

Analisis Perubahan Konsentrasi *Total Suspended Solid* secara *Multitemporal* Menggunakan Citra Sentinel 2A (Studi Kasus: Danau Rawa Pening, Jawa Tengah)

Bandi Sasmito*, Nurhadi Bashit*, Erliza Rachmadiana

*Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275*

Abstrak

Danau Rawa Pening merupakan danau alami yang termasuk danau prioritas utama untuk dilakukan restorasi karena pertumbuhan eceng gondok yang tinggi. Pertumbuhan eceng gondok menyebabkan tertutupnya permukaan air danau dan penumpukan sedimen di dasar perairan. Sedimentasi adalah salah satu faktor penyebab munculnya Total Suspended Solid (TSS) yang menggambarkan kualitas perairan. Pemantauan perubahan kualitas perairan dapat dilakukan dengan melakukan pemetaan menggunakan metode penginderaan jauh. Pada penelitian ini pemetaan TSS dilakukan guna mencari algoritma empiris yang sesuai dengan kondisi Danau Rawa Pening dan menganalisis sebaran konsentrasi TSS melalui algoritma yang didapat. Metode yang digunakan dalam analisis konsentrasi TSS adalah pembangunan model algoritma melalui regresi data reflektan Citra Sentinel 2A tahun 2021 band 1 – 8A yang memiliki kemungkinan tinggi dalam penyerapan dan hamburan balik dari objek air dengan data TSS in situ. Percobaan penerapan regresi dipakai jika nilai $R^2 \geq 0,5$ yang menunjukkan adanya hubungan keterkaitan yang kuat antara variabel TSS in situ dan nilai reflektan band. Hasil dari penelitian ini berupa dua model dengan nilai $R^2 \geq 0,5$ yaitu model persamaan regresi berganda menggunakan ratio band 4/6, nilai R^2 sebesar 0,620 dan persamaan regresinya $TSS = -12,962 + 54,76 X_{(B\ 4/6)} - 54,891 [X_{(B\ 4/6)}]^2 + 17,918 [X_{(B\ 4/6)}]^3$. Sebaran konsentrasi TSS di Danau Rawa Pening memenuhi kriteria baku mutu air dengan sebagian besar berada pada kelas I dan sebagian kecil berada kelas II, III, dan IV. Konsentrasi tertinggi menggunakan perhitungan algoritma ratio band 4/6 pada tahun 2021 sebesar 0 – 258,91 mg/L dan terendah pada tahun 2020 sebesar 0 – 6,13 mg/L.

Kata kunci: citra sentinel 2A; danau Rawa Pening; model algoritma; TSS

Abstract

[Title: Analysis Concentration Changes of Multitemporal Total Suspended Solid Using Sentinel Image 2A] Rawa Pening Lake is a natural lake between Ambarawa, Tuntang, Bawen, and Banyubiru sub-districts, Semarang Regency, including a top priority lake that needs restoration due to the high growth of water hyacinth. The uncontrolled growth of water hyacinth causes the water surface to be covered, and the sediment increases at the bottom of the lake. Sedimentation is one of the factors causing the emergence of Total Suspended Solid (TSS), which describes the water quality. Monitoring changes in water quality can be done by mapping using remote sensing methods. In this study, TSS mapping was carried out to find an empirical algorithm suitable for the conditions of Rawa Pening Lake and to analyze the distribution of TSS concentrations through the obtained algorithm. The method used in the analysis of the TSS concentration is the development of an algorithm model through the regression of the reflectance data of Sentinel Image 2A in 2021 bands 1 – 8A, which has a high probability of absorption and backscattering of water objects with in-situ TSS data. The regression application experiment was used if the value of $\geq 0,5$ indicated a strong correlation between the in situ TSS variable and the reflectance band value. The results of this study are 2 models with a value of $\geq 0,5$, the 3rd order polynomial regression equation model uses a band ratio of 4/6, the value of is 0,620, and the regression equation is . The distribution of TSS

*) Penulis Korespondensi.

E-mail: bandy.geo96@gmail.com

concentrations in Rawa Pening Lake meets the criteria for water quality standards, with most being in class I and a small portion being in classes II, III, and IV. The highest concentration uses the band 4/6 ratio algorithm in 2021 of 0 – 258.91 mg/L, and the lowest in 2020 is 0 – 6.13 mg/L.

Keywords: *algorithm model; rawa pening lake; sentinel 2A imagery; TSS*

1. Pendahuluan

Danau Rawa Pening memiliki luas sekitar 6.488,558 hektar yang terbentuk secara alami yang terdapat di Kabupaten Semarang (Nurandani dkk., 2013). Danau Rawa Pening dimanfaatkan oleh warga sekitar sebagai pengairan persawahan, memanen enceng gondok, dan sumber mata pencaharian lainnya. Pemanfaatan danau menyebabkan terjadi pengendapan material di area danau. Pengendapan material dapat menyebabkan terjadi sedimentasi jika material tersebut berupa pasir dan lumpur maupun material lainnya dengan ukuran $>1\mu\text{m}$ (Effendi, 2000). Pengikisan lahan sekitar perairan dapat menyebabkan sedimentasi, karena material tersebut terbawa oleh air. Sedimentasi menyebabkan pendangkalan perairan danau jika tidak segera diatasi sehingga dapat terjadi kerusakan lingkungan. Danau Rawa Pening merupakan salah satu danau prioritas untuk dilakukan restorasi menurut hasil Konferensi Nasional Danau Indonesia II (KNDI II) tahun 2011.

Luas Daerah Tangkapan Air (DTA) Danau Rawa Pening sebesar 27,345.98 hektar dan kondisinya telah mengalami degradasi yang disebabkan oleh alih fungsi lahan dari lahan hutan (tegakan) menjadi lahan pertanian (Piranti dkk., 2018). Oleh karena itu, danau tersebut mengalami peningkatan sedimen dan lanjut erosi. Laju sedimen yang masuk ke Danau Rawapening adalah total sedimen yang berasal dari Sub DAS Rawapening, yaitu sebesar 2.350,44 ton/tahun (Sadewo dkk., 2022). Permasalahan lainnya berupa tumbuhan enceng gondok yang menutupi badan perairan sebagai salah satu penyebab sedimentasi akibat serasah yang mengendap di dasar perairan (Prabandini dkk., 2021).

Perlindungan dan optimalisasi Danau Rawa Penint telah dilakukan melalui Gerakan Nasional Kemitraan Penyelamatan Air (GN-KPA) pada tahun 2018 dengan menjadikan sebagai asset negara sehingga terhindar dari okupasi lahan. Berdasarkan permasalahan tersebut, Danau Rawa Pening perlu dilakukan monitoring agar dapat memantau peningkatan sedimentasi sehingga dapat dilakukan antisipasi penanganan. Salah satu metode pemantauan kualitas air danau dapat menggunakan metode penginderaan jauh. Metode penginderaan jauh memiliki keunggulan lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan metode lain seperti survei lapangan. Pemantauan kualitas air berguna untuk melihat adanya perubahan dari kualitas perairan Danau Rawa Pening, seperti *Total Suspended Solid (TSS)*.

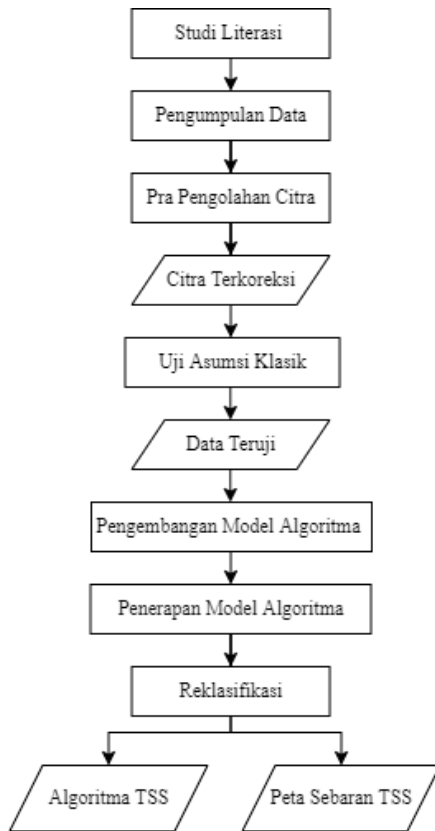
Kualitas perairan ini dapat dilihat berdasarkan nilai TSS, ketika perairan mengalami kualitas buruk maka dapat dilihat dari nilai TSS yang tinggi sehingga dapat mengurangi penetrasi cahaya dan kadar oksigen dalam perairan (Hermawan dkk., 2013). Penelitian ini juga memantau penumpukan sedimentasi sehingga menjadi pendangkalan pada perairan danau. Penelitian ini menggunakan data citra Sentinel 2A dan data data in-situ pengambilan sampel air di lapangan. Kedua data tersebut dilakukan pengolahan menggunakan metode regresi sehingga menghasilkan algoritma TSS sesuai keadaan di Danau Rawa Pening.

Analisis konsentrasi TSS di Danau Rawa Pening pada penelitian ini dengan cara pembangunan algoritma empiris. Algoritma empiris yang dibangun menggunakan data Citra Sentinel 2A yang didapat dari penyedia data citra ESSA dan data in situ dari pengambilan sampel yang menyebar di seluruh wilayah Danau Rawa Pening. Pendugaan konsentrasi TSS menggunakan algoritma empiris agar kesesuaian dalam pendugaan TSS menggunakan sentinel 2A dengan sampel lapangan serta karakteristik danau rawa pening yang banyak enceng gondok menyebabkan algoritma lainnya sulit diterapkan. Penelitian ini juga melihat sebaran TSS secara multi-temporal 4 tahun dari tahun 2018 hingga 2021. Hasil penelitian dapat memperlihatkan peningkatan maupun penurunan sedimentasi pada perairan danau sehingga dapat digunakan oleh pemerintah dan masyarakat dalam rangka antisipasi kerusakan lingkungan akibat sedimentasi di danau.

2. Metode Penelitian

Data penelitian ini menggunakan data citra Sentinel 2A, data sampel in-situ TSS, dan administrasi Kabupaten Semarang. Data citra Sentinel 2A tahun 2018 sampai 2021 diperoleh melalui pengunduhan dari situs ESA Copernicus. Data sampel TSS diperoleh dengan cara pengambilan sampel perairan Danau Rawa Pening.

Penelitian ini terbagi beberapa tahapan meliputi persiapan, pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis yang dapat dilihat pada Gambar 1. Tahapan persiapan dilakukan untuk mempersiapkan peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian dan peninjauan ketersediaan data yang akan digunakan dalam pemrosesan penelitian. Tahap persiapan harus direncanakan dengan baik karena pada tahap ini menentukan keberlangsungan dari tahapan yang akan dilaksanakan selanjutnya.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Data sampel lapangan menyebar di seluruh daerah penelitian sebanyak 30 titik sampel melalui perhitungan jumlah sampel (Cochran, 1977). Pengambilan sampel menggunakan random sampling sehingga pengambilan data dilakukan secara acak menyebar seluruh area penelitian. Waktu pengambilan sampel disamakan dengan waktu perekaman citra agar nilai saat perekaman sama dengan data di lapangan serta memperhatikan kecepatan pergerakan dari eceng gondok yang dapat menghambat proses pengambilan sampel. Setiap sampel dicatat koordinat titik sampel melalui alat GPS *handheld* dan penyimpanan pada cooling box agar suhu tetap terjaga.

Data in-situ dilakukan pengujian laboratorium terlebih dahulu sehingga memperoleh nilai TSS. Data citra satelit dilakukan pra-pengolahan meliputi resampling citra yang berguna untuk menyamakan resolusi spasial dari tiap band dalam satu citra. Koreksi radiometrik citra dilakukan untuk mengubah nilai *pixel* citra agar sesuai dengan kondisi di lapangan, masking area yang berguna untuk menghilangkan nilai dari daratan sehingga dapat memudahkan dalam analisis penelitian, uji ketelitian geometrik citra yang berguna untuk menguji ketelitian maksimal yang didapatkan citra, uji normalitas data in situ berguna untuk menguji kenormalan data yang dihasilkan dari pengambilan di lapangan. Pengolahan data berisi tentang pengembangan model algoritma yang

didapatkan dari Citra Sentinel 2A dengan data in situ. Model algoritma didapatkan dari hasil regresi nilai variabel dependen yaitu TSS in situ dan variabel independen yaitu reflektan band 1-8A yang mempunyai koefisien determinasi (R^2) tertinggi. Reflektansi spektral digunakan merupakan reflektansi band tunggal, band *ratio* dan band berganda. Data digunakan regresi merupakan data yang sudah terdistribusi normal sehingga perhitungan dari hasil regresi dapat dikatakan berdistribusi normal dan sesuai dengan keadaan yang sebenarnya di lapangan sehingga menghasilkan R^2 yang baik. Nilai (R^2) memiliki rentang nilai dari 0 hingga 1 dengan ketentuan model memiliki nilai mendekati 1 menunjukkan model tersebut ideal atau memiliki kesesuaian dengan kondisi sebenarnya di lapangan.

Analisis penelitian ini berdasarkan hasil algoritma pengembangan model yang diuji berdasarkan algoritma yang terdahulu dengan mengaplikasikan ke citra yang sama. Konsentrasi TSS dihasilkan dapat diketahui luas dari tiap kelas yang dipakai, dari data tersebut dapat dianalisis perubahan konsentrasi TSS berdasarkan luas yang didapat.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Resampling Citra

Resampling di dalam penelitian ini berguna untuk menyamakan resolusi spasial dari Citra Sentinel 2A. Resolusi spasial Citra Sentinel 2A beragam dari 10m, 30m, dan 60m. Band digunakan dalam penelitian merupakan band 1 sampai dengan band 8A, sehingga band dengan resolusi berbeda seperti band 1, 5, 6, 7, dan 8A di *downscaling* menjadi resolusi spasial 10m. Metode digunakan merupakan metode *Nearest Neighbour*. Pemilihan metode ini dianggap lebih baik untuk analisis penelitian dengan tema kekeruhan air, seperti TSS. Metode *Nearest Neighbour* mentransformasikan nilai *pixel* citra dengan cara menuju posisi baru, ketika nilai *pixel* diperbesar maka nilainya diisi dengan nilai terdekat dari *pixel* tersebut. Metode ini juga memiliki keuntungan nilai asli yang ditransformasikan tidak dilakukan pembagian dan nilai *pixel* bernilai ekstrim atau tidak beraturan pada metode ini tidak dihilangkan melainkan digabung menjadi satu dengan *pixel* lainnya (Gumelar, 2015). Hal ini sesuai dengan pertimbangan kondisi daerah penelitian dengan jenis kekeruhan air, seperti Danau Rawa Pening. Nilai dari *pixel size* citra diubah ke resolusi yang lebih besar sesuai dengan band masukan, yaitu 10m dapat dilihat pada Gambar 2.

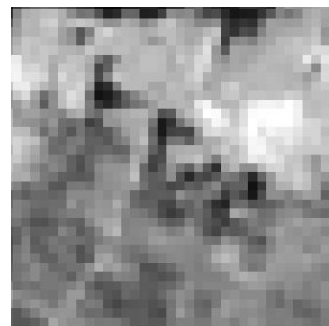
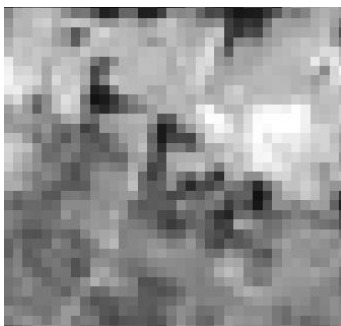
3.2 Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik dalam penelitian ini memiliki tujuan untuk memperbaiki nilai *pixel* citra sehingga terhindar dari kesalahan yang disebabkan saat perekaman citra, seperti kesalahan atmosfer dan kesalahan respon detektor yang diakibatkan oleh variasi sudut dalam pengambilan data, variasi sudut eliminasi, operasi sensor

yang tidak sempurna sudut pantul. Citra sebelum dikoreksi dalam bentuk DN, sedangkan citra setelah dikoreksi dalam bentuk radian atau reflektan yang sudah terbebas dari efek atmosferik. Citra Sentinel 2A level 1C sehingga dapat berubah menjadi Citra Sentinel 2A level 2 dengan nilai reflektan atau radian yang telah bebas dari kesalahan atmosfer. *Tool Semi Automatic Plugin* terdapat pemilihan metode koreksi radiometrik yaitu metode *DOS 1 (Dark Object Subtraction 1) Atmospheric Correction*. Salah satu dari banyak metode untuk meminimalkan path-radiance adalah *Dark Object Subtraction (DOS)* (Song dkk., 2011). Metode koreksi atmosfer Citra Sentinel 2A level 2A dalam penelitian ini sudah berupa BoA yang berarti sudah terkoreksi radiometrik dan terbebas dari kesalahan atmosfer. Proses dalam menjadikan nilai rentangan yang benar walaupun sudah dalam bentuk BoA yaitu dengan mengalikan citra dengan *scale factor* Citra Sentinel 2A sebesar 0,0001 atau proses ini dinamakan kalibrasi radiometrik. Citra yang sudah dikalikan dengan *scale factor* memiliki nilai dengan rentangan antara 0 sampai 1.

3.3 Uji Ketelitian Geometrik

Uji ketelitian geometrik digunakan untuk mengetahui kesesuaian citra dengan peraturan yang telah ditetapkan oleh Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018. Proses pengujian ini dilakukan menggunakan aplikasi ENVI dan perhitungan menggunakan aplikasi Ms. Excel. Aplikasi ENVI menggunakan *tools Image to Map*, penggunaan *tools* ini dikarenakan pengujian ketelitian geometrik dari citra ke peta dimana peta yang digunakan merupakan peta RBI atau *shapefile* sungai Kabupaten Semarang dengan skala 1:25.000. Titik *independent control point (ICP)* yang dipilih berjumlah 13 titik yang menyebar pada seluruh daerah penelitian. Perhitungan uji ketelitian geometrik sesuai perhitungan ketelitian horisontal CE90 menyatakan Citra Sentinel 2A pada wilayah Danau Rawa Pening memiliki RMSEr 7,8944 m dan nilai akurasi horisontal (CE90) yang dihasilkan sebesar 11,9656 m. Hasil tersebut memenuhi syarat perhitungan $RMSE < 1$ dan CE90 memenuhi ketelitian peta 1:25.000 kelas 2.



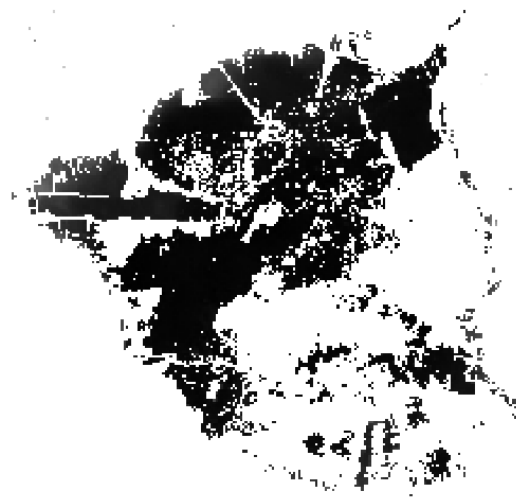
Gambar 2 Citra sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) proses *resampling* citra

3.4 Masking Area

Masking area yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk memisahkan daratan (eceng gondok, lahan kosong, pertanian, dan kebun) dengan perairan agar pengolahan TSS lebih terfokus pada perairan dan tidak terganggu oleh adanya nilai daratan. Proses ini dilakukan dengan metode *Normalized Difference Water Index (NDWI)* menggunakan band 3 (band hijau) dan 8 (band NIR) (McFeeters, 1996). rentangan nilai dari -1 sampai dengan 1, dengan nilai minus sampai 0 dianggap nilai daratan dan nilai lebih dari 0 dianggap perairan. Gambar 3 menunjukkan Citra Rawa Pening dengan perairan yang memiliki nilai reflektan lebih dari 0 dimana di area daratan dan komponen selain perairan, seperti eceng gondok di hilangkan nilainya.

3.5 Uji Normalitas Data Sampel

Penelitian ini melakukan uji normalitas pada data sampel untuk menormalkan atau mendistribusikan data in situ yang diambil dari lapangan agar terdistribusi normal. Data diambil sebagai sampel perairan tidak semua bisa dipakai sebab adanya bias atau kesalahan pada saat pengambilan data yang disebabkan oleh pergerakan kapal dan pergerakan air serta eceng gondok di Danau Rawa Pening. 30 Data sampel lapangan terdapat 4 data yang dihilangkan karena saat perekaman citra titik pengambilan sampel tertutup eceng gondok sehingga hanya 26 data yang dapat dilakukan proses normalisasi data. 26 Data hasil uji laboratorium menghasilkan adanya beberapa data yang tidak sesuai dengan data lainnya atau data *outlier*. Pada uji normalitas ini, data yang dianggap *outlier* dipisahkan atau tidak gunakan untuk pembangunan model algoritma. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak SPSS dengan metode Shapiro-Wilk dalam melakukan uji normalitas. Metode ini mampu mendeteksi penyimpangan dari normalitas karena kurtosis atau kemiringan. Metode ini juga digunakan untuk uji normalitas dengan data kurang dari 50 sampel. Nilai kepercayaan atau *confidence level* pada penelitian ini adalah 95% sehingga diperoleh level signifikansi atau α yaitu 0,05. Hasil uji normalitas pertama menggunakan uji statistik Shapiro-Wilk, data sampel TSS in situ diperoleh nilai signifikansi sebesar



Gambar 3 Masking Area

0,000. Apabila digunakan nilai kepercayaan atau *confidence level* sebesar 95% atau level signifikansi (α) sebesar 0,05 maka nilai signifikansi kurang dari level signifikansi. Sehingga dapat disimpulkan H_1 diterima atau data tidak terdistribusi normal.

Gambar 4 merupakan hasil nilai signifikansi dengan uji Shapiro-Wilk sebesar 0,152. Nilai signifikansi lebih besar daripada nilai level signifikansi, sehingga dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima atau data TSS in situ telah terdistribusi normal. Gambar 5 merupakan grafik setelah dihilangkan data *outlier*, dalam grafik tidak terdapat titik-titik data *outlier* sehingga data yang telah di uji normalitas dapat digunakan sebanyak 22 data dapat dilihat pada Tabel 1.

3.6 Validasi Data

Validasi data dilakukan dalam penelitian ini menggunakan pengujian secara statistika dengan melalui uji asumsi klasik regresi berjumlah empat pengujian yaitu uji normalitas residual, uji autokorelasi, uji multikolinearitas, dan uji heteroskedastisitas. Data yang diuji merupakan data band 4, 5, dan ratio 4/6 terhadap data TSS in situ. Berikut hasil dan pembahasan dari uji asumsi klasik yang dilakukan pada penelitian ini.

3.6.1 Uji Normalitas Residual

Uji normalitas residual band 4, 5, dan ratio band

4/6 menggunakan *non-parametrik test Kolmogorov-Smirnov* (K-S) menghasilkan nilai mean mendekati 0 yaitu sebesar 0,000 dan *asympt. Sig. (2-tailed)* sebesar 0,188 hal ini sudah memenuhi asumsi normalitas karena hasil signifikansinya $> 0,05$. Hasil grafik histogram membentuk lonceng serta plot uji normalitas merupakan dasar pengambilan keputusan, dalam hal ini titik-titik menyebar pada sekitar garis dan mengikuti garis diagonal sehingga dapat dikatakan nilai residual tersebut telah normal.

3.6.2 Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi menggunakan uji autokorelasi metode Durbin Watson atau DW dengan derajat kesalahan (α) 5% atau 0,05. Nilai DW yang telah didapatkan dihitung menggunakan hipotesis pengambilan keputusan di atas dengan hasil dw sebesar 1,847. Hasil uji autokorelasi memenuhi ke dalam poin 2 dasar pengambilan keputusan dengan nilai DW berada lebih besar dari nilai du dan lebih kecil dari 4 – du maka dapat disimpulkan ke tiga band yang dipakai tidak adanya gejala autokorelasi dari hasil model regresi yang digunakan.

3.6.3 Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas dapat mengetahui setiap variable memiliki interkorelasi atau hubungan yang kuat antar variabel independen. Dasar pengambilan keputusan tidak terjadinya gejala multikolinearitas adalah nilai *Variance Inflation Factor* (VIF) < 10 dan nilai *Collinearity Tolerance* $> 0,1$. Nilai statistik VIF yang dihasilkan dari band 4 sebesar 6,878, band 5 sebesar 8,087, dan ratio band 4/6 sebesar 1,796. Data sudah memenuhi syarat pengambilan keputusan VIF yaitu kurang dari 10. Nilai *Collinearity Tolerance* dari band 4 sebesar 0,145, band 5 sebesar 0,124, dan ratio band 4/6 sebesar 0,557. Data sudah memenuhi syarat pengambilan keputusan *Collinearity Tolerance* yaitu lebih dari 0,1. Uji multikolinearitas yang telah dilakukan dapat disimpulkan pada data dan model regresi yang digunakan tidak terjadi multikolinearitas atau hubungan antar variabel independen yang sangat kuat.

3.6.4 Uji Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas pada penelitian ini menggunakan metode Glejser dengan dasar pengambilan keputusan dalam uji sebesar signifikansi $> 0,05$. Hasil pengolahan uji heteroskedastisitas band 4 sebesar 0,305,

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
TSS 22 Data (2)	.140	22	.200*	.935	22	.152

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 4 Hasil Uji Normalitas Setelah Dihilangkan Data Outlier

band 5 sebesar 0,193, dan ratio band 4/5 sebesar 0,045 bawa dari variabel dari data yang digunakan memiliki nilai signifikansi > 0,05 serta sebaran titik-titik data menyebar di atas dan di bawah angka 0 pada sumbu Y tanpa membentuk suatu pola. Hal ini dapat disimpulkan bahwa data band 4, 5, dan ratio 4/6 dalam regresi linear yang digunakan tidak terjadi ketidaksamaan variansi atau varian konstan dari residual satu dengan yang lain dan tidak mengalami gejala heteroskedastisitas.

3.7 Pengembangan Model Algoritma

Pengembangan model dilakukan dalam penelitian ini berguna untuk menghasilkan model algoritma baru yang telah disesuaikan dengan keadaan yang sebenarnya di area penelitian, yaitu Danau Rawa Pening. Pengembangan model algoritma ini menggunakan data in situ yang didapatkan dari pengambilan sampel perairan yang kemudian dilakukan pengolahan di Laboratorium dengan data nilai reflektansi dari Citra Sentinel 2A level 2A akuisisi data tanggal 7 Juli 2021 yang disesuaikan dengan titik-titik koordinat saat pengambilan data in situ. Pendugaan model algoritma ini dengan regresi dua data di atas yang telah didapatkan. Regresi yang dipakai menggunakan persamaan regresi linear, eksponensial, logaritmik, *polynomial orde 2*, *polynomial orde 3*, power, dan berganda dengan kemungkinan reflektansi band yang dipakai dari band 1 sampai dengan band 8A. Nilai reflektan citra dinyatakan dalam penyerapan dan

hamburan balik menurut model bio-optik yang dikemukakan Ma dalam Liu (2017). Penelitian mengemukakan Band 1 sampai band 8A merupakan panjang gelombang optik yang berpengaruh dalam penyerapan dan hamburan balik dari objek air sehingga penggunaan band ini lebih memiliki kemungkinan tinggi dalam korelasi TSS in situ dengan reflektan citra (Liu dkk., 2017). Percobaan penerapan regresi yang dipakai menghasilkan 2 nilai $R^2 \geq 0,5$. Nilai $R^2 \geq 0,5$ menunjukkan adanya hubungan keterkaitan yang kuat antara 2 variabel yang diujikan dimana dalam penelitian ini merupakan nilai TSS in situ dan nilai reflektansi band yang digunakan. Model algoritma yang memiliki nilai tertinggi diantara semua percobaan sebagai berikut:

1. Model algoritma band 4 dan 5 dengan nilai R^2 sebesar 0,6171 dan model hubungan regresinya $Y = -1,2748 + 1000,936 X_{B4} - 513,326 X_{B5}$
2. Model algoritma *polynomial orde 3* menggunakan ratio band $\frac{4}{6}$ dengan nilai R^2 sebesar 0,620 dan model hubungan regresinya $Y = -12,962 + 54,76 X_{B4} - 54,891 X_{B6}^2 + 17,918 X_{B6}^3$

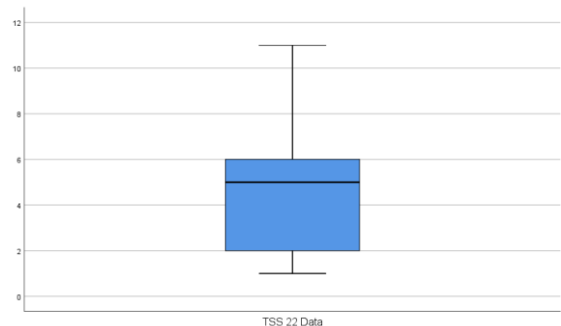
Besaran nilai model hubungan regresi ditentukan dari hasil *coefficients unstandardized* regresi.

Coefficients Unstandardized menunjukkan nilai koefisien yang tidak terstandarisasi atau tidak memiliki patokan, nilai tersebut menggunakan data pada variabel dependen (mg/L). *Coefficients Unstandardized B* terdiri nilai konstan (harga Y jika X = 0) dan koefisien regresi (nilai yang menunjukkan peningkatan atau penurunan variabel Y yang didasarkan variabel X). Nilai-nilai *Coefficients Unstandardized B* merupakan nilai termasuk kategori persamaan regresi linier.

Kedua Model algoritma dihasilkan dari 3 band yang lebih dominan dan dapat menghasilkan nilai R^2 yang lebih tinggi diantara nilai lainnya, yaitu band 4 (*red*), 5 (*Vegetation Red Edge*), dan 6 (*Vegetation Red Edge*). Band 4, 5, dan 6 memiliki pantulan panjang gelombang besar 665 – 740 nm. Reflektan dengan panjang gelombang besar memiliki koefisien hamburan balik dan

Tabel 1 Nilai Konsentrasi Model TSS

No Titik	Nilai TSS In Situ (mg/L)	Nilai TSS Band 4 dan 5 (mg/L)	Nilai TSS Band 4/6 (mg/L)
1	11	6,8462	7,58582
2	7	6,22185	5,40929
3	8	9,68426	4,5913
4	6	7,30604	5,28263
5	15	9,83373	14,74818
6	7	8,62014	4,66969
7	3	3,60507	4,80471
8	4	3,17533	2,79202
9	5	6,10129	4,90864
10	5	4,22037	4,8236
11	5	3,01012	4,90355
12	2	4,07974	6,3272
13	2	4,13108	5,27024
14	3	4,77834	4,66912
15	5	6,26531	4,69949
16	5	4,46366	6,2529
17	5	5,27328	4,76061
18	2	3,0051	3,80396
19	3	0,20639	1,07216
20	2	1,87244	3,37082
21	6	7,43712	4,69631
22	1	1,86283	2,54627



Gambar 5 Boxplot Setelah Dihilangkan Data Outlier

penyerapan objek air yang bagus di antara panjang gelombang pendek lainnya. Namun, koefisien penyerapan optik ini akan menurun dengan meningkatnya panjang gelombang, dan mendekati nilai nol di daerah NIR. Hamburan balik band dengan panjang gelombang pendek seperti band 1 – 3 dipengaruhi oleh karakteristik penyerapan dan hamburan balik objek air (air dengan TSS dan air murni), oleh karena itu korelasi yang dihasilkan TSS in situ dan band 1 – 3 relatif lemah. Selain itu, band 4 juga memiliki keunggulan untuk perairan dengan nilai konsentrasi TSS rendah pernyataan ini dikemukakan oleh Olmanson (2011), Dekker (2001), dan Vanhellemont (2014) dalam penelitian Liu (2017). Di samping itu, pernyataan pada ketiga band ini diperkuat dengan hasil dari penelitian Liu (2017) mengemukakan pengembangan model algoritma TSS menggunakan Citra Sentinel 2A menghasilkan model dari band 4 – 8A memperoleh akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan band 1 – 3.

3.8 Penerapan Model

Penerapan model yang dilakukan dalam penelitian ini berguna untuk menerapkan hasil pengembangan model algoritma yang telah didapatkan sebelumnya dari proses regresi antara TSS in situ dengan reflektansi citra pada area Danau Rawa Pening. Hasil penerapan model ke citra tahun 2021 dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 6.

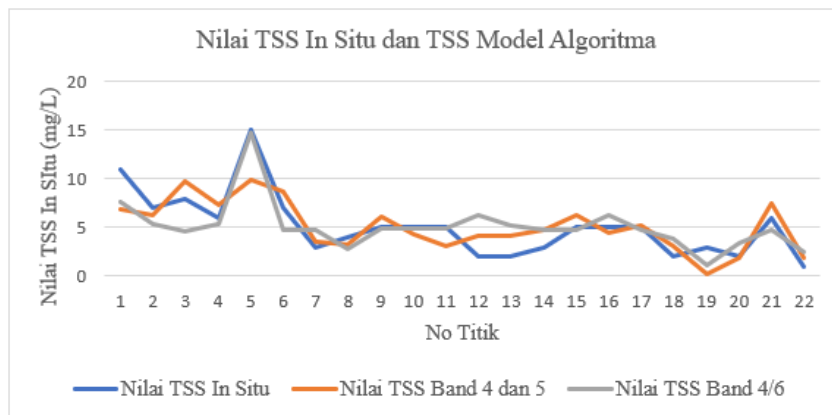
3.9 Klasifikasi Citra dan Analisis Sebaran Konsentrasi TSS

Penerapan model algoritma yang telah didapatkan kemudian diaplikasikan ke Citra Sentinel 2A tahun 2018, 2019, 2020, dan 2021 yang digunakan untuk melihat adanya perubahan nilai konsentrasi TSS di Danau Rawa Pening. Reklasifikasi TSS menggunakan metode klasifikasi terbimbing (*Supervised Classification*) melalui perangkat lunak ArcGIS dengan cara mengelaskan hasil konsentrasi TSS ke dalam 4 kelas sesuai acuan baku mutu air tahun 2021

Pada tahun 2018 ditunjukkan pada Gambar 7, sebaran konsentrasi TSS menggunakan perhitungan

algoritma band 4 dan 5 memiliki rentangan sebesar 0 – 92,97 mg/L dan perhitungan algoritma ratio band 4/6 memiliki rentangan sebesar 0 – 28,31 mg/L. Tabel 2 merupakan luasan masing-masing konsentrasi TSS yang telah didapatkan. Menurut baku mutu air kedua konsentrasi TSS dari perhitungan algoritma band 4 dan 5 masuk ke kelas I (memenuhi) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 1146,317 Ha, kelas II (tercemar ringan) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 11,033 Ha, dan Kelas III (tercemar sedang) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 0,4 Ha, sedangkan algoritma ratio band 4/6 masuk ke kelas I (memenuhi) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 1000,866 Ha dan Kelas II (tercemar Ringan) dengan luas sebesar 0,03 Ha. Luasan TSS diketahui berada pada semua kelas dengan kelas memenuhi lebih banyak, sedangkan kelas tercemar ringan dan sedang pada luasan yang kecil dan tersebar di daerah tepi danau yang lebih memiliki banyak lumpur dibandingkan daerah tengah danau, hal ini menunjukkan konsentrasi TSS masih dianggap baik dan terkendali untuk wilayah Danau Rawa Pening.

Pada tahun 2019 ditunjukkan pada Gambar 8, sebaran konsentrasi TSS menggunakan perhitungan algoritma band 4 dan 5 memiliki rentangan sebesar 0 – 102,70 mg/L dan perhitungan algoritma ratio band 4/6 memiliki rentangan sebesar 0 – 26,30 mg/L. Tabel 3 merupakan luasan masing-masing konsentrasi TSS yang telah didapatkan. Menurut baku mutu air kedua konsentrasi TSS dari perhitungan algoritma band 4 dan 5 masuk ke kelas I (memenuhi) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 1056,641 Ha, kelas II (tercemar ringan) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 28,453 Ha, Kelas III (tercemar sedang) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 0,553 Ha, dan Kelas IV (tercemar berat) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 0,01 Ha, sedangkan algoritma ratio band 4/6 masuk ke kelas I (memenuhi) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 822,633 Ha dan Kelas II (tercemar ringan) dengan luas sebesar 0,025 Ha. Luasan



Gambar 6 Grafik Konsentrasi Model TSS

TSS diketahui berada pada semua kelas dengan kelas memenuhi lebih banyak, sedangkan kelas tercemar sedang dan berat pada luasan yang kecil dan tersebar di daerah tepi danau yang lebih memiliki banyak lumpur dibandingkan daerah tengah danau, hal ini menunjukkan konsentrasi TSS masih dianggap baik dan terkendali untuk wilayah Danau Rawa Pening.

Pada tahun 2020 ditunjukkan pada Gambar 9, sebaran konsentrasi TSS menggunakan perhitungan algoritma band 4 dan 5 memiliki rentangan sebesar 0 – 62,87 mg/L dan perhitungan algoritma ratio band 4/6 memiliki rentangan sebesar 0 – 6,13 mg/L. Tabel 4 merupakan luasan masing-masing konsentrasi TSS yang telah didapatkan. Menurut baku mutu air kedua konsentrasi TSS dari perhitungan algoritma band 4 dan 5 masuk ke kelas I (memenuhi) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 817,122 Ha, kelas II (tercemar ringan) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 2,005 Ha, dan Kelas III (tercemar sedang) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 0,420 Ha, sedangkan algoritma ratio band 4/6 masuk ke

Tercemar kelas I (memenuhi) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 716,183 Ha. Luasan TSS diketahui berada pada semua kelas dengan kelas memenuhi lebih banyak, sedangkan kelas tercemar ringan dan sedang pada luasan yang kecil dan tersebar di daerah tepi danau yang lebih memiliki banyak lumpur dibandingkan daerah tengah danau, hal ini menunjukkan konsentrasi TSS masih dianggap baik dan terkendali untuk wilayah Danau Rawa Pening.

Pada tahun 2021 ditunjukkan pada Gambar 10, sebaran konsentrasi TSS menggunakan perhitungan algoritma band 4 dan 5 memiliki rentangan sebesar 0 – 241,06 mg/L dan perhitungan algoritma ratio band 4/6 memiliki rentangan sebesar 0 – 258,91 mg/L. Tabel 5 merupakan luasan masing-masing konsentrasi TSS yang telah didapatkan. Menurut baku mutu air kedua konsentrasi TSS dari perhitungan algoritma band 4 dan 5 masuk ke Kelas I (memenuhi) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 866,773 Ha, Kelas II (tercemar ringan) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 2,105 Ha, Kelas III

Tabel 2 Luas Konsentrasi TSS 2018

TSS Algoritma Band 4 dan 5		TSS Algoritma Ratio Band 4/6	
Vegetasi	361,804 Ha	Vegetasi	518,266 Ha
0 – 25 mg/L	1146,317 Ha	0 – 25 mg/L	1000,866 Ha
25 – 50 mg/L	11,033 Ha	25 – 50 mg/L	0,03 Ha
50 – 100 mg/L	0,4 Ha	50 – 100 mg/L	0 Ha
100 – 400 mg/L	0 Ha	100 – 400 mg/L	0 Ha

Tabel 3 Luas Konsentrasi TSS 2019

TSS Algoritma Band 4 dan 5		TSS Algoritma Ratio Band 4/6	
Vegetasi	433,395 Ha	Vegetasi	696,607 Ha
0 – 25 mg/L	1056,641 Ha	0 – 25 mg/L	822,633 Ha
25 – 50 mg/L	28,453 Ha	25 – 50 mg/L	0,025 Ha
50 – 100 mg/L	0,553 Ha	50 – 100 mg/L	0 Ha
100 – 400 mg/L	0,01 Ha	100 – 400 mg/L	0 Ha

Tabel 4 Luas Konsentrasi TSS 2020

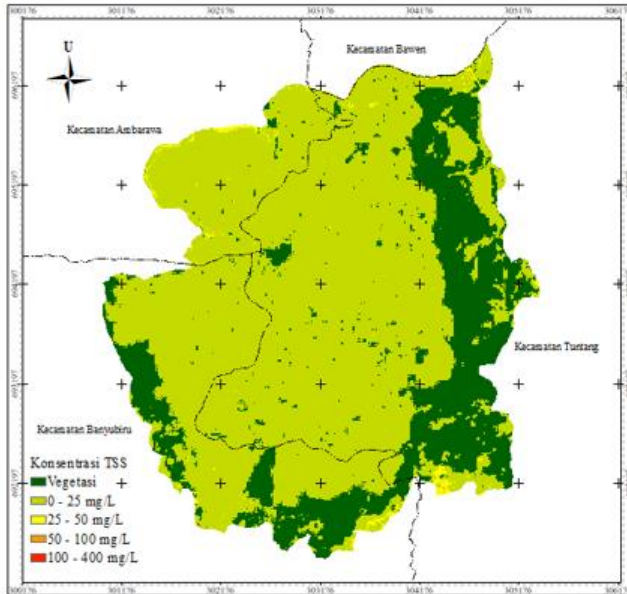
TSS Algoritma Band 4 dan 5		TSS Algoritma Ratio Band 4/6	
Vegetasi	699,701 Ha	Vegetasi	803,152 Ha
0 – 25 mg/L	817,122 Ha	0 – 25 mg/L	716,183 Ha
25 – 50 mg/L	2,005 Ha	25 – 50 mg/L	0 Ha
50 – 100 mg/L	0,420 Ha	50 – 100 mg/L	0 Ha
100 – 400 mg/L	0 Ha	100 – 400 mg/L	0 Ha

Tabel 5 Luas Konsentrasi TSS 2021

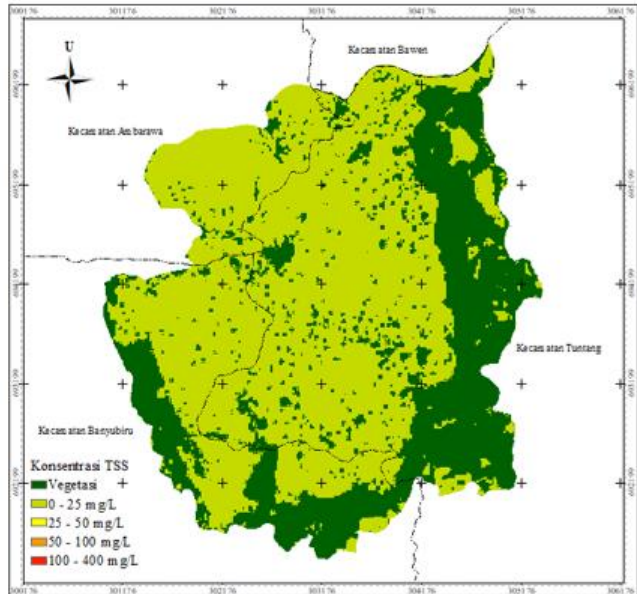
TSS Algoritma Band 4 dan 5		TSS Algoritma Ratio Band 4/6	
Vegetasi	650,078 Ha	Vegetasi	648,236 Ha
0 – 25 mg/L	866,773 Ha	0 – 25 mg/L	863,782 Ha
25 – 50 mg/L	2,105 Ha	25 – 50 mg/L	4,276 Ha
50 – 100 mg/L	0,334 Ha	50 – 100 mg/L	1,133 Ha
100 – 400 mg/L	0,08 Ha	100 – 400 mg/L	1,908 Ha

(tercemar sedang) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 0,334 Ha, dan Kelas IV (tercemar berat) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 0,08 Ha, sedangkan algoritma ratio band 4/6 masuk ke kelas I (memenuhi) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 863,782 Ha, Kelas II (tercemar ringan) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 4,276 Ha, Kelas III (tercemar sedang) dengan luas konsentrasi TSS sebesar 1,133 Ha, dan Kelas IV (tercemar berat) dengan

luas konsentrasi TSS sebesar 1,908 Ha. Luasan TSS diketahui berada pada semua kelas dengan kelas memenuhi lebih banyak, sedangkan kelas tercemar ringan, sedang, dan berat pada luasan yang kecil dan tersebar di daerah tepi danau yang lebih memiliki banyak lumpur dibandingkan daerah tengah danau, hal ini menunjukkan konsentrasi TSS masih dianggap baik dan terkendali untuk wilayah Danau Rawa Pening.

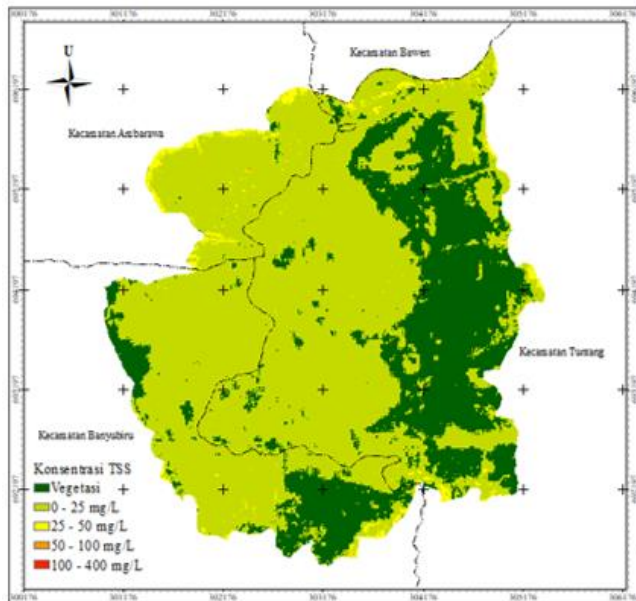


(a) Algoritma 4 dan 5

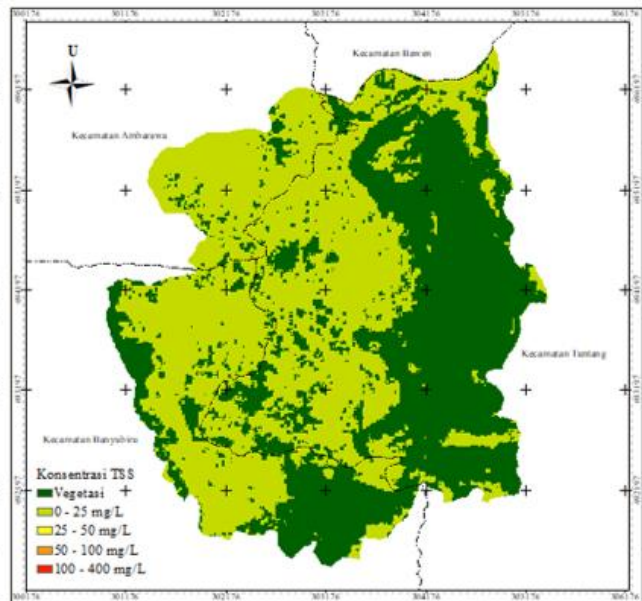


(b) Algoritma Ratio 4/6

Gambar 7 Konsentrasi TSS 2018



(a) Algoritma 4 dan 5



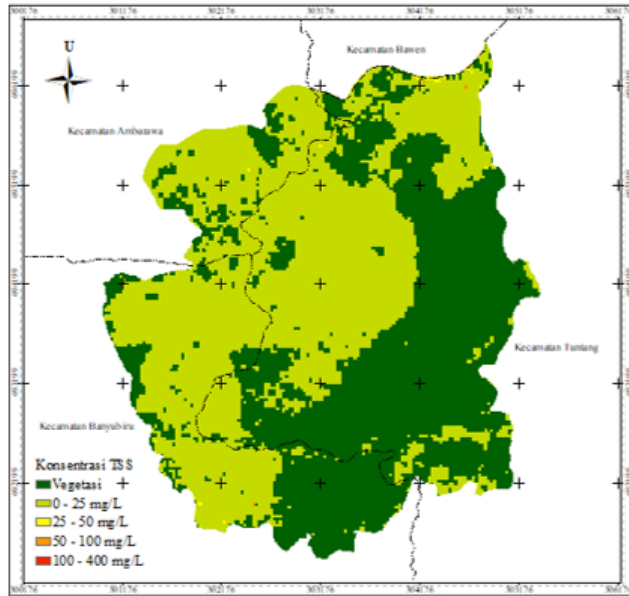
(b) Algoritma Ratio 4/6

Gambar 8 Konsentrasi TSS 2019

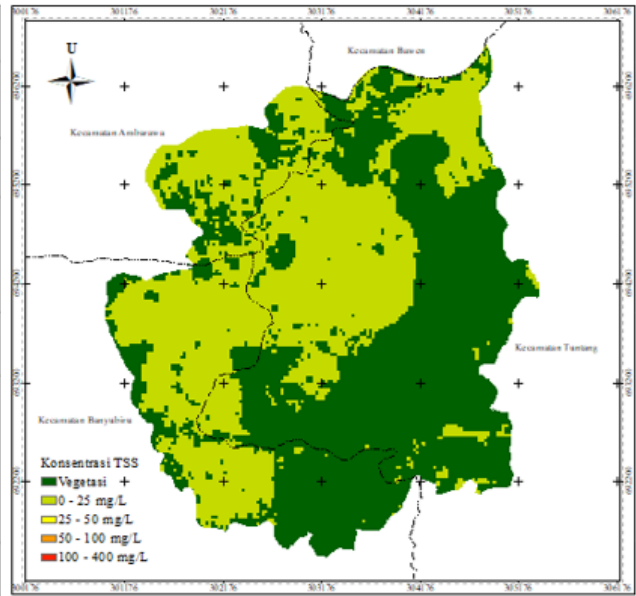
Gambar 11 merupakan diagram luasan konsentrasi TSS menggunakan algoritma band 4 dan 5 dari tahun 2018 sampai 2021. Vegetasi atau eceng gondok dengan luasan terbesar berada pada tahun 2020 dengan luasan terkecil berada pada tahun 2018. Konsentrasi TSS kelas I atau memenuhi baku mutu air dengan konsentrasi tertinggi adalah tahun 2018 dengan konsentrasi terendah adalah tahun 2020. Konsentrasi TSS kelas II, III, dan IV di setiap tahun tidak memiliki luasan yang besar jika

dibandingkan dengan kelas I. Luasan tertinggi selain kelas I berada pada tahun 2019 dengan luas sebesar 28,453 Ha dan pada kelas II atau tercemar ringan. Hal ini menunjukkan konsentrasi TSS masih bersifat terkendali atau normal dan dapat digunakan sebagai air baku atau air minum, peternakan, prasarana atau sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, mengairi pertanian, di sekitar daerah Danau Rawa Pening.

Gambar 12 merupakan diagram luasan



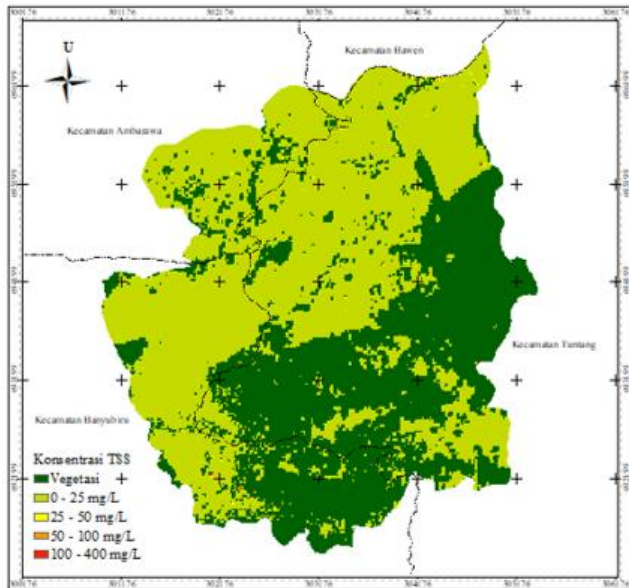
(a) Algoritma 4 dan 5



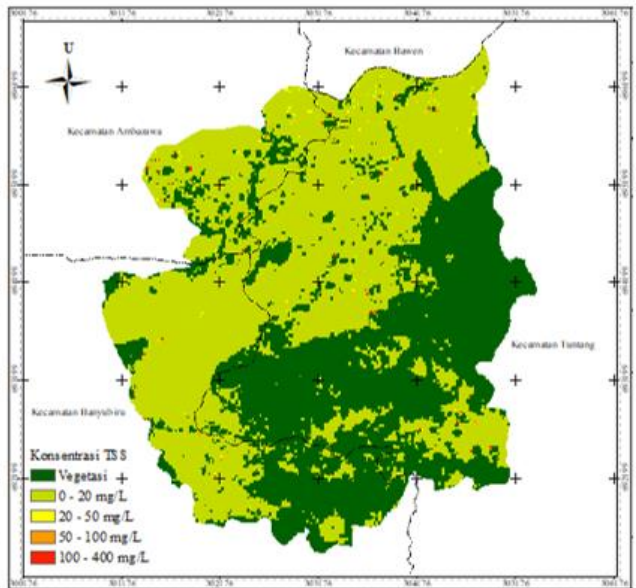
(b) Algoritma Ratio 4/6

(b)
Algoritma
Ratio 4/6

Gambar 9 Konsentrasi TSS 2020



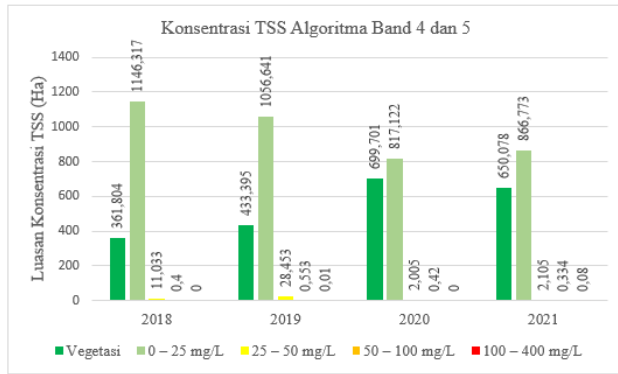
(a) Algoritma 4 dan 5



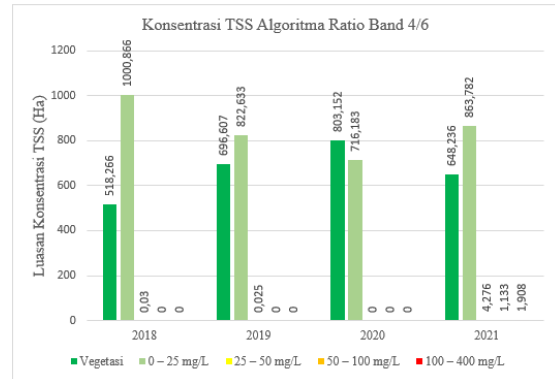
(b) Algoritma Ratio 4/6

(b)
Algoritma
Ratio 4/6

Gambar 10 Konsentrasi TSS 2021



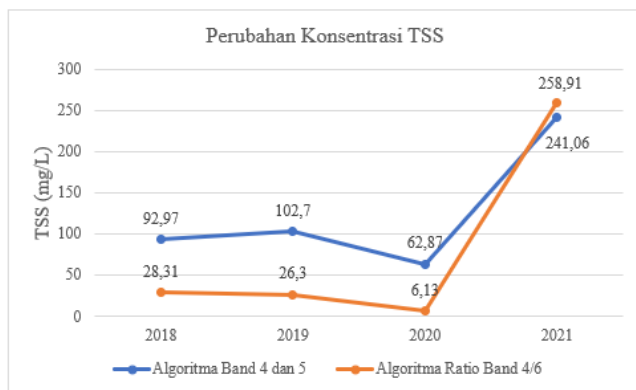
Gambar 11 Diagram Konsentrasi TSS Algoritma Band 4 dan 5



Gambar 12 Diagram Konsentrasi TSS Algoritma Ratio Band 4/6

konsentrasi TSS menggunakan algoritma ratio band 4/6 dari tahun 2018 sampai dengan 2021. Vegetasi atau eceng gondok dengan luasan terbesar berada pada tahun 2020 dengan luasan terkecil berada pada tahun 2018. Konsentrasi TSS kelas I atau memenuhi baku mutu air dengan konsentrasi tertinggi adalah tahun 2018 dengan konsentrasi terendah adalah tahun 2020. Konsentrasi TSS kelas II, III, dan IV di setiap tahun tidak memiliki luasan yang besar jika dibandingkan dengan kelas I. Luasan tertinggi selain kelas I berada pada tahun 2021 dengan luas sebesar 4,276 Ha dan kelas II atau tercemar ringan. Hal ini menunjukkan konsentrasi TSS masih bersifat terkendali atau normal dan dapat digunakan sebagai air baku atau air minum, peternakan, prasarana atau sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, mengairi pertanian, di sekitar daerah Danau Rawa Pening.

Gambar 13 merupakan konsentrasi TSS dari tahun 2018 sampai dengan 2021 dengan menggunakan algoritma band 4 dan 5 dengan algoritma ratio band 4/6 tidak menghasilkan rentangan konsentrasi TSS yang bervariasi dengan konsentrasi tertinggi pada tahun 2021 dan terendah pada tahun 2020. Namun, perubahan



Gambar 13 Diagram Perubahan Konsentrasi TSS

konsentrasi TSS dari tahun 2018 sampai dengan 2021 jika dilihat dari luasan konsentrasi melalui kelas I, II, III, dan IV perubahannya tidak signifikan sebab setiap tahunnya konsentrasi TSS berada pada rata-rata kelas I atau memenuhi baku mutu air.

4. Kesimpulan

Danau Rawa Pening merupakan danau alami dengan pertumbuhan eceng gondok yang tinggi menyebabkan buruknya kualitas perairan. Pemantauan kualitas air dapat dilihat dari konsentrasi total suspended solid (TSS). Akan tetapi, danau tersebut dipenuhi eceng gondok sehingga perlu algoritma empiris untuk mengetahui konsentrasi TSS didanau tersebut. Algoritma TSS terbentuk dari data in situ dan citra Sentinel 2A tahun 2021 dengan model persamaan regresi *polynomial* orde 3 menggunakan ratio band $\frac{4}{6}$ dengan nilai R^2 sebesar 0,620 dan persamaan regresinya

$$TSS = -12,962 + 54,76 X_{\frac{4}{6}} - 54,891 X_{\frac{4}{6}}^2 + 17,918 X_{\frac{4}{6}}^3$$

Algoritma tersebut digunakan untuk mengetahui sebaran konsentrasi TSS di Danau Rawa Pening sehingga diperoleh hasil kriteria baku mutu air dengan sebagian besar berada pada kelas I dan sebagian kecil berada kelas II, III, dan IV. Rentangan konsentrasi pada tahun 2018 hingga 2021 menggunakan algoritma ratio band 4/6 pada tahun 2018 sebesar 0 – 28,31 mg/L, pada tahun 2019 sebesar 0 – 26,30 mg/L, pada tahun 2020 sebesar 0 – 6,13 mg/L, dan pada tahun 2021 sebesar 0 – 258,91 mg/L. Konsentrasi tertinggi menggunakan perhitungan algoritma ratio band 4/6 pada tahun 2021 dan terendah pada tahun 2020. Namun, perubahan konsentrasi TSS dari tahun 2018 sampai dengan 2021 jika dilihat dari luasan konsentrasi melalui kelas I, II, III, dan IV perubahannya tidak signifikan sebab setiap tahunnya konsentrasi TSS berada pada rata-rata kelas I atau memenuhi baku mutu air.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Undip yang telah mendanai keberlangsungan jurnal ini.

Daftar Pustaka

- Cochran, W. G. (1977). *Sampling Techniques, 3rd Edition* (third edit). John Wiley & Sons.
- Gumelar, O. (2015). Teknik Resampling Citra Satelit. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan LAPAN XX 2015*, 650–663.
- Hermawan, M. D., Sasmito, B., Hani'ah, H., Parwati, E., & Budhiman, S. (2013). Analisis Distribusi Total Suspended Matter dan Klorofil-a Menggunakan Citra Terra Modis Level 1b (Studi Kasus Daerah Pesisir Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung Tahun 2012). *Jurnal Geodesi Undip*, 2(1), 1–15. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/2218>
- Liu, H., Li, Q., Shi, T., Hu, S., Wu, G., & Zhou, Q. (2017). Application of Sentinel 2 MSI Images to Retrieve Suspended Particulate Matter Concentrations in Poyang Lake. *Remote Sensing*, 9(7), 761. <https://doi.org/10.3390/rs9070761>
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Nurandani, P., Subiyanto, I. S., & 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.
- Piranti, A. S., Rahayu, D. R. U. S., & Waluyo, G. (2018). Evaluasi Status Mutu Air Danau Rawapening. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 8(2), 151–160. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.2.151-160>
- Prabandini, F. A., Rudiyaniti, S., & Taufani, W. T. (2021). Analisis Kelimpahan Dan Keanekaragaman Gastropoda Sebagai Indikator Kualitas Perairan Di Rawa Pening. *Pena Akuatika : Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 20(1), 93–101. <https://doi.org/10.31941/penaakuatika.v20i1.1267>
- Sadewo, B. E. C., Ni'am, M. F., & Poedjiastoeti, H. (2022). Prediksi Laju Sedimentasi di Sub DAS Rawapening Kabupaten Semarang. *Briliant: Jurnal Riset Dan Konseptual*, 7(1), 220. <https://doi.org/10.28926/briliant.v7i1.925>
- Song, C., Woodcock, C.E., Seto, K.C., et al. (2011) 'Classification and change detection using landsat TM data', *Remote Sens. Environ.*, 75, (2), pp. 230–244.