

Estimasi sebaran konsentrasi *total suspended solid* (TSS) di Tahura Ngurah Rai Denpasar tahun 2016 dan 2020

Ketut Listyani Sri Rejeki ^{a*}, I Dewa Nyoman Nurweda Putra ^a, I Wayan Nuarsa ^a

^a Program Studi Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana, Kampus UNUD Bukit Jimbaran, Bali 80361, Indonesia

* Penulis koresponden. Tel.: +62-878-6678-3459

Alamat e-mail: ketut.listyani@student.unud.ac.id

Diterima (received) 1 Juni 2021; disetujui (accepted) 23 Februari 2023; tersedia secara online (available online) 1 Juni 2023

Abstract

The large number of mangrove land conversions can cause various impacts, such as causing coastal abrasion to affect sedimentation rates. One of the variables used to determine the level of pollution and sedimentation that occurs in aquatic ecosystems is Total Suspended Solid (TSS). Based on research conducted by Sebastian (2020), mangrove land cover in Tahura Ngurah Rai decreased by 25.58 hectares in 2016 - 2020 due to the mass mortality of mangroves in 2019. The decline in mangrove land in this location allows an increase of TSS in the surrounding waters due to the lack of mangroves which function as a barrier and sediment trap. One of the satellite that have been widely used in observing the distribution of TSS concentrations is the Landsat-8 OLI. Therefore, researchers are interested in knowing the changes in TSS concentrations that occurred in Tahura Ngruah Rai in 2016 and 2020 using Landsat 8 imagery. This study used a gravimetric method to analyze TSS concentrations in situ at 45 sample points carried out by random sampling. To find out the spatial estimation of TSS in 2016 and 2020, an empirical algorithm is used. The best TSS estimation model in this study is the combination of the blue band/ SWIR-1 band using linear equations. The processing results show the concentration of TSS in 2016 has a range between 66 mg/L to 264 mg/L with an average of 127.74 mg/L, while . In 2020 TSS has a range between 72 mg/L to 209 mg/L with an average of 133.04 mg/L.

Keywords: *total suspended solid; landsat 8; Tahura Ngurah Rai Denpasar*

Abstrak

Banyaknya konversi lahan mangrove dapat menyebabkan berbagai dampak seperti menyebabkan abrasi pantai hingga mempengaruhi tingkat sedimentasi. Salah satu variabel yang digunakan untuk mengetahui tingkat pencemaran dan sedimentasi yang terjadi pada ekosistem perairan adalah TSS (Total Suspended Solid). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sebastian (2020), tutupan lahan mangrove di Tahura Ngurah Rai mengalami penurunan sebesar 25,58 Ha pada tahun 2016 – 2020 yang diakibatkan oleh kematian massal mangrove pada tahun 2019. Menurunnya lahan mangrove pada lokasi ini memungkinkan terjadinya peningkatan TSS di perairan sekitarnya karena berkurangnya mangrove yang berfungsi sebagai penahan dan perangkap sedimen. Salah satu citra satelit yang telah banyak digunakan dalam mengamati sebaran konsentrasi TSS adalah citra satelit Landsat-8 OLI. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk mengetahui perubahan konsentrasi TSS yang terjadi di Tahura Ngruah Rai pada tahun 2016 dan 2020 dengan menggunakan citra Landsat 8. Penelitian ini menggunakan metode gravimetri untuk menganalisis konsentrasi TSS secara insitu pada 45 titik sampel yang dilakukan secara random sampling. Untuk mengetahui estimasi TSS secara spasial pada tahun 2016 dan 2020, digunakan algoritma empiris. Model pendugaan TSS terbaik yang didapatkan pada penelitian ini adalah kombinasi band biru / band SWIR-1 dengan menggunakan persamaan linear. Hasil pengolahan menunjukkan konsentrasi TSS pada tahun 2016 memiliki rentang antara 66 mg/L sampai 264 mg/L dengan nilai rata-rata sebesar 127,74 mg/L, sementara. Pada tahun 2020 TSS memiliki rentang antara 72 mg/L sampai 209 mg/L dengan rata-rata 133,04 mg/L.

Kata Kunci: *total suspended solid; landsat 8; Tahura Ngurah Rai Denpasar*

1. Pendahuluan

Ekosistem mangrove merupakan ekosistem yang sangat penting dengan berbagai manfaat baik secara langsung maupun tidak langsung, mulai dari memberi manfaat di bidang perikanan tangkap sampai pada fungsi fisiknya sebagai penahan abrasi dan penyedia unsur hara (Fadhila dkk., 2015). Tahura Ngurah Rai merupakan salah satu wilayah sebaran hutan mangrove terluas di Provinsi Bali yang mengalami banyak tekanan akibat pergeseran fungsi, konversi lahan, dan permasalahan sampah, baik yang berasal dari sungai maupun buangan sampah penduduk di sekitar kawasan (Lugina dkk., 2017). Menurut Willemsen et al. (2016), sensitivitas mangrove sebagai penahan sedimen sangat dipengaruhi oleh perubahan hidrodinamik dan geomorfologi habitat seperti pasang surut dan luas lahan mangrove.

Penelitian yang dilakukan oleh Sebastian tahun 2020, menunjukkan bahwa tutupan lahan mangrove di Tahura Ngurah Rai mengalami penurunan sebesar 25,58 ha pada tahun 2016 – 2020 yang diakibatkan oleh kematian masal mangrove pada tahun 2019. Menurunnya lahan mangrove pada lokasi ini memungkinkan terjadinya peningkatan TSS di perairan sekitarnya karena berkurangnya mangrove yang berfungsi sebagai penahan dan perangkap sedimen. Hal ini mungkin terjadi karena sedimen yang terbawa air akan diperangkap oleh akar mangrove, sehingga kerapatan dan luas lahan mangrove sangat mempengaruhi terjadinya transport sedimen (Siregar dkk., 2016).

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Parwati dan Purwanto (2017), di Pesisir Berau menunjukkan bahwa dengan adanya konversi lahan mangrove, dapat mempengaruhi kualitas suatu perairan yang terlihat melalui parameter TSS. Penelitian serupa juga pernah dilakukan oleh Suniada dan Luita (2019), yang menunjukkan bahwa adanya korelasi antara perubahan lahan mangrove terhadap konsentrasi TSS di Muara Perancak berdasarkan citra Landsat 8. Menurut Febrianto dan Nurul (2017), tingginya nilai TSS pada suatu perairan dapat menurunkan kualitas perairan karena menghalangi penetrasi sinar matahari ke kolom perairan sehingga dapat mengganggu fotosintesis biota yang ada di bawahnya.

Penelitian dengan cakupan area yang luas tentu memerlukan waktu dan biaya yang banyak apabila dilakukan dengan pengukuran langsung ke lapangan. Karena itu, penelitian dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh dapat menjadi salah satu solusi dalam melakukan pengamatan dengan cakupan area yang luas. Citra satelit Landsat-8 OLI merupakan salah satu citra yang telah banyak digunakan dalam mengamati sebaran konsentrasi TSS. Sensor OLI yang dimiliki oleh Landsat-8 dengan empat saluran visible dan kemampuan radiometriknya yang memadai, menjadikan Landsat-8 OLI sangat memungkinkan digunakan untuk monitoring kualitas perairan seperti TSS (Pahlevan et al., 2019). Selain itu, menurut penelitian Ouma et al. (2020), citra Landsat-8 lebih baik digunakan dibandingkan citra satelit lain yang diuji karena memiliki rentang band spektral yang memadai. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk mengetahui estimasi konsentrasi TSS di Tahura Ngruah Rai wilayah Denpasar pada tahun 2016 dan 2020 dengan menggunakan citra Landsat 8.

2. Metode Penelitian

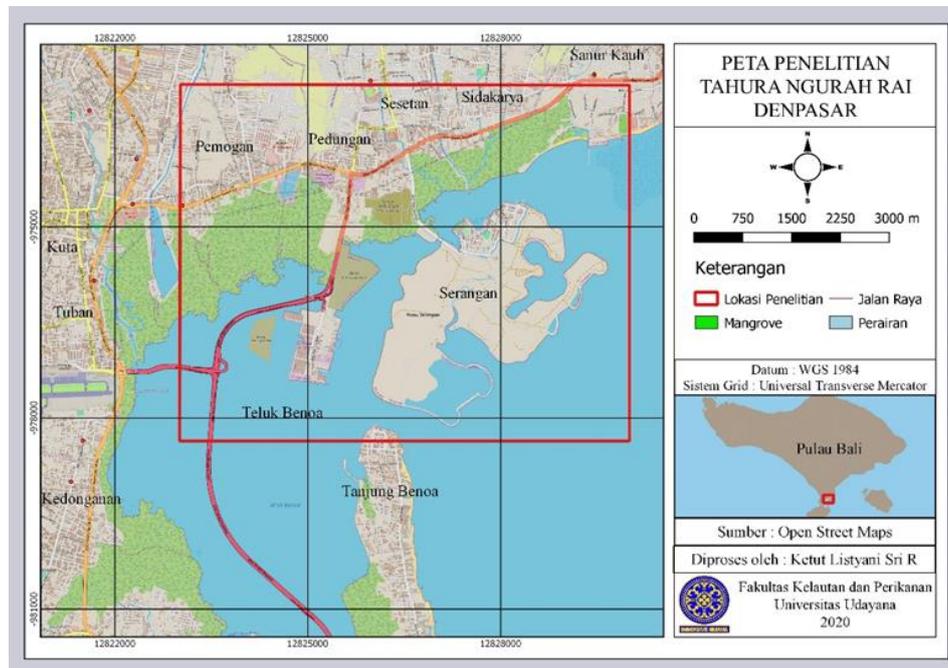
2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada kawasan Tahura Ngurah Rai wilayah Kota Denpasar (Gambar 1). Waktu pengukuran data *in-situ* dilakukan bersamaan dengan perekaman Landsat-8 yaitu pada tanggal 22 November 2020 pukul 10.00 – 12.00 WITA, dimana kondisi perairan berada pada kondisi surut. Selanjutnya, pengolahan data citra dilakukan di Laboratorium Remote Sensing dan GIS, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana, sementara pengolahan data *in-situ* dilakukan di Laboratorium Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana.

2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi seperangkat *personal computer* (PC), *software* QGIS yang digunakan untuk pengolahan data dan layout akhir, Microsoft Office 2016, GPS, oven,

timbangan analitik, botol sampel dan *coolbox*. Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kertas saring (pore 1.5 μm), akuades, dan citra satelit Landsat-8 sebagai data citra yang diperoleh dari situs Landsat Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.

2.3. Metode Penelitian

2.3.1. Pengambilan Data *Insitu*

Sampel lapangan diambil pada wilayah estuari Tahura Ngurah Rai menyesuaikan resolusi spasial dari citra Landsat 8 di estuari dengan menggunakan metode simple random sampling pada 45 titik sampel yang dibagi sebanyak 60% digunakan sebagai pembangun model dan 40% digunakan sebagai validasi data.

Pengolahan data in-situ TSS mengikuti prosedur Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 06-6989.3-2004 tentang cara uji padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid*) menggunakan metode gravimetri. Prinsip dari metode ini adalah dengan menyaring sampel air dengan kertas saring berukuran 1.5 μm dan menghitung berat kertas saring sebelum dan setelah dilakukan penyaringan.

2.3.2. Pra Pengolahan Citra

Citra yang digunakan pada penelitian ini adalah citra satelit Landsat 8 OLI diakuisisi tanggal 22 November 2020 dan 10 Oktober 2016. Pada tahap pra pengolahan citra dilakukan beberapa tahapan seperti koreksi radiometrik untuk memperbaiki kualitas visual serta nilai-nilai piksel yang tidak sesuai dengan nilai pantulan objek yang sebenarnya pada software QGIS. Selanjutnya dilakukan koreksi atmosferik dengan metode DOS (*Dark Object Substraction*). Koreksi ini dilakukan menggunakan plugin yang tersedia pada aplikasi QGIS yang digunakan untuk menghilangkan efek gangguan atmosfer. Dilakukan juga pemotongan dan *masking* citra untuk mempermudah proses interpretasi dan membatasi area penelitian dengan area yang tidak dikaji. Metode *masking* yang digunakan adalah metode MNDWI (*Modification of Normalized Differences Water Index*) (Szabo et al., 2016). Adapun persamaan yang digunakan adalah :

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR} \quad (1)$$

2.3.3. Pengolahan Citra

Pendugaan konsentrasi TSS di Tahura Ngurah Rai Denpasar dilakukan dengan membangun model hubungan empiris berdasarkan perbandingan nilai reflektansi band tunggal, rasio antar band, dan transformasi kromatisiti antar band visible pada Landsat-8 dengan konsentrasi TSS secara *in situ*. Model yang digunakan merupakan model statistik bentuk persamaan regresi, dimana y merupakan nilai parameter yang diuji (data *in situ* konsentrasi TSS) dan x merupakan kombinasi reflektansi band yang digunakan. Adapun bentuk persamaan yang akan diuji ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Persamaan Regresi yang Diuji

Model Hubungan	Bentuk Model
Regresi Linear	$y = a + bx$
Eksponensial	$y = a * exp^{(bx)}$
Polynomial (orde 2)	$y = a + b * x^2 + b1 * x$
Logaritmik	$y = a * ln(x) + b$
Power	$y = a * x^b$

Penggunaan transformasi serupa juga pernah digunakan oleh Hamuna dan Lisiard (2017), pada penelitian pendugaan konsentrasi klorofil-a. Rasio yang digunakan menyesuaikan dengan panjang gelombang Landsat 8.

Kemudian dari beberapa model yang dihasilkan, dilakukan analisis korelasi antara hasil perhitungan citra dengan data *in situ* sehingga dihasilkan model hubungan dengan kombinasi band terbaik yang ditunjukkan oleh koefisien determinasi (R^2) tertinggi dan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) terkecil.

2.4. Analisis Data

2.4.1. Pengolahan Data Insitu

Estimasi materi tersuspensi diperoleh berdasarkan perbedaan antara padatan terlarut total dan padatan total. Perhitungan TSS dapat dilakukan berdasarkan persamaan (BSN, 2004):

$$TSS = \frac{(A - B) \times 1000}{volume} \quad (2)$$

dimana TSS adalah konsentrasi TSS (mg/L); A adalah berat kertas saring ditambah residu kering (mg); B merupakan berat kertas saring (mg); dan $volume$ adalah volume sampel air yang diuji (mL). Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk menjamin mutu dan validasi pengukuran TSS adalah:

- Menggunakan alat gelas bebas kontaminasi.
- Menggunakan alat ukur terkalibrasi.
- Analisis dilakukan dalam jangka waktu yang tidak melampaui waktu simpan maksimum 24 jam.

2.4.2. Uji Korelasi Model Estimasi TSS

Koefisien korelasi (R) digunakan untuk mengetahui hubungan numerik dua variabel bebas X dan variabel terikat Y , dalam hal ini analisis korelasi digunakan untuk mengetahui kekuatan hubungan antara nilai algoritma interpretasi TSS dengan nilai konsentrasi TSS di lapangan. Adapun persamaan korelasi ditunjukkan pada persamaan (3) (Ismail, 2018):

$$R = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (3)$$

dimana X adalah variabel terikat; Y adalah variabel bebas; dan n adalah jumlah data. Adapun kriteria yang digunakan untuk memudahkan interpretasi kekuatan hubungan antar variabel dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kategori Tingkat Hubungan Koefisien Korelasi (Ismail, 2018)

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,19	Sangat Rendah
0,20 – 0,39	Rendah
0,40 – 0,59	Sedang
0,60 – 0,79	Kuat
0,80 – 1,00	Sangat Kuat

2.4.3. Uji Validasi Citra TSS

Uji validasi dilakukan dengan melakukan perbandingan antara hasil interpretasi citra dan hasil pengukuran *in-situ*. Pada penelitian ini digunakan uji validasi yang sangat umum digunakan yaitu RMSE dan *Mean Relative Error* (MRE) untuk mengetahui penyimpangan nilai interpretasi citra dan data pengukuran lapangan. Persamaan RMSE dapat dituliskan sebagai berikut (Nurgiantoro dkk., 2019):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (xi-x)^2}{n}} \quad (4)$$

$$MRE = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left| \frac{xi-x}{xi} \right|}{n} \times 100\% \quad (5)$$

dimana $RMSE$ adalah *Root Mean Square Error*; MRE adalah *Mean Relative Error*; xi adalah konsentrasi insitu TSS; x merupakan konsentrasi estimasi pada citra; dan n adalah jumlah sampel.

Pada penelitian Nurgiantoro dkk. (2019), disebutkan bahwa dalam uji akurasi menggunakan MRE hasil model yang dapat digunakan adalah model dengan $MRE < 30\%$ dan model dengan nilai RMSE terkecil.

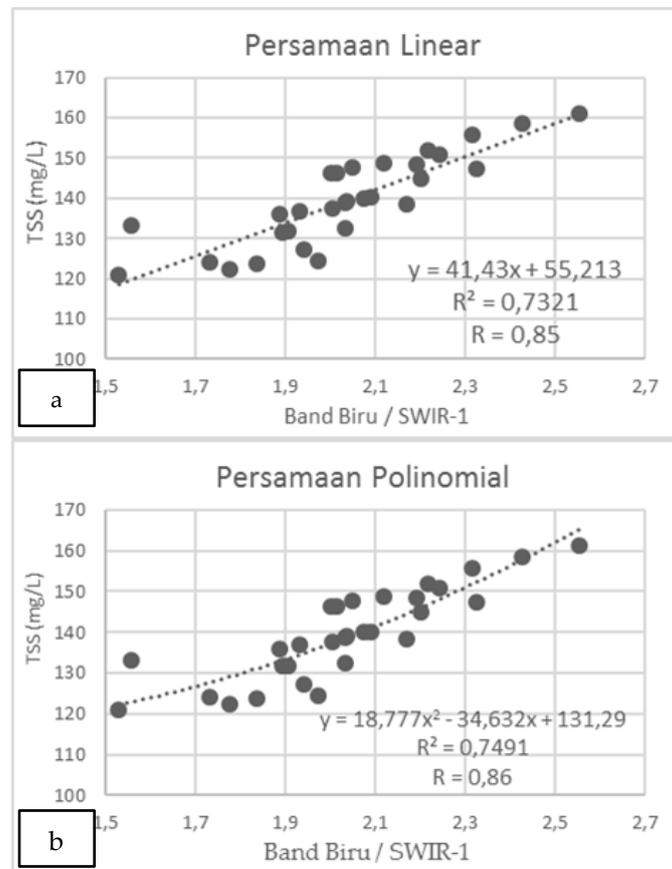
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengembangan Model Pendugaan TSS

Pengembangan model dilakukan pada 30 titik yang diambil secara acak di sekitar estuari mangrove Tahura Ngurah Rai Denpasar. Setelah melakukan pengujian pada masing-masing reflektan yang telah ditentukan, didapatkan hasil bahwa kombinasi rasio band 2 / band 6 (band biru / band SWIR-1) memiliki nilai R^2 tertinggi dibandingkan dengan kombinasi band lainnya dengan nilai R^2 berkisar antara 0,70 – 0,75. Nilai R^2 tertinggi pada model ditunjukkan oleh persamaan polinomial orde 2 dan persamaan linear, dengan nilai R^2 sebesar 0,75 untuk persamaan polinomial orde 2 dan 0,73 untuk persamaan linear (Gambar 2).

Hubungan antara variabel bebas x dan variabel terikat y menunjukkan bahwa kombinasi band 2 / band 6 memiliki koefisien korelasi (R) sebesar 0,86 pada model polinomial dan 0,85 pada model

linear (Gambar 2). Hal ini menunjukkan bahwa antara nilai algoritma interpretasi TSS dengan nilai konsentrasi TSS di lapangan memiliki hubungan positif yang sangat kuat (Ismail, 2018).



Gambar 2. Model persamaan linear (a) & polinomial orde 2 (b) pada kombinasi band biru/SWIR-1.

Penelitian Yanti et al. (2016), menunjukkan bahwa band 2 pada Landsat 8 merupakan salah satu band yang dapat merepresentasikan TSS paling detail karena kemampuan penetrasinya yang lebih dalam dibandingkan dengan band lainnya. Pada band SWIR, meskipun hanya mendeteksi TSS di permukaan perairan karena kemampuan penetrasinya yang rendah, sensitivitasnya dalam mendeteksi padatan tersuspensi dikategorikan lebih tinggi dibandingkan band 1, 2, dan 3 (Yanti et al., 2016). Karena hal itu, band SWIR (1000-3000 nm) juga diindikasikan mampu digunakan dalam mendeteksi sifat optik perairan pada wilayah perairan yang sangat keruh (Quang et al., 2017). Pada studi kasus yang dilakukan oleh Vanhellefont dan Ruddick (2015), band SWIR juga digunakan untuk mempermudah deteksi sedimen hitam di perairan akibat operasi pengerukan sedimen maupun pembuangan hasil keruk.

3.2. Uji Validasi Model

Validasi model dilakukan pada 15 titik yang berbeda dengan titik yang digunakan untuk membangun model pendugaan. Hasil pada masing-masing model regresi dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai RMSE terkecil ditunjukkan oleh persamaan linear dan eksponensial, yaitu sebesar 5,06 dan RMSE tertinggi ditunjukkan oleh persamaan polinomial orde 2, yaitu sebesar 5,38 (Tabel 3). Uji validasi MRE pada penelitian ini tidak berbeda jauh antara satu model dengan model lainnya dengan rentang antara 3,08% hingga 3,34%. Hal ini menunjukkan bahwa model pendugaan dapat digunakan karena memiliki nilai persentase MRE di bawah 30% (Nurgiantoro dkk., 2019). Berdasarkan nilai R^2 tertinggi dan nilai RMSE terendah yang diperoleh, maka model yang digunakan sebagai algoritma pendugaan konsentrasi TSS di Tahura Ngurah Rai Denpasar adalah model persamaan linear pada band biru / band SWIR-1.

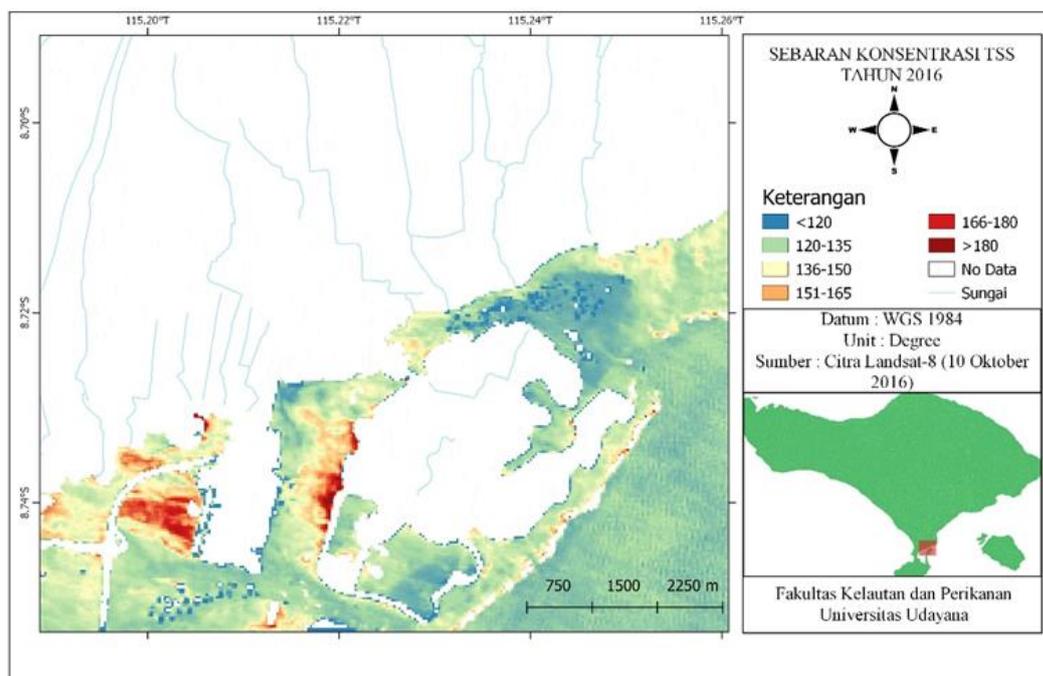
Tabel 3. Uji RMSE Konsentrasi TSS Rasio Band Biru/Band SWIR-1

Model	RMSE	R ²	MRE (%)	Persamaan
Linear	5,06	0,73	3,11	$y = 41,43x + 55,213$
Eksponen	5,06	0,72	3,08	$y = 76,088e^{0,2965x}$
Logaritma	5,26	0,71	3,34	$y = 80,996\ln(x) + 82,482$
Polinomial Orde 2	5,38	0,75	3,22	$y = 18,777x^2 - 34,632x + 131,29$
Power	5,12	0,70	3,21	$y = 92,381x^{0,5811}$

3.3. Sebaran Konsentrasi TSS pada Tahun 2016 dan 2020

Hubungan terbaik antara model transformasi band dengan nilai insitu TSS kemudian digunakan dalam pembuatan peta sebaran konsentrasi TSS pada tahun 2016 dan 2020 untuk menilai kondisi estuari Tahura Ngurah Rai secara keseluruhan. Berdasarkan hasil pengolahan menggunakan software SAGA GIS, diketahui sebaran konsentrasi TSS pada tahun 2016 memiliki rentang antara 66 mg/l sampai 264 mg/l dengan nilai rata-rata sebesar 127,74 mg/l. Pada peta konsentrasi TSS dibagi menjadi 5 rentang, dimana konsentrasi paling rendah ditandai dengan warna biru dan semakin kemerahan seiring dengan penambahan nilai konsentrasi TSS.

Pada peta terlihat bahwa konsentrasi TSS memiliki konsentrasi yang tinggi pada area di sekitar Pelabuhan Benoa, Tol Ngurah Rai dan di bagian Barat Pulau Serangan (Gambar 3). Pada peta juga terlihat bahwa wilayah Timur pulau Serangan yang dekat dengan bibir teluk dan timur Pulau Serangan yang berhadapan dengan laut lepas memiliki sebaran konsentrasi yang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan wilayah estuari yang dekat dengan daratan.

**Gambar 3.** Sebaran konsentrasi TSS tahun 2016 di Tahura Ngurah Rai Denpasar.

Sebaran konsentrasi TSS pada tahun 2020 ditunjukkan oleh Gambar 4. Berdasarkan pengolahan yang dilakukan pada software SAGA GIS, diketahui konsentrasi TSS pada tahun 2020 memiliki rentang antara 72 mg/l sampai 209 mg/l dengan rata-rata 133,04 mg/l. Berdasarkan Gambar 4, konsentrasi TSS memiliki nilai yang cenderung lebih tinggi pada sebelah barat daya Pulau Serangan sampai pada kawasan yang dekat dengan TPA Suwung serta pada bagian selatan wilayah penelitian. Pada tahun ini nilai TSS juga bernilai cenderung lebih rendah pada wilayah timur laut Pulau

- BPKH. (2016). *Buklet Tahura : Informasi Tahura Ngurah Rai*. Denpasar, Indonesia: Balai Pemantapan Kawasan Hutan Wilayah VIII Denpasar.
- BSN. (2004). *Standar Nasional Indonesia (SNI) Air dan air limbah- Bagian 3: Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (Total Suspended Solid, TSS) Secara Gravimetri*. Jakarta-Indonesia: Badan Standardisasi Nasional.
- Fadhila, H., Saputra, S. W., & Wijayanto, D. (2015). Nilai manfaat ekonomi ekosistem mangrove di Desa Kartika Jaya Kecamatan Patebon Kabupaten Kendal Jawa Tengah. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, **4**(3), 180-187.
- Febrianto, S., & Nurul, L. (2017). Pemetaan pola sebaran total suspended solid (TSS) di Perairan Teluk Semarang menggunakan citra satelit landsat 7 ETM dan landsat 8. *Jurnal Harpodon Borneo*, **10**(1), 56-60.
- Hamuna, B., & Lisiard, D. (2017). Pendugaan konsentrasi klorofil-a dari citra satelit landsat 8 di perairan Kota Jayapura. *Maspari Journal*, **9**(2), 139-148.
- Hendrawan, I. G., & Asai, K. (2008). Study of suspended sediment distribution using numerical model and satellite data in Benoa Bay-Bali, Indonesia. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, **5**(1), 85-91.
- Ismail, F. (2018). *Statistika untuk Penelitian Pendidikan dan Ilmu-Ilmu Sosial*. Jakarta, Indonesia: Prenamedia Group.
- Lugina, M., Alviya, I., Indartik, I., & Pribadi, M. A. (2017). Strategi keberlanjutan pengelolaan hutan mangrove di Tahura Ngurah Rai Bali. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*, **14**(1), 61-77.
- Nurgiantoro, Wayan, M., & Abriansyah. (2019). Analisis konsentrasi TSS dan pengaruhnya pada kinerja pelabuhan menggunakan data remote sensing optik di Teluk Kendari. *Jurnal Penginderaan Jauh*, **16**(2), 71-82.
- Ouma, Y. O., Noor, K., & Herbert, K. (2020). Modelling reservoir chlorophyll-a, TSS, and turbidity using Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI satellite sensors with empirical multivariate regression. *Journal of Sensors*, **2020**, 1-21.
- Pahlevan, N., Chittimalli, S. K., Balasubramanian, S. V., & Vellucci, V. (2019). Sentinel-2/Landsat-8 product consistency and implications for monitoring aquatic systems. *Remote sensing of Environment*, **220**, 19-29.
- Parwati, E., & Purwanto, A. D. (2017). Time series analysis of total suspended solid (TSS) using landsat data in Berau Coastal Area, Indonesia. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, **14**(1), 61-70.
- Quang, N. H., Sasaki, J., Higa, H., & Huan, N. H. (2017). Spatiotemporal variation of turbidity based on landsat 8 OLI in Cam Ranh Bay and Thuy Trieu Lagoon, Vietnam. *Water*, **9**(8), 570.
- Risuana, I. G. S., Hendrawan, I. G., & Suteja, Y. (2017). Distribusi spasial total padatan tersuspensi puncak musim hujan di permukaan perairan Teluk Benoa, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, **3**(2), 223-232.
- Sebastian, R. D. (2020). *Pemetaan Perubahan Luasan Mangrove Menggunakan Citra Sentinel-2A Pasca Kematian Massal Mangrove di Denpasar-Bali*. Skripsi. Badung, Indonesia: Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana.
- Siregar, R. H., Djayus, Y., & Mutadi, A. (2016). Hubungan kerapatan mangrove terhadap laju sedimen transpor di wilayah Pesisir Desa Pulau Sembilan Kabupaten Langkat Sumatera Utara. *AQUACOASTMARINE*, **14**(4), 29-38.
- Suniada, K. I., & Liuta, Y. A. (2019). Pengaruh perubahan lahan hutan mangrove terhadap konsentrasi total suspended solid (TSS) di Muara Perancak, Jembrana-Bali. *Jurnal Kelautan Nasional*, **4**(1), 11-23.
- Szabó, S., Gácsi, Z., & Balázs, B. (2016). Specific features of NDVI, NDWI and MNDWI as reflected in land cover categories. *Landscape & Environment*, **10**(3-4), 194-202.

- Vanhellemont, Q., & Ruddick, K. (2015). Advantages of high quality SWIR bands for ocean colour processing: Examples from Landsat-8. *Remote Sensing of Environment*, **161**, 89-106.
- Willemsen, P. W. J. M., Horstman, E. M., Borsje, B. W., Friess, D. A., & Dohmen-Janssen, C. M. (2016). Sensitivity of the sediment trapping capacity of an estuarine mangrove forest. *Geomorphology*, **273**, 189-201.
- Yanti, A., Susilo, B., & Wicaksono, P. (2016). *The application of landsat 8 OLI for total suspended solid (TSS) mapping in Gajahmungkur Reservoir Wonogiri Regency 2016*. In IOP Conf. Ser: Earth Environ.Sci.47 012028. Yogyakarta, Indonesia, 17-19 Oktober 2016 (pp. 1-12).



© 2023 by the authors; licensee Udayana University, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>).