

ANALISIS KONSENTRASI TSS DAN PENGARUHNYA PADA KINERJA PELABUHAN MENGGUNAKAN DATA REMOTE SENSING OPTIK DI TELUK KENDARI

(ANALYSIS OF TSS CONCENTRATION AND ITS EFFECT ON PORT PERFORMANCE USING OPTICAL REMOTE SENSING DATA IN KENDARI BAY)

Nurgiantoro¹, Wayan Mustika², Abriansyah³

¹Geografi, Universitas Halu Oleo, Indonesia

²Teknik Sipil, Universitas Halu Oleo, Indonesia

³Teknik Geologi, Universitas Halu Oleo, Indonesia

e-mail: nurgiantoro@uho.ac.id

Diterima: 12 November 2018; Direvisi: 8 November 2019; Disetujui: 9 November 2019

ABSTRACT

TSS material is all particles in water $< 2 \mu\text{m}$ in size consisting of volatile and fixed solids, and can be recorded properly by optical remote sensing satellites. The goal of this study is to analyze the TSS and its effect on port performance in Kendari Bay using Landsat 8 (L8) data. In-situ data from 25 stations were measured to coincide with the L8 record, and the atmospheric effect on its image was corrected with the iCOR plugin which produced a reflectance Bottom of Atmosphere (BoA) value. Regression modeling is used to develop the TSS algorithm using remote sensing reflectance ($R_{rs}(\lambda)$) values in an exponential function. The results showed the red band has the strongest correlation to TSS material with $R^2 = 0,719$ in the function $TSS = 255,09e^{22,256R_{rs}(\lambda)}$. The accuracy of the test results showed the value of $MRE = 6,97\%$ with $RMSE = 35,57 \text{ g/m}^3$. TSS were estimated range from an average of $358,719 \text{ g/m}^3$ with an in-situ average of $359,167 \text{ g/m}^3$, this number has been 4 times greater than the threshold of 80 g/m^3 . Observations from the distribution map showed that the TSS continues moving towards the bay mouth to deep waters. This increase will be very dangerous for ships that are sailing and anchored in the waters of Kendari Bay, because the extreme volume of the TSS will cause sediment deposition causing siltation of the inlet and harbor ponds.

Keywords: *Optical remote sensing satellite, Landsat 8, TSS, Port, Kendari Bay*

ABSTRAK

Materi TSS adalah semua partikel dalam air berukuran $< 2 \mu\text{m}$ terdiri dari padatan mudah menguap dan tetap, sehingga dapat terekam dengan baik oleh satelit penginderaan jauh optik. Tujuan penelitian ini yakni menganalisis TSS dan pengaruhnya terhadap kinerja pelabuhan di Teluk Kendari menggunakan data Landsat 8 (L8). Data *in-situ* dari 25 stasiun diukur bertepatan dengan rekaman L8, dan efek atmosfer pada citranya dikoreksi dengan *plugin iCOR* yang menghasilkan nilai reflektan *Bottom of Atmosphere* (BoA). Pemodelan regresi digunakan untuk membangun algoritma TSS menggunakan nilai *remote sensing reflectance* ($R_{rs}(\lambda)$) pada fungsi eksponensial. Hasilnya menunjukkan kanal merah adalah kanal yang memiliki korelasi terkuat terhadap materi TSS dengan $R^2 = 0,719$ dalam fungsi $TSS = 255,09e^{22,256R_{rs}(\lambda)}$. Hasil uji akurasi menunjukkan nilai *MRE* = 6,97% dengan *RMSE* = 35,57 g/m^3 . TSS estimasi berkisar pada rata-rata 358,719 g/m^3 dengan rata-rata *in-situ* 359,167 g/m^3 , jumlah ini telah 4 kali lebih besar dari ambang batasnya 80 g/m^3 . Hasil pengamatan dari peta distribusi menunjukkan bahwa TSS terus melaju menuju mulut teluk hingga ke perairan dalam. Peningkatan ini akan sangat berbahaya bagi kapal-kapal yang sedang berlayar dan berlabuh di perairan Teluk Kendari, sebab volume TSS yang ekstrim akan menjadi endapan sedimen penyebab pendangkalan alur masuk dan kolam pelabuhan.

Kata kunci: *Satelit penginderaan jauh optik, Landsat 8, TSS, Pelabuhan, Teluk Kendari*

1 PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi pada era revolusi industri 4.0 telah mengubah hidup dan kerja manusia secara fundamental. Beralihnya dunia ke era digital merupakan penanda dari revolusi ini. Senada dengan hal tersebut di atas, kemajuan teknologi satelit observasi bumi sebagai wahana penginderaan jauh sistem optik (*optical remote sensing satellite*, ORS) kerap digunakan, baik untuk pemantauan sumberdaya alam maupun untuk pemantauan kualitas lingkungan perairan. Air dengan konstituen berbeda memiliki karakteristik spektral yang berbeda. Reaksi spektral dari badan air dalam spektrum tampak, memberikan informasi yang efektif pada materi dalam air secara signifikan (Le *et al.*, 2011). Sehingga metode ini dapat digunakan untuk menentukan parameter kualitas air, seperti *total suspended solid* (TSS). Sensor spektral yang semakin canggih dan algoritma yang terus dikembangkan, deteksi parameter seperti TSS dapat ditentukan secara akurat menggunakan data ORS (Bagheri, 2017). Saat ini sensor orbit polar yang beroperasi dengan pita warna laut dan sering digunakan oleh para peneliti khusus dalam pemetaan TSS adalah *Moderate resolution Imaging Spectrometer* (MODIS) dalam satelit Terra dan Aqua (Chen *et al.*, 2015) dan sensor berbasis Landsat juga telah banyak digunakan dalam aplikasi laut (Zhang *et al.*, 2016); (Wang *et al.*, 2018). Penggunaan sensor *the Multispectral Instrument* Sentinel-2 MSI

(Liu *et al.*, 2017), dan Sentinel-3A melalui sensor *the Ocean and Land Colour Instrument*, OLCI (Toming *et al.*, 2017) juga telah dipakai untuk menganalisis TSS, bahkan penelitian terbaru menggunakan satelit Himawari-8 pun telah diujikan terhadap materi TSS (Dorji & Fearn, 2018).

Materi TSS adalah semua partikel dalam air dengan ukuran pori $< 2 \mu\text{m}$ (Branigan, 2013) terdiri dari padatan mudah menguap dan tetap. Zat padat yang mudah menguap adalah senyawa organik dari hewan atau tumbuhan, sedangkan padatan tetap adalah hal-hal seperti pasir, kerikil, dan garam (Lenhart & Lehman, 2006). Sehingga, dengan ukuran tersebut secara optik padatan ini dapat terekam dengan baik. Namun untuk dapat menggunakan data ORS pada studi-studi perairan, perlu memahami klasifikasi perairan laut yang dipartisi ke dalam perairan *Case-1* atau *Case-2*. Partisi ini diperkenalkan pertama kali oleh Morel and Prieur (1977), kemudian disempurnakan oleh Gordon & Morel, (1983). Mereka menyebutkan kriteria kuantitatif untuk mendefinisikan kedua kasus perairan tersebut telah berevolusi menjadi yang umum digunakan saat ini. Dimana perairan *Case-1* adalah perairan yang sifat optiknya ditentukan terutama oleh *phytoplankton* dan *colored dissolved organic matter* (CDOM) serta produk degradasi *detritus*. Sedangkan perairan *Case-2* adalah segalanya, yaitu perairan yang sifat-sifat optiknya secara signifikan dipengaruhi oleh konstituen

seperti partikel mineral, CDOM, atau *microbubbles*, yang konsentrasinya tidak cocok dengan konsentrasi *phytoplankton*.

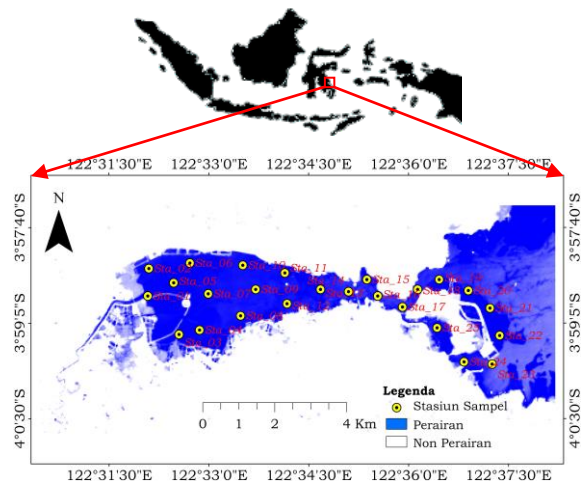
Berdasarkan partisi perairan tersebut di atas, maka perairan-perairan teluk tergolong sebagai perairan *Case-2*. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya penelitian yang berkesimpulan bahwa telah terjadi konsentrasi TSS secara signifikan pada wilayah perairan teluk akibat degradasi lingkungan. Misalnya saja wilayah Teluk Kendari yang berdasarkan hasil penelitian secara observasi langsung, TSS rata-rata di perairannya sebesar 282-392 g/m³ (Irawati *et al.*, 2013) dan makin membesar tiap tahunnya menjadi 672-781 g/m³ (Winnarsih *et al.*, 2016). Tentu hal ini sangat membahayakan sebab perairan Teluk Kendari merupakan wilayah perairan dengan tingkat pelayaran yang tergolong sibuk. Beberapa pelabuhan yang melayani bongkar muat penumpang maupun barang dari dan ke Kota Kendari berada pada wilayah ini. Secara morfologi Teluk Kendari terlihat seperti balon udara, kecil di bagian mulut teluk dan membesar setelah berada didalamnya (Nurgiantoro & Hamdhana, 2019). Sehingga bagi kapal-kapal yang hendak melabuh harus melalui mulut teluk yang sempit dan berkelok. Kondisi semacam ini sangat membahayakan bagi kapal dengan DWT (*Deadweight Tonnage*) besar. Belum lagi masalah pendangkalan pada alur pelayaran yang disebabkan banyaknya sedimentasi yang dipengaruhi oleh besarnya volume padatan tersuspensi. Tentunya peningkatan TSS tersebut sangat berbahaya tidak hanya bagi biota laut, tetapi juga bagi kapal yang sedang berlayar dan melabuh di Teluk Kendari. Volume TSS yang ekstrim akan terbawa oleh arus hingga keluar teluk, dan menjadi endapan sedimen (Selbig & Bannerman, 2011).

Oleh karena itu pemantauan ini menjadi sangat penting guna memonitor sebaran spasial TSS perairan teluknya, dan teknologi ORS memiliki kemampuan itu. Tujuan dalam penelitian ini yakni menganalisis TSS dan pengaruhnya terhadap kinerja pelabuhan di perairan Teluk Kendari menggunakan data ORS.

2 METODOLOGI

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di wilayah Kota Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara, Indonesia. Secara astronomis Kota Kendari terletak di bagian selatan garis khatulistiwa berada di antara 3°54'40" dan 4°5'05" lintang selatan (LS) dan membentang dari barat ke timur diantara 122°26'33" dan 122°39'14" bujur timur (BT). Berdasarkan posisi geografisnya, Kota Kendari memiliki batas-batas: Utara-Kabupaten Konawe; Timur-Laut Kendari; Selatan-Kabupaten Konawe Selatan; Barat-Kabupaten Konawe Selatan. Sedangkan berdasarkan letak geografisnya, wilayah Kota Kendari terletak di bagian Tenggara Pulau Sulawesi, dan daratannya terdapat di daratan Pulau Sulawesi mengelilingi Teluk Kendari. Luas wilayah daratan Kota Kendari adalah 271,76 km² atau 0,7 persen dari luas daratan Provinsinya, dan memiliki dua musim yaitu musim kemarau dan musim penghujan. Sedangkan fokus penelitian ini yakni pada wilayah perairan Teluk Kendari seperti terlihat pada Gambar 2-1 berikut.



Gambar 2-1: Peta lokasi penelitian

2.2 Standardisasi Data

Air sebanyak 1,5 liter diambil menggunakan botol sampel pada 25 stasiun pengamatan di perairan Teluk Kendari untuk kebutuhan TSS *in-situ* yang selanjutnya diproses melalui pengujian laboratorium analitik. Peralatan seperti GPS *Handheld* digunakan sebagai penanda koordinat sampel uji tersebut. Sedangkan data spektral kanal tampak Landsat 8 (L8)

tepatnya di kanal 1-kanal 7 pada *path/row*: 112/63 produk dari *The United States Geological Survey* (USGS), digunakan sebagai bahan ekstraksi konsentrasi TSS. Aplikasi *open sources* SNAP 6.0 digunakan sebagai pengolah data ORS, sedangkan *layout* peta distribusi TSS menggunakan *tools* ArcGIS 10.3 dari *Environmental Systems Research Institute* (ESRI).

2.3 Metode Penelitian

Pengukuran *in-situ* TSS dilaksanakan bersamaan dengan perekaman L8, antara pukul 09.00-14.00 WITA, tanggal 04 Oktober 2018. Penentuan titik-titik pengamatan didigitasi melalui *tools* ArcGIS 10.3 sebanyak 25 stasiun (*tentative map*). Jumlah stasiun tersebut dianggap mewakili keseluruhan TSS perairan Teluk Kendari. Sementara itu, untuk data citra L8 di-*order* melalui laman <https://espa.cr.usgs.gov> sebagai penyedia data Landsat *level-1* dan *level-2*. Penelitian ini difokuskan pada data *level-1* untuk mengekstraksi TSS area studi.

Model penelitian ini menggunakan analisis kuantitatif dari algoritma TSS yang kami modelkan dengan pendekatan panjang gelombang sensor kanal tampak L8 sebagai satelit ORS. Hasil ekstraksi TSS dari algoritma tersebut dibandingkan dengan TSS *in-situ* sebagai parameter uji. Perbandingan dari keduanya akan diuji menggunakan uji akurasi, dalam hal ini akurasi menggunakan nilai *mean relative error* (*MRE*) < 30%. Persamaan *MRE* untuk uji akurasi oleh Wang *et al.*, (2017) berikut dengan *root mean square error* (*RMSE*) adalah sebagai berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (x_i - x_i')^2}{n}} \dots\dots\dots (1)$$

$$MRE = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left| \frac{x_i - x_i'}{x_i} \right|}{n} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

dimana x_i adalah nilai observasi, x_i' adalah nilai hasil pemodelan, dengan n adalah banyaknya data.

Selain uji keakuratan seperti yang dipaparkan di atas, dalam pengolahan citra satelit juga sering dijumpai analisis koefisien determinasi atau analisis R^2 . Analisis ini dibutuhkan manakala terjadi kegagalan pada uji akurasinya, sehingga

dibutuhkan pemodelan algoritma berdasarkan data *in-situ*. Nilai R^2 berkisar pada interval [0,1]. $R^2 = 0$ mengartikan bahwa model tidak menjelaskan apapun dari variabilitas variabel dependen *fuzzy*. Sedangkan $R^2 = 1$ menyatakan kasus sempurna, dalam arti bahwa model menginterpolasi seluruh observasi secara sempurna dan mewakili variabilitas dari variabel dependen *fuzzy*. Namun, dua kejadian ekstrim tersebut sangat jarang ditemui pada penerapannya, sehingga pendekatannya yaitu model dikatakan memuaskan apabila $R^2 \approx 1$ (Kharisudin, 2009).

Pemodelan TSS perairan Teluk Kendari dalam penelitian ini dimodelkan dengan menggunakan panjang gelombang kanal tampak L8 masing-masing terkoreksi atmosfer. Penggunaan *plugin iCOR* L8 yang diunduh pada laman remotesensing.vito.be/case/icor dan diinstallkan kedalam aplikasi *open source* SNAP 6.0 milik *the European Space Agency* (ESA) adalah yang digunakan dalam pengoreksian tersebut. Tujuan utamanya yaitu memperbaiki produk citra dari efek atmosfer, dan *output* dari proses *iCOR* ini menghasilkan nilai reflektan permukaan (*surface reflectance*, sr) atau nilai reflektan *Bottom of Atmosphere* (BoA) tiap-tiap kanal tampak di L8. Kemudian, produk *iCOR* pada masing-masing kanal harus dibagi dengan bilangan pi (π) untuk mendapatkan nilai *remote sensing reflectance* ($R_{rs}(\lambda)$) dalam satuan sr^{-1} (Bobsaid and Jaelani, 2017). Nilai $R_{rs}(\lambda)$ inilah yang akan dijadikan sebagai parameter dalam memodelkan algoritma penduga materi TSS di area studi. Pemodelan algoritma tersebut dibangun hanya menggunakan kanal tunggal dengan pertimbangan untuk mempertahankan keaslian $R_{rs}(\lambda)$ dari satelit. Adapun teknis pemodelannya yaitu dengan model regresi, yakni membuat korelasi antara $R_{rs}(\lambda)$ di tiap-tiap kanal tampak dengan TSS *in-situ*, dan hasil korelasinya kami tetapkan $R^2 > 0,5$ yang berarti korelasi menunjukkan ≈ 1 dengan anggapan berkorelasi cukup hingga sangat kuat. Pengembangan pemodelan algoritma empiris ini merujuk pada pemodelan-pemodelan sebelumnya dimana beberapa penelitian menggunakan pemodelan fungsi

exponensial untuk mendefinisikan konsentrasi TSS wilayah penelitiannya.

Kaitannya dengan pengkoreksian citra seperti yang dijelaskan di atas, otoritas penyedia data citra melalui *The United States Geological Survey-Earth Resources Observation and Science Center* (USGS EROS) telah memberi layanan yang memudahkan para peneliti, disamping menyediakan data citra *free download*, juga menyediakan data citra yang telah dikoreksi. Mulai Juni 2011, semua kalibrasi radiometrik citra yang dilepas ke publik telah diterapkan pada data Landsat yang dipesan melalui USGS EROS (Markham & Helder, 2012). Begitu pula Kualitas geometrik produk data Landsat *level-1* dapat dikuantifikasi per *scene*, basis untuk setiap instrumennya adalah keakuratan geodetik yang terkait dengan titik kontrol permukaan (*ground control points*, GCP). Sebagian besar data Landsat yang diaktifkan melalui web <https://earthexplorer.usgs.gov/> telah diproses sebagai L1T (*terrain corrected*) yaitu, presisi dan bidang dikoreksi (Roy et al., 2010). Hal tersebut dapat memenuhi kriteria geodetik, dan ini memiliki makna bahwa citra Landsat dapat langsung digunakan tanpa harus mengkoreksi geometrikinnya.

3 HASIL PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

3.1.1 Data In-situ TSS

Data *in-situ* dalam penelitian ini yaitu data TSS yang diperoleh secara observasi langsung di lokasi penelitian. Pengambilan sampel air laut dilakukan pada hari dimana satelit melakukan adegan perekaman di wilayah studi, tepatnya pada 04 Oktober 2018. Pengujian laboratorium terhadap parameter TSS sebanyak 25 stasiun (Sta) menggunakan spesifikasi metode *gravimetri* dalam unit satuan g/m^3 . Dari 25 titik sampel TSS uji, 13 stasiun dengan penomoran Sta ganjil digunakan untuk membangun algoritma penduga TSS perairan Teluk Kendari, sedangkan 12 stasiun dengan Sta penomoran genap digunakan sebagai titik validasi.

Tabel 3-1: DATA *IN-SITU* TSS

Sta	Lintang (°)	Bujur (°)	TSS (g/m^3)
01	-3,97800	122,53473	450
02	-3,97121	122,53500	380
03	-3,98750	122,54256	510
04	-3,98642	122,54769	430
05	-3,97475	122,54121	440
06	-3,96986	122,54527	450
07	-3,97746	122,54986	370
08	-3,98290	122,55796	320
09	-3,97639	122,56175	300
10	-3,97041	122,55851	370
11	-3,97232	122,56905	380
12	-3,97992	122,56959	320
13	-3,97639	122,57797	360
14	-3,97694	122,58499	320
15	-3,97396	122,58959	350
16	-3,97803	122,59229	330
17	-3,98075	122,59850	320
18	-3,97641	122,60229	320
19	-3,97397	122,60769	310
20	-3,97668	122,61499	290
21	-3,98103	122,62039	300
22	-3,98781	122,62282	350
23	-3,99487	122,62093	240
24	-3,99432	122,61390	430
25	-3,98591	122,60715	350

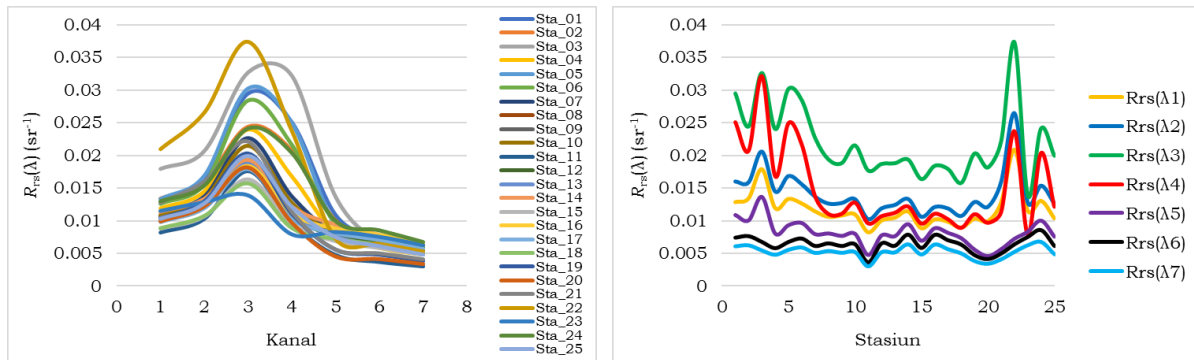
Sumber: UPTD Balai Labkes Daerah Sultra

3.1.2 Data Citra

Data citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra Landsat 8 hasil unduhan dari laman <https://espa.cr.usgs.gov> pada *path/row*: 112/063, dengan nama ID: *LC08_L1TP_112063_20181004_20181010_01_T1*. Pengambilan data citra melalui laman tersebut di atas yaitu dengan cara memesan berdasarkan produk ID yang diinginkan. Hasil pemesanan akan dinotifikasikan melalui email yang kita gunakan saat memesan produk.

3.1.3 Koreksi Data L8

Nilai $R_{rs}(\lambda)$ pada penelitian ini adalah nilai reflektan BoA tiap kanal tampak L8, dianalisis menggunakan *plugin iCOR*. Kemudian, masing-masing luarannya dibagi π untuk mendapatkan nilai $R_{rs}(\lambda)$. Gambar 3-1 adalah hasil plot grafik dari $R_{rs}(\lambda)$ pada masing-masing kanal terhadap 25 stasiun pengamatan.



Gambar 3-1: Grafik $R_{rs}(\lambda)$ kanal 1-kanal 7 Landsat 8 pada 25 stasiun pengamatan TSS

3.1.4 Pemodelan Algoritma TSS

Pemodelan algoritma konsentrasi TSS yang dibangun dengan respon panjang gelombang pada masing-masing kanal tampak erat kaitannya dengan reflektan dari materi yang direkam. Sehingga dengan demikian, pemodelan TSS perairan area studi dimodelkan dengan menggunakan panjang gelombang kanal tampak L8 yang masing-masing terkoreksi atmosfer. Pemodelan empiris dibangun hanya menggunakan kanal tunggal untuk mempertahankan keaslian nilai $R_{rs}(\lambda)$ dari satelit. Pengembangan algoritma empiris ini menggunakan pemodelan regresi fungsi eksponensial. Dari 25 titik sampel uji, 13 stasiun dengan penomoran Sta ganjil digunakan untuk membangun algoritma penduga TSS, sedangkan Sta dengan penomoran genap

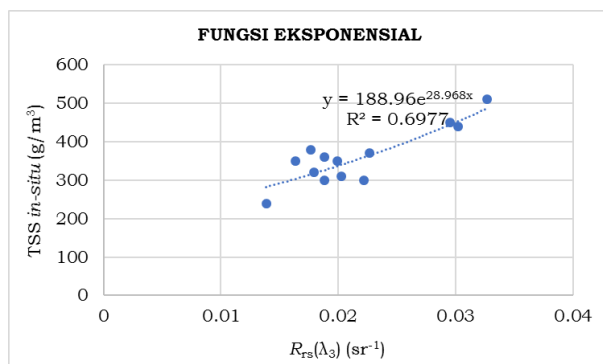
digunakan sebagai titik validasi (lihat Tabel 3-1). Tabel 3-2 adalah hasil analisis determinasi R^2 antara $R_{rs}(\lambda)$ di kanal 1 sampai kanal 7 pada 13 titik stasiun TSS *in-situ* perairan Teluk Kendari.

Hasil analisis R^2 seperti pada Tabel 3-2 di atas, menunjukkan bahwa materi TSS perairan Teluk Kendari berkorelasi kuat dengan $R_{rs}(\lambda_3)$ sebagai kanal hijau dan $R_{rs}(\lambda_4)$ sebagai kanal merah masing-masing bernilai $R^2 > 0,5$. Kanal merah memiliki nilai paling signifikan dengan $R^2 = 0,718$ dan kanal hijau bernilai $R^2 = 0,697$. Sedangkan lima kanal lainnya tidak signifikan menunjukkan adanya korelasi yang kuat. Berikut ini adalah algoritma penduga TSS perairan Teluk Kendari yang dibangun pada fungsi eksponensial.

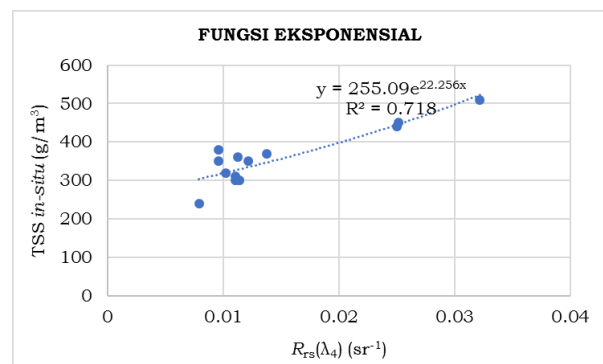
Tabel 3-2: NILAI R^2 ANTARA $R_{rs}(\lambda)$ DENGAN TSS *IN-SITU* PERAIRAN TELUK KENDARI

Fungsi eksponensial	R^2						
	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7
TSS = ae^{bx}	0,270	0,337	0,697	0,718	0,378	0,008	0,005

Sumber: Hasil analisis koefisien determinasi R^2



(a) Algoritma Model I



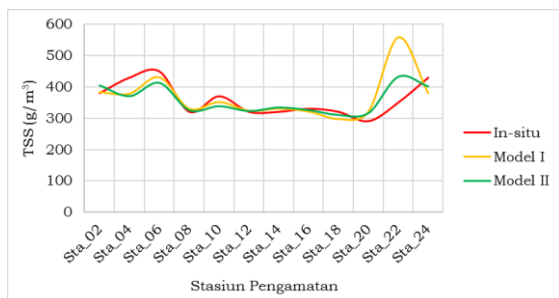
(b) Algoritma Model II

Gambar 3-2: Pemodelan algoritma penduga TSS perairan Teluk Kendari

3.2 Pembahasan

3.2.1 Pengembangan Algoritma TSS

Hasil pemodelan algoritma TSS dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kanal merah adalah kanal yang merespon paling baik terhadap materi TSS perairan Teluk Kendari. Nilai koefisien determinasi yang dihasilkan kanal tersebut yakni $R^2 = 0,718$ dalam fungsi eksponensial. Sedangkan fungsi algoritma masukkan yang dihasilkan adalah $TSS = 255,09e^{22,256Rrs(\lambda_4)}$ (Model II). Selain itu, kanal hijau pun menunjukkan respon terhadap materi TSS area studi dengan perolehan $R^2 = 0,697$ lebih rendah 0,021 dari nilai determinasi yang ditunjukkan oleh kanal merah. Fungsi algoritma masukkan berdasarkan kanal hijau adalah $TSS = 188,96e^{28,968Rrs(\lambda_3)}$ (Model I). Gambar 3-3 adalah grafik nilai konsentrasi TSS estimasi perairan Teluk Kendari yang dikalkulasikan dengan kedua algoritma di atas terhadap 12 stasiun yang dijadikan sebagai titik validasi.



Gambar 3-3: TSS estimasi hasil ekstraksi dari citra L8, kanal hijau (Model I) dan kanal merah (Model II)

Informasi dari Gambar 3-3 menunjukkan bahwa pola garis dari algoritma Model I (garis kuning) dan Model II (garis hijau) identik dengan TSS *in-situ* yang ditunjukkan oleh garis merah. Kendatipun demikian, keakurasian TSS hasil dari kedua model algoritma tersebut (TSS estimasi) harus dilakukan dengan cara uji akurasi terhadap TSS hasil observasi langsung di lapangan (TSS *in-situ*). Proses ini akan memberikan kesimpulan algoritma mana yang akan terpilih menjadi algoritma pengekstraksi TSS di area studi. Untuk kasus pemilihan algoritma model yang dibangun dengan menggunakan nilai $R_{rs}(\lambda)$ dari satelit, beberapa peneliti menggunakan R^2 tertinggi untuk mengambil kesimpulannya seperti yang dilakukan oleh Nurgiantoro & Jaelani (2017); dan Jaelani *et al.* (2016), sedangkan dalam kasus lainnya pemilihan pemodelan algoritma didasarkan atas nilai *MRE* (Laili *et al.*, 2015).

3.2.2 Uji Keakurasian Algoritma TSS

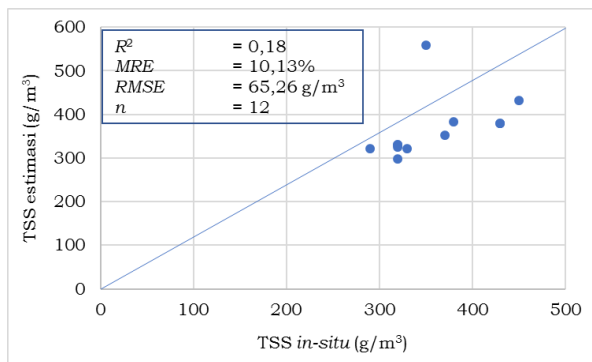
Proses uji akurasi terhadap algoritma TSS yang telah terbangun adalah dengan melihat kedekatan nilai konsentrasi TSS estimasi dengan TSS *in-situ*. Untuk melihat nilai kedekatan tersebut yakni dengan cara memperhatikan hasil atas *MRE* dan *RMSE*. Nilai *MRE* < 30% dan *RMSE* terkecil akan menyimpulkan keakurasian dari suatu algoritma. Kesimpulan inilah yang dijadikan dasar pemilihan terhadap suatu algoritma. Dari hasil kalkulasi TSS menggunakan kedua

Tabel 3-3: PERBANDINGAN KONSENTRASI TSS ESTIMASI DAN TSS *IN-SITU* TELUK KENDARI

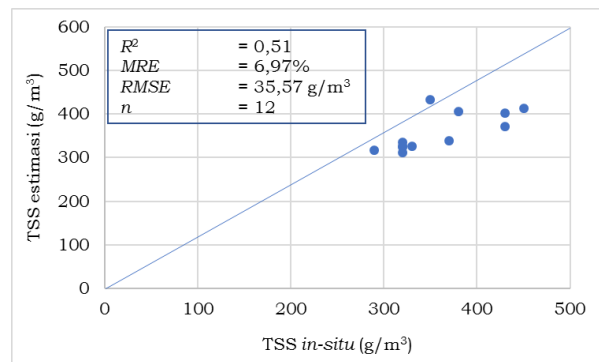
Sta	Lintang (°)	Bujur (°)	TSS (g/m³)		
			Estimasi Model I	Estimasi Model II	<i>In-situ</i>
02	-3,97121	122,53500	383,756	405,097	380
04	-3,98642	122,54769	379,261	371,157	430
06	-3,96986	122,54527	431,316	413,416	450
08	-3,98290	122,55796	331,373	326,371	320
10	-3,97041	122,55851	352,566	339,238	370
12	-3,97992	122,56959	324,640	323,882	320
14	-3,97694	122,58499	331,281	335,067	320
16	-3,97803	122,59229	322,214	326,726	330
18	-3,97641	122,60229	298,390	311,283	320
20	-3,97668	122,61499	322,166	317,477	290

22	-3,98781	122,62282	558,711	433,050	350
24	-3,99432	122,61390	380,338	401,862	430

Sumber: Hasil analisis TSS estimasi pada model I dan Model II



(a) Uji akurasi pada Model I



(b) Uji akurasi pada Model II

Gambar 3-4: Hasil uji akurasi antara TSS estimasi dan TSS *in-situ* perairan Teluk Kendari

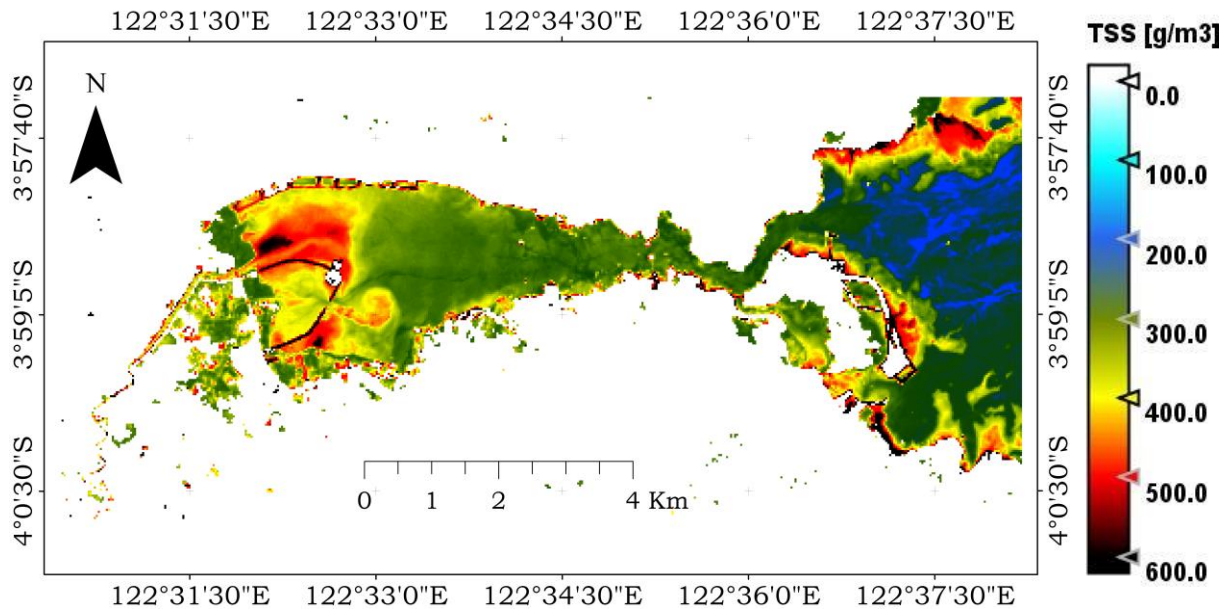
algoritma Model I dan Model II terhadap 12 titik validasi, rata-rata TSS estimasi pada Model I sebesar 368,001 g/m³ dan pada Model II sebesar 358,719 g/m³ dengan rata-rata TSS *in-situ* 359,167 g/m³. Sedangkan selisih rata-rata TSS estimasi terhadap TSS *in-situ* yakni sebesar 8,83 g/m³ pada Model I dan 0,45 g/m³ pada Model II. Dengan memperhatikan hasil TSS estimasi pada setiap stasiun dalam Tabel 3-3, TSS estimasi pada stasiun 22 hasil kalkulasi Model I sangat jauh berbeda dengan TSS *in-situ* atau berbeda 208,71 g/m³. Sedangkan pada stasiun-stasiun validasi lainnya memperlihatkan TSS estimasi ≈ TSS *in-situ*. Gambar 3-4 adalah grafik hubungan antara TSS estimasi dan TSS *in-situ* pada Model I dan Model II.

Hasil akurasi dua model algoritma TSS terhadap 12 stasiun validasi menunjukkan nilai *MRE* pada Model I = 10,13% dengan *RMSE* = 65,26 g/m³. Sedangkan nilai *MRE* pada Model II = 6,97% dengan *RMSE* = 35,57 g/m³. Dari informasi nilai-nilai di atas, kedua model sama-sama memiliki nilai *MRE* < 30% dan *RMSE* kecil dihasilkan oleh Model II. Hubungan antara TSS estimasi dan TSS *in-situ* yang ditunjukkan pada Gambar 3-4 memperlihatkan bahwa Model I memiliki hubungan lemah dengan $R^2 = 0,18$ sedangkan hubungan cukup kuat ditunjukkan oleh Model II dengan $R^2 = 0,51$. Sehingga dengan demikian, atas informasi keakurasian

tersebut di atas, maka Model II adalah model terbaik sebagai algoritma penduga konsentrasi TSS di perairan Teluk Kendari dengan fungsi algoritma $TSS = 255,09e^{22,256Rrs(\lambda_4)}$ dalam unit satuan g/m³. Terpilihnya model tersebut, menambah daftar bahwa materi TSS pada perairan-perairan teluk merespon baik oleh kanal merah pada satelit ORS dan ini sejalan dengan beberapa peneliti terdahulu seperti Budhiman *et al.* (2004); Parwati & Purwanto (2017); Zhang *et al.* (2014); dan Wu *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa materi TSS perairan *estuary* sangat merespon oleh kanal merah satelit ORS.

3.2.3 Distribusi TSS Teluk Kendari

Berdasarkan penjelasan tentang partisi perairan laut yang diklasifikasikan menjadi *Case-1* dan *Case-2*, maka perairan Teluk Kendari tergolong sebagai perairan *Case-2*. Hal ini dibuktikan dengan tingginya konsentrasi TSS hasil dari pengukuran langsung di wilayah perairannya. Sedangkan untuk distribusinya, metode pengukuran melalui citra satelit ORS lebih baik ketimbang melakukannya dengan cara interpolasi dari data *in-situ*, sebab materi dalam air memiliki reflektan yang mampu direkam oleh citra satelit.



Gambar 3-5: Peta distribusi TSS perairan Teluk Kendari perekaman 04 Oktober 2018

Pernyataan ini sesuai dengan apa yang telah dipaparkan oleh Le *et al.* (2011) dalam penelitiannya yang menyebutkan bahwa air dengan konstituen yang berbeda memiliki karakteristik spektral yang berbeda. Reaksi spektral dari badan air (*the water body*) dalam spektrum tampak (*visible spectrum provides*) memberikan informasi yang efektif pada materi yang secara nyata signifikan dalam air. Gambar 3-5 adalah distribusi TSS perairan Teluk Kendari dari algoritma terpilih (Model II) yang dimodelkan berdasarkan $R_{rs}(\lambda)$ kanal merah Landsat 8 dalam fungsi algoritma $TSS = 255,09e^{22.256Rrs(\lambda_4)}$.

Peta distribusi TSS perairan Teluk Kendari yang diperlihatkan oleh Gambar 3-5, mengidentifikasi bahwa konsentrasi TSS tertinggi berada pada muara sungai. Konsentrasi TSS tinggi juga terlihat pada wilayah pesisir bagian luar teluk antara $122^{\circ}36'00''$ - $122^{\circ}37'30''$ E dan $03^{\circ}57'40''$ - $04^{\circ}0'30''$ S. TSS dalam teluk terpantau terus bergerak menuju mulut teluk hingga keluar teluk, dari hasil uji laboratorium terhadap 25 sampel air yang diambil di wilayahnya, semua TSS > 80 g/m³ dengan rata-rata TSS = 359,60 g/m³ sedangkan rata-rata TSS hasil ekstraksi citra L8 pada 12 titik validasi sebesar 358, 719 g/m³. Sehingga kami berkesimpulan bahwa TSS perairan Teluk Kendari 4 kali lebih besar dari nilai baku mutunya yang

bernilai < 80 g/m³. Kesimpulan ini juga diperkuat oleh Irawati *et al.* (2013); Winnarsih *et al.* (2016) yang menyebutkan bahwa TSS perairan Teluk Kendari telah keluar dari baku mutunya.

Dari peta distribusi TSS sebagaimana diperlihatkan oleh Gambar 3-5, terlihat jelas bahwa pola sebaran TSS perairan Teluk Kendari terus melaju mengarah ke perairan dalam (perairan luar teluk). Sedangkan dari konsentrasinya terpantau bahwa bagian muara merupakan area yang memiliki konsentrasi paling tinggi. Dari peta tersebut juga terpantau bahwa Sungai Wanggu adalah penyumbang padatan tersuspensi yang paling dominan ke perairan Teluk Kendari, bahkan telah terbentuk delta di muara sungainya (lihat warna hitam pada Gambar 3-5). Dari informasi pola distribusi ini, kami menduga bahwa Daerah Aliran Sungai (DAS) Wanggu telah terdegradasi. Merujuk pada penelitian terdahulu tentang TSS, bahwa padatan tersuspensi adalah bagian alami dari lingkungan dimana proses seperti erosi, banjir, kebakaran hutan, angin, aksi gelombang, dan badai dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi TSS di perairan dekat. Selain itu, geologi setiap DAS juga mempengaruhi jumlah padatan tersuspensi melalui proses aliran permukaannya (Branigan, 2013). Bahkan aktivitas manusia di sekitar DAS seperti pembangunan konstruksi, pertanian, penambangan, dan

pembangunan perkotaan, pun meningkatkan jumlah padatan tersuspensi di perairan penerima, dan ini menimbulkan ancaman berkelanjutan bagi kelangsungan hidup perairan *estuary* (Environmental Protection Agency and Water, 1994). Dengan demikian, maka perairan Teluk Kendari harus segera mendapat perlakuan istimewa dalam penanganan kualitas lingkungannya. Baik di lingkungan terdampak, maupun pada lingkungan yang mempengaruhinya sebab hasil pantauan dari data citra satelit yang kami gunakan, sebaran TSS terus melaju ke perairan dalam.

3.2.4 Potensi Endapan Sedimen di Area Pelabuhan

Konsentrasi TSS selain digunakan sebagai indikasi kondisi ekologi dari perairan tertentu, juga dapat digunakan sebagai indikator pendangkalan area pelabuhan sebab TSS sangat berhubungan dengan sedimentasi (Selbig & Bannerman, 2011). Pada kasus perairan Teluk Kendari, dampak TSS adalah yang paling menarik untuk dibahas sebab dalam wilayah perairannya terdapat beberapa pelabuhan diantaranya ialah pelabuhan penyeberangan, pelabuhan perikanan, pelabuhan Pertamina, pelabuhan *cargo*, dan pelabuhan TNI Angkatan Laut.

Konsentrasi TSS perairan Teluk Kendari yang telah 4 kali lebih besar dari ambang bakunya merupakan ancaman serius bagi keberadaan pelabuhan-pelabuhan yang terbangun di wilayah ini. Tidak hanya itu, keselamatan pelayaran dari dan ke Teluk Kota Kendari pastinya juga akan terdampak. TSS yang terbawa arus Sungai Wanggu dan juga dipengaruhi oleh pasang surut serta gelombang, terus bergerak keluar mulut teluk ke perairan dalam. Apabila masalah lingkungan ini tidak segera diatasi, maka pendangkalan di area kolam pelabuhan niscaya akan dipenuhi oleh endapan sedimen akibat dari konsentrasi TSS yang berlebih. Bukan hanya itu, penyempitan alur di mulut teluk juga akan terus menyempit oleh kondisi ini. Asumsi terparah ialah mulut teluk tidak akan bisa dilewati lagi oleh

kapal-kapal yang akan melabuh dalam perairannya, bahkan teluk ini akan menjadi teluk mati, dan jika melihat hasil penelitian ini, maka diperkirakan hal tersebut tidak akan terjadi.

4 KESIMPULAN

Penggunaan data *in-situ* TSS sebanyak 25 stasiun yang terbagi menjadi 13 stasiun dengan penomoran Sta ganjil untuk membangun algoritma dan 12 stasiun dengan penomoran Sta genap sebagai titik validasi, serta data citra L8 terkoreksi atmosfer *iCOR* menunjukkan nilai $R_{rs}(\lambda)$ kanal merah adalah kanal yang memiliki korelasi paling kuat terhadap TSS perairan Teluk Kendari dengan $R^2 = 0,718$ dan menghasilkan fungsi algoritma $TSS = 255,09e^{22,256R_{rs}(\lambda)}$. Uji keakuratan algoritma yang kami ujikan terhadap 12 stasiun menunjukkan nilai $MRE = 6,97\%$ dengan $RMSE = 35,57 \text{ g/m}^3$. TSS estimasi hasil dari ekstraksi citra menggunakan fungsi tersebut berkisar pada angka rata-rata 358, 719 g/m^3 dengan rata-rata *in-situ* sebesar 359,167 g/m^3 , angka ini telah 4 kali lebih besar dari baku mutunya yakni 80 g/m^3 . Hasil pengamatan dari peta distribusi TSS menunjukkan bahwa TSS terus melaju menuju mulut teluk hingga keperairan dalam. Peningkatan TSS ini sangat berbahaya tidak hanya bagi biota laut yang ada di teluk, tetapi juga bagi kapal-kapal yang sedang berlayar dan berlabuh di perairan Teluk Kendari, sebab volume TSS yang ekstrim akan terbawa oleh arus hingga keluar teluk, dan menjadi endapan sedimen penyebab pendangkalan alur masuk dan kolam pelabuhan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis berterima kasih kepada seluruh tim peneliti dan pihak-pihak terkait khususnya Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Halu Oleo (LPPM-UHO) yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bagheri, S. (2017). *Hyperspectral Remote Sensing of Water Quality*. Gewerbestrasse 11, 6330 Cham, Switzerland: Springer International

- Publishing AG.
- Bagheri, S., Zetlin, C. & Dios, R. (1999). Estimation of optical properties of nearshore water, *International Journal of Remote Sensing*, 20(17), pp. 3393–3397.
- Bobsaid, M. W. & Jaelani, L. M. (2017). Studi Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 dan Sentinel-2A (Studi Kasus: Perairan Pulau Poteran dan Gili Iyang, Madura), *Jurnal Teknik*, 6(2), pp. 6–11.
- Branigan, J. A. (2013). *Development of a Field Test Method for Total Suspended Solids Analysis*, University of Nebraska - Lincoln. University of Nebraska.
- Budhiman, S., Hobma, T. & Vekerdy, Z. (2004). Remote Sensing for Mapping TSM Concentration in Mahakam Delta: an Analytical Approach', *The Thirteenth Workshop of OMISAR*, pp. 1–14.
- Chen, S., Han, L., Chen, X., Li, D., Sun, L. & Li, Y. (2015). Estimating wide range Total Suspended Solids concentrations from MODIS 250-m imageries: An improved method, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Inc. (ISPRS), 99, pp. 58–69.
- Dorji, P. & Fearn, P. (2018). Atmospheric correction of geostationary Himawari-8 satellite data for Total Suspended Sediment mapping: A case study in the Coastal Waters of Western Australia, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. Elsevier, 144(June), pp. 81–93.
- Environmental Protection Agency and Water, E. O. of (1994). The quality of our nation's waters: 1992, 305, p. Report No. EPA 841-S-94-002.
- Gordon, H. R. & Morel, A. Y. (1983). *Remote Assessment of Ocean Color for Interpretation of Satellite Visible Imagery, A Review. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies*. New York: Springer.
- Irawati, N., Adiwilaga, E. M. & Prawitiwi, N. T. M. (2013). Hubungan Produktivitas Primer Fitoplankton dengan Ketersediaan Unsur Hara dan Intensitas Cahaya di Perairan Teluk Kendari Sulawesi Tenggara, *Jurnal Biologi Tropis*, 13(2), pp. 197–208.
- Jaelani, L., Limehuwey, R., Kurniadin, N., Pamungkas, A., Koenhardono, E. & Sulisetyono, A. (2016). Estimation of Total Suspended Sediment and Chlorophyll-A Concentration from Landsat 8-Oli: The Effect of Atmospher and Retrieval Algorithm, *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 27(1).
- Kharisudin, I. (2009). Koefisien Determinasi Regresi Fuzzy Simetris untuk Pemilihan Model Terbaik, *Jurnal Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika: Penelitian dan Pendidikan Matematika serta Kontribusinya dalam Upaya Pencapaian WCU (World Class University)*, pp. 895–909.
- Laili, N., Arafah, F., Jaelani, L., Subehi, L., Pamungkas, A., Koenhardono, E. & Sulisetyono, A. (2015). Development of Water Quality Parameter Retrieval Algorithms for Estimating Total Suspended Solids and Chlorophyll-a Concentration using Landsat-8 Imagery at Poteran Island Water, II(October), pp. 28–30.
- Le, C., Li, Y., Zha, Y., Sun, D., Huang, C. & Zhang, H. (2011). Remote estimation of chlorophyll a in optically complex waters based on optical classification, *Remote Sensing of Environment*. Elsevier B.V., 115(2), pp. 725–737.
- Lenhart, J. H. & Lehman, J. M. (2006). Measuring Total Volatile Suspended Solids in Stormwater to Understand the Influence of Organic Matter on BMP Performance, *World Environmental and Water Resources Congress 2006*, 5(800), pp. 375–375.
- 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), p. 761.

- Markham, B. L. & Helder, D. L. (2012). Forty-year calibrated record of earth-reflected radiance from Landsat: A review, *Remote Sensing of Environment*, 122, pp. 30–40.
- Morel, A. & Prieur, L. (1977). Analysis of variations in ocean color, *Limnology and Oceanography*, 22(4), pp. 709–722.
- Nurgiantoro & Hamdhana (2019). Analisis Spasial Distribusi SSS Menggunakan Data Citra Landsat 8-OLI Sebagai Pedoman Dalam Mitigasi Korosi Laut (Studi Kasus: Perairan Teluk Kendari), *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 1, pp. 1–7.
- Nurgiantoro & Jaelani, L. M. (2017). Monitoring of Total Suspended Solid in Coastal Waters due to Conventional Gold Mining Using Multi Temporal Satellite Data, Case Study: Bombana, Southeast Sulawesi, *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 0(2), pp. 84–89.
- 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*, 14(1), pp. 61–70.
- Roy, D. P., Ju, J., Kline, K., Scaramuzza, P. L., Kovalskyy, V., Hansen, M., Loveland, T.R., Vermote, E. & Zhang, C. (2010). Web-enabled Landsat Data (WELD): Landsat ETM+ composited mosaics of the conterminous United States, *Remote Sensing of Environment*. Elsevier Inc., 114(1), pp. 35–49.
- Selbig, W. R. & Bannerman, R. T. (2011). Ratios of total suspended solids to suspended sediment concentrations by particle size, *Journal of Environmental Engineering*, 137(11), pp. 1075–1081.
- Toming, K., Kutser, T., Uiboupin, R. Arikas, A., Vahter, K. & Paavel, B. (2017). Mapping water quality parameters with Sentinel-3 Ocean and Land Colour Instrument imagery in the Baltic Sea, *Remote Sensing*, 9(10).
- Wang, C., Chen, S., Li, D., Wang, D., Liu, W. & Yang, J. (2017). A Landsat-based model for retrieving total suspended solids concentration of estuaries and coasts in China, *Geoscientific Model Development*, 10(12), pp. 4347–4365.
- Wang, C., Li, W., Chen, S., Li, D., Wang, D. & Liu, J. (2018). The spatial and temporal variation of total suspended solid concentration in Pearl River Estuary during 1987–2015 based on remote sensing, *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 618(November 2017), pp. 1125–1138.
- Winnarsih, Emiyarti & Afu, L. O. A. (2016). Distribusi Total Suspended Solid Permukaan di Perairan Teluk Kendari, *Sapa Laut*, 1(2), pp. 54–59.
- Wu, G., Cui, L., Fei, T. & Liu, Y. (2013). An approach for developing Landsat-5 TM-based retrieval models of suspended particulate matter concentration with the assistance of MODIS, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Inc. (ISPRS), 85, pp. 84–92.
- Zhang, M., Dong, Q., Cui, T., Xue, C. & Zhang, S. (2014). Suspended sediment monitoring and assessment for Yellow River estuary from Landsat TM and ETM+ imagery, *Remote Sensing of Environment*. Elsevier Inc., 146, pp. 136–147.
- Zhang, Y., Zhang, Y., Shi, K., Zha, Y., Zhou, Y. & Liu, M. (2016). A Landsat 8 OLI-Based, Semianalytical Model for Estimating the Total Suspended Matter Concentration in the Slightly Turbid Xin'anjiang Reservoir (China), *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(1), pp. 398–413.