluted/sedimented TSS class decreased from 265.6 ha in 2016 to 0 ha in 2019.

Kata Kunci

Waduk,
Kualitas Air,
TSS,
Citra Satelit,
Sentinel 2A

ABSTRAK

Waduk Wonorejo merupakan salah satu waduk di Indonesia yang digunakan sebagai pemasok air baku untuk PDAM di wilayah Surabaya. Adanya sedimentasi akan menurunkan volume air yang dapat digunakan. Waduk Wonorejo memiliki luas genangan 3.850 hektar akan memerlukan energi dan biaya yang tidak sedikit jika pemantauan dilakukan secara konvensional. Teknologi penginderaan jauh dengan citra satelit Sentinel 2A dapat digunakan sebagai teknologi alternatif yang lebih efisien dalam pemantauan sedimentasi waduk. Pemantauan sedimentasi waduk dapat diamati dari perkembangan nilai total suspended solid (TSS). Penelitian ini bertujuan melakukan pemantauan sedimentasi di Waduk Wonorejo periode 2016-2019. Data citra Sentinel yang diambil yakni pada tahun 2016, 2017, 2018, dan 2019. Data yang digunakan yaitu data dengan tingkat tutupan awan (cloud cover) kurang dari 30%. Hasil pengolahan TSS secara multitemporal periode 2016-2019 menunjukkan kualitas TSS Waduk Wonorejo secara umum mulai mengalami perbaikan. Kelas TSS tercemar/tersedimentasi berat mengalami penurunan dari 265,6 ha pada tahun 2016 menjadi 0 hektar pada tahun 2019.

Korespondensi Penulis:

Korespondensi Penulis:
Bowo Eko Cahyono,
Fakultas MIPA, Universitas Jember
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121

Telepon : +628123455295

Email: bowo_ec.fmipa@unej.ac.id

1. PENDAHULUAN

Sedimentasi merupakan masalah yang umum dan sering terjadi pada waduk di Indonesia. Kondisi iklim tropis dengan curah hujan yang tinggi menyebabkan tingkat erosi menjadi tinggi [1]. Erosi tersebut terangkut ke muara sungai yang berada di waduk dan menyebabkan sedimentasi. Sedimentasi dalam jangka panjang menyebabkan penurunan daya tampung waduk dan menurunnya volume air yang dapat digunakan [2]. Hal ini dapat semakin berbahaya jika DAS yang menjadi penyuplai air waduk memiliki pengelolaan yang kurang baik [3].

Waduk Wonorejo merupakan salah satu waduk yang cukup potensial di Indonesia. Waduk ini memberikan manfaat yang cukup besar bagi perkembangan daerah sekitarnya sebagai pasokan air baku PDAM, pengairan lahan pertanian, sumber tenaga listrik dan tempat wisata [4]. Namun seiring berjalannya waktu, Waduk Wonorejo mengalami penurunan kualitas air dikarenakan permasalahan kondisi waduk dan permasalahan kawasan di sekitarnya. Volume air waduk Wonorejo diperkirakan mengalami penyusutan hingga 17,6% dari volume air yang direncanakan dikarenakan permasalahan sedimentasi [5]. Kondisi kualitas air waduk ini perlu dilakukan pemantauan secara berkala untuk mengetahui perkembangan sedimentasi di area waduk.

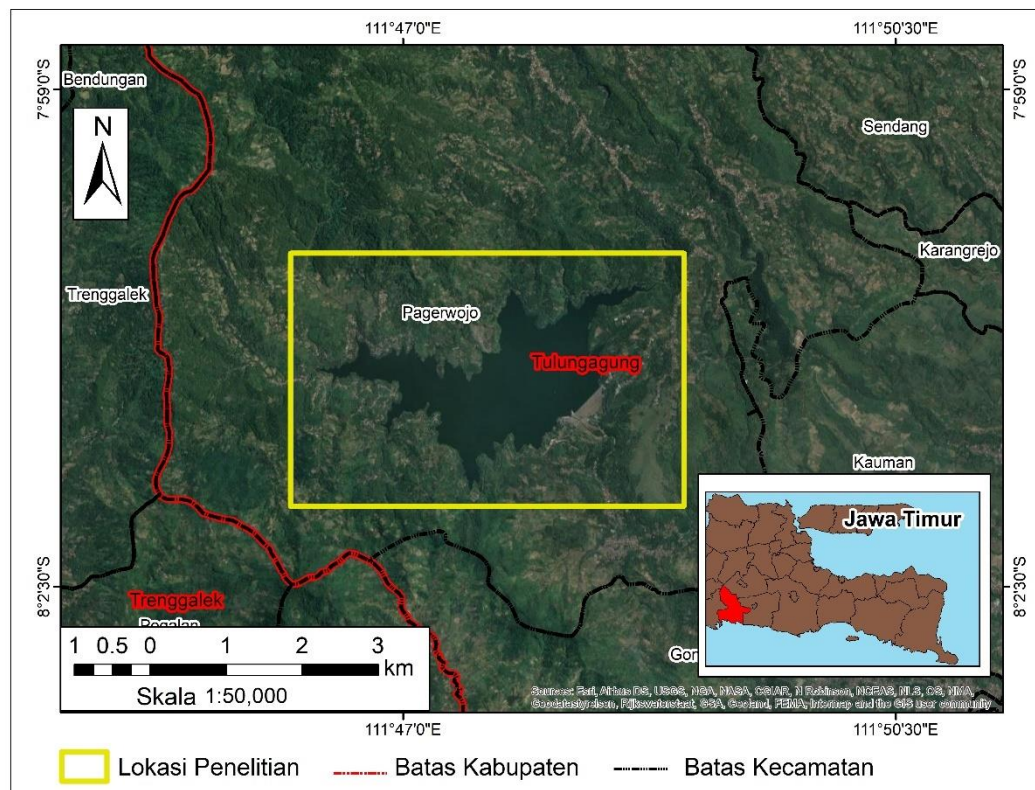
Pemantauan secara konvensional melalui pengambilan sampel uji laboratorium secara masif dinilai kurang efisien. Waduk Wonorejo memiliki luas daerah sebesar 3.850 Hektar, dimana akan memerlukan energi dan biaya yang tidak sedikit jika pemantauan dilakukan secara konvensional. Biaya yang diperlukan untuk pemantauan secara konvensional dapat mencapai Rp. 150.000.000. Hal ini mengacu pada biaya pengelolaan waduk Jatigede dengan luas 5.000 hektar mencapai Rp 191.760.000 [6].

Teknologi penginderaan jauh dengan citra satelit Sentinel 2A dapat digunakan sebagai teknologi alternatif yang lebih efisien dalam pemantauan sedimentasi waduk. Pemantauan sedimentasi waduk dapat diamati dari perkembangan nilai *Total Suspended Solid* (TSS). Berbagai algoritma TSS dari data citra satelit telah banyak dikembangkan. Hasil estimasi TSS dengan data citra satelit akan menghasilkan persebaran nilai sedimentasi TSS secara spasial dan dapat teramati secara multitemporal. Penggunaan citra satelit sentinel 2A dalam mengestimasi sedimen tersuspensi (TSS) telah dilakukan di Teluk Benoa [7], Waduk Jatiluhur [8], dan sungai Porong [9]. Penelitian ini bertujuan melakukan pemantauan sedimentasi di Waduk Wonorejo periode 2016-2019.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada Waduk Wonorejo, Kabupaten Tulungagung, Provinsi Jawa Timur. Secara geografis Waduk Wonorejo terletak pada koordinat 8°00'57,09" lintang selatan dan 111°48'00,79" bujur timur. Waduk Wonorejo terletak ±16 km sebelah barat Kota Tulungagung dan merupakan hilir pertemuan Kali Gondang dengan Kali Wangi. Waduk Wonorejo merupakan waduk yang berfungsi sebagai penyedia air baku untuk PDAM Kota Surabaya dan sekitarnya, pembangkit listrik, pengendalian banjir, pengembangan perikanan darat dan pariwisata [10]. Lokasi Waduk Wonorejo dapat dilihat pada Gambar 1.



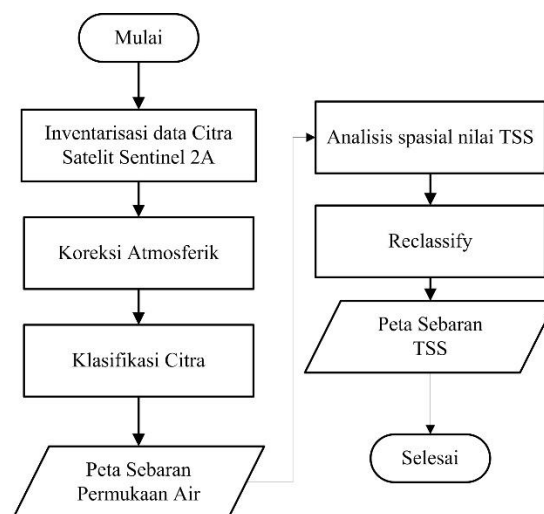
Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2 Bahan dan Alat

Bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi data citra sentinel 2A yang diunduh langsung dari website United States Geological Survey (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Kriteria data yang digunakan adalah data citra dengan tingkat tutupan awan (*cloud cover*) kurang dari 30% di setiap tahunnya. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi aplikasi Q-GIS, SNAP dan microsoft excel.

2.3 Prosedur Penelitian

Penelitian dimulai dengan inventarisasi data citra satelit, Pra pengolahan data citra (koreksi atmosferik), klasifikasi data citra, analisis spasial TSS dan pembuatan peta sebaran TSS pada setiap tahunnya. Gambar 2 merupakan prosedur penelitian yang dilakukan dari awal hingga akhir.



Gambar 2. Prosedur Penelitian

A. Inventarisasi data citra

Inventarisasi data citra sentinel 2A dilakukan dengan memilih data citra sesuai kriteria yang telah ditentukan (Tabel 1). Data citra yang digunakan pada penelitian ini adalah data citra yang diambil pada tanggal 20 Desember 2016, 28 Juni 2017, 04 Mei 2018, dan 15 November 2019.

Tabel 1. Data Citra Sentinel Yang Digunakan

Tanggal akuisisi	Tile Number	Nomer ID
20 Desember 2016	T49MEM	L1C_T49MEM_A007808_20161220T025342
28 Juni 2017	T49MEM	L1C_T49MEM_A010525_20170628T025544
4 Mei 2018	T49MEM	L1C_T49MEM_A006407_20180529T025427
15 November 2019	T49MEM	L1C_T49MEM_A022966_20191115T025622

B. Pra pengolahan data citra

Citra Sentinel 2A yang digunakan pada penelitian ini diambil dari tahun 2016-2019. Akuisisi citra diambil secara multi temporal pada tanggal 20 Desember 2016, 28 Juni 2017, 04 Mei 2018, dan 15 November 2019. Proses yang dilakukan pada tahap pra pengolahan citra adalah koreksi atmosferik.

Koreksi atmosferik sangat penting untuk dilakukan untuk memaksimalkan nilai *surface reflectance* yang dihasilkan oleh objek bumi. Tujuannya untuk memperjelas kenampakan objek dengan cara menghilangkan efek atmosferik seperti uap air dan debu [11]. Pengolahan koreksi atmosferik ini dilakukan dengan menggunakan *tools plugin* yang berada pada software QGIS. Penelitian ini menerapkan algoritma *dark object subtraction* (DOS) sebagaimana metode ini telah digunakan oleh peneliti lain [12] dengan persamaan sebagai berikut:

$$R\lambda = \pi \times D^2 \times (L\lambda_{sat} - L\lambda_p) / (E_{sun\lambda} \times \cos(\theta_z)) \dots \dots \dots (1)$$

Dimana : $R\lambda$ = reflektan permukaan; D = Jarak bumi dan matahari; $L\lambda_{sat}$ = nilai spectral radian pada sensor, $L\lambda_p$ = Garis edar radian; $E_{sun\lambda}$ = nilai spectral radian dari matahari; θ_z = sudut kemiringan matahari

C. Klasifikasi Citra

Klasifikasi citra dilakukan dengan untuk membedakan antara daratan dan badan air. Pemisahan daratan dan perairan berdasarkan nilai NDWI (*Normalized Difference Wetness Index*). NDWI merupakan besaran nilai kebasahan (*wetness index*) pada permukaan tanah. NDWI menunjukkan dominasi daerah yang memiliki kadar air pada wilayah yang direkam dengan menggunakan rasio reflektansi dari saluran NIR dan GREEN untuk penetrasi cahaya pada permukaan tanah yang memiliki kadar air. Hasil dari NDWI ini yang merupakan indeks, memiliki rentang nilai -1 untuk non badan air dan 1 untuk kenampakan badan air. Persamaan algoritma NDWI dapat dilihat pada persamaan 2:

$$NDWI = \frac{\rho_{GREEN} - \rho_{NIR}}{\rho_{GREEN} + \rho_{NIR}} \dots \dots \dots (2)$$

Hasil yang diperoleh dari NDWI akan menunjukkan -1 berwarna hitam untuk non badan air dan 1 berwarna putih untuk menunjukkan wilayah perairan. Berikut tabel rentang nilai tingkat kebasahan NDWI.

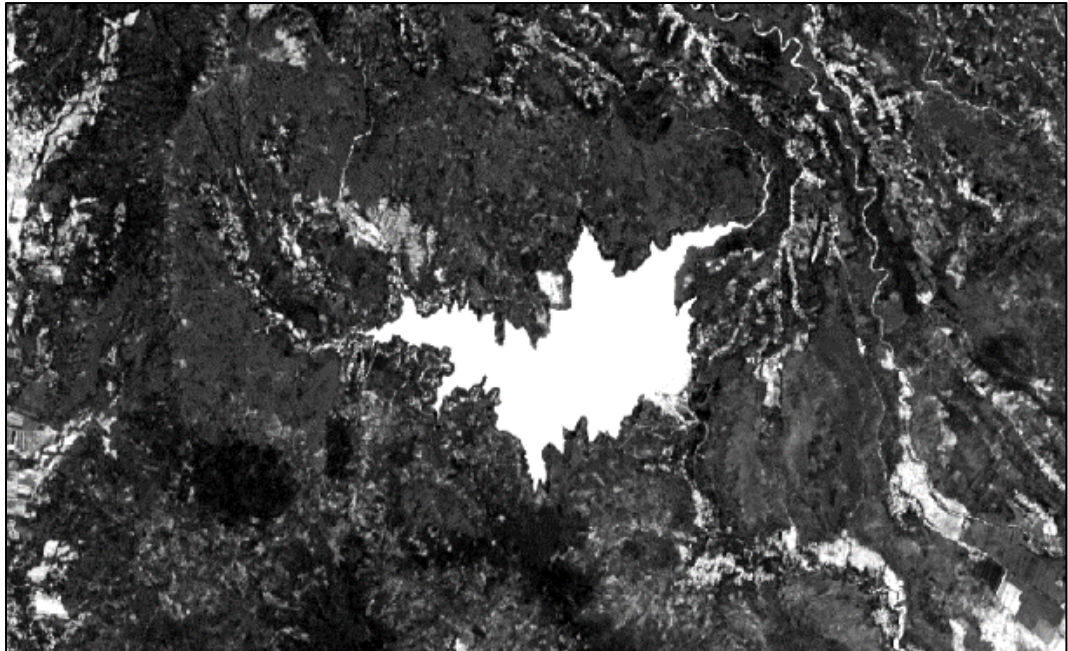
Tabel 2. Rentang Nilai NDWI

Kelas	Nilai NDWI	Tingkat Kebasahan
1	$-1 < NDWI < 0$	Non-Badan Air
2	$0 < NDWI < 0,33$	Kebasahan Sedang
3	$0,33 < NDWI < 1$	Kebasahan Tinggi (Badan Air)

Sumber : [13]

Berdasarkan Tabel 2., suatu area akan dikategorikan sebagai perairan jika memiliki nilai $NDWI > 0,33$ dan jika nilai $NDWI \leq 0,33$ maka daerah tersebut akan dikategorikan

sebagai daratan. Gambar 3 merupakan hasil citra dari proses klasifikasi menggunakan NDVI pada Waduk Wonorejo.



Gambar 3. Hasil Proses NDWI

Berdasarkan hasil analisis menunjukan bahwa warna hitam merupakan wilayah non badan air dan warna putih merupakan wilayah perairan. Warna abu-abu dari Gambar 3. menunjukkan bahwa wilayah tersebut merupakan wilayah dengan tingkat kebasahan sedang.

D. Analisis Spasial Nilai TSS

Analisis TSS hanya dilakukan pada penggunaan lahan berupa badan air. Alogaritma yang digunakan dalam penentuan konsentrasi TSS menggunakan alogaritma Syarief dan Budhiman yang pernah dilakukan oleh peneliti lainnya [3]. Adapun persamaan alogaritma Syarief dan Budhiman dapat ditunjukkan pada persamaan 3 :

$$\text{TSS (mg/l)} = ((8,1429 \times (\exp(23,704 \times 0,94 \times \text{Red Band}))) \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

Red Band : reflektan band 4

Exp : eksponen (pangkat)

E. Peta Sebaran TSS

Hasil analisis spasial nilai TSS kemudian dikelompokkan menggunakan menu *reclassify* untuk menentukan sebaran TSS. Terdapat 4 kelas tingkat pencemaran TSS yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Table 3. Tingkat Pencemaran Sebaran TSS

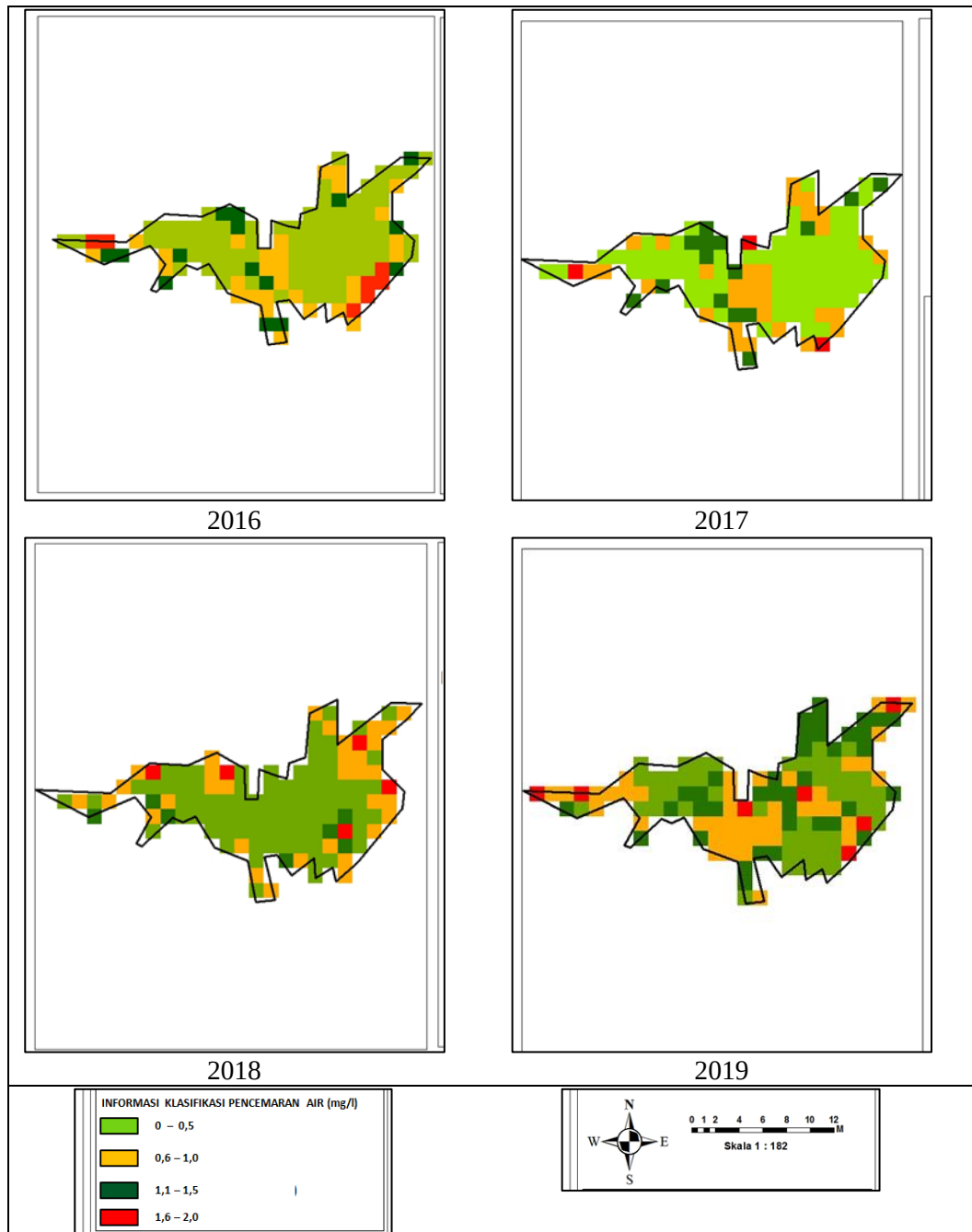
Kelas	Tingkat Pencemaran	TSS (mg/l)
1	Belum tercemar	0-0,5
2	Tercemar ringan	0,6-1,0
3	Tercemar sedang	1,1-1,5
4	Tercemar berat	>1,6

Sumber : [3]

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Sebaran TSS pada Waduk Wonorejo tahun 2016-2019

Data yang digunakan dalam pengolahan *Total Suspended Solid* (TSS) pada Waduk Wonorejo yaitu data citra Sentinel-2A dengan menggunakan algoritma Syarif Budhiman. Pengolahan pada algoritma Syarif Budhiman menggunakan reflektan citra Sentinel-2A kanal 4 (*red*). Gambar 4. merupakan hasil pengolahan menggunakan software SNAP dengan menggunakan algoritma Syarif Budhiman.



Gambar 4. Sebaran TSS Pada Waduk Wonorejo Tahun 2016-2019

Wilayah dengan warna merah merupakan wilayah dengan kategori tercemar berat (nilai TSS 1,6 – 2,0 mg/l). Wilayah dengan warna hijau tua merupakan wilayah dengan kategori tercemar sedang (nilai TSS 1,1 – 1,5 mg/l). Wilayah dengan warna kuning merupakan wilayah dengan kategori tercemar ringan (nilai TSS 0,6 – 1,0 mg/l). Wilayah dengan warna hijau muda merupakan wilayah dengan kategori air tidak tercemar (nilai TSS <0,5).

Peta sebaran TSS di Waduk Wonorejo tahun 2016-2019 didominasi oleh konsentrasi 0-0,5mg/l yang dapat diartikan bahwa Waduk tersebut belum mengalami pencemaran. Kelas tercemar ringan (0,6-1mg/l) dan sedang (1,1-1,5mg/l) hanya terdapat beberapa saja yang berada pada tepian waduk. Namun juga terdapat beberapa titik di Waduk Wonorejo yang mengalami pencemaran berat (<0,1,6mg/l). Pencemaran berat yang terjadi berbeda antara tahun 2016 dengan tahun 2017-2019 dimana pada tahun 2016 pencemaran terkumpul pada satu titik yaitu di daerah hulu.

Tahun 2016 merupakan tahun terjadinya *la nina* dengan curah hujan yang sangat tinggi. Curah hujan yang tinggi menyebabkan aliran air yang masuk ke waduk menjadi lebih besar dan sebaran TSS akan condong ke arah hulu/muara [14]. Secara umum nilai sebaran TSS di Waduk Wonorejo dapat dikatakan baik (tidak tercemar).

3.2 Analisa Spasial TSS Waduk Wonorejo tahun 2016-2019

Tabel 4. merupakan hasil analisis spasial nilai TSS berdasarkan hasil analisis menggunakan algoritma Syarif dan Bhudiman. Luas daerah perairan yang tidak tercemar pada tahun 2016 sebesar 312,40 ha (79,33%) dan meningkat pada tahun 2019 yaitu sebesar 321,5 ha (84,40%). Sementara luas perairan dengan kategori tercemar berat mengalami penurunan dimana pada tahun 2016 luasan perairan di Waduk Wonorejo yang tercemar seluas 26,56 ha (6,75%) sementara pada tahun 2019 hanya sebesar 14,1 ha (4,3%). Berdasarkan hasil analisis spasial diketahui bahwa sebaran nilai TSS dari tahun 2016-2019 di perairan Waduk Wonorejo mengalami penurunan setiap tahunnya.

Tabel 4. Perbandingan Luasan Sebaran TSS Tahun 2016-2019

Kelas	Tahun							
	2016		2017		2018		2019	
	Luas (Ha)	Luas (%)	Luas (Ha)	Luas (%)	Luas (Ha)	Luas (%)	Luas (Ha)	Luas (%)
Kelas 1	312,40	79,33	317,60	80,80	341,50	86,82	321,5	84,40
Kelas 2	32,01	8,13	32,60	8,29	4,00	1,02	35,7	4,07
Kelas 3	22,80	5,79	23,84	6,06	15,80	4,02	21,8	6,02
Kelas 4	26,56	6,75	19,21	4,89	32,01	8,14	14,1	4,3

Berdasarkan Tabel 3. luasan perairan tercemar berat tertinggi terjadi pada tahun 2016 dan 2018. Hal tersebut terjadi dikarenakan adanya pengaruh fenomena *la nina* serta pengaruh adanya erosi. Perubahan luasan tersebut juga dipengaruhi oleh adanya erosi di area muara sungai sehingga mempengaruhi besaran TSS juga pada Waduk Wonorejo[3].

4. KESIMPULAN

Nilai *Total Suspended Solid* (TSS) tahun 2016 hingga 2019 menggunakan algoritma Syarif Budhiman yaitu sangat rendah berkisar 0 – 10 mg/l. Kondisi air pada Waduk Wonorejo dapat dikatakan masih dalam kategori tidak tercemar.

REFERENSI

- [1] R. K. Taslim, M. Mandala, and I. Indarto, "Prediksi Erosi di Wilayah Jawa Timur," *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 17, no. 2, p. 323, 2019, doi: 10.14710/jil.17.2.323-332.
- [2] A. Wulandari and B. K. Cahyono, "Estimasi Volume Sedimentasi Waduk Sermo Menggunakan Metode RUSLE, Batimetri dan Angkutan Sedimen," *JGISE J. Geospatial Inf. Sci. Eng.*, vol. 3, no. 1, p. 39, 2020, doi: 10.22146/jgise.53719.
- [3] A. Sukmono, T. A. Rajaguguk, S. Subiyanto, and N. Bashit, "Pemantauan Sedimentasi Total Suspended Solid (Tss) Di Waduk Kedungombo Periode 2014-2018 Berbasis Citra Landsat 8," *J. Geogr.*, vol. 15, no. 2, pp. 1–11, 2015.
- [4] D. Arfiati, "Status Tropik Dan Isi Lambung Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*) Dari Waduk Wonorejo, Tulungagung, Jawa Timur," *JFMR-Journal Fish. Mar. Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 40–45, 2019, doi: 10.21776/ub.jfmr.2019.003.02.6.
- [5] N. A. Teguh and N. F. Marginia, "Analysis of Sedimentation Trends in Efforts for Sustainability At Wonorejo Reservoir," *Chim. Didact. Acta*, vol. 9, no. 2, pp. 52–56, 2022, doi: 10.24815/jcd.v9i2.25097.
- [6] U. Andawayanti *et al.*, "Analisis Biaya Pengelolaan Air Dengan Metode Sistem Dinamik Pada Waduk Jatigede," vol. 12, no. 2, pp. 197–204, 2021.

- [7] I. K. A. S. Putra, N. Bashit, and Y. Wahyuddin, "Analisis Pengaruh Limpasan Sedimen Tersuspensi Terhadap Perubahan Kerapatan dan Luas Hutan Mangrove Menggunakan Citra Sentinel-2A Multitemporal (Studi Kasus: Teluk Benoa, Bali)," *J. Geod. Undip*, vol. 10, no. 23, pp. 58–68, 2021.
- [8] A. Rahman, L. P. Astuti, A. Warsa, and A. A. Sentosa, "Prediksi Tingkat Kekerusuhan (Turbiditas) Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2a Di Waduk Jatiluhur, Jawa Barat," *J. Sumber Daya Air*, vol. 17, no. 2, pp. 59–68, 2021, doi: 10.32679/jsda.v17i2.697.
- [9] F. Bioresita, C. B. Priyadi, H. S. Firdaus, T. Hariyanto, and A. Puissant, "The Use of Sentinel-2 Imagery for Total Suspended Solids (Tss) Estimation in Porong River , Sidoarjo," *Elipsoida*, vol. 01, no. 01, pp. 6–11, 2018.
- [10] B. V. Maharani, S. Wahyuni, and D. Harisuseno, "Analisis Evaporasi Waduk Wonorejo Kabupaten Tulungagung Menggunakan Pendekatan Empiris," *J. Teknol. dan Rekayasa Sumber Daya Air*, vol. 1, no. 2, pp. 917–928, 2021, doi: 10.21776/ub.jtresda.2021.001.02.47.
- [11] E. S. Putri, A. Widiyari, R. A. Karim, L. Somantri, and R. Ridwana, "Pemanfaatan Citra Sentinel-2 Untuk Analisis Kerapatan Vegetasi Di Wilayah Gunung Manglayang," *J. Pendidik. Geogr. Undiksha*, vol. 9, no. 2, pp. 133–143, 2021.
- [12] S. Firmansyah, J. Gaol, and S. Setyo Budi, "Perbandingan Klasifikasi SVM dan Decision Tree untuk Pemetaan Mangrove Berbasis Objek Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2B di Gili Sulat, Lombok Timur," *J. Pengelolaan Sumberd. Alam dan Lingkung. (Journal Nat. Resour. Environ. Manag.,* vol. 9, no. 3, pp. 746–757, 2019, doi: 10.29244/jpsl.9.3.746-757.
- [13] M. W. Bobsaid and L. M. Jaelani, "Studi Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 dan Sentinel-2A (Studi Kasus : Perairan Pulau Poteran dan Gili Iyang, Madura)," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. 2–7, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.24182.
- [14] G. N. Aulia and I. P. Dewi, "Analisis Sebaran Total Suspended Solid (Tss) Menggunakan Citra Sentinel 2 Di Perairan Teluk Tamiang Kabupaten Kotabaru Provinsi Kalimantan Selatan Analysis of Total Suspended Solid (Tss) Distribution Using Sentinel 2 Images in Teluk Tamiang Waters Kot," 2019.