

Pengembangan Awal Formula Empiris Berbasis Proses Penyebaran Sedimen Tersuspensi di Perairan Pesisir Tanara

Delilla Suhanda^{1*}, Totok Suprijo², Budhy Soeksmantono³

¹Program Studi Sains Kebumian, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung

²Kelompok Keahlian Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung

³Kelompok Keahlian Inderaja dan Sains Informasi Geografis, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No. 10 Lb. Siliwangi, Coblong, Bandung, Jawa Barat 40132 Indonesia

*Corresponding author, e-mail: delillasuhanda@gmail.com

ABSTRAK: Transport sedimen tersuspensi adalah salah satu proses yang terjadi di wilayah pesisir khususnya estuari. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui algoritma pengukuran konsentrasi sedimen tersuspensi menggunakan data citra Landsat yang sesuai untuk Perairan Tanara berdasarkan pengukuran in-situ. Metode purposive sampling dipilih untuk menentukan lokasi sampling di enam stasiun pada tanggal 10 April 2012. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan bottle sampler (botol Nansen) secara langsung pada kedalaman 0,2d. Pengolahan sampel lapangan diolah dengan metode SNI 03-3961-1995 untuk mengetahui jumlah berat sedimen melayang dalam air. Selanjutnya pengolahan data citra satelit menggunakan Landsat 8 dilakukan dengan koreksi radiometrik, atmosferik, dan aplikasi algoritma sedimen tersuspensi yang telah dikembangkan oleh Budhiman (2004) untuk mengetahui hasil yang paling mendekati nilai data lapangan dari ketiga algoritma tersebut. Dari hasil pengolahan data dan analisa validasi menggunakan Root Mean Square Error (RMSE) dari data in-situ dengan ketiga algoritma tersebut bernilai 16,85. Setelah dilakukan modifikasi algoritma yang dikembangkan oleh Budhiman (2004) nilai RMSE menjadi 8,61. Modifikasi algoritma diaplikasikan pada data citra dari tahun 2013–2015. Sebaran konsentrasi sedimen tersuspensi di Perairan Tanara yang dipengaruhi dominan oleh aliran debit sungai.

Kata kunci: Sedimen tersuspensi; Landsat 8; modifikasi algoritma; Perairan Tanara; RMSE.

Preliminary Development of Process-Based Empirical Formula of Suspended Sediment Spreading at Tanara Coastal Waters

ABSTRACT: *Suspended sediment transport is one process that occurs in coastal areas, especially estuaries. This study aimed to determine the algorithm for measuring suspended sediment concentration using Landsat imagery data that was suitable for Tanara Waters based on in-situ measurements. The purposive sampling method was chosen to determine sampling locations at six stations on April 10, 2012. Sampling was carried out using a bottle sampler (Nansen bottle) directly at a depth of 0.2d. Field samples were processed using the SNI 03-3961-1995 method to determine the water's total weight of suspended sediment. Furthermore, the processing of satellite image data using Landsat 8 is carried out with radiometric correction, atmospheric correction, and the application of the suspended sediment algorithm that has been developed by Budhiman (2004) to find out the results that are closest to the value. Field data from the three algorithms. From the data processing and validation analysis results using the Root Mean Square Error (RMSE) from in-situ data with the three algorithms, the value is 16.85. After modification of the algorithm developed by Budhiman (2004), the RMSE value became 8.61. Algorithm modification was applied to image data from 2013 – 2015. Spontaneous sediment concentration distribution in Tanara Waters is influenced by river flow.*

Keywords: *Suspended Sediment; Landsat 8; algorithm modification; Tanara Waters; RMSE*

PENDAHULUAN

Wilayah pesisir dan estuari merupakan daerah pertemuan antara wilayah darat dan laut. Salah satu proses yang terjadi di wilayah pesisir khususnya estuari adalah proses transport sedimen

tersuspensi. Proses ini terjadi di di daerah estuari yang dipengaruhi oleh kondisi hidrodinamika dari daratan seperti aliran sungai (Müller and Förstner, 1968; Wang et al., 2006). Peningkatan konsentrasi sedimen tersuspensi di perairan dipengaruhi oleh aliran sungai yang masuk ke perairan. Saat aliran debit sungai tinggi maka, konsentrasi sedimen tersuspensi akan meningkat (Brasington dan Richards, 2000; Meade dan Moody, 2010; Müller dan Förstner, 1968; Wang et al., 2006).

Muatan sedimen yang masuk ke perairan dapat diukur konsentrasinya secara spasial dan temporal dengan menggunakan bantuan data citra satelit (Duane Nellis et al., 1998; Cai et al., 2015; Kumar et al., 2016; Wackerman et al., 2017). Sejak tahun 1970-an penggunaan citra untuk mengukur konsentrasi sedimen tersuspensi terus berkembang. Data citra satelit yang dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi sedimen tersuspensi salah satunya adalah menggunakan Landsat (Hernández-Cruz et al., 2019; Krisna dan Cahyono, 2012; Sa'ad et al., 2021; Subardjo et al., 2020). Nilai konsentrasi sedimen tersuspensi dari data citra didapatkan dengan menerapkan algoritma tertentu.

Kajian algoritma konsentrasi sedimen tersuspensi pernah dilakukan oleh Ritchie dan Cooper (1991) yang mengkaji algoritma untuk mengestimasi konsentrasi sedimen tersuspensi menggunakan 16 data Landsat dari tahu 1987 hingga 1988 di Waduk Enid, Mississippi utara tengah. Data citra dikonversi menjadi data radian dan reflektan untuk membandingkan dengan data konsentrasi sedimen tersuspensi hasil pengukuran. Analisis regresi linier digunakan untuk menghubungkan konsentrasi sedimen tersuspensi permukaan dengan radian dan reflektan. Selain itu, konsentrasi sedimen tersuspensi pernah dilakukan oleh di Perairan Indonesia tepatnya di Delta Mahakam oleh (Budhiman, 2004). Pada penelitiannya dilakukan pengembangan algoritma berdasarkan model bio-optical, kemudian di terapkan pada beberapa data citra dengan sensor yang berbeda.

Algoritma pengukuran konsentrasi sedimen tersuspensi dapat memiliki hasil yang berbeda-beda bergantung pada kondisi perairan daerah kajian. Agar menghasilkan nilai konsentrasi sedimen tersuspensi pada data citra sesuai dengan daerah kajian. Maka dapat dilakukan modifikasi suatu algoritma yang bertujuan untuk mendapatkan algoritma yang sesuai dengan lokasi tertentu. Pada studi kasus ini, dipilih di perairan Tanara Kabupaten Serang, Provinsi Banten.

Perairan Tanara berada di bagian utara Kabupaten Serang yang aliran sungainya mengalir menuju Laut Jawa. Terdapat tiga aliran sungai yang bermuara ke Perairan Tanara yaitu Sungai Ciujung, Sungai Cidurian dan anak Sungai Cidurian. Perairan ini dipilih sebagai area kajian yang berpotensi untuk monitoring fluktuasi konsentrasi sedimen tersuspensi. Menurut penelitian Solihuddin et al., 2020 mengenai dinamika perubahan garis pantai di Teluk Banten dari tahu 1942 – 1999 menjelaskan bahwa dalam kurun waktu 57 tahun terjadi penambahan daratan sekitar ± 1.950 hektar. Hal ini diakibatkan karena adanya proses akresi yang signifikan akibat dari muatan sedimen yang masuk ke perairan sehingga mempengaruhi kondisi sedimen tersuspensi di Perairan Tanara.

Sehingga berdasarkan uraian diatas tujuan dari penelitian ini adalah (1) modifikasi algoritma Syarif Budhiman (2004) yang sesuai untuk di Perairan Tanara berdasarkan pengukuran in-situ, (2) Mengetahui dinamika konsentrasi sedimen tersuspensi secara spasial dan temporal di Perairan Tanara.

MATERI DAN METODE

Lokasi penelitian terletak di Perairan Tanara, Kabupaten Serang, Provisi Banten yang merupakan Sentra Kawasan Pengembangan (SKP) dalam sektor pariwisata, pelabuhan, pertanian, dan industri. Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data pengukuran sedimen tersuspensi pada tahun 2012 dan data citra satelit Landsat 8 Collection 2 level 1 2013 – 2015.

Penentuan lokasi sampling dilakukan dengan menggunakan metode *purposive sampling* yaitu pengambilan data di beberapa titik untuk mewakili kegiatan daerah kajian. Pengambilan sampel dilakukan di enam stasiun dari tanggal 10 April 2012 menggunakan *bottle sampler* (botol Nansen) secara langsung pada kedalaman 0,2d. Pengolahan sampel in-situ dilakukan dengan metode SNI 03-3961-1995 untuk mengetahui kadar jumlah berat sedimen layang dalam air yang dinyatakan dalam satuan mg/l. Rumus perhitungan yang digunakan pada uji ini adalah sebagai berikut (Badan Penelitian dan Pengembangan, 2002):

$$c = \frac{a - b}{v} \times 106 \text{ mg/l}$$

Keterangan: c = kadar sedimen layang (mg/l); a = berat kering cawan berisi sedimen (gram); b = berat cawan kosong (gram); v = volume sedimen (ml).

Pengolahan data Landsat 8 dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu pre-prosesing dimana data citra yang digunakan memiliki tutupan awan < 40%, koreksi radiometrik dan atmosferik, kemudian pengolahan konsentrasi sedimen tersuspensi diolah menggunakan algoritma yang telah dikembangkan oleh Budhiman (2004) untuk mengetahui hasil yang paling baik dari ketiga algoritma tersebut. Koreksi radiometrik dilakukan untuk menghilangkan kesalahan perekaman akibat adanya gangguan dari posisi matahari, koreksi ini dilakukan dengan mengubah data *digital number* menjadi *radiance*, kemudian dikonversi kembali menjadi data *top of atmosphere* (reflektan) menggunakan persamaan menurut Chander dan Markham (2003):

Konversi radian menjadi reflektan ToA landsat 8.

$$\rho_p = \frac{\Pi \times L_\lambda \times d^2}{ESUN_\lambda \times \cos \theta_s}$$

Keterangan: ρ_p = reflektan; L_λ = radian spektral pada landsat 8; d = jarak antara bumi dan matahari; $ESUN_\lambda$ = nilai rata-rata radiasi matahari; θ_s = sudut elevasi matahari.

Konversi reflektan ToA ke *Surface Top of Atmospheric (ToA Reflectance)* Landsat 8.

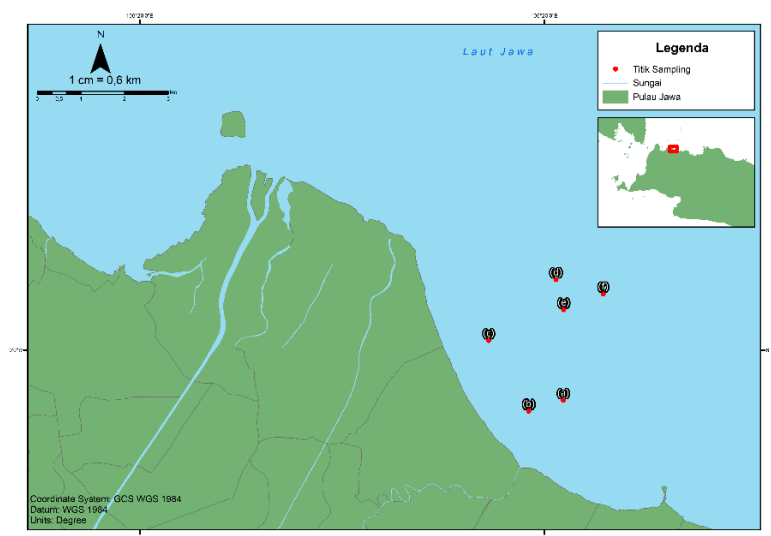
$$R_c = (R - (\overline{R_w} - (2 \times \sigma R_w)))$$

Keterangan: R_c = reflektan permukaan; R = *Top of Atmospheric (ToA Reflectance)*; R_w = reflektan badan air dalam keadaan dalam dan jernih; σ = standar deviasi.

Konversi *digital number* menjadi reflektan ToA

$$\rho\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p$$

Keterangan: $\rho\lambda'$ = reflektan ToA yang belum terkoreksi sudut matahari; M_p = faktor skala; A_p = faktor penambah; Q_{cal} = nilai piksel (*digital number*).



Gambar 1. Lokasi penelitian di Perairan Tanara, Kabupaten Serang

Konversi reflektan yang disebabkan oleh posisi matahari

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\sin\theta SE}$$

Keterangan: $\rho\lambda$ = reflektan ToA terkoreksi sudut matahari; θSE = sudut elevasi matahari.

Pemisahan daerah daratan dan perairan (NDWI) dilakukan setelah koreksi radiometrik dan atmosferik. Pemisahan ini dilakukan untuk membedakan antara daerah daratan dan perairan menggunakan *Normalized Difference Water Index* (NDWI). Menggunakan rumus berikut:

$$NDWI = \frac{B_{Green} - B_{NIR}}{B_{Green} + B_{NIR}}$$

Keterangan: NDWI = *Normalized Difference Water Index*; B_{Green} = Band hijau; B_{NIR} = Band *Near Infra-Red* (NIR).

Data hasil pengolahan data citra satelit yang diperoleh pada tahun 2012 akan di verifikasi dengan data lapangan. Kemudian dilakukan modifikasi algoritma dari salah satu algoritma yang dikembangkan oleh Syarif Budiman (2004) adalah sebagai berikut:

$$8.1429 * \exp(23.704 * 0.94 * B4)$$

Keterangan: B4 = band 4 atau band red pada Landsat 8.

HASIL DAN PEMBAHASAN

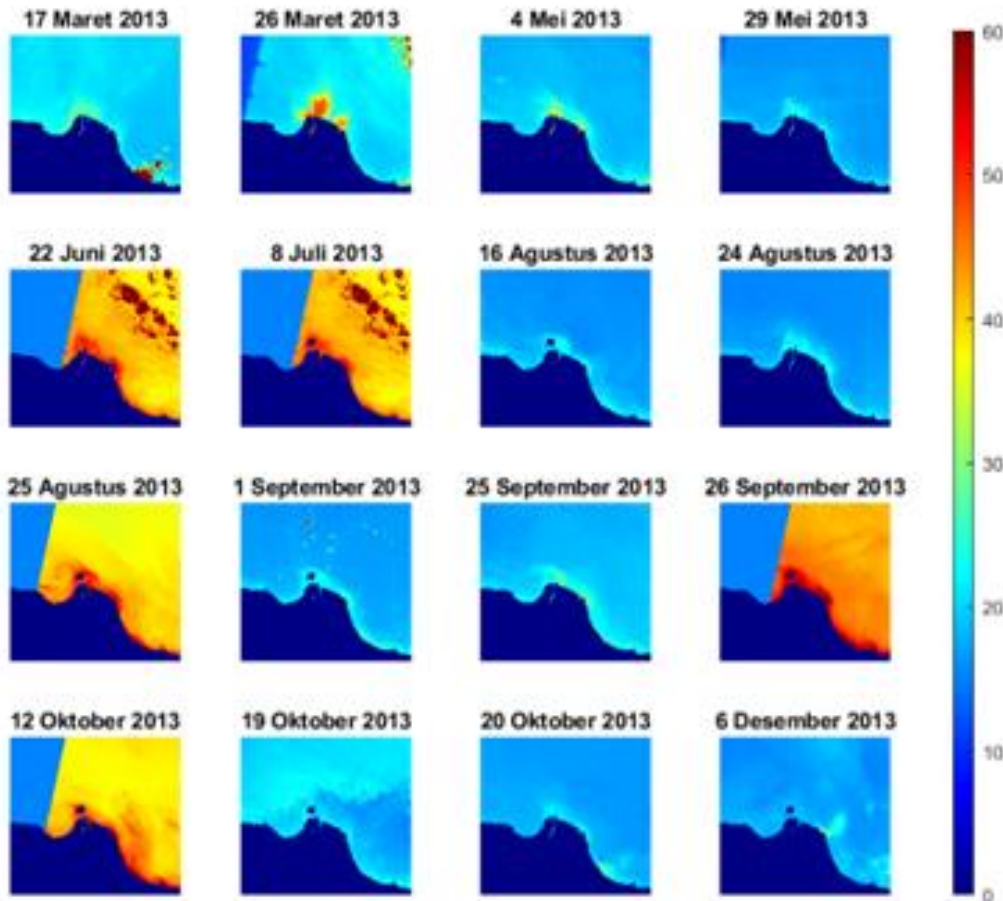
Perhitungan konsentrasi sedimen tersuspensi dihitung menggunakan algoritma Syarif Budhiman (2004) untuk mengetahui nilai konsentrasi sedimen yang paling mendekati dengan nilai data in-situ di lapangan dilakukan uji RMSE.

Berdasarkan algoritma yang dikembangkan oleh Syarif Budhiman hasil konsentrasi sedimen tersuspensi berkisar antara 22,2 mg/L hingga 50,58 mg/L dengan rata-rata konsentrasi sedimen tersuspensi 32,9 mg/L. Nilai RMSE diolah menggunakan Ms.Excel hasilnya 16,85777. Penggunaan algoritma yang Syarif Budhiman telah diterapkan pada beberapa penelitian. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Sukojo dan Amalina (2020) algoritma Syarif Budhiman menunjukkan korelasi yang kuat berdasarkan Sugiyono (2008) karena memiliki nilai koefisien korelasi sebesar 0,605 dan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 36%. Namun, karena nilai RMSE yang dihasilkan masih lebih dari 10, maka dilakukan modifikasi algoritma yang telah dikembangkan oleh Syarif Budhiman untuk menyesuaikan dengan kondisi di Perairan Tanara. Adalah sebagai berikut: $15.14 * \exp(2.412 * 2.538 * B4)$

Hasil modifikasi algoritma Syarif Budhiman pada kondisi Perairan Tanara memiliki nilai koefisien korelasi 0,0397 dengan nilai RMSE 13,41. Nilai ini didapatkan dari data perbandingan data citra dan data lapangan. Kemudian modifikasi algoritma tersebut diaplikasikan pada setiap pengolahan Data selama tahun 2013 – 2015. Pengolahan data citra Landsat 8 OLI multitemporal menggunakan algoritma modifikasi dari Budhiman (2004). Hasil pengolahan divisualisasikan pada Gambar 2 untuk tahun 2013, Gambar 3 untuk tahun 2014, dan Gambar 4 tahun 2015. Dari ketiga gambar tersebut dapat dilihat bahwa dinamika konsentrasi sedimen tersuspensi yang diperoleh dari data citra menunjukkan hasil yang fluktuatif setiap tahunnya. Data citra yang diolah didapatkan berdasarkan ketersediaan data yang memiliki tutupan awan kurang dari 40%. Pada tahun 2013 konsentrasi sedimen tersuspensi berkisar antara 10–60 mg/L, tahun 2014 dan 2015 konsentrasi sedimen tersuspensi berkisar antara 10–70 mg/L. Secara spasial, konsentrasi sedimen tersuspensi di Perairan Tanara memiliki konsentrasi yang lebih tinggi di daerah pesisir pantai tepatnya di muara

sungai. Konsentrasi sedimen yang tinggi di pesisir pantai pada tahun 2013 ditunjukkan pada tanggal 26 Maret 2013, pada tahun 2014 ditunjukkan pada tanggal 31 Oktober 2014, dan pada tahun 2015 ditunjukkan pada tahun 12 Juni 2015 (Gambar 5).

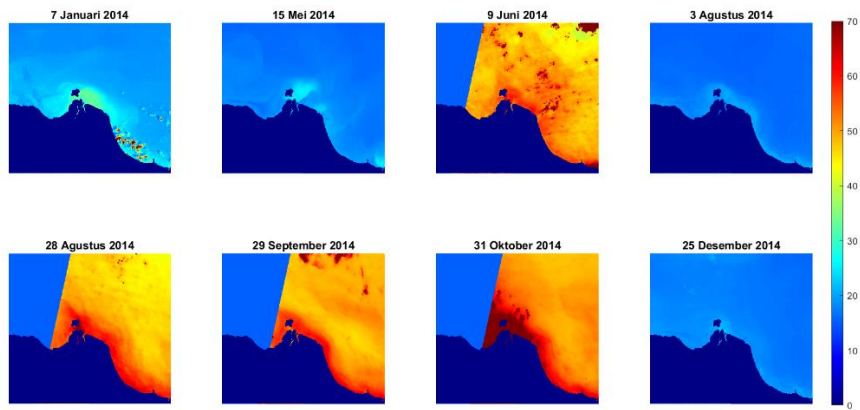
Data aliran debit sungai didapatkan dari Balai Besar Wilayah Sungai Cidanau-Ciujung-Cidurian (BBWS C3). Secara temporal, konsentrasi sedimen tersuspensi pada bulan Juni-Juli-Agustus (JJA) dari tahun 2013 – 2015 memiliki nilai yang tinggi dibandingkan bulan-bulan lainnya. Apabila dihubungkan dengan nilai aliran debit sungai memiliki hubungan yang sebanding, dimana saat aliran debit sungainya tinggi, maka akan mempengaruhi konsentrasi sedimen tersuspensi.



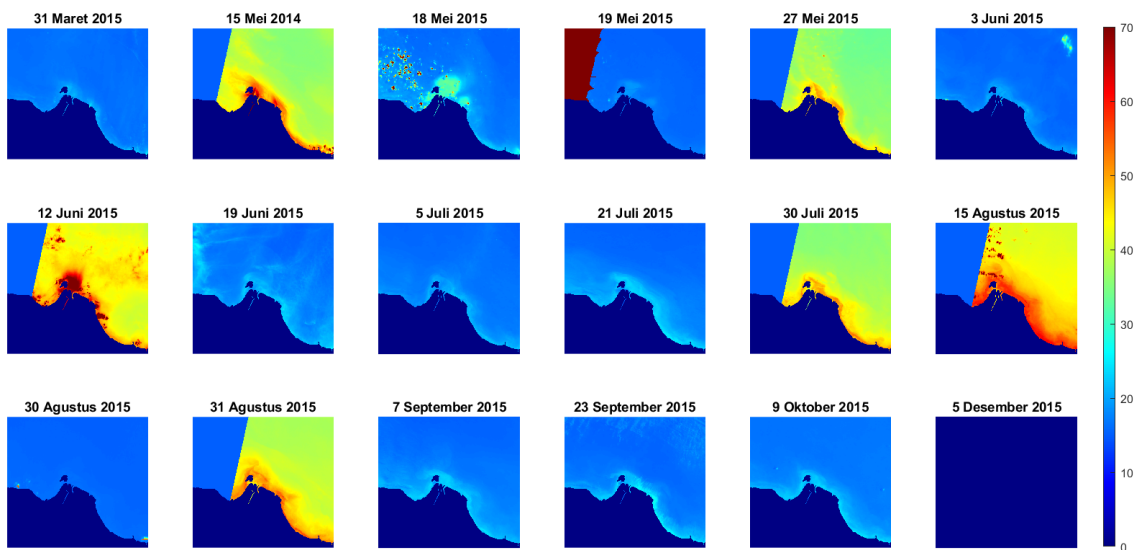
Gambar 2. Peta Distribusi Konsentrasi Sedimen Tersuspensi Tahun 2013

Tabel 1. Data TSS in-situ dan Citra

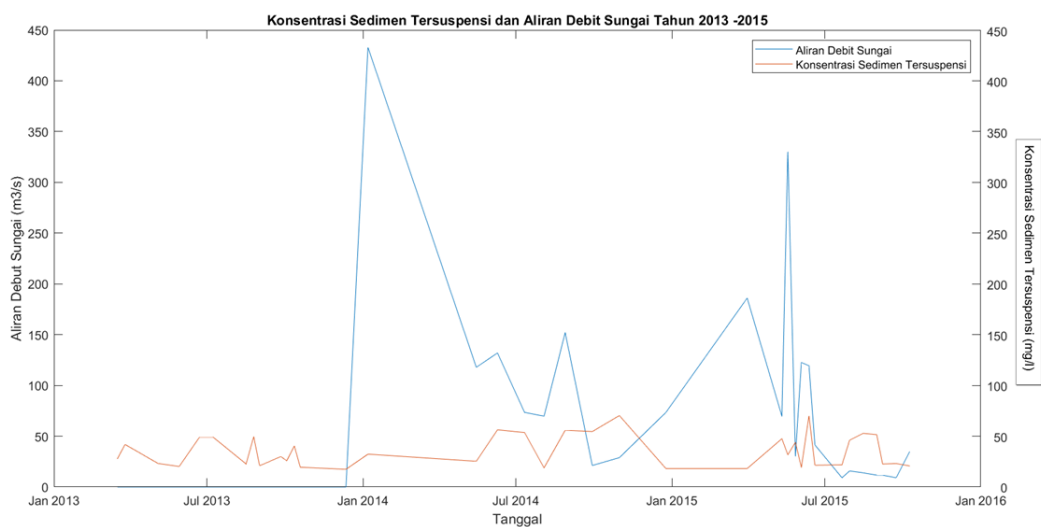
Stasiun	Data Lapangan		Data Citra		RMSE
	Tanggal	konsentrasi sedimen tersuspensi	TSS Syarif Budiman	Tanggal	
a	10-Apr-12	40	42,95	24-Apr-12	16,85777
b	10-Apr-12	16	50,58	24-Apr-12	
c	10-Apr-12	15	32,41	24-Apr-12	
d	10-Apr-12	17	22,2	24-Apr-12	
e	10-Apr-12	14	25,48	24-Apr-12	
f	10-Apr-12	30	23,78	24-Apr-12	



Gambar 3. Peta Distribusi Konsentrasi Sedimen Tersuspensi Tahun 2014



Gambar 4. Peta Distribusi Konsentrasi Sedimen Tersuspensi Tahun 2015



Gambar 5. Grafik Konsentrasi Sedimen Tersuspensi dan Aliran Debit Sungai Tahun 2013 – 2015

KESIMPULAN

Konsentrasi sedimen tersuspensi in-situ digunakan untuk validasi data citra serta modifikasi algoritma sedimen tersuspensi. Nilai RMSE dari algoritma yang telah dikembangkan oleh Syarif Budhiman (2004) menunjukkan hasil sebesar 16,85: Hasil modifikasi algoritma konsentrasi sedimen tersuspensi yang sesuai dengan Perairan Tanara adalah: $15.14 * \exp(2.412 * 2.538 * B4)$ Nilai RMSE algoritma Budhiman (2004) tereduksi menjadi 8,61. Dinamika konsentrasi sedimen tersuspensi di Perairan Tanara dipengaruhi oleh aliran debit sungai. Secara spasial memiliki nilai yang lebih besar di wilayah pesisir atau pantai. Secara temporal, konsentrasi sedimen tersuspensi sedimen tersuspensi memiliki sifat fluktuatif namun cenderung stabil mengalami kenaikan saat bulan Juni-Juli-Agustus (JJA) dibandingkan dengan bulan lainnya.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada Korea-Indonesia MTCRC Scholarship yang telah memberikan bantuan pendanaan selama penelitian dilakukan. Serta ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Balai Besar Wilayah Sungai Cidanau-Ciujung-Cidurian BBWS C3) atas penyediaan dan akses data yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Brasington, J., & Richards, K., 2000. Turbidity and suspended sediment dynamics in small catchments in the Nepal Middle Hills. *Hydrological Processes*, 14(14):2559–2574. DOI: 10.1002/1099-1085(20001015)14:14<2559::AID-HYP114>3.0.CO;2-E.
- Budhiman, S. 2004. Mapping TSM Concentrations from Multisensors Satellite Images in Turbid Tropical Coastal Waters of Mahakam Delta, Indonesia. ITC.
- Cai, L., Tang, D., Li, X., Zheng, H., & Shao, W. 2015. Remote sensing of spatial-temporal distribution of suspended sediment and analysis of related environmental factors in Hangzhou Bay China. *Remote Sensing Letters*, 6(8):597–603. DOI: 10.1080/2150704X.2015.1062158.
- Chander, G., & Markham, B. 2003. Revised landsat-5 tm radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11):2674–2677. DOI: 10.1109/TGRS.2003.818464.
- Duane Nellis, M., Harrington, J.A., & Wu, J. 1998. Remote sensing of temporal and spatial variations in pool size, suspended sediment, turbidity, and Secchi depth in Tuttle Creek Reservoir, Kansas: 1993. *Geomorphology*, 21(3–4):281–293. DOI: 10.1016/S0169-555X(97)00067-6.
- Hernández-Cruz, B., Vásquez-Ortiz, M., Canet, C., & Prado-Molina, J. 2019. Algorithm To Calculate Suspended Sediment Concentration Using Landsat 8 Imagery. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(3): 6549-6562. DOI: 10.15666/aeer/1703_65496562.
- Krisna, T.C., & Cahyono, A.B. 2012. Analisa Sebaran TSS (Total Suspended Solid) Dengan Menggunakan Citra Satelit Aqua Modis Tahun 2005-1011. *Geoid*, 8(1):29-38.
- Kumar, A., Equeenuddin, S.M., Mishra, D.R., & Acharya, B.C. 2016. Remote monitoring of sediment dynamics in a coastal lagoon: Long-term spatio-temporal variability of suspended sediment in Chilika. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 170:155–172. DOI: 10.1016/j.ecss.2016.01.018.
- Meade, R.H., & Moody, J.A. 2010. Causes for the decline of suspended-sediment discharge in the Mississippi River System, 1940-2007. *Hydrological Processes: An International Journal*, 24(1):35-49. DOI: 10.1002/hyp.7477.
- Müller, G., & Förstner, U., 1968. General Relationship between Suspended Sediment Concentration and Water Discharge Concentration and Water Discharge in the Alpenrhein and some other Rivers. *Nature*, 217(5125):244–245.
- Ritchie, J.C., & Cooper. 1991. An Algorithm For Estimating Surface Suspended Sediment Concentrations With Landsat Mss Digital Data. *Journal of the American Water Resources Association*, 27(3):373–379. DOI: 10.1111/j.1752-1688.1991.tb01436.x.

- Sa'ad, F.N.A., Tahir, M.S., Jemily, N.H.B.A., Ahmad., & Amin, A.R.M. 2021. Monitoring Total Suspended Sediment Concentration in Spatiotemporal Domain over Teluk Lipat Utilizing Landsat 8 (OLI). *Applied Sciences*, 11(15):7082. DOI:10.3390/app11157082.
- Solihuddin, T., Prihantono, J., Mustikasari, E., & Husrin, S. 2020. Dinamika Perubahan Garis Pantai Di Perairan Teluk Banten Dan Sekitarnya. *Jurnal Geologi Kelautan*, 18(2): DOI: 10.32693/jgk.18.2.2020.596.
- Subardjo, P., Suryoputro, A.A.D., & Praktikto, I., 2020. Sebaran Sedimen Tersuspensi di Perairan Teluk Awur Jepara menggunakan Citra Landsat 8. *Buletin Oseanografi Marina*, 9(1):77–82. DOI: 10.14710/buloma.v9i1.29111.
- Sugiyono., 2008. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D: Bandung, Alfabeta.
- Sukojo, B.M., & Amalina, N.C. 2020. Analisis Perubahan Konsentrasi Total Suspended Solid (Tss) Di Teluk Lamong Menggunakan Citra Landsat Multitemporal. *Geoid*, 15(1):28-35. DOI: 10.12962/j24423998.v15i1.3884.
- Wackerman, C., Hayden, A., & Jonik, J. 2017. Deriving spatial and temporal context for point measurements of suspended-sediment concentration using remote-sensing imagery in the Mekong Delta. *Continental Shelf Research*, 147:231–245. DOI: 10.1016/j.csr.2017.08.007.
- Wang, S., Hassan, M.A., & Xie, X. 2006. Relationship between suspended sediment load, channel geometry and land area increment in the Yellow River Delta. *Catena*, 65(3):302–314. DOI: 10.1016/j.catena.2006.01.003.