

ANALISIS KUALITAS PERAIRAN WADUK CACABAN DENGAN MENGGUNAKAN DATA CITRA LANDSAT 8 & 9 MULTITEMPORAL

Resi Ahdityas^{*)}, Abdi Sukmono, Bandi Sasmito

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788

Email : resiahdityas@gmail.com^{*)}

ABSTRAK

Sejak mulai dioperasikan dari tahun 1958, salah satu permasalahan utama yang dialami oleh Waduk Cacaban adalah tingginya tingkat sedimentasi. Sedimentasi yang terjadi bahkan menyebabkan daya tampung waduk menyusut dari 90 juta m³ menjadi hanya tinggal 55 juta m³ pada tahun 2016. Untuk menjaga fungsi waduk tetap optimal, selain dengan melakukan rehabilitasi, pemantauan kondisi waduk juga perlu dilakukan secara berkala. Berdasarkan permasalahan yang terjadi di Waduk Cacaban, pemantauan parameter kualitas air dapat dilakukan dengan menggunakan model algoritma empiris yang terbentuk dari hubungan nilai spektral citra Landsat dan data in situ parameter kualitas perairan. Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan tingkat sebaran *Total Suspended Solid* (TSS), klorofil-a dan perubahan luasan perairan secara temporal dari tahun 2013 hingga 2022 berdasarkan model algoritma yang terbentuk. Hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu luasan perairan Waduk Cacaban pada periode 2013-2016 mengalami penambahan luas sebesar 68.391 m². Penyempitan luasan Waduk Cacaban pada periode 2016-2019 sebesar -907.949 m². Pada rentang 2019-2022 terjadi penambahan luas sebesar 857.554 m². Hasil kualitas perairan Waduk Cacaban pada tahun 2013, 2016, 2019 dan 2022 berdasarkan indeks pencemaran dengan parameter TSS dan klorofil-a baku mutu kelas 2, mengkategorikan perairan Waduk Cacaban tergolong pada kelas memenuhi baku mutu dan tercemar ringan. Baku mutu air kelas 2 merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan dan pengairan tanaman. Luas perairan waduk tahun 2013 yang memenuhi baku mutu air seluas 5.814.787 m² dan kelas tercemar ringan seluas 594.807 m². Luas perairan waduk tahun 2022 yang memenuhi baku mutu air seluas 6.341.205 m² dan kelas tercemar ringan seluas 88.185 m².

Kata Kunci: Sedimentasi, *Total Suspended Solid* (TSS), klorofil-a

ABSTRACT

Since it started operating in 1958, one of the main problems experienced by the Cacaban Reservoir is the high pollution caused by human activities and sedimentation. The sedimentation that occurred has even caused the capacity of the reservoir to shrink from 90 million m³ to only 55 million m³ on 2016. Based on the problems that occur in the Cacaban Reservoir, monitoring of water quality parameters can be carried out using an empirical algorithm model that is formed from the relationship between the spectral values of Landsat images and in situ data of water quality parameters. This study aims to estimate the level of distribution of *Total Suspended Solid* (TSS), chlorophyll-a and changes in water area temporally from 2013 to 2022 based on the algorithm model formed. The results of the research that has been carried out are that the water area of the Cacaban Reservoir in the 2013-2016 period experienced an increase in area of 68,391 m². The area of the Cacaban Reservoir has narrowed in the 2016-2019 period by -907,949 m². In the 2019-2022 range there was an additional area of 857,554 m². The results of the water quality of the Cacaban Reservoir in 2013, 2016, 2019 and 2022 based on the class 2 quality standard of Pollution Index (PI) with TSS and chlorophyll-a parameters, categorize the Cacaban Reservoir waters as belonging to the class fulfilling quality standards and lightly polluted. Class 2 water quality standard is a class of waters whose allotment can be used for water recreation infrastructure/facilities, freshwater fish farming, animal husbandry and plant irrigation. The area of reservoir waters in 2013 that met water quality standards was 5,814,787 m² and the lightly polluted class was 594,807 m². The area of reservoir waters in 2022 that meets water quality standards is 6,341,205 m² and the lightly polluted class is 88,185 m².

Keywords: Sedimentation, *Total Suspended Solid* (TSS), chlorophyll-a

^{*)} Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Waduk Cacaban beroperasi secara resmi dari tahun 1958. Tujuan utama dari pembangunan Waduk Cacaban adalah untuk mencukupi kebutuhan air irigasi saat musim kemarau untuk keperluan pertanian. Waduk Cacaban memiliki fungsi lain sebagai objek wisata. Pemanfaatan waduk sebagai destinasi wisata menjadi fungsi tambahan dari Waduk Cacaban. Sebagai wisata alam, Waduk Cacaban perlu dijaga sumber daya serta lingkungannya, karena hal tersebutlah yang menjadi daya tarik utama wisatawan (Sumargo, 2006).

Sejak mulai dioperasikan dari tahun 1958, salah satu permasalahan utama yang dialami oleh Waduk Cacaban adalah tingginya pencemaran yang disebabkan oleh aktivitas manusia dan sedimentasi. Sedimentasi yang terjadi bahkan menyebabkan daya tampung waduk menyusut dari 90 juta m³ menjadi hanya tinggal 55 juta m³ (Anggara & Sundari, 2016).

Dalam rangka meningkatkan fungsi operasional dan keselamatan Waduk Cacaban, Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pemali-Juana melakukan rehabilitasi waduk dari bulan Oktober 2020 hingga ditargetkan rampung di 2022. (Pekab Tegal, 2023). Rehabilitasi Waduk Cacaban meliputi dua lokasi, yaitu remedial/rehabilitasi pekerjaan tubuh bendungan serta penataan kawasan di sekitar bendungan. Termasuk perbaikan pada *spillway* dan pengerukan sedimen. Untuk menjaga fungsi waduk tetap optimal, selain dengan melakukan rehabilitasi, pemantauan kondisi waduk juga perlu dilakukan secara berkala.

Salah satu metode yang efektif digunakan untuk melakukan pemantauan kualitas perairan waduk dan sebarannya adalah dengan menggunakan penginderaan jauh. Pemanfaatan penginderaan jauh dengan menggunakan karakteristik spektral yang didapat dari hasil perekaman citra mampu mengidentifikasi dan menganalisis parameter kualitas perairan (Sukmono, 2018). Parameter yang kerap digunakan dalam pemantauan kualitas suatu perairan dengan menggunakan metode penginderaan jauh adalah *Total Suspended Solid* (TSS), klorofil-a serta perubahan luas air danau (Laili dkk., 2015; Heriza dkk., 2018; Jaelani dan Ratnaningsih, 2018).

Beberapa model algoritma estimasi kualitas perairan telah dikembangkan, seperti yang dilakukan oleh (Laili dkk., 2015) di perairan Poteran, Madura; Parwati & Purwanto (2017) di pesisir perairan Berau; Fanela dkk. (2019) di perairan Kendari dan Rachmadiana dkk. (2022) di Rawa Pening. Perubahan kondisi perairan yang dinamis serta karakteristik perairan yang berbeda-beda menyebabkan beberapa algoritma parameter kualitas perairan yang telah tersedia memiliki hasil yang kurang optimal pada wilayah perairan lain. Pengembangan algoritma untuk estimasi konsentrasi parameter TSS dan klorofil-a dengan mengandalkan nilai spektral citra dan data in situ dibutuhkan agar mendapatkan model estimasi yang sesuai dengan karakteristik perairan (Laili dkk., 2015).

Berdasarkan masalah yang terjadi di Waduk Cacaban, pemantauan kualitas air dapat dilakukan

dengan menggunakan citra Landsat untuk menghitung berbagai parameter kualitas perairan. Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan tingkat *Total Suspended Solid* (TSS), klorofil-a dan perubahan luasan perairan secara temporal dari tahun 2013 hingga 2022. Kualitas air Waduk Cacaban ditentukan berdasarkan kriteria baku mutu air danau/sejenisnya dari Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mengamati dan mengidentifikasi kualitas air berdasarkan parameter TSS dan klorofil-a, baik secara temporal maupun spasial di wilayah Waduk Cacaban.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perubahan luasan permukaan air Waduk Cacaban pada tahun 2013, 2016, 2019 dan 2022?
2. Bagaimana sebaran konsentrasi parameter klorofil-a dan *Total Suspended Solid* (TSS) Waduk Cacaban dari tahun 2013, 2016, 2019 dan 2022?
3. Bagaimana kondisi kualitas perairan Waduk Cacaban berdasarkan konsentrasi klorofil-a dan *Total Suspended Solid* (TSS)?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui perubahan luasan permukaan air Waduk Cacaban pada tahun 2013, 2016, 2019 dan 2022.
2. Memetakan persebaran konsentrasi parameter klorofil-a dan *Total Suspended Solid* (TSS) perairan Waduk Cacaban dari tahun 2013, 2016, 2019 dan 2022.
3. Mengetahui kualitas perairan Waduk Cacaban dengan analisis indeks pencemaran berdasarkan konsentrasi klorofil-a dan *Total Suspended Solid* (TSS).

I.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Wilayah penelitian dilakukan di Waduk Cacaban, Kabupaten Tegal, Provinsi Jawa Tengah.
2. Penelitian ini menggunakan citra Landsat 8 Level 1 tahun perekaman 2013, 2016, 2019 dan citra Landsat 9 Level 1 tahun perekaman 2022.
3. Algoritma perhitungan kandungan *Total Suspended Solid* (TSS) dan klorofil-a menggunakan algoritma empiris berdasarkan model regresi data citra dan data in situ.

I.5 Batasan Penelitian

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis perubahan luasan perairan tidak mempertimbangkan kedalaman Waduk Cacaban.
2. Estimasi kualitas perairan hanya meliputi nilai parameter klorofil-a dan *Total Suspended Solid* (TSS).
3. Algoritma *Total Suspended Solid* (TSS) dan klorofil-a berdasarkan hasil pengukuran in situ dengan data citra Landsat 9 tahun 2022.

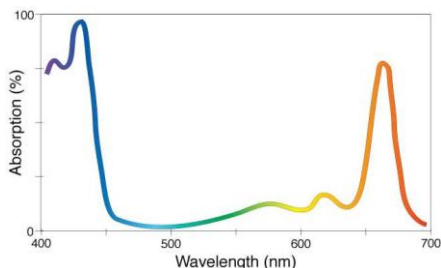
II. Tinjauan Pustaka

II.1 Kualitas Perairan

Kualitas air (mutu air) sangat penting, karena merupakan dasar dan pedoman untuk mencapai tujuan pengelolaan air sesuai dengan peruntukannya. Kualitas air dapat diuji dengan beberapa parameter yaitu parameter fisika, kimia anorganik, kimia organik, mikrobiologi, dan radioaktif (Effendi, 2016).

II.2 Klorofil-a

Klorofil adalah suatu butir-butir hijau yang terletak di dalam kloroplas. Klorofil dibagi menjadi dua macam berupa klorofil-a dengan warna hijau tua dan klorofil-b dengan warna hijau muda (Dwidjoseputro, 1980 dalam Atmanegara, 2014). Konsentrasi klorofil-a berkaitan dengan permasalahan eutrofikasi yang dipengaruhi oleh perkembangan alga. Pada tumbuhan, alga dan cyanobacteria ditemukan kandungan klorofil-a. Penggunaan penginderaan jauh untuk melakukan estimasi konsentrasi klorofil-a pada perairan sudah banyak dilakukan dengan memanfaatkan karakteristik spektralnya. Klorofil-a memiliki tingkat absorpsi terbesar pada panjang gelombang 390-400 nm dan 650-700 nm (Harborne dan Dey, 1990 dalam Atmanegara, 2014). Warna hijau pekat klorofil disebabkan oleh daya serapnya yang kuat di daerah spektrum merah dan biru, seperti ditunjukkan pada Gambar II.1. Berdasarkan daya serap ini, cahaya yang dipantulkan dan dipancarkannya tampak hijau.



Gambar II.1 Spektrum Klorofil-a (Schirber, 2013)

II.3 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid merupakan materi padat berupa lumpur, tanah, logam berat, bahan organik serta sel mikroorganisme yang tersuspensi di wilayah perairan. TSS memiliki hubungan yang erat dengan erosi tanah dari saluran sungai. Nilai konsentrasi TSS sangat bervariasi, mulai kurang dari 5 mg/L hingga 30.000 mg/L di beberapa sungai. Padatan tersuspensi atau *suspended solid* merupakan padatan yang ada di kolom air dengan ukuran partikel 0,45 – 2,0 mm.

Rentang panjang gelombang 600 nm hingga 700 nm pada perairan dengan konsentrasi padatan tersuspensi yang tinggi memiliki karakteristik pantulan radiasi matahari yang tertinggi. Semakin rendah konsentrasi padatan tersuspensi di permukaan air maka pantulan radiasi matahari menjadi semakin rendah (Robinson, 1985 dalam Yuniar, 2018).

II.4 Citra Satelit Landsat

Misi generasi 8 dari satelit Landsat dinamakan *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM) dengan tujuan untuk menjadi generasi penerus program Landsat. Satelit Landsat generasi 8 memiliki dua sensor yang disematkan. Sensor pertama disebut dengan OLI (*Operational Land Imager*) yang memiliki sembilan saluran (SWIR, NIR dan *visible*) dengan resolusi spasial 30 meter. Pengecualian untuk saluran pankromatik yang memiliki resolusi spasial 15 meter. Sensor lain yang dimiliki Landsat 8 adalah sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) dengan dua buah saluran (TIR) dengan resolusi spasial 100 m. Lebar liputan Landsat 8 mencapai 185 km x 180 km dengan ketinggian orbit satelit 705 km. Generasi 9 memiliki karakter yang sama dengan Landsat 8. Karakteristik dari setiap kanal di Landsat 8 dan Landsat 9 dapat dilihat pada Tabel II.1.

Tabel II.1 Karakteristik Landsat 8 & Landsat 9 (Farid, 2015)

Sensor	Misi Satelit	Saluran	Panjang Gelombang (µm)	Resolusi (m)
OLI	8,9	1	0.43–0.45 (<i>coastal blue</i>)	30 × 30
		2	0.45–0.51 (<i>blue</i>)	30 × 30
		3	0.53–0.59 (<i>green</i>)	30 × 30
		4	0.64–0.67 (<i>red</i>)	30 × 30
		5	0.85–0.88 (NIR)	30 × 30
		6	1.57–1.65 (SWIR-1)	30 × 30
		7	2.11–2.29 (SWIR-2)	30 × 30
OLI TIRS	8,9	8	0.50–0.68 (<i>panchromatic</i>)	15 × 15
		9	1.36–1.38 (<i>cirrus</i>)	30 × 30
		10	10.60–11.19 (TIR-1)	120 × 120
		11	11.50–12.51 (TIR-2)	120 × 120

II.5 Deliniasi Batas Perairan

Salah satu indeks yang biasa digunakan dalam mendeteksi perairan adalah *Normalized Difference Water Index* (NDWI). NDWI pertama kali diusulkan oleh McFeeters pada tahun 1996 untuk mendeteksi permukaan air di lingkungan lahan basah dan untuk memungkinkan pengukuran luas permukaan air (Mcfeeters, 2013).

Perhitungan perubahan morfometri waduk Cacaban dilaksanakan dengan menggunakan perbandingan hasil pemetaan luas permukaan air hasil perhitungan NDWI Waduk Cacaban dari Tahun 2013, 2016, 2019 dan 2022. Arah perubahan luasan perairan waduk dibagi berdasarkan 4 zona, yaitu Timur (45°-135°), Selatan (135°-225°), Barat (225°-315°) dan Utara (315°-45°).

II.6 Algoritma Citra Kualitas Perairan

Algoritma dari masing-masing parameter kualitas air didapat dari persamaan regresi hasil hubungan antara nilai reflektansi citra dengan nilai data

in situ (Nurandani Pinastika, 2013). Nilai reflektansi citra dengan data lapangan pada koordinat yang sama dikorelasikan menggunakan persamaan regresi dengan berbagai macam bentuk (Linier, Eksponensial, Logaritmik dan Polinomial Orde 2), seperti terlihat pada Tabel II.2, sehingga mendapatkan model empiris pendugaan yang sesuai (Hermawan, 2012).

Tabel II.2 Model Regresi

Model Hubungan	Bentuk Model
Regresi Linier	$y = a + bx$
Eksponensial	$y = a * \exp(bx)$
Polynomial (Orde 2)	$y = a + b * x^2 + b1 * x$
Logaritmik	$y = a * \ln(x) + b$

Keterangan:

x = Nilai reflektansi pengindraan jauh yang dimodifikasi (*single band* atau *ratio band*).

y = Konsentrasi nilai TSS atau klorofil-a in situ.

II.7 Indeks Pencemaran

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 Tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air menyebutkan bahwa Indeks Pencemaran (IP) ditentukan untuk satuan peruntukan untuk semua bagian badan air atau dari suatu bagian sungai. Indeks pencemaran air merupakan salah satu indeks yang digunakan untuk mengetahui nilai kualitas dari badan air. Rumus perhitungan Indeks Pencemaran (IP) dapat dilihat pada persamaan (2.1).

$$PI_j = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})_M^2 + (C_i/L_{ij})_R^2}{2}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- PI_j = *Pollution Index*
- C_i = Konsentrasi hasil uji laboratorium
- L_{ij} = Konsentrasi pada Baku Mutu
- (C_i/L_{ij})_M = Nilai (C_i/L_{ij}) maksimum
- (C_i/L_{ij})_R = Nilai (C_i/L_{ij}) rata-rata

Evaluasi terhadap nilai *Pollution Index* yaitu:

- 0 ≤ PI ≤ 1,0 : memenuhi baku mutu
- 1,0 ≤ PI ≤ 5,0 : tercemar ringan
- 5,0 ≤ PI ≤ 10 : tercemar sedang
- PI ≥ 10 : tercemar berat

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup menjelaskan tentang baku mutu air danau dan sejenisnya yaitu sebagai berikut. Baku mutu yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel II.3.

Tabel II.3 Baku Mutu Air

Parameter	Satuan	Kelas			
		I	II	III	IV
TSS	mg/L	25	50	100	400
Klorofil-a	mg/m ³	10	50	100	200

II.8 Uji Asumsi Klasik

Uji asumsi klasik adalah analisis yang dilakukan untuk menilai apakah di dalam sebuah model regresi terdapat masalah-masalah asumsi klasik. Uji asumsi klasik meliputi uji normalitas, uji linearitas, uji autokorelasi, dan uji heteroskedastisitas.

Uji normalitas merupakan uji yang digunakan untuk mengetahui persebaran data penelitian yang dimiliki terdistribusi secara normal atau terdistribusi dengan bentuk pola lonceng (Santoso, 2017). Uji Autokorelasi digunakan untuk menguji apakah pada model terjadi korelasi atau hubungan antara kesalahan variabel pengganggu pada suatu periode t ke periode t-1 atau satu periode sebelumnya (Yudiatmaja, 2013). Uji linearitas merupakan uji asumsi yang digunakan untuk mengetahui linear atau tidaknya hubungan antara variabel bebas dan tak bebas. Uji heteroskedastisitas merupakan uji yang dilakukan untuk menguji apakah pada model regresi memiliki ketidaksamaan varian dari residual diantara anggota grup yang lain.

III. Metodologi Penelitian

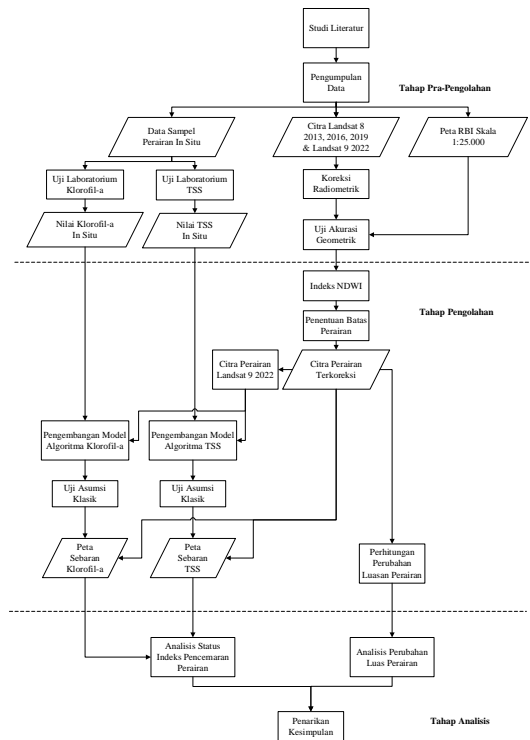
III.1 Alat dan Data Penelitian

Adapun alat, bahan dan data - data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perangkat Keras
 - a. Laptop ASUS A456UQ (Intel® Core™ i5-7200U, RAM 8GB, Windows 10 64-bit).
 - b. Smartphone.
 - c. GPS *Handheld*.
 - d. Nansen *bottle*.
 - e. Botol sampel air.
 - f. *Cooler box*.
2. Perangkat Lunak
 - a. QGIS Desktop 3.4.14.
 - b. ENVI 5.3.
 - c. Microsoft Office 2019.
 - d. IBM SPSS 25 Statistic.
3. Data yang digunakan dalam pengolahan penelitian ini yaitu:
 - a. Data in situ TSS dan Klorofil-a tahun 2022 yang diperoleh dari sampel air waduk hasil uji laboratorium.
 - b. Citra Landsat 8 level L1TP *path* 121/*row* 65 perekaman 1 Juli 2013.
 - c. Citra Landsat 8 level L1TP *path* 120/*row* 65 perekaman 15 Mei 2016 dan 24 Mei 2019.
 - d. Citra Landsat 9 level L1TP *path* 120/*row* 65 perekaman 24 Mei 2022.
 - e. Peta RBI Kabupaten Tegal skala 1:25.000 yang digunakan untuk melakukan uji akurasi geometrik citra.

III.2 Diagram Alir

Diagram alir pada penelitian ini adalah:



Gambar III.1 Diagram Alir Penelitian

III.3 Pelaksanaan Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian menurut diagram alir adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur & Persiapan

Studi literatur yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi metode penginderaan jauh sebagai metode yang dapat digunakan untuk pemantauan kualitas perairan secara efektif. Persiapan dilakukan untuk mempersiapkan peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian dan peninjauan ketersediaan data yang akan digunakan dalam pemrosesan penelitian.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data bertujuan untuk menghimpun data yang digunakan dalam penelitian ini. Data yang dibutuhkan antara lain citra Landsat 8 dan 9, data sampel air waduk dan peta RBI Kabupaten Tegal. Data Landsat 8 yang digunakan terletak pada *path* 121/row 65 untuk perekaman 1 Juli 2013 dan pada *path* 120/row 65 perekaman 15 Mei 2016 dan 24 Mei 2019. Citra Landsat 9 terletak pada *path* 120/row 65 dengan waktu perekaman 24 Mei 2022. Data citra Landsat 8 dan 9 akuisisi tahun 2013, 2016, 2019 dan 2022 dapat diunduh melalui laman milik USGS. Peta RBI skala 1:25.000 wilayah Kabupaten Tegal diperoleh melalui laman InaGeoportal milik Badan Informasi Geospasial (BIG). Peta RBI digunakan dalam uji akurasi geometrik.

3. Tahap Pra-Pengolahan Citra

Tahap pra-pengolahan data perlu dilakukan untuk mengolah citra Landsat 8 & 9 sebelum dilakukan pengolahan inti sehingga mendapatkan data citra yang lebih berkualitas dan teliti. Pada tahap ini terdapat dua tahapan utama yaitu tahap koreksi radiometrik serta

tahap uji geometrik. Koreksi radiometrik menggunakan metode FLAASH.

4. Uji Laboratorium Data In-Situ

Sampel air waduk yang diambil dari Waduk Cacaban dilakukan uji laboratorium untuk mengetahui nilai kandungan TSS dan klorofi-a. Sampel perairan diambil secara acak yang meliputi daerah tepi hingga tengah danau. Pengambilan sampel air dengan menggunakan alat sampling berupa botol nansen. Pengambilan data titik koordinat dari pengambilan di setiap titik sampel perairan menggunakan GPS *Handheld*. Data sampel yang diambil di lapangan sebanyak 35 titik sampel. Pengolahan lanjutan dari data sampel air in situ dilakukan di laboratorium. Metode yang digunakan untuk mengetahui kadar TSS berdasarkan pada SNI 6989.3:2019. Metode yang digunakan untuk mengetahui kadar klorofil-a mengacu pada APHA 10200. *chlorophyll*.

5. Tahap Pengolahan

Tahap pengolahan merupakan tahap lanjutan setelah persiapan dan pra-pengolahan data dilakukan. Pada tahap ini terdapat tahap deliniasi batas perairan dan pengembangan model algoritma TSS dan klorofil.

6. Tahap Analisis

Tahapan analisis merupakan tahap terakhir setelah dilakukan tahap pengolahan. Pada tahap ini terdapat proses analisis perubahan luasan perairan dan status indeks pencemaran perairan.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Pra-Pengolahan Citra

Pre-processing citra yang dilakukan pada tahap ini terdiri dari dua langkah yaitu koreksi radiometrik serta uji akurasi geometrik. Hasil dari koreksi radiometrik dan uji akurasi geometrik dijelaskan dalam bagian ini.

IV.1.1 Koreksi Radiometrik

Metode kalibrasi radiometrik pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak ENVI. Hasil keluaran dari kalibrasi radiometrik berupa citra radian dengan format BIL. Metode koreksi atmosfer yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode FLAASH *Atmospheric Correction* pada perangkat lunak ENVI. Citra masukan yang digunakan dalam metode FLAASH merupakan citra hasil kalibrasi radiometrik. Hasil dari koreksi atmosfer menggunakan FLAASH merupakan citra reflektan *Bottom of Atmosphere* (BoA) seperti pada Tabel IV.1.

Rentang nilai reflektan citra yang telah terkoreksi atmosfer berada pada nilai reflektan dari 0 hingga 1 (rata – rata). Pada hasil koreksi ini citra juga sudah diubah dalam format .TIFF sehingga lebih mempermudah proses pengolahan selanjutnya. Hasil dari koreksi atmosfer menggunakan metode FLAASH menunjukkan rentang nilai spektral dari masing-masing band di antara 0 hingga 1 seperti yang terlihat pada Tabel IV.1. Pada setiap kanal memiliki rentang spektral minimal 0 dan maksimal di sekitar 0,8.

Tabel IV.1 Nilai Spektral Citra Landsat 9 akuisisi 24 Mei 2022

	Min	Max	Mean	StdDev
Band 1	0.00	0.875	0.055	0.027
Band 2	0.00	0.818	0.047	0.027
Band 3	0.00	0.815	0.069	0.031
Band 4	0.00	0.818	0.056	0.033
Band 5	0.00	0.896	0.231	0.126
Band 6	0.00	0.861	0.139	0.0796
Band 7	0.00	0.700	0.070	0.048

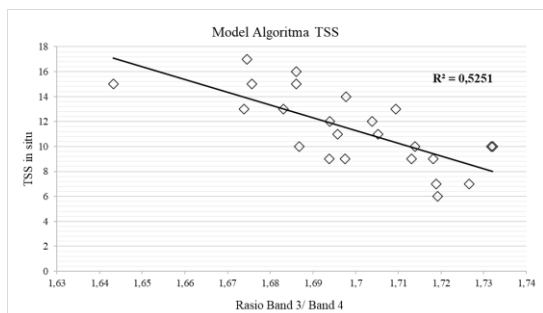
IV.1.2 Uji Ketelitian Geometrik

Citra Citra Landsat 8 maupun 9 level L1TP pada dasarnya merupakan citra optis yang sudah melalui koreksi geometrik oleh penyedia layanan. Meskipun begitu perlu dilakukan uji akurasi geometrik agar sesuai dengan syarat dan ketentuan tertentu seperti tertera pada Peraturan Badan Informasi Geospasial nomor 6 Tahun 2018.

Proses uji ketelitian geometrik yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan 30 titik ICP yang tersebar merata di semua bagian citra agar mendapatkan akurasi geometrik yang lebih baik. Uji geometrik citra Landsat 9 pada wilayah penelitian (Kabupaten Tegal) memiliki RMSEr sebesar 9,463 m dengan nilai CE90 (Akurasi horizontal) sebesar 14,36 m. Hasil tersebut menunjukkan bahwa uji geometrik yang dilakukan dalam penelitian ini memenuhi syarat dan ketentuan yang sudah ada, yaitu RMSE < 1 dan CE90 yang sudah memenuhi ketelitian peta 1:50.000 kelas 1.

IV.2 Hasil Algoritma Model TSS

Pengembangan model regresi menggunakan data in situ TSS sebagai variabel terikat (*dependent*), sedangkan nilai reflektan citra merupakan variabel bebas (*independent*). Jumlah data in situ yang digunakan sebanyak 24 titik sampel TSS. Nilai reflektan yang digunakan sebagai variabel bebas berupa kanal tunggal dan kanal rasio dari kanal 1 hingga 5 citra Landsat 9 akuisisi 24 Mei 2022. Hasil dari uji coba yang telah dilakukan menghasilkan model regresi linear antara nilai reflektan rasio kanal 3 dan kanal 4 citra Landsat 9 dan nilai TSS in situ menghasilkan model regresi dengan koefisien determinasi sebesar 0,525 dan nilai RMSE sebesar 3,238 mg/L.



Gambar IV.1 Grafik Plot Regresi Linear Nilai TSS

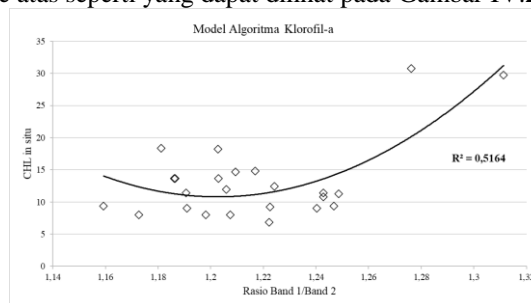
Titik-titik plot data yang membentuk pola garis regresi dari arah kanan bawah naik kiri atas pada Gambar IV.1 menunjukkan arah hubungan yang negatif antara variabel bebas dan terikat. Model regresi linear terdiri dari konstanta dan koefisien regresi dari variabel bebas. Model regresi dari nilai TSS dan nilai rasio kanal 3 dan kanal 4 berdasarkan nilai parameter konstan dan koefisien regresi yang terdapat pada model summary dapat dilihat pada persamaan (4.1).

$$Y_{TSS} = 184,624 - 101,960 \times \frac{X_{B3}}{B4} \tag{4.1}$$

Penggunaan kanal 3 dan 4 sesuai dengan karakteristik pada perairan dengan konsentrasi padatan tersuspensi yang tinggi terhadap rentang panjang gelombang 600 nm hingga 700 nm memiliki karakteristik pantulan radiasi matahari yang tertinggi (Robinson,1985 dalam Yuniar, 2018).

IV.3 Hasil Algoritma Model Klorofil-a

Hasil dari percobaan dengan setiap model regresi dan variasi variabel bebas mendapatkan model regresi polynomial orde 2 (kuadratik) dengan variabel bebas rasio kanal 1 dan kanal 2 mendapatkan koefisien regresi sebesar 0,516 dan nilai RMSE sebesar 10,352 mg/m³. Bentuk garis regresi berupa parabola terbuka ke atas seperti yang dapat dilihat pada Gambar IV.2.



Gambar IV.2 Grafik Plot Regresi Polynomial Orde 2 Klorofil-a

Koefisien determinasi sebesar 0,516 pada Gambar IV.2, berarti bahwa variabel bebas rasio kanal 1 dan kanal 2 memberikan pengaruh sebesar 0,516 atau 51,6% terhadap hasil dari variabel terikat (nilai klorofil-a). Hasil model regresi berdasarkan nilai konstanta dan koefisiennya membentuk model regresi seperti pada persamaan (4.2).

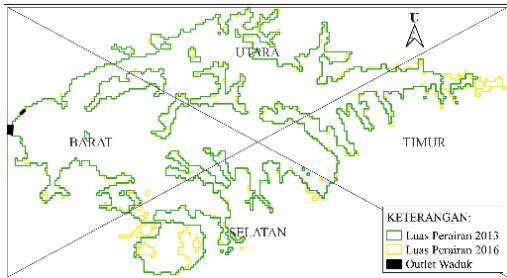
$$Y_{Klorofil-a} = 2.513,355 - 4.161,7 \times \frac{X_{B1}}{B2} + 1.730,2 \times \frac{X_{B1}^2}{B2} \tag{4.2}$$

Hasil model Klorofil-a memiliki tingkat absorpsi terbesar pada rentang kanal 1 seperti ditampilkan pada Gambar II.1.

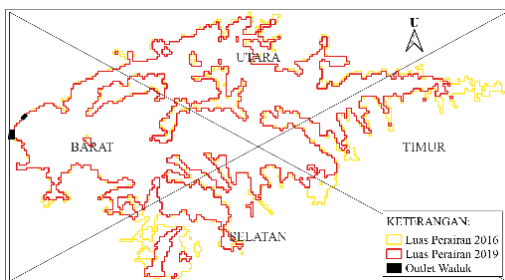
IV.4 Hasil Perubahan Luasan Perairan

Hasil perubahan luasan perairan berdasarkan pada Gambar IV.3 dan Tabel IV.2 menunjukkan bahwa bagian selatan dan timur waduk mengalami perubahan yang paling besar. Hal ini dapat terjadi karena pada bagian selatan dan timur dari Waduk Cacaban memiliki aliran sungai besar dengan sedimentasi yang besar dibanding dengan daerah utara waduk. Sedimentasi yang besar menyebabkan fluktuasi perubahan luasan

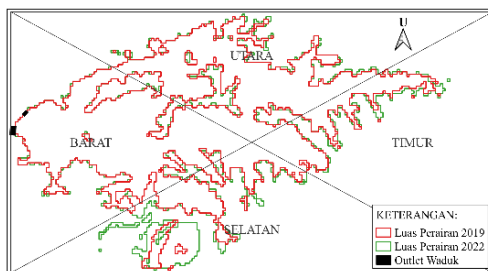
perairan pada area tersebut. Kondisi ini sesuai dengan keadaan penelitian yang dilakukan pada daerah aliran sungai Cacaban yang memiliki erosi rata-rata sebesar 99,74 ton/ha/tahun yang diklasifikasikan sebagai tingkat erosi yang sangat tinggi (Pramono, 2019).



Gambar IV.3 Perubahan Tahun 2013-2016



Gambar IV.4 Perubahan Tahun 2016-2019



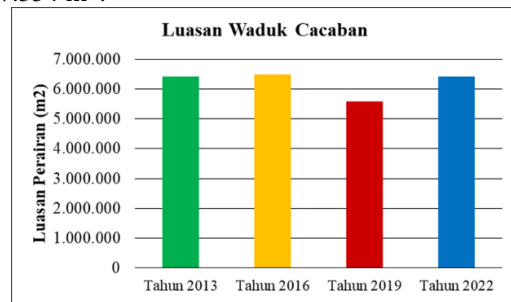
Gambar IV.5 Perubahan Tahun 2019-2022

Tabel IV.2 Arah Perubahan Luasan Perairan

No.	Periode	Arah	Perubahan Luas (m ²)
1.	2013-2016	Utara	56.714
		Timur	90.943
		Selatan	-88.761
		Barat	9.495
2.	2016-2019	Utara	-173.864
		Timur	-239.747
		Selatan	-361.775
		Barat	-132.563
3.	2019-2022	Utara	165.821
		Timur	127.652
		Selatan	417.298
		Barat	146.783

Luas wilayah perairan Waduk Cacaban pada periode 2013 hingga 2022 mengalami fluktuasi. Luasan perairan waduk pada rentang 2013 ke 2016 berdasarkan Gambar IV.6 mengalami penambahan sebesar 68.391 m². Kondisi berbeda terjadi pada periode tahun 2016 ke 2019. Gambar IV.6 menunjukkan bahwa luasan waduk tahun 2019 mengalami penyempitan jika dibandingkan dengan luasan tahun 2016. Besar luasan perairan yang berkurang dari tahun 2016 ke 2019 adalah -907.949 m². Rentang tahun 2019 menuju 2022

mengalami penambahan luasan perairan sebesar 857.554 m².



Gambar IV.6 Luasan Waduk Cacaban

Berdasarkan data curah hujan bulanan yang dihimpun dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Tegal menunjukkan bahwa pada bulan Mei tahun 2019 curah hujan yang terjadi hanya sebanyak 8,1 mm dengan banyaknya hari hujan sebanyak 3 hari. Hal ini yang menjadi salah satu penyebab berkurangnya volume serta luasan perairan waduk pada periode tahun 2019 dibandingkan dengan periode sebelumnya. Dapat diketahui pada Tabel IV.3 di bulan Juni tahun 2013 dan bulan Mei tahun 2016 memiliki curah hujan di atas 100 mm.

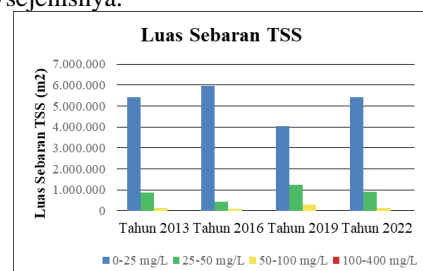
Tabel IV.3 Data Curah Hujan Kota Tegal

Bulan	2013		2016		2019	
	Curah Hujan (mm)	Banyaknya Hari Hujan	Curah Hujan (mm)	Banyaknya Hari Hujan	Curah Hujan (mm)	Banyaknya Hari Hujan
April	82	-	36,5	8	257,1	14
Mei	263	-	112,6	11	8,1	3
Juni	300	-	71,3	10	-	-
Juli	155	-	125,3	15	7	3

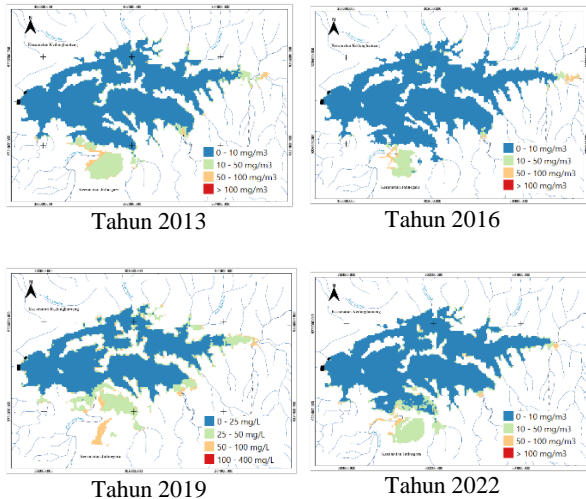
Kondisi curah hujan pada periode April hingga Desember yang mengalami penurunan menyebabkan volume tampungan waduk pada tahun 2019 berada jauh di bawah volume tampungan normal. Fenomena *el nino* yang terjadi pada tahun 2019 menyebabkan berkurangnya curah hujan dan berdampak langsung dengan kondisi sungai terutama sungai Menyawak dan Cacaban Wetan. Kedua sungai yang menjadi sumber tampungan Waduk Cacaban mengalami kekeringan sehingga menyebabkan volume tampungan di bawah normal (wawancara, 24 Februari 2023).

IV.5 Hasil Sebaran Konsentrasi TSS

Hasil luasan TSS berdasarkan Gambar IV.7 menunjukkan bahwa wilayah perairan Waduk Cacaban didominasi perairan yang termasuk ke dalam kelas 1 dengan kandungan TSS sebesar 0-25 mg/L dengan sebagian kecil wilayah pada kelas 25-50 mg/L dan kelas 50-100 mg/L pada periode 2013 hingga 2022. Kelas sebaran TSS dibagi berdasarkan pada PP nomor 22 Tahun 2021 mengenai Baku Mutu Air Danau/sejenisnya.



Gambar IV.7 Grafik Sebaran TSS

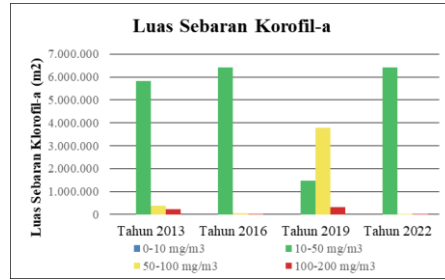


Gambar IV.8 Peta Sebaran TSS

Secara keseluruhan, kondisi TSS pada Waduk Cacaban periode 2013 hingga 2022 didominasi oleh kelas TSS 0-25 mg/L. Pada periode 2013 ke 2016 terjadi penurunan luasan perairan yang masuk ke kelas 2, namun kondisi berubah pada periode 2019. Konsentrasi perairan yang masuk kelas 2 pada periode 2019 meningkat signifikan. Berdasarkan hasil wawancara dengan coordinator operator Waduk Cacaban, menurunnya curah hujan pada bulan Maret hingga Desember sehingga menyebabkan volume air waduk berada di bawah normal. Volume dan elevasi waduk normal berada pada 49.000.000 m³ dan 77,5 m. Kondisi volume dan elevasi perairan waduk paling tinggi selama 2019 hanya berada pada 43.000.000 m³ dan elevasi 76,63 m. Artinya selama tahun 2019, baik volume dan elevasi waduk berada di bawah normal. Penyebab meningkatnya luasan TSS yang masuk ke kelas 2 karena berkurangnya debit air yang masuk ke waduk serta menurunnya sirkulasi air di waduk sehingga meningkatkan kandungan padatan yang terdapat pada air waduk. Sirkulasi arus perairan memiliki hubungan terbalik dengan parameter TSS, kecepatan arus yang tinggi dapat menyebabkan nilai TSS menjadi rendah (Akhrianti dkk., 2014).

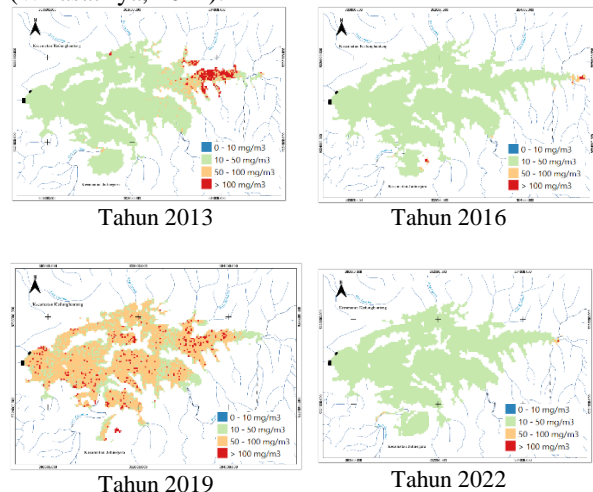
Hasil dari pemetaan sebaran konsentrasi TSS pada Gambar IV.8 menunjukkan bahwa daerah yang memiliki tingkat konsentrasi TSS yang tinggi terletak pada beberapa bagian mulut aliran sungai yang menuju ke waduk. Hal ini karena sungai menjadi pemasok material sedimen dan padatan, sehingga kondisi TSS tinggi pada daerah sekitar wilayah sungai dan lebih rendah pada bagian arah tengah waduk/danau (Suwargana & Yudhatama, 2014). Berdasarkan pengamatan pada periode 2013 hingga 2022, daerah aliran Kali Cacaban, Kali Curihagung dan sungai di bagian timur menjadi wilayah dengan konsentrasi TSS yang tinggi. Kondisi ini sesuai dengan keadaan penelitian yang dilakukan pada daerah aliran sungai Cacaban yang memiliki erosi rata-rata sebesar 99,74 ton/ha/tahun yang diklasifikasikan sebagai tingkat erosi yang sangat tinggi (Pramono, 2019).

IV.6 Hasil Sebaran Konsentrasi Klorofil-a



Gambar IV.9 Grafik Sebaran Klorofil-a

Hasil konsentrasi sebaran klorofil-a berdasarkan Gambar IV.9 dan Gambar IV.10 menunjukkan bahwa wilayah perairan Waduk Cacaban bervariasi. Sebaran klorofil-a pada periode 2013 hingga 2016 cenderung didominasi dengan konsentrasi klorofil-a kelas 2. Perubahan yang signifikan terjadi pada periode 2019. Kondisi perairan waduk menunjukkan bahwa volume dan elevasi air waduk selama 2019 paling tinggi hanya 43.000.000 m³ dan 76,63 m, di bawah kondisi normal yang sebesar 49.000.000 m³ dan 77,5 m (wawancara, 24 Februari 2023). Kondisi waduk yang berada di bawah normal disebabkan karena berkurangnya curah hujan pada bulan Maret hingga November 2019. Berkurangnya curah hujan menyebabkan 2 sungai yang berperan sebagai sumber utama dari air waduk mengalami kekeringan. Menurunnya debit air yang masuk ke waduk mempengaruhi kuat arus dan sirkulasi perairan yang terjadi di Waduk Cacaban. Kecepatan arus permukaan yang lemah berpengaruh besar terhadap konsentrasi klorofil-a yang tinggi (Effendi dkk., 2012). Rendahnya sirkulasi dan kecepatan arus permukaan dapat menyebabkan nutrisi akan mudah terakumulasi. Konsentrasi klorofil-a yang tinggi disebabkan karena pada area tersebut menjadi tempat akumulasi nutrient (Wirasatriya, 2011).

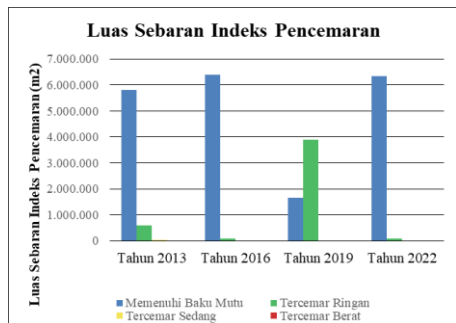


Gambar IV.10 Peta Sebaran Klorofil-a

IV.7 Hasil Sebaran Indeks Pencemaran

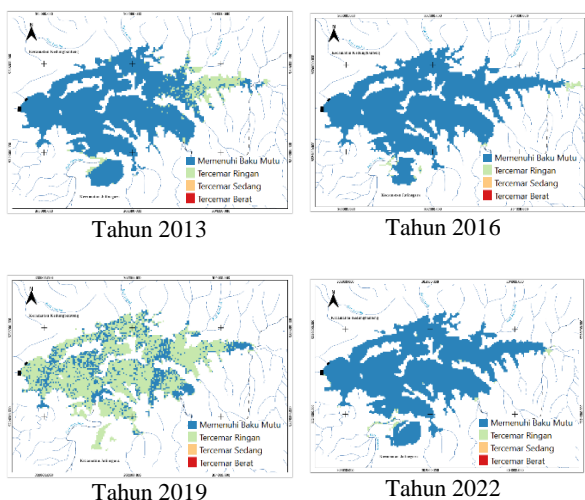
Indeks pencemaran dihitung berdasarkan baku mutu yang sudah ditetapkan pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Sesuai dengan peruntukan waduk Cacaban sebagai waduk

yang digunakan untuk wahana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar serta berfungsi untuk mengairi tanaman, maka kelas baku mutu yang digunakan merupakan kelas 2. Pada baku mutu kelas 2, nilai ambang batas TSS sebanyak 50 mg/L dan klorofil-a sebesar 50 mg/m³. Jumlah kelas dalam hasil indeks pencemaran terdapat 4 klasifikasi yaitu kelas yang memenuhi baku mutu, tercemar ringan, tercemar sedang dan tercemar berat.



Gambar IV.11 Grafik Sebaran Indeks Pencemaran

Hasil konsentrasi indeks pencemaran berdasarkan Gambar IV.11 dan Gambar IV.12 menunjukkan bahwa wilayah perairan Waduk Cacaban masuk ke dalam klasifikasi yang memenuhi baku mutu dan klasifikasi tercemar ringan selama periode 2013 hingga 2022. Klasifikasi yang dilakukan berdasarkan baku mutu parameter TSS dan klorofil-a kelas 2 pada lampiran Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Baku Mutu Perairan Danau/sejenisnya.



Gambar IV.12 Peta Sebaran Indeks Pencemaran

Wilayah perairan pada periode 2013 dan 2016 didominasi oleh wilayah yang memenuhi baku mutu air. Penurunan kualitas perairan terjadi secara signifikan pada periode 2019. Turunnya kualitas perairan pada periode 2019 karena tingginya konsentrasi parameter klorofil-a pada periode tersebut. Meningkatnya konsentrasi klorofil-a bisa disebabkan karena berkurangnya debit air waduk serta terhambatnya sirkulasi air di waduk sehingga kandungan unsur hara pada perairan menjadi meningkat. Klorofil-a merupakan indikator dari kadar

biomassa algae dengan perkiraan rata-rata beratnya adalah 1% dari biomassa. Kandungan klorofil-a berhubungan erat dengan pasokan nutrelin yang berasal dari aliran sungai-sungai yang masuk ke perairan (Sihombing, R. F., 2013). Pada periode tahun 2022 kondisi perairan lebih baik, hal ini ditandai dengan meningkatnya luasan perairan yang memenuhi baku mutu air. Hal ini sesuai dengan hasil pengamatan kualitas perairan Waduk Cacaban berdasarkan indeks pencemaran pada beberapa titik telah memenuhi baku mutu kelas 2 (Amaliah dkk., 2020). Sesuai dengan fungsi dan peruntukannya sebagai sumber irigasi, pembudidayaan ikan air tawar, serta sarana rekreasi air, maka Waduk Cacaban memenuhi syarat baku mutu air kelas 2. Kondisi membaiknya perairan Waduk Cacaban antara periode 2019 dan 2022 juga sejalan dengan program rehabilitasi waduk yang telah dilakukan pada rentang waktu Oktober 2020 hingga 2022, di mana pekerjaan rehabilitasi waduk meliputi perbaikan pada area spillway dan pengerukan sedimen.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Luasan perairan Waduk Cacaban pada periode 2013-2016 mengalami penambahan luas sebesar 68.391 m². Penyempitan luasan Waduk Cacaban pada periode 2016-2019 sebesar -907.949 m². Pada rentang 2019-2022 terjadi penambahan luasan sebesar 857.554 m². Lokasi dengan perubahan luasan perairan terbesar, baik berupa penambahan atau penyempitan terjadi di daerah selatan dan timur Waduk Cacaban. Perubahan luasan yang paling besar di daerah timur waduk terjadi pada bagian sekitar mulut sungai yang menuju ke waduk. Perubahan luasan di daerah selatan terjadi pada aliran Kali Cacaban dan Kali Curihagung.
2. Hasil sebaran konsentrasi TSS di Waduk Cacaban pada tahun 2013, 2016, 2019 dan 2022 didominasi pada konsentrasi TSS kelas 0-25 mg/L. Kondisi waduk pada periode 2019 menunjukkan peningkatan presentase luasan rentang TSS 25-50 mg/L dan 50-100 mg/L dengan luasan masing-masing sebesar 1.233.691 m² (22%) dan 287.951 m² (5%). Hasil sebaran konsentrasi klorofil-a di Waduk Cacaban pada tahun 2013, 2016 dan 2022 didominasi oleh konsentrasi klorofil-a sebesar 10-50 mg/m³. Luasan konsentrasi klorofil-a tahun 2019 didominasi oleh rentang klorofil-a 50-100 mg/m³ sebesar 3.791.041 m² (68%).
3. Hasil Hasil kualitas perairan Waduk Cacaban pada tahun 2013, 2016, 2019 dan 2022 berdasarkan indeks pencemaran dengan parameter TSS dan klorofil-a baku mutu kelas 2, mengkategorikan perairan Waduk Cacaban tergolong pada kelas memenuhi baku mutu dan

tercemar ringan. Baku mutu air kelas 2 merupakan air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan dan pengairan tanaman. Luas perairan waduk tahun 2013 yang memenuhi baku mutu air seluas 5.814.787 m² dan kelas tercemar ringan seluas 594.807 m². Luas perairan waduk tahun 2022 yang memenuhi baku mutu air seluas 6.341.205 m² dan kelas tercemar ringan seluas 88.185 m².

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, berikut adalah saran yang dapat dipergunakan untuk penelitian selanjutnya:

1. Penambahan parameter kualitas air untuk analisis kualitas perairan di Waduk Cacaban seperti CDOM, SDP, TP, BOD, dan lainnya.
2. Pengambilan data reflektan in situ sebagai data untuk kalibrasi dan validasi data reflektan citra.
3. Penggunaan waktu pengamatan citra pada dua musim, yaitu di musim kemarau dan penghujan.
4. Penambahan parameter kedalaman air dalam analisis perubahan luasan waduk.
5. Penentuan dan pengambilan titik sampel air yang lebih teliti.

DAFTAR PUSTAKA

- Amaliah, F., Rahayu, D. R. U. S., dan Kusharyati, D. F. (2020). Penentuan Kualitas Air Waduk Cacaban, Berdasarkan Parameter Mikrobiologi. *Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*, 2(4), 531–537.
- Anggara, W., dan Sundari, N. (2016). Studi Perubahan Volume Waduk Cacaban. *Jurnal Teknik Pengairan*, 7, 310–315.
- Atmanegara, P. (2014). Analisa Perbandingan Kandungan Klorofil Indeks Vegetasi Data Hymap. *Skripsi*, 1–53.
- Baktiar, A., Wijaya, A., dan Sukmono, A. (2016). Analisis Kesuburan dan Pencemaran Air Berdasarkan Klorofil-A dan TSS Multitemporal. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(4), 263–276.
- Effendi, R., Palloan, P., dan Ihsan, N. (2012). Analisis Konsentrasi Klorofil-A Perairan Kota Makassar Menggunakan Satelit Topex/Poseidon. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, 8(3), 279–285.
- Farid, F. (2015). *Penginderaan Jauh (Remote Sensing)*. Utmpress.
- Heriza, D., Sukmono, A., dan Bashit, N. (2018). Analisis Perubahan Kualitas Perairan Danau Rawa Pening Periode 2013, 2015 dan 2017 Menggunakan Data Citra Landsat 8. *Jurnal Geodesi Undip*, 7(1), 79–89.
- Laili, N., Arafah, F., Jaelani, L. M., dan Sulisetyono, A. (2015). *Development Of Water Quality Parameter Retrieval Algorithms For Estimating TSS and Chlorophyll-A Concentration Using Landsat-8 Imagery*. *ISPRS*, 2(2W2), 55–62.
- Mcfeters, S. K. (2013). *Using The Normalized Difference Water Index (NDWI) Within A Geographic Information System To Detect Swimming Pools For Mosquito Abatement: A Practical Approach*. 3544–3561.
- Nurandani, P., Subiyanto, I. S., dan Sasmito, B. (2013). *Mapping of Total Suspended Solid (TSS) Using Multi Temporal Satellite Imagery in Rawa Pening Lake, Central Java Province*. *Geodesi Undip*, 2, 72–84.
- Pramono, H. (2019). Kajian Erosi dan Sedimentasi Pada DAS Waduk Cacaban Kabupaten Tegal.
- Santoso, S. (2017). *Statistik Multivariant Dengan Spss*. Elex Media Computindo.
- Sihombing, R. F., R. A. Dan H. (2013). Kandungan Klorofil-A Fitoplankton Di Sekitar Perairan Desa Sungsang Kabupaten Banyuasin Provinsi Sumatera Selatan. *Maspri Journal*, 5(1), 34–39.
- Sukmono, A. (2018). Pemantauan Total Suspended Solid (TSS) Waduk Gajah Mungkur Periode 2013-2017 Dengan Citra Satelit Landsat-8. *Jurnal Geodesi Dan Geomatika Elipsoida*, 01(01), 33–38.
- Sumargo, A. (2006). Kesesuaian Pemanfaatan Waduk Cacaban Dalam Pengembangan Kawasan Wisata Alam Di Kabupaten Tegal.
- Suwargana, N., dan Yudhatama, D. (2014). Model Pengukuran TSS dan Kecerahan di Perairan Danau Menggunakan Citra Satelit Spot-4.
- Wirasatriya, A. (2011). Pola Distribusi Klorofil-A dan Total Suspended Solid (TSS) di Teluk Toli Toli.
- Yudiatmaja, F. (2013). *Analisis Regresi Dengan Menggunakan Aplikasi Komputer Statistika Spss*. Gramedia Pustaka Utama.
- Yuniar, E. (2018). Validasi Produk Reflektan Permukaan Landsat-8 Menggunakan Data In-Situ.

Sumber dari Internet :

- Badan Pusat Statistik. (2019). *Curah Hujan Bulanan*. <https://tegalkota.bps.go.id/statictable/2019/11/29/298>
- European Space Agency. (2010). *Esa - Eduspace En - Home - What Is Remote Sensing?*. https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_EN/S/EMF9R3Z2OF_0.html
- Pemkab Kabupaten Tegal. (2020). *Rehabilitasi Waduk Cacaban*. <http://setda.tegalkab.go.id/2020/10/16/dianggarkan-rp-40-miliar-rehabilitasi-waduk-cacaban-segera-dimulai/>
- Schirber, M. (2013). *The Full Palette Of Photosynthesis*. https://www.giss.nasa.gov/research/features/201311_Kiang/