

## EVALUASI ALGORITMA *TOTAL SUSPENDED SOLID* (TSS) PADA CITRA SENTINEL-2 DI TELUK KENDARI

La Ode Restele<sup>1)</sup>, La Ode Muhammad Golok Jaya<sup>2)</sup>, Muliddin<sup>3)</sup>, Laode Sabaruddin<sup>4)</sup>, dan Luh Nyoman Didik Tri Utami<sup>5)</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Magister Geografi Universitas Halu Oleo

<sup>1,2,3,4,5</sup>Kampus Abdullah Silondae, Jl. Mayjend S. Parman Kel. Kemaraya, Kendari, 93121

E-mail : laode.restele@uho.ac.id<sup>1)</sup>, laodemgi@uho.ac.id<sup>2)</sup>, muliddin@gmail.com<sup>3)</sup>, sabaruddinlaode58@yahoo.com<sup>4)</sup>, Indidiktriutami@gmail.com<sup>5)</sup>

### ABSTRAK

Teluk Kendari merupakan urat nadi perekonomian penting di Kota Kendari. Sedimentasi menjadi isu utama yang dapat mempengaruhi luasan Teluk Kendari termasuk aktivitas yang berlangsung di kawasan tersebut. Sedimentasi yang tinggi dapat ditunjukkan dari tingginya nilai *Total Suspended Solid* (TSS) di suatu perairan, sehingga perlu dilakukan pemantauan TSS secara periodik di Teluk Kendari untuk mendukung upaya penanganan sedimentasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui algoritma penduga materi TSS pada citra Sentinel-2 yang paling tepat untuk diterapkan untuk pemantauan TSS di Teluk Kendari. Algoritma penduga TSS yang digunakan dalam penelitian ini meliputi algoritma Laili (2015), Parwati (2014), Guzman & Santaella (2009), Liu (2017) dan algoritma yang dihasilkan dari persamaan regresi linier. Evaluasi algoritma dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran TSS *in situ* menggunakan metode gravimetri dengan hasil ekstraksi TSS dari citra Sentinel-2. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa algoritma terbaik untuk menduga TSS pada citra Sentinel-2 di Teluk Kendari adalah algoritma regresi linier. Algoritma regresi linier diperoleh dari korelasi terbaik antara reflektansi citra Sentinel-2 dengan hasil pengukuran TSS *in situ*. Hasil analisis menunjukkan bahwa TSS di Teluk Kendari berkorelasi baik dengan *band 4* sebagai *band* merah pada citra Sentinel-2. Persamaan regresi linier yang diperoleh yaitu  $TSS = 10707(\text{band } 4) + 646,3$ . Hasil evaluasi pendugaan konsentrasi TSS dengan menggunakan algoritma regresi linier memenuhi syarat NMAE dan  $R^2$  dengan nilai masing-masing 11,09% dan 0.58.

**Kata Kunci:** *Sedimentasi, Total Suspended Solid (TSS), Teluk Kendari, Sentinel-2, Algoritma*

### 1. PENDAHULUAN

Teluk Kendari merupakan urat nadi perekonomian Kota Kendari yang menjadi lokasi untuk aktivitas perdagangan, rekreasi hingga jalur penyeberangan. Menurut (Husrin, 2019) tingginya aktivitas di Teluk Kendari tidak sejalan dengan kondisi Teluk Kendari yang kritis akibat pendangkalan. Pendangkalan di Teluk Kendari diakibatkan oleh sedimentasi yang terjadi secara terus menerus.

Di Teluk Kendari bermuara 13 sungai salah satunya DAS Wanggu. DAS Wanggu memiliki luas 339,73 km<sup>2</sup> dan termasuk salah satu DAS terbesar di Provinsi Sulawesi Tenggara (Putra, 2017). Sedimentasi yang terbawa dari Muara Sungai Wanggu ke Teluk Kendari cukup tinggi. Besar laju dan muatan sedimen dasar sungai Wanggu hilir 118.514 ton/hari dengan muatan sedimen 780 mg/l (Fathur, 2020). Kebijakan revitalisasi Teluk Kendari melalui reklamasi merupakan fokus utama Pemerintah Provinsi Sulawesi Tenggara untuk menangani masalah sedimentasi.

Sedimentasi yang tinggi dapat ditunjukkan dari tingginya nilai *Total Suspended Solid* (TSS) di perairannya. TSS merupakan material padatan, termasuk di dalamnya bahan organik dan anorganik yang tersuspensi di daerah perairan (Jiyah, 2017). Konsentrasi TSS berperan dalam menentukan kualitas lingkungan suatu perairan. Tingginya konsentrasi TSS berkorelasi

positif dengan tingginya kekeruhan perairan (Kamajaya, 2021). Nilai kekeruhan dan TSS tinggi dapat meningkatkan potensi pendangkalan perairan akibat mengendapnya material sedimen di perairan. Informasi terkait sebaran TSS dapat digunakan untuk memprediksi pendangkalan akibat sedimentasi yang terjadi (Anwar, 2020).

Untuk memetakan sebaran TSS, dapat dilakukan dengan mengombinasikan pendekatan pengambilan sampel dan penggunaan teknik penginderaan jauh. Pemetaan material TSS di perairan dapat dilakukan karena material dalam air memiliki nilai reflektansi yang mampu direkam oleh citra satelit (Nurgiantoro, 2019). Data penginderaan jauh tidak hanya dipakai untuk data atau inventarisasi saja tetapi sekaligus untuk fungsi pemantauan. Perekaman data penginderaan jauh secara multitemporal membawa keuntungan untuk pemantauan perubahan di permukaan bumi (Melati, 2019).

Citra satelit Sentinel-2 merupakan salah satu media yang menjanjikan untuk memantau TSS. Citra Sentinel-2 menjangkau tutupan area yang luas, memiliki variasi kanal yang banyak dengan resolusi spasial 10 m untuk kanal 2 hingga kanal 4, serta waktu perekaman ulang yang tinggi (Filsa Bioresita, 2018). Sentinel-2 MSI memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi dibandingkan dengan MODIS, memiliki konfigurasi kanal yang lebih banyak daripada GF 1 WFV dan memiliki waktu

kunjungan yang lebih pendek daripada Landsat 8 OLI, sehingga dapat menjadi sumber yang baik untuk *memonitoring* TSS pada perairan pesisir (Liu, 2017).

Pemantauan TSS sangat penting dilakukan di area perairan yang padat aktivitas seperti Teluk Kendari. Pemantauan secara *in situ* sulit dan mahal bila dilakukan secara periodik, sehingga pemantauan TSS dengan penginderaan jauh yang lebih cepat dan murah dapat menjadi solusi. Pendugaan materi TSS dengan menggunakan algoritma tertentu telah banyak dilakukan, namun ekstraksi informasi TSS menggunakan data inderaja bersifat sangat lokal. Algoritma penduga TSS di Teluk Kendari pernah dibangun menggunakan citra Landsat 8 (Nurgiantoro, 2019), namun resolusi spasial Landsat 8 lebih rendah dibandingkan citra Sentinel-2. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi beberapa algoritma paling tepat diterapkan untuk menduga konsentrasi TSS menggunakan citra Sentinel-2 di Teluk Kendari.

## 2. RUANG LINGKUP

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah membandingkan beberapa algoritma penduga konsentrasi TSS pada citra Sentinel-2 di Teluk Kendari. Algoritma yang dibandingkan dalam penelitian ini merupakan algoritma penduga TSS yang umum digunakan di perairan Indonesia yaitu algoritma Laili (2015), Parwati (2014), Guzman & Santaella (2009), (Liu, 2017) dan algoritma yang dihasilkan dari persamaan regresi linier.

## 3. BAHAN DAN METODE

Bagian ini menjelaskan kajian teoritis dan tahapan penelitian, diantaranya:

### 3.1 Sedimen

Menurut (Lihawa, 2017), sedimen adalah hasil proses erosi dan longsor, baik yang berupa material padat maupun material terlarut dalam air. Material ini selanjutnya diangkut oleh aliran sungai dan kemudian mengendap di sungai, danau dan laut. Sumber alamiah sedimen perairan meliputi presipitasi partikular yang berasal dari udara, debu kosmik, erosi tanah serta pelapukan material organik dan anorganik. Kegiatan pengelolaan tanah pertanian, buangan industri dan domestik, pengerjaan infrastruktur dan lain-lain juga dapat menyumbangkan endapan sedimen di dasar perairan (Rumhayati, 2019).

Sedimentasi merupakan proses mengendapnya material organik di dasar perairan melalui media air atau angin. Sedimentasi pada perairan terjadi karena erosi pada tepi sungai atau danau yang menyebabkan tanah dan material organik lainnya masuk ke aliran sungai sehingga terjadi pengendapan di dasar sungai (Salampessy, 2020). Sedimentasi di perairan terjadi pada daerah pesisir yang mendapat suplai muatan sedimen tinggi, dangkal dan terlindung dari gelombang. Secara fisik, gosong pasir atau endapan lumpur yang meluas di

perairan dapat menjadi tanda terjadinya sedimentasi. Dalam jangka panjang, sedimentasi terlihat dari perubahan kedalaman di lautan atau bertambahnya daratan ke arah lautan atau dengan bergesernya garis pantai ke arah laut (Syifa Saputra, 2020).

### 3.2 Metode Gravimetri

*Total Suspended Solid* (TSS) adalah material padatan, baik bahan organik dan anorganik yang tersuspensi di daerah perairan (Jiyah, 2017). Nilai konsentrasi TSS suatu sampel air dapat diketahui melalui analisis dengan metode gravimetri. Metode gravimetri merupakan salah satu metode analisis kuantitatif komponen dalam keadaan murni setelah melalui proses pemisahan. Metode ini menekankan prinsip pemurnian dan penimbangan (Muliyadi, 2020).

Pedoman uji coba TSS sesuai SNI 06-6989.3-2004 yaitu menguji homogeni dengan cara disortir menggunakan kertas saring yang telah ditimbang. Setelah itu, endapan yang berada di penyaringan dikeringkan hingga memenuhi berat konstan pada suhu 103 - 105°C. Sampel TSS dalam penelitian ini diambil di perairan Teluk Kendari secara *composite sampling*. Pengambilan sampel dilakukan pada 12 titik yang dianggap dapat mewakili wilayah Teluk Kendari, yaitu:

1. Area Jembatan Bahteramas
2. Bagian depan Masjid Al Alam
3. Area Asrama Dayung
4. Area Pelabuhan Pelelangan Ikan
5. Bagian bawah Masjid Al Alam
6. Bagian atas Masjid Al Alam
7. Bagian tengah Teluk Kendari
8. Area Pelabuhan Perikanan Samudera
9. Area tambak
10. Area mangrove
11. Area Anjungan Teluk Kendari
12. Area *Shortcut* Kendari - Toronipa

### 3.3 Ekstraksi Konsentrasi TSS dari Citra Sentinel-2

Data spektral dari citra satelit Sentinel-2 perekaman tanggal 21 April 2022 dari ESA *Copernicus* digunakan sebagai bahan ekstraksi konsentrasi TSS. Pengolahan data ORS (*Optical Remote Sensing*) dilakukan pada aplikasi SNAP 6.0 sedangkan layout peta sebaran TSS dilakukan pada aplikasi ArcGIS 10.3.

Data citra satelit Sentinel-2 level 2A yang digunakan pada penelitian ini telah terkoreksi secara geometrik dan radiometrik (Bayu, 2019). Pada pengolahan data, dilakukan beberapa tahapan yaitu:

#### 1. *Resampling*

*Resampling* dilakukan untuk membuat resolusi spasial kanal yang dipilih menjadi seragam, sehingga dapat dilakukan *mosaic* citra (Artaningh, 2020). *Resampling* dilakukan pada program SNAP dan menghasilkan resolusi spasial 10 m untuk setiap kanal.

#### 2. Pemisahan Daratan dan Lautan

Pemisahan darat dan laut pada citra menggunakan algoritma NDWI (*Normalized Difference Water Index*).

Algoritma ini memanfaatkan pantulan biru dan pantulan inframerah dekat, sehingga dapat menunjukkan tingkat kebasahan suatu area (McFeeters, 1996 dalam Putra, 2017). Algoritma NDWI ditampilkan pada Rumus (1).

$$NDWI = \frac{Rrs(\lambda)_3 - Rrs(\lambda)_8}{Rrs(\lambda)_3 + Rrs(\lambda)_8} \quad (1)$$

### 3. Pendugaan TSS dengan Algoritma

Algoritma yang digunakan untuk menduga TSS pada penelitian ini ditampilkan pada Rumus (2 -6).

- Algoritma Laili (2015), dengan studi kasus di Perairan Poteran, Jawa Timur.

$$TSS = 31,42 \frac{\log(Band\ 3)}{\log(Band\ 4)} - 12,719 \quad (2)$$

- Algoritma Budhiman (2004), dengan studi kasus di perairan Delta Mahakam, Kalimantan Timur.

$$TSS = 8,1429 \exp(23,70(band\ 4)) \quad (3)$$

- Algoritma Parwati (2014), dengan studi kasus di Perairan Berau, Kalimantan Timur.

$$TSS = 3,3238 \exp(34,099(band\ 4)) \quad (4)$$

- Algoritma Guzman & Santaella (2009), dengan studi kasus di perairan Mayaguez Bay, Puerto Rico.

$$TSS = 602,63 (0,0007e(47,755(band\ 4))) + 3,1481 \quad (5)$$

- Algoritma Liu dkk (2017), dengan studi kasus di Danau Poyang, Cina.

$$TSS = 2,950 (band\ 7)^{1,357} \quad (6)$$

Dengan *band* merupakan nomor *band* pada citra Sentinel-2.

### 3.4 Uji Akurasi

Uji akurasi algoritma dalam mengekstraksi konsentrasi TSS hasil pengolahan citra Sentinel 2 dilakukan dengan berdasarkan pada *Normalized Mean Absolute Error* (NMAE) dan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ). Rumus untuk masing-masing uji ditampilkan pada Rumus (7 - 8).

$$NMAE(\%) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{x_{xi} - x_i}{x_y} \right| \times 100 \quad (7)$$

$$R^2 = \left( \frac{N \sum_{xy} - (\sum_x)(\sum_y)}{\sqrt{N(\sum_x^2) - (\sum_x)^2} \sqrt{N(\sum_y^2) - (\sum_y)^2}} \right)^2 \quad (8)$$

Dengan  $x$  nilai hasil pengolahan dan  $y$  merupakan nilai hasil pengukuran yang dianggap benar serta  $N$  adalah jumlah data.

## 4. PEMBAHASAN

Pembahasan dalam penelitian ini menitikberatkan pada evaluasi kemampuan beberapa algoritma dalam mengekstraksi konsentrasi TSS di Teluk Kendari.

### 4.1 Evaluasi Algoritma Penduga TSS di Teluk Kendari

Hasil penerapan algoritma penduga TSS terhadap data reflektansi citra Sentinel 2 di Teluk Kendari ditunjukkan pada Tabel 1. Dapat diketahui bahwa seluruh algoritma yang dievaluasi memberikan

konsentrasi TSS dengan rentangan jauh lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi TSS *In Situ*.

**Tabel 1. Konsentrasi TSS hasil pendugaan algoritma dan pengukuran *in situ***

Lokasi	Konsentrasi TSS (mg/L)					
	a	b	c	d	e	f
1	15,8	21	13	6	104	1206
2	16	40,9	33,9	14	169	1506
3	15,6	24,5	16,3	7	170	1090
4	16,4	33	20	10,3	149	1046
5	17	53	49,5	21,7	114	1228
6	21	112	144	8,6	143	1820
7	15	23	15	7	150	1434
8	16	27	19	8	151	1098
9	16	39	32	13	152	1350
10	20	54	47	20	292	1912
11	16	31	23	9,5	128	1208
12	16	21	13	5	107	998

Keterangan:

- Algoritma Laili (2015)
- Algoritma Budhiman (2004)
- Algoritma Parwati (2014)
- Algoritma Guzman & Santaella (2009)
- Algoritma Liu dkk (2017)
- Pengukuran *In situ*

Penerapan algoritma penduga TSS di Teluk Kendari menunjukkan pola nilai tertinggi pada titik yang sama yaitu titik 6 dan titik 10. Titik 6 merupakan area bagian utara Masjid Al Alam dan titik 10 merupakan area ekosistem mangrove. Namun, konsentrasi TSS hasil pendugaan algoritma Laili, Budhiman, Parwati, Guzman & Santaella serta Liu menunjukkan nilai yang jauh di bawah konsentrasi hasil pengukuran *in situ*.

Hasil evaluasi konsentrasi TSS antara hasil penerapan algoritma dengan nilai TSS *in situ* diperoleh nilai NMAE dan  $R^2$  dari masing-masing algoritma yang disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Nilai NMAE dan  $R^2$  antara TSS *in situ* dan pendugaan algoritma**

Algoritma	Evaluasi	
	NMAE	$R^2$
Laili (2015)	98,70	0,60
Budhiman (2004)	97,10	0,51
Parwati (2014)	97,54	0,46
Guzman&Santaella (2009)	99,18	0,19
Liu Dkk (2017)	88,40	0,42

NMAE digunakan untuk melihat tingkat kualitas atau kelayakan data. Data yang diuji dinyatakan layak untuk digunakan bila memiliki nilai NMAE kurang dari 30% (Jaelani, 2019). Berdasarkan pada Tabel 2 tidak ada algoritma yang memenuhi persyaratan NMAE.

Nilai  $R^2$  dapat digunakan untuk mengukur seberapa jauh model mampu memberikan informasi terkait variasi variabel independen. Nilai koefisien determinasi adalah antara nol atau satu. Menurut (Aditia, 2020), nilai  $R^2$

yang kecil berarti kemampuan variabel-variabel independen dalam menjelaskan variasi variabel dependen amat terbatas. Dan sebaliknya jika nilai yang mendekati 1 berarti variabel-variabel independen memberikan hampir semua informasi yang dibutuhkan untuk memprediksi variabel-variabel tersebut. Hasil Evaluasi algoritma penduga TSS menunjukkan bahwa algoritma Laili memiliki korelasi yang kuat dengan konsentrasi TSS di Teluk Kendari.

Korelasi tertinggi dihasilkan oleh algoritma Laili karena menunjukkan pola yang sama dengan pengukuran TSS *in situ*. Meskipun algoritma Laili menghasilkan nilai  $R^2$  tertinggi, algoritma ini kurang tepat untuk diterapkan di Teluk Kendari karena menghasilkan nilai konsentrasi pendugaan TSS yang sangat rendah dibandingkan hasil pengukuran *in situ* dan nilai NMAE yang melebihi syarat.

Untuk mendapatkan algoritma pendugaan TSS yang sesuai dengan perairan Teluk Kendari maka dilakukan pembuatan algoritma berdasarkan pada persamaan regresi antara nilai TSS *in situ* dan nilai reflektansi *Bottom of Atmosfer* (BoA) citra sentinel 2. Nilai  $Rrs(\lambda)$  atau reflektansi citra dapat dijadikan sebagai parameter dalam memodelkan algoritma penduga materi TSS di Teluk Kendari. Pemodelan algoritma dalam penelitian ini hanya menggunakan kanal tunggal untuk mempertahankan keaslian  $Rrs(\lambda)$  dari satelit Sentinel-2. Nilai reflektansi citra sentinel 2 pada 12 titik pengamatan di perairan Teluk Kendari ditampilkan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Nilai  $Rrs(\lambda)$  Citra Sentinel 2**

Titik	Rrs						
	$(\lambda_1)$	$(\lambda_2)$	$(\lambda_3)$	$(\lambda_4)$	$(\lambda_{15})$	$(\lambda_6)$	$(\lambda_7)$
1	0,051	0,056	0,069	0,046	0,038	0,026	0,028
2	0,075	0,086	0,107	0,068	0,051	0,040	0,040
3	0,061	0,061	0,078	0,046	0,046	0,039	0,040
4	0,064	0,081	0,096	0,065	0,063	0,053	0,056
5	0,080	0,091	0,116	0,081	0,073	0,053	0,053
6	0,075	0,088	0,137	0,111	0,098	0,048	0,050
7	0,062	0,063	0,080	0,046	0,042	0,036	0,035
8	0,066	0,070	0,087	0,051	0,047	0,034	0,035
9	0,075	0,082	0,102	0,063	0,059	0,044	0,046
10	0,063	0,072	0,089	0,086	0,089	0,069	0,078
11	0,062	0,070	0,100	0,056	0,050	0,030	0,034
12	0,046	0,053	0,071	0,040	0,047	0,025	0,029

Hasil pembangunan algoritma yang menunjukkan nilai  $R^2$  tertinggi akan digunakan sebagai algoritma untuk menduga konsentrasi TSS di Teluk Kendari. Nilai  $R^2$  tertinggi dapat digunakan sebagai acuan dalam pemilihan algoritma TSS. Nilai  $R^2$  antara  $Rrs(\lambda)$  dengan TSS *in situ* Perairan Teluk Kendari ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4. Nilai  $R^2$  antara  $Rrs(\lambda)$  dengan TSS *in situ* Perairan Teluk Kendari**

$Rrs(\lambda)$ Citra Sentinel 2	$R^2$
$Rrs(\lambda_1)$	0,166
$Rrs(\lambda_2)$	0,167
$Rrs(\lambda_3)$	0,248
$Rrs(\lambda_4)$	<b>0,574</b>
$Rrs(\lambda_5)$	0,522
$Rrs(\lambda_6)$	0,362
$Rrs(\lambda_7)$	0,374

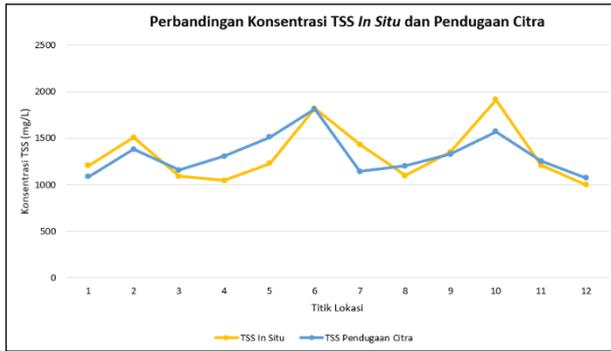
Hasil analisis  $R^2$  pada Tabel 4 menunjukkan bahwa material TSS di perairan Teluk Kendari berkorelasi paling signifikan dengan  $Rrs(\lambda_4)$  sebagai kanal merah. Berikut ini adalah algoritma penduga TSS Perairan Teluk Kendari yang dibangun pada fungsi regresi linier.

$$TSS = 10707(\text{band } 4) + 646,3 \quad (9)$$

Berdasarkan pada algoritma baru yang telah dibangun, dilakukan pengolahan citra Sentinel 2 sehingga diperoleh konsentrasi TSS di Teluk Kendari seperti yang ditampilkan pada Tabel 5 dan grafik perbandingan antara data TSS *in situ* dan hasil pendugaan algoritma yang ditunjukkan pada Gambar 1.

**Tabel 5. Konsentrasi Pendugaan TSS Teluk Kendari Dengan Algoritma Baru**

ID Sampel	Konsentrasi TSS Pendugaan Citra (mg/L)	Konsentrasi TSS <i>in situ</i> (mg/L)
1	1085	1206
2	1382	1506
3	1156	1090
4	1306	1046
5	1511	1228
6	1811	1820
7	1144	1434
8	1201	1098
9	1329	1350
10	1570	1912
11	1254	1208
12	1073	998



**Gambar 1. Grafik Perbandingan Konsentrasi TSS *In Situ* dan Hasil Pendugaan Algoritma Pada Citra Sentinel 2**

Berdasarkan pada Gambar 1, konsentrasi TSS *in situ* dan hasil pendugaan citra Sentinel-2 memiliki pola yang sama pada semua titik. Konsentrasi TSS *in situ* dan pendugaan citra menunjukkan bahwa konsentrasi TSS tertinggi berada pada titik 10 dan titik 6 yaitu area mangrove dan area bagian utara Masjid Al Alam.

Untuk mengetahui akurasi penerapan algoritma yang baru dalam menduga konsentrasi TSS di Teluk Kendari maka diperlukan uji akurasi. Proses uji akurasi terhadap algoritma TSS adalah dengan melihat kedekatan nilai antara konsentrasi TSS estimasi dengan TSS *in situ*. Menurut Sartika dkk (2019), syarat algoritma yang baik apabila mampu menghasilkan nilai NMAE < 30% dan RMSE yang rendah.

Berdasarkan pada uji akurasi algoritma penduga TSS menghasilkan bahwa algoritma TSS yang dibangun telah memenuhi persyaratan NMAE (<30%) yaitu sebesar 11,09% dan nilai RMSE 52,8 mg/L. Informasi ini menunjukkan bahwa algoritma TSS yang dibangun dari persamaan regresi menggunakan kanal merah dapat digunakan untuk melakukan pendugaan konsentrasi TSS di Teluk Kendari.

#### 4.2 Sebaran TSS di Teluk Kendari

Penerapan algoritma yang dihasilkan dari persamaan regresi linier digunakan untuk membuat peta sebaran *Total Suspended Solid* (TSS) di Teluk Kendari. Peta sebaran TSS di Teluk Kendari ditampilkan pada Gambar 2.

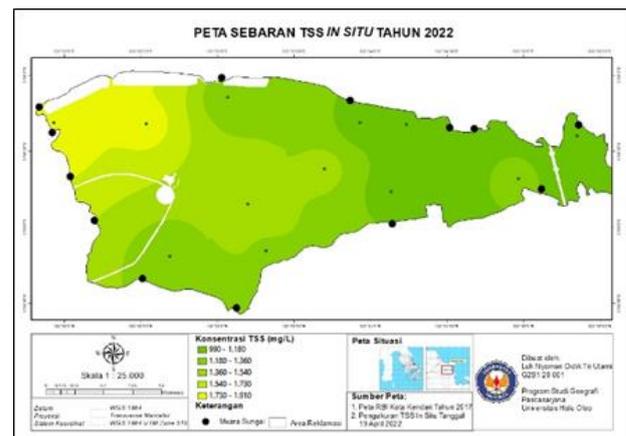


**Gambar 2. Peta Sebaran TSS di Teluk Kendari**

Berdasarkan pada Gambar 2 dapat diketahui bahwa konsentrasi TSS Teluk Kendari yang diperoleh dari penerapan algoritma regresi linier pada tanggal 21 April 2022 berkisar antara 750 – 2.500 mg/L. Konsentrasi TSS tertinggi berada pada area sekitar muara Sungai Wanggu bagian utara serta menunjukkan penurunan konsentrasi menuju ke luar Teluk.

TSS paling tinggi terkonsentrasi di bagian muara Sungai Wanggu bagian utara dan pada bagian tengah teluk. Kondisi perairan Teluk Kendari pada saat perekaman citra Sentinel 2 tanggal 21 April 2022 memasuki fase surut. Kondisi surut dapat menyebabkan aliran air di Teluk Kendari hanya bergerak dari muara sungai menuju ke laut lepas, sehingga aliran sungai yang mengandung TSS dapat menjangkau wilayah Teluk Kendari lebih luas.

Pola sebaran dan konsentrasi TSS yang dihasilkan dari pendugaan citra satelit menunjukkan pola yang hampir sama dengan hasil pengukuran TSS *in situ* yang ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3. Peta Sebaran TSS *in situ* di Teluk Kendari**

Konsentrasi TSS *in situ* tertinggi sebesar 1.912 mg/L terdapat di area mangrove dan terendah sebesar 998 mg/L terdapat di area pembangunan *shortcut* Kendari-Toronipa. Sebaran TSS *in situ* menunjukkan bahwa konsentrasi tertinggi terdapat pada area muara Sungai

Wanggu bagian utara dan berangsur berkurang ketika menuju mulut Teluk Kendari. Hal ini diakibatkan oleh area mangrove dan masjid Al Alam berada dekat dengan muara Sungai Wanggu yang merupakan pembawa sedimen ke Teluk Kendari.

Konsentrasi TSS *in situ* terendah dijumpai pada area dekat mulut Teluk Kendari karena sudah menjauhi area muara sungai. Pengecualian ditemui berupa konsentrasi TSS yang meningkat pada area dekat Jembatan Bahteramas. Hal ini diakibatkan karena pada lokasi tersebut, yaitu pesisir Kelurahan Lapulu, sedang berlangsung pembuatan *water front city* sehingga terdapat sumbangan sedimen dari material tanah yang digunakan.

#### 4.3 Manfaat Pemantauan TSS di Teluk Kendari

Teluk Kendari memiliki peran yang penting dan dimanfaatkan untuk area pelabuhan, tambak, ekosistem mangrove hingga wisata bahari. Konsentrasi TSS di Teluk Kendari telah jauh melampaui Baku Mutu Air Laut yang ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup. Baku mutu air laut untuk parameter TSS ditampilkan pada Tabel 6.

**Tabel 6. Baku Mutu Air Laut Parameter TSS**

Parameter	Peruntukan	Baku Mutu (mg/L)
Padatan tersuspensi total/ TSS	Pelabuhan	80
	Wisata Bahari	20
	Biota Laut	
	- Terumbu Karang	- 20
	- Mangrove	- 80
	- Lamun	- 20

Sumber: Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut

Di Teluk Kendari terdapat beberapa pelabuhan diantaranya adalah Pelabuhan Bungkutoko, Pelabuhan Nusantara Kendari, Pelabuhan Ferry Kendari Wawonii, Pelabuhan Perikanan Samudera, Pelabuhan Pelelangan Ikan, Pelabuhan Pertamina dan Pelabuhan Cargo. Menurut (Nurgiantoro, 2019), konsentrasi TSS dapat digunakan sebagai indikator pendangkalan area pelabuhan karena sangat berhubungan dengan sedimentasi. Pendangkalan yang berpotensi terjadi akibat sedimentasi secara terus-menerus dalam jangka panjang dapat menyebabkan terganggunya aktivitas pelayaran yang terjadi di Teluk Kendari.

Teluk Kendari merupakan salah satu habitat bagi ekosistem mangrove di Sulawesi Tenggara. Luasan mangrove di Teluk Kendari mengalami penurunan sejak tahun 1990 hingga tahun 2017 dengan perubahan 220,03 ha pada tahun 1990 menjadi 103,32 ha pada tahun 2017 (Ido, 2019). Akselerasi sedimentasi yang tinggi dapat menyebabkan kematian masal hutan bakau. Peristiwa ini terjadi akibat sedimentasi yang dapat mengurangi pertukaran udara pada sistem perakaran dimana lentisel di *pneumatophores*, akar, dan semai hutan bakau tertutup

sedimen. Erosi dan sedimentasi merupakan suatu siklus alami yang menyebabkan ada dan hilangnya hutan bakau (Akbar, 2017).

Konsentrasi TSS di Teluk Kendari yang jauh melampaui standar baku mutu yang telah ditetapkan juga dapat menjadi ancaman bagi aktivitas tambak di sekitar Teluk Kendari. Menurut (Tanto, 2018), TSS identik dengan kekeruhan perairan, dimana air yang keruh dapat mempengaruhi kandungan oksigen dalam air, sehingga mengganggu proses respirasi biota laut. (Limi, 2017) menyatakan bahwa pembangunan di sekitar wilayah pesisir Teluk Kendari mengakibatkan perubahan lingkungan terutama perubahan kualitas air akibat sedimentasi. Sedimentasi yang terjadi di Teluk Kendari menyebabkan kawasan tambak tidak produktif dan mendorong petani tambak untuk menjual lahan pertambakan sehingga mengakibatkan penurunan luas tambak serta perubahan tingkat kesejahteraan petani tambak di pesisir Teluk Kendari.

Teluk Kendari selain dimanfaatkan sebagai jalur penyeberangan, habitat mangrove dan pertambakan juga memiliki potensi wisata bahari (Haeriyah, 2019). Wisata yang dapat dinikmati di area Teluk Kendari meliputi *tracking* mangrove, wahana permainan di Anjungan Teluk Kendari, sepeda air dan wisata kuliner. TSS yang tinggi di Teluk Kendari tidak secara langsung mengganggu aktivitas wisata, namun dapat mengurangi nilai estetika Teluk Kendari sebagai daerah wisata bahari.

Konsentrasi TSS di Teluk Kendari sangat tinggi untuk pemanfaatan pelabuhan, mangrove dan wisata bahari. Kondisi ini dikhawatirkan dapat mengganggu peran vital Teluk Kendari yang merupakan asset Kota Kendari. Pemantauan TSS di Teluk Kendari secara multitemporal dengan menggunakan penginderaan jauh penting dilakukan sebagai basis data pengambilan kebijakan oleh pemerintah. Upaya-upaya untuk meminimalisir kandungan TSS dalam perairan Teluk Kendari perlu dikaji dan diterapkan agar seluruh aktivitas yang bergantung pada Teluk Kendari dapat berjalan dengan baik.

#### 5. KESIMPULAN

Evaluasi algoritma penduga TSS menunjukkan bahwa algoritma Laili (2015), Parwati (2014), Guzman & Santaella (2009) dan Liu (2017) tidak memenuhi persyaratan dalam mengekstraksi konsentrasi TSS di perairan Teluk Kendari karena memiliki nilai NMAE di atas 30%. Algoritma penduga TSS yang paling tepat diterapkan di Teluk Kendari menggunakan citra Sentinel-2 adalah algoritma yang dihasilkan dari regresi linier dengan persamaan  $TSS = 9599,2 (Rrs(\lambda_4)) + 57,977$ . Algoritma regresi linier cukup akurat dalam menduga konsentrasi TSS di Teluk Kendari yang ditunjukkan dari nilai NMAE dan  $R^2$  masing-masing 11,09% dan 0.58.

## 6. SARAN

Untuk penelitian terkait pembuatan dan pengujian algoritma TSS di perairan lainnya, disarankan untuk menguji lebih banyak persamaan regresi seperti regresi linier, *polinomial*, *power*, logaritmik dan eksponensial agar diperoleh konsentrasi TSS yang paling mendekati kondisi *in situ*. Selain itu, disarankan juga untuk menggunakan data perekaman citra satelit pada waktu yang sama dengan pengambilan data *in situ*, sehingga diperoleh data TSS pada kondisi cuaca dan hidro-oseanografi yang sama.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- Aditia, A. R. R. M. W. M. K. D. (2020). Pengaruh Kualitas Produk terhadap Kepuasan Konsumen Sepeda Motor NMAX pada PT Yamaha A. Rivai Palembang. *Jurnal Nasional Manajemen Pemasaran & SDM*, *I*(1), 23–37.
- Akbar, A. A. J. S. T. D. S. R. (2017). Adaptasi Masyarakat Terhadap Bencana Kerusakan Pantai Di Negara Tropis. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, *XV*(1), 1–10.
- Anwar, S. A. A. E. (2020). Sebaran Total Suspended Solid (TSS) Di Sekitar Dermaga Tambang di Perairan Tondonggeu Kecamatan Abeli Kota Kendari. *Sapa Laut*, *V*(2), 173–181.
- Bayu, A. P. B. R. A. S. (2019). Aplikasi Citra Sentinel-2 untuk Pemetaan Sebaran Material Padatan Tersuspensi Di Muara Sungai Wulan Demak. *Journal of Marine Research*, *VIII*(4th), 379–386.
- Fathur, R. R. R. P. R. S. R. J. (2020). Besaran Laju dan Muatan Sedimen Dasar Sungai Wanggu. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, *VIII*(2), 99–106.
- Filsa Bioresita, C. B. P. H. S. F. T. H. A. P. (2018). The Use of Sentinel-2 Imagery For Total Suspended Solids (TSS) Estimation in Porong River, Sidoarjo. *Jurnal Geodesi Dan Geomatika*, *I*(1), 1–6.
- Haeriyah, K. (2019). Pengelolaan Pariwisata Bahari di Kota Kendari. *Sultra Journal of Political Science*, *I*(1), 13–21.
- Husrin, S. K. O. A. P. H. M. G. A. R. (2019). *Menyelamatkan Teluk Kendari* (1 ed). Amafrad Press.
- Ido, I. J. K. Y. (2019). Analisis Pemanfaatan Ruang Pesisir Terhadap Kondisi Luas Dan Kerapatan Vegetasi Hutan Mangrove Di Teluk Kendari. *Physical and Social Geography Research Journal*, *I*(1), 35–44.
- Jaelani, M. . E. Y. T. (2019). Uji Akurasi Produk Reflektan Landsat-8 Beserta Pengaruhnya Terhadap Penentuan Konsentrasi Suspended Solid (Studi Kasus: Danau Kasumigaura, Jepang). *Geoid*, *XV*(1), 36–43.
- Jiyah, B. S. A. S. (2017). Studi Distribusi Total Suspended Solid (TSS) Di Perairan Pantai Kabupaten Demak Menggunakan Citra Landsat. *Jurnal Geodesi Undip*, *VI*(1), 41–47.
- Kamajaya, G. Y. I. D. N. N. P. I. N. G. P. (2021). Analisis Sebaran Total Suspended Solid (TSS) Berdasarkan Citra Landsat 8 Menggunakan Tiga Algoritma Berbeda Di Perairan Teluk Benoa, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, *VII*(1), 18–24.
- Lihawa, F. (2017). *Daerah Aliran Sungai Alo Erosi, Sedimentasi dan Longsor* (1st ed). Deepublish.
- Limi, M. A. L. S. T. L. O. L. Y. (2017). Dampak Perkembangan Kawasan Pesisir Terhadap Perubahan Fungsi Lahan dan Kesejahteraan Petani Tambak di Pesisir Teluk Kendari. *Jurnal Agripita*, *I*(2), 95–101.
- Liu, H. Q. L. T. S. S. H. G. W. Q. Z. (2017). Application of Sentinel 2 MSI Images to Retrieve Suspended Particulate Matter Concentrations in Poyang Lake. *Remote Sensing*, *IX*, 1–19.
- Melati, D. N. (2019). Pemodelan Citra Penginderaan Jauh Multi Waktu Untuk Pemantauan Deforestasi. *Jurnal Alami*, *III*(1), 43–51.
- Muliyadi, I. S. S. (2020). Perbandingan Efektifitas Metode Elektrokoagulasi dan Destilasi Terhadap Penurunan Beban Pencemar Fisik Pada Air Limbah Domestik. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, *XIX*(1), 45–20.
- Nurgiantoro, W. M. A. (2019). Analisis Konsentrasi TSS dan Pengaruhnya Pada Kinerja Pelabuhan Menggunakan Data Remote Sensing Optik di Teluk Kendari. *Jurnal Penginderaan Jauh*, *XVI*(2), 71–82.
- Putra, A. S. H. H. M. (2017). Pola Sebaran Kualitas Air Berdasarkan Kesesuaian Baku Mutu Untuk Biota Laut di Teluk Kendari Provinsi Sulawesi Tenggara. *Maspuri Journal*, *IX*(1), 51–60.
- Rumhayati, B. (2019). *Sedimen Perairan: Kajian Kimiawi, Analisis dan Peran* (1st ed). UB Press.
- Salampeppy, M. L. R. P. A. P. B. P. (2020). *Pengelolaan Daerah Aliran Sungai* (1st ed). IPB Press.
- Syifa Saputra, E. N. M. C. D. N. S. L. O. M. M. S. D. A. N. S. M. S. R. Y. L. A. D. (2020). *Pengelolaan Wilayah Pesisir yang Terpadu untuk Ketahanan Nasional* (1st ed). Yayasan Kita Menulis.
- Tanto, T. A. N. N. H. I. (2018). Kualitas Air Laut Untuk Mendukung Wisata Bahari Dan Kehidupan Biota Laut (Studi Kasus: Sekitar Kapal Tenggelam Sophie Rickmers, Perairan Prialaot Sabang). *Jurnal Kelautan*, *XI*(2), 173–183.