

Analisis Sebaran Total Suspended Solid (TSS) Berdasarkan Citra Landsat 8 Menggunakan Tiga Algoritma Berbeda Di Perairan Teluk Benoa, Bali

Gede Yuda Kamajaya ^{a*}, I Dewa Nyoman Nurweda Putra ^a, I Nyoman Giri Putra^a

^a Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana Kampus Unud Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia

* Penulis koresponden. Tel.: 62-81391082606

Alamat e-mail: gde.yuda@yahoo.co.id

Diterima (received) 14 November 2018; disetujui (accepted) 22 Februari 2021; tersedia secara online (available online) 25 Februari 2021

Abstract

Total suspended solid is a suspended solid that causes turbidity in the waters. These particles cannot settle directly on the bottom of the water. TSS size and weight are smaller than sediment. TSS concentration if too high will inhibit the penetration of light into the water and result in disruption of photosynthesis. The number of human activities around the waters of Benoa Bay can produce pollutant waste into the waters which can cause negative impacts on the conditions of marine life. This TSS value is one part that plays a role in determining the environmental quality of a waters. Seeing the input from the rivers which empties into Benoa Bay, the need for research in the Benoa Bay area is related to total suspended solids. Technological developments, especially in remote sensing, make the implementation of mapping the distribution of TSS concentrations efficient. The method in this study used Landsat 8 satellite images and in situ data. This research was conducted in May 2018. The research location consisted of 30 points by purposive sampling. The TSS concentration value in situ has an average concentration of 301.65 mg / L. Middle waters have greater concentration because this is due to the effects of tides. TSS concentration values from images can be calculated using the Budhiman, Guzman and Parvati algorithms. The results of the calculation of the three algorithms have an error value above 30%. This may be due to differences in water conditions which result in differences in concentration from the insitu value and the value of satellite images in the waters of Benoa Bay.

Keywords: TSS; algorithm; Benoa Bay

Abstrak

Total suspended solid adalah padatan tersuspensi yang menyebabkan kekeruhan pada perairan. Partikel ini tidak dapat langsung mengendap. Konsentrasi TSS apabila terlalu tinggi akan menghambat penetrasi cahaya ke dalam air dan mengakibatkan terganggunya proses fotosintesis. Banyaknya aktivitas manusia disekitar perairan Teluk Benoa yang bisa menghasilkan limbah bahan pencemar masuk ke dalam perairan yang dapat menyebabkan dampak negatif terhadap kondisi kehidupan perairan laut. Nilai TSS ini merupakan salah satu bagian yang berperan dalam menentukan kualitas lingkungan suatu perairan. Melihat adanya masukan dari sungai-sungai yang bermuara di Teluk Benoa, maka perlu adanya penelitian di kawasan Teluk Benoa terkait total suspended solid. Perkembangan teknologi khususnya dalam penginderaan jauh menjadikan pelaksanaan pemetaan sebaran konsentrasi TSS menjadi efisien. Metode dalam penelitian ini menggunakan citra satelit landsat 8 dan data insitu. Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2018. Lokasi penelitian terdiri dari 30 titik secara purposive sampling. Nilai konsentrasi TSS pada insitu memiliki nilai rata-rata konsentrasi sebesar 301.65 mg/L. Tengah perairan memiliki konsentrasi yang lebih besar karena hal ini diakibatkan pengaruh pasang-surut. Nilai konsentrasi TSS dari citra dapat dihitung menggunakan algoritma Budhiman, Guzman dan Parwati. Hasil dari perhitungan ketiga algoritma memiliki nilai error di atas 30%. Hal ini mungkin diakibatkan perbedaan kondisi perairan yang mengakibatkan perbedaan konsentrasi dari nilai insitu dan nilai citra satelit pada perairan Teluk Benoa.

Kata Kunci: TSS; algoritma; Teluk Benoa

1. Pendahuluan

Perairan Teluk Benoa memiliki potensi antara lain dapat digunakan sebagai alur transportasi, pariwisata, dan lokasi budidaya. Teluk Benoa memiliki luas wilayah sekitar 1.998,1 Ha (Sudiarta dkk., 2013). Teluk Benoa merupakan daerah tempat bermuaranya beberapa sungai yaitu Sungai Bualu, Sungai Sama, Sungai Mati, Sungai Badung, Sungai Buji dan Sungai Loloan (Tanto dkk., 2017). Dampak dari adanya muara sungai tersebut menyebabkan secara langsung masuknya limbah bahan organik kedalam teluk, salah satunya adalah adanya peningkatan total suspended solid (TSS).

Menurut Rinawati dkk. (2016), total suspended solid adalah padatan dalam air, termasuk partikel tanah (tanah liat, lumpur, dan pasir), alga, plankton, dan zat lainnya dengan ukuran berkisar antara 0.004 mm (tanah liat) sampai 1.0 mm (pasir). TSS paling banyak berasal dari limbah-limbah rumah tangga, kegiatan industri dan pertanian yang masuk dari berbagai sungai yang bermuara di perairan Teluk Benoa. Peningkatan TSS akan meningkatkan kekeruhan yang selanjutnya menghambat penetrasi cahaya matahari ke dalam kolom perairan. Kurangnya intensitas cahaya matahari yang masuk ke perairan akibat tingginya TSS akan menghambat pertumbuhan fitoplankton. Padatan tersuspensi ini juga bisa berdampak negatif terhadap ekosistem perairan. Jika suatu perairan memiliki nilai konsentrasi total suspended solid yang tinggi maka semakin rendah nilai produktivitas perairan tersebut (Wirasatriya, 2011). Hal ini berkaitan erat dengan proses fotosintesis dan respirasi organisme perairan. Banyaknya aktivitas manusia di sekitar perairan Teluk Benoa yang bisa menghasilkan limbah bahan pencemar masuk ke dalam perairan yang dapat menyebabkan dampak negatif terhadap kondisi kehidupan perairan laut. Nilai konsentrasi TSS ini merupakan salah satu bagian yang berperan dalam menentukan kualitas lingkungan suatu perairan.

Melihat adanya masukan dari sungai-sungai yang bermuara di Teluk Benoa, maka perlu adanya penelitian di kawasan Teluk Benoa terkait total suspended solid. Satelite dengan sensor optic merupakan teknologi terkini untuk mengukur atau merekam karakteristik permukaan bumi berdasarkan perbedaan nilai spectral. Ekstraksi informasi spektral dari citra satellite penting sebagai database optic yang akan membantu dalam memahami suatu perairan (Karang, 2016). Metode

dalam penelitian ini menggunakan citra satelit landsat 8 dan data insitu. Pengamatan langsung digunakan sebagai validasi data terhadap algoritma yang ada. Landsat 8 OLI dapat dimanfaatkan untuk pemantauan kualitas perairan. Salah satu parameter kualitas perairan adalah muatan padatan tersuspensi (TSS) (Hidayat dan Khakim, 2017). Hal ini dilakukan agar pada penelitian-penelitian berikutnya di Teluk Benoa dapat menggunakan data satelit untuk mengetahui konsentrasi TSS dari Teluk Benoa tanpa harus turun ke lapangan guna meminimalisir pengeluaran dana dan tenaga. Persebaran total padatan tersuspensi sangat penting diketahui agar dapat mengelola dan mengurangi sumber dari pencemar tersebut. Untuk mendapatkan hasil distribusi spasial total padatan tersuspensi maka perlu adanya interpolasi.

Interpolasi adalah metode atau fungsi matematika yang digunakan untuk memperkirakan nilai di lokasi yang tanpa nilai. Interpolasi spasial mengasumsikan data atribut secara terus menerus dalam sebuah ruang, hal ini memungkinkan estimasi atribut pada setiap lokasi di dalam batas data (Azpurua and Ramos, 2010). Metode interpolasi yang digunakan adalah metode interpolasi Inverse Distance Weighting (IDW). Metode ini sangat mudah digunakan dan efisien serta dapat mengontrol karakteristik interpolasi dengan membatasi titiktitik masukan, dapat menghapus titik yang lokasinya terlalu jauh dan tidak memiliki korelasi spasial dan dapat menentukan titik yang akan digunakan secara langsung atau dapat ditentukan berdasarkan jarak yang ingin di interpolasi (Xie et al., 2011).

Algoritma yang digunakan untuk perhitungan data citra Landsat 8 yaitu Budhiman, Guzman dan Parwati. Ketiga algoritma ini digunakan pada penelitian Jiyah dkk. (2017), pada Perairan Demak dan Budianto dan Hariyanto (2017), pada Perairan Sidoarjo akan digunakan untuk acuan algoritma perhitungan total suspended solid.

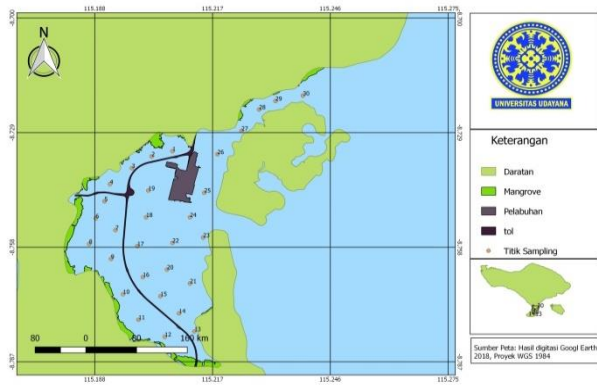
Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui sebaran TSS secara insitu dan untuk mengetahui sebaran TSS berdasarkan data satelit dengan menggunakan tiga algoritma berbeda.

2. Metode Penelitian

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di perairan Teluk Benoa, Bali seperti pada Gambar 1. Jumlah titik dalam penelitian ini yaitu berjumlah 30 titik

dengan metode purposive sampling. Kegiatan analisis dan pengolahan data dilakukan di Laboratorium Sistem Informasi Geografis (SIG) dan Penginderaan Jauh, Fakultas Kelautan dan Perikanan Universitas Udayana.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Alat dan bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain GPS, botol sample, gelas ukur, oven, aluminium foil, timbangan analitik, nampan, kertas saring dan tisu. Sedangkan untuk bahan yang digunakan antara lain data satelit citra landsat 8 dan sampel air pada Teluk Benoa.

2.3 Pengambilan TSS

Pengambilan sampel TSS dilakukan pada kondisi perairan pasang menuju surut. Sampel air pada Teluk Benoa diambil menggunakan botol plastik yang berukuran 650 mL dan sebelum digunakan botol plastik di bersihkan menggunakan akuades agar botol plastic bebas dari bahan-bahan organik. Pengambilan sampel diambil pada permukaan air. Setelah sampel di dapatkan selanjutnya sampel dimasukan kedalam coolbox. Sampel dimasukan kedalam botol berguna untuk meminimalisir dekomposisi mikrobiologikal terhadap padatan (BSN, 2004).

Waktu pengambilan data sampel TSS membutuhkan waktu selama 1.5 jam. Dimulai dari satelit melintasi Teluk Benoa pada pukul 10:15 WITA dan berakhir pada pukul 11:45 WITA.

2.4 Analisis data

2.2.1. Total Suspended Solid

Perhitungan konsentrasi TSS dilakukan di laboratorium Fakultas Kelautan dan Perikanan

Universitas Udayana. Metode yang digunakan dalam analisa sampel TSS insitu berdasarkan prosedur dari BSN (2004), Standar Nasional Indonesia (SNI 06-6989.3-2004) tentang cara uji padatan tersuspensi total secara gravimetri. Persamaan tersebut yaitu:

$$TSS(mg / L) = \frac{(A - B) \times 1000}{volume(mL)} \quad (1)$$

dimana *A* adalah berat kertas saring akhir (mg); dan *B* adalah berat kertas saring awal (mg).

Untuk menjamin validitas pengukuran TSS, maka dalam penelitian ini juga akan dilakukan penjaminan terhadap mutu dan pengendalian terhadap mutu proses-proses analisis TSS. Untuk jaminan mutu, maka beberapa hal yang diperhitungkan yaitu:

- Menggunakan alat gelas bebas kontaminasi dengan sterilisasi menggunakan aquades;
- Menggunakan alat ukur yang terkalibrasi; dan
- Melakukan analisis dalam jangka waktu yang tidak melampaui waktu simpan maksimum 24 jam.

2.2.2. Distribusi spasial TSS

Analisis distribusi spasial total padatan tersuspensi menggunakan metode interpolasi Inverse Distance Weighted (IDW). Dimana interpolasi dengan metode ini memiliki keuntungan penggunaan yang lebih mudah dan efisien. Software yang digunakan untuk membantu pengolahan spasial total padatan tersuspensi yaitu menggunakan software QGIS 2.4 dengan nilai power 4. Analisis distribusi spasial ditampilkan berupa peta data TSS insitu.

2.2.3. Penerapan Algoritma TSS

Adapun 3 Algoritma yang digunakan untuk menentukan nilai TSS (Total Suspended Solid), kemudian untuk hasil algoritma yang paling baik akan digunakan untuk menentukan nilai TSS di perairan Teluk Benoa, ketiga algoritma itu adalah algoritma Guzman-Santaella, Syarif Budhiman pada Budianto dan Hariyanto (2017), Parwati pada Jiyah dkk. (2017).

Pada perhitungan nilai TSS yang pertama menggunakan Algoritma dari penelitian Guzman-Santaella. Algoritma ini menggunakan nilai reflektan Landsat 8 Band 4 (636-673 nm)

dikarenakan panjang gelombang tersebut memberikan nilai reflektan yang baik untuk TSS. Rumus algoritma yang digunakan seperti pada persamaan (2):

$$TSS(mg / L) = 602.63 \times (0.0007e^{47.755(BandMerah)}) + 3.1481 \quad (2)$$

Pada perhitungan nilai TSS yang kedua menggunakan algoritma dari penelitian Syarif Budiman. Algoritma yang digunakan seperti pada persamaan (3):

$$TSS(mg / L) = 8.1429 \times (\exp(23.704 \times 0.94 \times BandMerah)) \quad (3)$$

Dalam penelitiannya Parwati menemukan suatu algoritma yang menggunakan nilai reflektansi citra Landsat untuk mendapatkan nilai TSS dalam suatu perairan. Algoritma yang digunakan seperti pada persamaan (4):

$$TSS(mg / L) = 3.3238 \times \exp(34.099 \times BandMerah) \quad (4)$$

2.2.4. Perhitungan Normalize Mean Absolute Error (NMAE)

NMAE mengukur besarnya kesalahan rata-rata dalam satu set prediksi, tanpa mempertimbangkan arahnya. Ini adalah rata-rata di atas sampel uji dari perbedaan mutlak antara prediksi dan observasi aktual di mana semua perbedaan individu memiliki bobot yang sama. Menurut Jaelani pada (Kartikasari dkk., 2016), nilai minimum pada penggunaan NMAE untuk syarat minimum agar bisa digunakan untuk mengekstrak data kualitas air dari data penginderaan jauh adalah $\leq 30\%$.

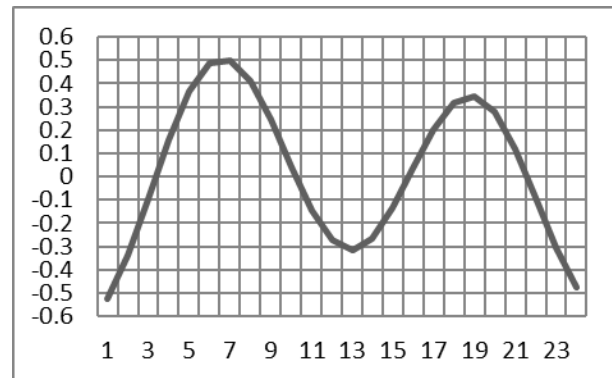
$$NMAE = \frac{1}{n} \sum_i^n |f_i - y_i| \quad (5)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Distribusi Spasial TSS Insitu

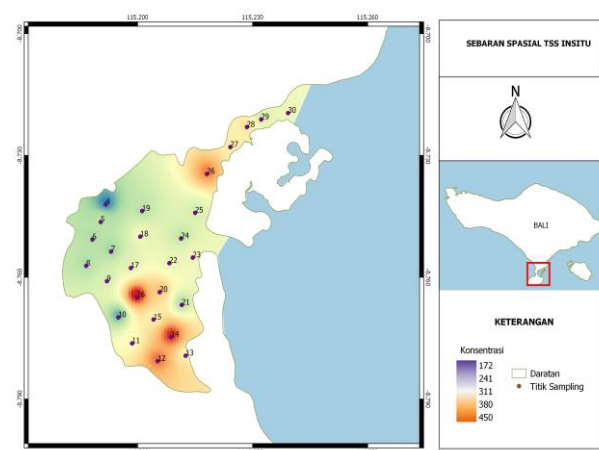
Pada pengambilan data TSS insitu tidak berdasarkan kondisi pasang-surut, karena pengambilan data lapangan dilakukan pada saat satelit melintas. Namun pada pengambilan data insitu kondisi perairan Teluk Benoa pada saat itu berada pada kondisi pasang menuju surut. Hal ini dapat dilihat pada grafik dibawah ini (Gambar 2). Sehingga dari 30 titik yang direncanakan hanya mendapatkan 27 titik karena 3 titik yang ada sudah dalam kondisi surut terendah. Adapun titik-

titik yang yang dilewati oleh kapal dan keadaannya surut adalah titik 1, titik 2 dan titik 3



Gambar 2. Grafik Prediksi Pasang-Surut Teluk Benoa 25 Mei.

Sebaran TSS insitu memiliki konsentrasi rata-rata sebesar 301.65 mg/L. Pada gambar 3 konsentrasi TSS pada titik-titik dekat muara sungai memiliki konsentrasi lebih rendah dibandingkan titik-titik pada tengah perairan. Kisaran konsentrasi pada muara sungai berkisar 171 mg/L – 241 mg/L, sedangkan konsentrasi TSS pada tengah perairan memiliki nilai yang cukup tinggi dibandingkan titik pada muara sungai, yang memiliki nilai konsentrasi berkisar pada 311 mg/L – 450 mg/L. Tingginya konsentrasi TSS di bagian tengah perairan teluk diduga diakibatkan oleh pergerakan pola arus yang terjadi saat kondisi pasang menuju surut, dimana terjadi perpindahan lokasi konsentrasi TSS.



Gambar 3. Peta Sebaran Konsentrasi Total Suspended Solid Insitu

Menurut (Ardana dan Mahendra, 2009), pada kondisi pasang menuju surut, arus akan keluar menuju arah laut lepas. Arah arus akan membawa

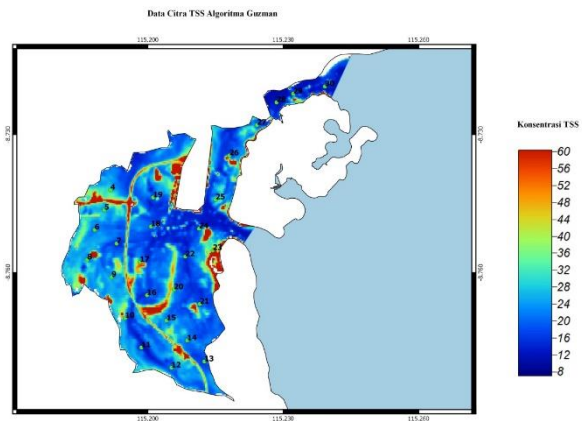
konsentrasi TSS pada muara sungai menuju keluar teluk. Sehingga konsentrasi pada tengah dan mulut teluk memiliki konsentrasi yang tinggi karena adanya pengenceran polutan (Risuan dkk., 2017).

TSS yang memiliki konsentrasi tinggi (Gambar 3) terdapat pada perairan utara dan selatan teluk. Pada bagian utara teluk konsentrasi TSS tertinggi terdapat pada titik 26 yang memiliki konsentrasi sebesar 401 mg/L. Perairan pada titik 26 tersebut dekat dengan TPA Suwung, dimana TPA tersebut memiliki banyak bahan-bahan organik yang dapat terlarut dalam perairan. Seperti halnya penelitian yang dilakukan oleh (Wisha and Ondara, 2017), di Perairan Sayung, Demak yang memperoleh konsentrasi TSS tertinggi terdapat di sekitar muara sungai dekat TPA. Pada bagian selatan teluk konsentrasi tertinggi terdapat masing-masing pada titik 16 yang memiliki konsentrasi sebesar 481 mg/L dan titik 14 dengan konsentrasi sebesar 450 mg/L, dimana pada masing-masing titik berada dekat muara Sungai Sama dan Sungai Bualu. Pada bagian barat perairan teluk memiliki nilai rendah pada titik 4 yang memiliki konsentrasi sebesar 171 mg/L. Lokasi titik 4 berada di dekat muara sungai kampung kepiting. Rendahnya konsentrasi pada titik 4 diduga diakibatkan oleh kondisi perairan yang terpengaruh akibat pasang-surut saat pengambilan sampel. Sedangkan pada tengah perairan teluk memiliki konsentrasi yang memiliki rata-rata konsentrasi 241 mg/L – 380 mg/L. Keadaan ini sama dengan penelitian (Hendrawan dan Asai, 2014), pada saat pasang menuju surut pola arus di Teluk Benoa menuju ke luar teluk, sehingga konsentrasi TSS akan lebih tersebar di tengah.

3.2 Sebaran Peta Total Suspended Solid Berdasarkan Algoritma

1. Algoritma Guzman

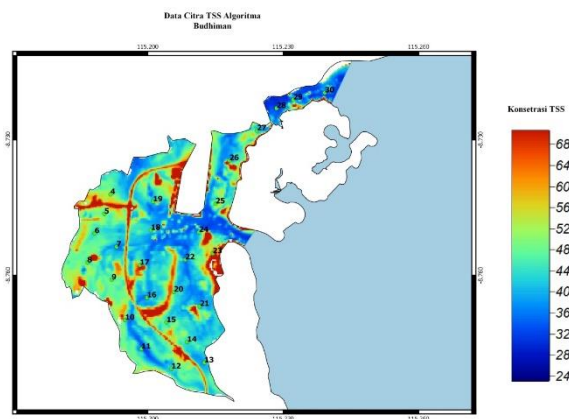
Berdasarkan algoritma Guzman diketahui bahwa konsentrasi TSS pada perairan di luar teluk memiliki konsentrasi yang cukup kecil, sekitar 8 mg/L sampai dengan 16 mg/L, sedangkan perairan dalam Teluk Benoa memiliki konsentrasi TSS dengan rata-rata 19.19 mg/L (Gambar 4). Konsentrasi paling tinggi didapatkan pada titik 23 sebesar 41.51 mg/L, dan konsentrasi terendah ada pada titik 28 dengan konsentrasi sebesar 11.19mg/L diantara titik yang ada.



Gambar 4. Algoritma Guzman

2. Algoritma Budhiman

Berdasarkan algoritma TSS Budhiman menggambarkan konsentrasi TSS pada perairan luar teluk dengan nilai 28 mg/L sampai dengan 44 mg/L dan konsentrasi TSS pada perairan dalam Teluk Benoa mendapatkan nilai dengan rata-rata 46.33 mg/L (Gambar 5). Konsentrasi yang paling tinggi terdapat pada titik 23 dengan 67.30 mg/L dan konsentrasi terendah terdapat pada titik 28 dengan konsentrasi sebesar 32.36 mg/L diantara titik yang ada.

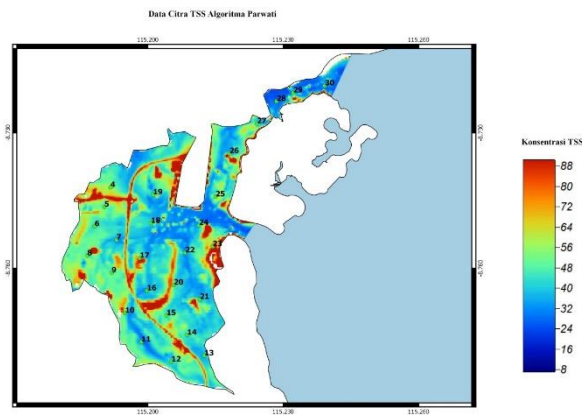


Gambar 5. Algoritma Budhiman

3. Algoritma Parwati

Berdasarkan algoritma Parwati perairan luar Teluk Benoa memiliki konsentrasi TSS dengan nilai konsentrasi 24 mg/L sampai dengan 48 mg/. Kondisi nilai rata-rata konsentrasi pada perairan dalam Teluk Benoa sebesar 44.42 mg/L (Gambar 6). Titik 23 memiliki konsentrasi paling besar, yaitu dengan nilai 84.21 mg/L dan titik 28 memiliki konsentrasi yang paling rendah dengan konsentrasi sebesar 27.47 mg/L diantara titik yang ada.

Berdasarkan algoritma Parwati perairan luar Teluk Benoa memiliki konsentrasi TSS dengan nilai konsentrasi 24 mg/L sampai dengan 48 mg/. Kondisi nilai rata-rata konsentrasi pada perairan dalam Teluk Benoa sebesar 44.42 mg/L (Gambar 6). Titik 23 memiliki konsentrasi paling besar, yaitu dengan nilai 84.21 mg/L dan titik 28 memiliki konsentrasi yang paling rendah dengan konsentrasi sebesar 27.47 mg/L diantara titik yang ada.



Gambar 6. Algoritma Parwati

Pada masing-masing hasil perhitungan algoritma memiliki sebaran konsentrasi TSS yang sama. Konsentrasi tinggi pada jalan sepanjang tol diakibatkan adanya tutupan dari beton penyangga jalan tol, sehingga memiliki warna citra yang sangat tinggi. Pada titik lainnya, penyebab warna citra yang tinggi diakibatkan kondisi perairan dari pasang menuju surut. Hal ini bisa dilihat dari grafik (Gambar 2) yang menunjukkan kondisi perairan pada saat satelit melintas pukul 10:30 WITA.

3.3 Uji Validasi Algoritma dengan Data insitu

Uji validasi dilakukan menggunakan data Citra Landsat 8 L1T pada tanggal 25 Mei 2018, sedangkan untuk pengambilan data insitu diambil pada tanggal 25 Mei 2018. Pada uji validasi dilakukan perhitungan dengan perhitungan NMAE membandingkan data olahan citra dengan data hasil ground truth TSS yang ada di lapangan. Hal ini digunakan untuk melihat sejauh mana kedekatan atau kebaikan data citra yang digunakan. Hasil perhitungan NMAE pada ketiga algoritma yang ada, algoritma Parwati memiliki nilai absolute error yang paling rendah dengan nilai sebesar 84% dibandingkan algoritma Guzman

dengan nilai error 93% dan Budhiman dengan nilai error NMAE 85%. Menurut Jaelani pada (Kartikasari dkk., 2016) NMAE harus memiliki kisaran nilai prosentase sebesar $\leq 30\%$ agar bisa digunakan untuk mengekstrak data kualitas air dari data penginderaan jauh. Nilai NMAE yang didapatkan pada penelitian ini adalah $\geq 30\%$. Hal ini bisa disebabkan karena kondisi perairan saat pengambilan data sedang mengalami perubahan dari pasang menuju surut. Sehingga nilai konsentrasi data citra satelit dan nilai konsentrasi pada insitu memiliki perbandingan yang cukup jauh.

4. Simpulan

Konsentrasi TSS insitu memiliki rata-rata nilai sebesar 301.65 mg/L. Keadaan pasang menuju surut membuat perairan tengah teluk memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan pada perairan pinggir teluk. Sedangkan hasil perhitungan Normalized Mean Absolute Error (NMAE) pada masing-masing algoritma memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Algoritma Guzman memiliki nilai yang memiliki nilai error paling tinggi dengan nilai 93%. Algoritma Budhiman dan algoritma Parwati memiliki nilai yang tidak jauh berbeda, dengan masing-masing nilai 85% dan 84%. Dari nilai error yang didapat, bahwa pasang-surut memiliki pengaruh terhadap nilai error yang didapatkan pada penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Ardana, K., & Mahendra, M. S. (2009). Study of pollutant distribution in Benoa Bay using numerical simulation and satellite data. *ECOTROPHIC: Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*, 3(2), 81-86.
- Azpurua, M. A., & Ramos, K. D. (2010). A comparison of spatial interpolation methods for estimation of average electromagnetic field magnitude. *Progress In Electromagnetics Research M*, 14, 135-145.
- BSN. (2004). *SNI Nomor 06-6989.3-2004 tentang Air dan air limbah- Bagian 3: Cara uji padatan tersuspensi total (Total Suspended Solid, TSS) secara gravimetri*. Jakarta, Indonesia: Badan Standardisasi Nasional.
- Budianto, S., & Hariyanto, T. (2017). *Analisis Perubahan Konsentrasi Total Suspended Solid (TSS) Dampak Bencana Lumpur Sidoarjo Menggunakan Citra Landsat Multi Temporal (Studi Kasus: Sungai Porong, Sidoarjo)*. Tugas Akhir. Surabaya, Indonesia: Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Hendrawan, I. G., & Asai, K. (2014). Numerical study on tidal currents and seawater exchange in the Benoa Bay, Bali, Indonesia. *Acta Oceanologica Sinica*, *33*(3), 90-100.
- Hidayat, Y. N., & Khakhim, N. (2017). Pemantauan Distribusi Muatan Padatan Tersuspensi Menggunakan Citra Landsat 8 Oli Di Muara Ci Tarum, Jawa Barat. *Jurnal Bumi Indonesia*, *6*(1).
- Jiyah, Sudarsono, B., & Sukmono, A. (2017). Studi Distribusi Total Suspended Solid (TSS) Di Perairan Pantai Kabupaten Demak Menggunakan Citra Landsat. *Jurnal Geodesi Undip*, *6*(1), 41-47.
- Karang, I. W. G. A. (2016). Karakteristik Pantulan Spektral Citra Landsat 8 Pada Area Pasang Surut: Studi Kasus Teluk Benoa, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, *2*(2), 60-66
- Kartikasari, F., Jaelani, L. M., & Winarso, G. (2016). Analisis sebaran konsentrasi suhu permukaan laut dan pH untuk pembuatan peta lokasi budidaya kerapu bebek menggunakan citra satelit Landsat-8 (studi kasus: Teluk Lampung, Lampung). *Jurnal Teknik ITS*, *5*(2), A401-A406.
- Rinawati, Hidayat, D., Suprianto, R., & Dewi, P. S. (2016). Penentuan Kandungan Zat Padat (Total Dissolve Solid dan Total Suspended Solid) Di Perairan Teluk Lampung. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, *1*(1), 36-46.
- 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 Sciences*, *3*(2), 223-232.
- Sudiarta, K., Hendrawan, I. G., Putra, K. S., & Dewantama, I. M. I. (2013). *Kajian modeling dampak perubahan fungsi teluk Benoa untuk system pendukung keputusan (Decision Support System) dalam jejaring KKP Bali*. Laporan. Denpasar, Indonesia: Conservation International Indonesia (CII) Bali.
- Tanto, T. A., Wisna, U. J., Kusumah, G., Pranowo, W. S., Husrin, S., Ilham, & Putra, A. (2017). Karakteristik Arus Laut Perairan Teluk Benoa, Bali. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, *23*(1), 37-48.
- Wirasatriya, A. (2011). Pola Distribusi Klorofil-a dan Total Suspended Solid (TSS) di Teluk Toli Toli, Sulawesi. *Buletin Oseanografi Marina*, *1*(1) 137-149.
- Wisna, U. J., & Ondara, K. (2017). Total Suspended Solid (TSS) Distributed by Tidal Currents during Low to High Tide Phase in the Waters of Sayung, Demak: Its Relations to Water Quality Parameters. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, *3*(2), 154-162.
- Xie, Y., Chen, T. B., Lei, M., Yang, J., Guo, Q. J., Song, B., & Zhou, X. Y. (2011). Spatial distribution of soil heavy metal pollution estimated by different interpolation methods: accuracy and uncertainty analysis. *Chemosphere*, *82*(3), 468-476.

© 2021 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 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>).