****

PREDIKSI TINGKAT KEKERUHAN (TURBIDITAS) MENGGUNAKAN

CITRA SATELIT SENTINEL-2A DI WADUK IR. H. DJUANDA JAWA BARAT

*PREDICTION OF WATER TURBIDITY USING SATELLITE IMAGERY SENTINEL-2A*

IN IR. H. DJUANDA RESERVOIR WEST JAVA

**Arip Rahman1)\* Lismining Pujiyani Astuti2) Andri Warsa3) Agus Arifin Sentosa4)**

**1)**Balai Riset Pemulihan Sumberdaya Ikan

Jl. Cilalawi No. 1 Jatiluhur - Purwakarta

**2)** Balai Riset Pemulihan Sumberdaya Ikan

Jl. Cilalawi No. 1 Jatiluhur - Purwakarta

**3)** Balai Riset Pemulihan Sumberdaya Ikan

Jl. Cilalawi No. 1 Jatiluhur - Purwakarta

**4)**Balai Riset Pemulihan Sumberdaya Ikan

Jl. Cilalawi No. 1 Jatiluhur - Purwakarta

\*Coresponden email: [alphagrt79@gmail.com](mailto:alphagrt79@gmail.com)

Diterima: ;Direvisi: ; Disetujui:

ABSTRACT

Turbidity is one of remote sensing indicators on the physical characteristic of a lake which can reduce the brightness level of the waters. Measuring the physical characteristics of lakes is traditionally costly and time consuming. Remote sensing provides data and products spatially, temporally and synoptically. Combination of in situ turbidity data in the Ir. H. Djuanda Reservoir and Sentinel-2A satellite imagery data can produce empirical equations that can be used to predict and map the turbidity value in the Ir. H. Djuanda Reservoir. The results of the multi regression analysis between the combination of band 3 (green) and band 4 (red) of Sentinel-2A satellite imagery with an in situ turbidity value resulted in a high enough correlation with the coefficient determination (R2) = 0.06, with RMSE of 1.95 NTU. Based on the MAPE analysis, the deviation of the predicted turbidity value to in-situ turbidity value is 31.1%. High levels of turbidity can reduce the primary productivity of waters and the organisms that are in it will also be disturbed, especially in breathing and vision problems.

Keywords: turbidity, remote sensing, Sentinel-2A satellite imagery, Waduk Jatiluhur, primary productivity

abstrak

Turbiditas merupakan salah satu indikator penginderaan jauh pada karakteristik fisik danau yang dapat mengurangi tingkat kecerahan suatu perairan. Pengukuran karakteristik fisik danau secara tradisional memerlukan waktu dan biaya yang mahal. Penginderaan jauh menyediakan data dan produk secara spasial, temporal dan sinoptik. Kombinasi antara data turbiditas insitu di Waduk Ir. H. Djuanda dan data citra satelit Sentinel-2A dapat menghasilkan persamaan empiris yang dapat digunakan untuk memprediksi dan memetakan nilai turbiditas di Waduk Ir. H. Djuanda. Hasil analisis multiregresi antara kombinasi band 3 dan band 4 citra satelit Sentinel-2A dengan nilai turbiditas insitu menghasilkan korelasi yang cukup tinggi dengan koefisien determinasi (R2) = 0.60, dengan RMSE sebesar 1.95 NTU. Berdasarkan analisis MAPE, penyimpangan nilai turbiditas prediksi terhadap nilai turbiditas insitu sebesar 31.1% . Tingkat kekeruhan yang tinggi dapat mengurangi produktifitas primer suatu perairan dan organisme yang berada didalamnya juga akan terganggu terutama dalam masalah pernapasan dan penglihatan.

**Kata Kunci**: turbiditas, penginderaan jauh, citra satelit Sentinel-2A, Waduk Ir. H. Djuanda, produktifitas primer

# pENDAHULUAN

Danau atau waduk merupakan salah satu ekosistem air tawar yang menyediakan berbagai jasa ekosistem mulai habitat biota perairan, rekreasi dan irigasi (Stoddard *et al*., 2016). Pengoperasian dan pemanfaatan waduk harus memenuhi beberapa persyaratan sehingga fungsi waduk dapat dimanfaatkan dalam jangka panjang (Chamoun *et al*., 2017).

Berbagai tekanan ekologis seperti peningkatan tingkat kesuburan (*eutrophication*) dan perubahan iklim menjadi salah satu ancaman terhadap fungsi ekologis yang terdapat di danau (Dörnhöfer & Oppelt, 2016). Hal lain yang dapat memperburuk kondisi suatu perairan adalah adanya pencemaran akibat limbah dari kegiatan penduduk (antropogenik) (KC *et al*., 2019; Zhao *et al*., 2016) dan terjadinya proses sedimentasi (Espa *et al*., 2016).

Skema monitoring yang berkelanjutan diperlukan untuk mengantisipasi ancaman terhadap fungsi ekologis waduk tersebut. Monitoring dan survey lapangan yang dilakukan secara tradisional memerlukan biaya yang mahal, waktu yang relatif lama dan tidak dapat menjangkau daerah yang sulit (Ismail *et al*., 2019; Kutser *et al*., 2016; Martins *et al*., 2017; Ouma *et al*., 2018). Sehingga diperlukan suatu kegiatan monitoring *real time* dengan biaya yang cukup murah dan tidak membutuhkan waktu yang cukup lama (Boucher *et.al*., 2018). Data penginderaan jauh yang tersedia secara gratis menjadi alternatif untuk mendapatkan data spasial dan temporal untuk monitoring perairan yang luas dan daerah yang sulit dijangkau (Guo *et al*., 2017; Martins *et al*., 2017). Biaya operasional yang rendah dalam penggunaan data penginderaan menjadi dorongan bagi lembaga penelitian untuk melengkapi data dan menghasilkan peta distribusi spasial beberapa parameter kualitas air (Pizani *et al*., 2020).

Kekeruhan merupakan salah satu indikator karakteristik fisik danau atau waduk yang dapat dimonitor dengan penginderaan jauh. Kekeruhan merupakan ukuran kecerahan relatif pada suatu perairan yang menggambarkan properti optik yang menyebabkan cahaya tersebar dan diserap oleh partikel-partikel tersuspensi (Mullins *et al*., 2018). Kekeruhan berkorelasi dengan total padatan tersuspensi (TSS) dari limbah cair yang berupa massa partikulat dalam fluida (Hannouche *et al*., 2017). Dalam monitoring kualitas air, turbidity merupakan parameter penting dalam penggolongan kualitas perairan, sebagai indikator adanya polusi dan performa suatu perairan (Castaño & Higuita, 2016; Mullins *et al*., 2018). Tingkat kekeruhan perairan dapat mengurangi penetrasi cahaya ke dalam kolom air yang diperlukan untuk proses fotosintesis fotoplankton.

Beberapa penelitian dan monitoring tingkat kekeruhan yang menggunakan data penginderaan jauh antara lain, monitoring *turbidity* menggunakan data MODIS di Bagre Reservoir Burkina Faso (Robert *et al*., 2016), pengembang model turbidity untuk menilai turbidity di waduk berdasarkan citra satelit Landsat 8 (Liu & Wang, 2019), pengukuran tingkat kekeruhan menggunakan citra Landsat 5 di Aplachicola Bay (Joshi *et al*., 2017). Penelitian yang dilakukan pada kesempatan ini difokuskan pada salah satu karakteristik fisik danau yaitu parameter tingkat kekeruhan yang diprediksi dengan menggunakan data penginderaan jauh dan data lapangan (insitu) hasil pengukuran di Waduk Ir. H. Djuanda atau sering disebut Waduk Jatiluhur.

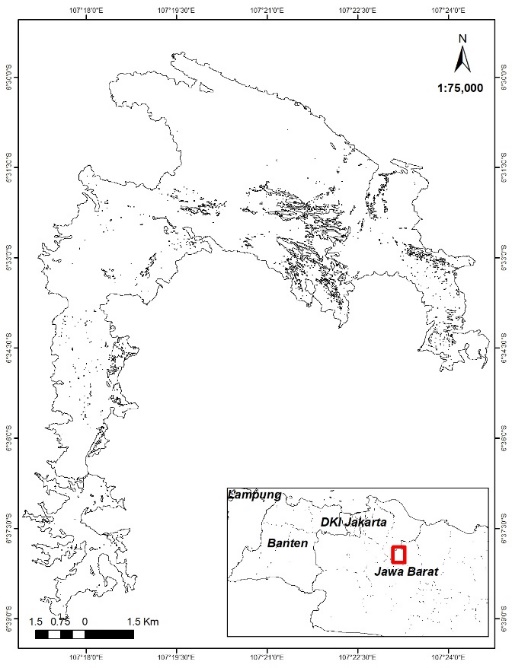
Waduk Jatiluhur merupakan bagian dari sistem waduk kaskade (waduk berjenjang) dari Sungai Citarum (Astuti *et al.*, 2016) yang terletak di Kabupaten Purwakarta Jawa Barat. Waduk Jatiluhur menerima aliran air dari waduk yang ada di atasnya yaitu Waduk Saguling dan Waduk Cirata. Selain sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air, Waduk Jatiluhur digunakan untuk arena rekreasi dan aktifitas perikanan dengan budidaya Keramba Jaring Apung (KJA). Berkembangnya usaha budidaya KJA berdampak terhadap perubahan kualitas air di Waduk Jatiluhur. Perubahan kualitas air yang pertama kali terpantau adalah tingkat kecerahan yang menurun. Pada tahun 1984 kecerahan air berkisar antara 1-4 m sedangkan pada tahun 2015 kecerahan air menurun hanya berkisar antara 0.4-2.9 m (Astuti, *et al*., 2016).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu persamaan algoritma untuk menduga tingkat kekeruhan perairan berdasarkan korelasi antara tingkat kekeruhan hasil pengukuran insitu dengan nilai pantulan (*reflectance*) dari data citra Sentinel-2A. Sentinel-2A merupakan bagian dari program *European Space Agency* (ESA) yang menghasilkan citra multispektral dengan resolusi spasial (10-30 m), temporal (10 hari) dan resolusi radiometrik (12 bit). Data Citra Sentinel-2A dapat diperoleh secara gratis dengan mengunduh salah satunya dari USGS *Global Visualization Viewer* (GLOVIS) glovis.usgs.gov. Resolusi spasial dari citra Sentinel-2A dapat mendeteksi badan air yang lebih sempit dengan minimum permukaan badan air yang dapat terdeteksi sekitar 100 m2 (Jin *et al*., 2017). Persamaan yang diperoleh digunakan untuk memetakan sebaran tingkat kekeruhan di perairan Waduk Jatiluhur.

# Metodologi

**Lokasi Penelitian**

Penelitian dilakukan di Waduk Jatiluhur Kabupaten Purwakarta dengan posisi geografis 6025’-6035’ LS dan 107022’-107030’ BT. (Gambar 1). Luas genangan air Waduk Jatiluhur ± 8300 ha dengan kedalaman rata-rata 37.6 m (Astuti *et al*., 2016). Selain fungsinya sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Waduk Jatiluhur juga berfungsi sebagai sumber air untuk irigasi, industri dan air baku air minum serta pengendali banjir. Kegiatan perikanan dan pariwisata merupakan fungsi tambahan yang ada di Waduk Jatiliuhur.

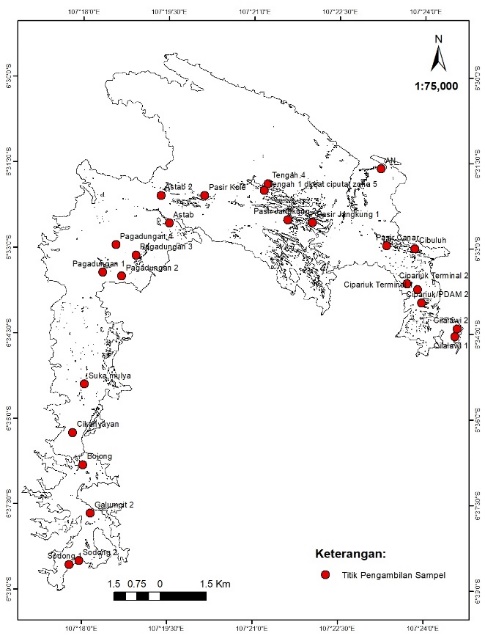


**Gambar 1**. Lokasi penelitian Waduk Jatiluhur

**Pengambilan Data Lapangan**

Data turbiditas diperoleh dari hasil pengukuran insitu dengan menggunakan alat turbidi meter pada bulan Agustus 2020. Hasil pengukuran lapangan (insitu) diperoleh 25 titik pengambilan sampel yang tersebar di lokasi penelitian (Gambar 2). Disamping mencatat hasil pengukuran dari turbidi meter, dilakukan juga pencatatan posisi geografis titik lokasi pengukuran dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS). Data posisi geografis tersebut nantinya akan digunakan untuk mengekstrak nilai reflektansi dari

citra satelit yang akan digunakan untuk memprediksi tingkat kekeruhan di lokasi penelitian. Sehingga diperoleh pasangan data turbiditas dengan nilai reflektansi dari citra yang digunakan.



**Gambar 2**. Titik lokasi pengukuran turbidity secara insitu

Data citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra satelit multispektral Sentinel-2A dengan tanggal akuisisi 7 Agustus 2020 (Tabel 1). Kanal yang digunakan dalam penelitian ini adalah kanal biru (B2) dengan kisaran panjang gelombang 458-523 nm, kanal hijau (B3) kisaran panjang gelombang 543-578 dan kanal merah (B4) dengan kisaran panjang gelombang 650-680 nm

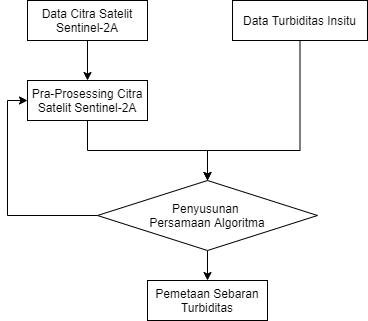
yang memiliki resolusi spasial 10 m. Hal tersebut sesuai dengan yang dikemukakan Dekker *et al*., 2002, bahwa untuk memperoleh informasi tentang properti danau seperti transparansi air, biota dan hidrologi, panjang gelombang yang digunakan adalah panjang gelombang sinar tampak dan inframerah dekat dengan kisaran panjang gelombang 400-900 nm.

**Tabel 1**. Spesifikasi data citra satelit Sentinel-2A

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Entity ID** | **Tanggal Akuisisi** | **Tutupan Awan** | **Platform** |
| L1C\_T48MYT\_A026770\_20200807T030951 | 07/08/2020 | 7.28% | SENTINEL-2A |

**Alur Penelitian**

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data citra satelit Sentinel-2A dan data tingkat kekeruhan (turbiditas) hasil pengukuran insitu (Gambar 3). Sebelum dilakukan analisis, data citra satelit terlebih dahulu dilakukan pra-prosesing data dengan melakukan kalibrasi radiometrik dan kereksi atmosferik. Setelah itu dilakukan penyusunan persamaan algoritma yang hasilnya dapat digunakan untuk pembuatan peta sebaran turbiditas di danau dan waduk.



**Gambar 3**. Alur penelitian.

**Pra-Pemrosesan Data Satelit**

Pemotongan citra dilakukan sesuai dengan daerah penelitian yang kita lakukan untuk memperkecil kapasitas citra yang akan kita oleh. Selanjutnya dilakukan pemisahan kolom perairan dan daratan dengan menggunakan algoritma NDWI, untuk mengekstrak data yang terdapat pada kolom air.

Panjang gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah panjang gelombang sinar tampak yaitu: biru (B2), hijau (B3), merah (B4) dan infrared (B8) yang terdapat pada citra Sentinel-2A. Pra-pemrosesan data dilakukan dengan melakukan koreksi terhadap data citra satelit. Kalibrasi radiometrik dilakukan dengan metode yang terdapat pada perangkat lunak Quantum GIS (QGIS). Nilai *digital number* (DN) dari setiap pixel image dan setiap *spectral band* dikonversi kedalam nilai reflektansi.

Koreksi atmosferik dilakukan untuk mendapatkan data penginderaan jauh dengan kualitas baik untuk aplikasi kuantitatif dan memperoleh data beberapa parameter yang terdapat pada permukaan bumi. *Dark Object Substraction* (DOS) yang terintegrasi pada perangkat lunak QGIS digunakan untuk melakukan koreksi atmosferik. Koreksi atmosferik bertujuan untuk menghilangkan pengaruh dari komponen yang terdapat pada atmosfer seperti partikel padat dan uap air.

Nilai reflektansi dari panjang gelombang yang terdapat pada citra kemudian di ekstrak sesuai dengan titik pengambilan data turbiditas lapangan. Setelah diperoleh pasangan data dari nilai reflektansi citra dan nilai turbiditas, pasangan data tersebut selanjutnya digunakan untuk pembuatan algoritma untuk memprediksi nilai turbiditas.

**Analisis**

Persamaan algoritma untuk menduga nilai turbiditas diperoleh dengan melakukan regresi antara nilai reflektansi citra (B2, B3 dan B4) dengan nilai turbiditas yang diperoleh dari pengukuran secara insitu. Proses regresi dan multiregresi dilakukan secara *trial and error* untuk memperoleh kombinasi band yang menghasilkan nilai korelasi dan determinasi yang terbaik. Persamaan regresi dan multiregresi yang digunakan adalah

Persamaan regresi:

………………………………………(1)

dimana *a* dan *b* (koefisien yang diperoleh dari hasil regresi antara nilai reflektansi dan nilai turbiditas), *x* (ln nilai reflektansi citra)

Persamaan multiregresi:

……………………………(2)

dimana a, b dan c (koefisien yang diperoleh dari hasil regresi antara nilai reflektansi dan nilai turbiditas), x1 dan x2 (ln nilai reflektansi citra band*i*), *i* = 1, 2, 3.

Analisis statistik, *Root Mean Square Error* (RMSE), dilakukan untuk mengukur seberapa besar kesalahanyang terjadi diantara dua set data, yang membandingkan nilai prediksi dan nilai observasi yang diketahui. Semakin kecil nilai RMSE semakin dekat antara nilai prediksi dan nilai observasi. Persamaan yang digunakan yaitu

……………….(3)

dimana, *Ypred* = nilai turbiditas hasil prediksi, *Yobs* = nilai turbiditas hasil pengukuran insitu, n = banyaknya sampel.

Analisis *Mean Absolute Percentage Errors* (MAPE) digunakan untuk mengukur ketepatan relative yang digunakan untuk mengetahui persentase penyimpangan hasil prediksi.

…………….(4)

dimana, *Ypred* = nilai turbiditas hasil prediksi, *Yobs* = nilai turbiditas hasil pengukuran insitu, n = banyaknya sampel.

# HASIL DAN PEMBAHASAN

**Nilai Turbiditas**

Kisaran nilai turbiditas insitu dan prediksi disajikan pada Tabel 2. Lokasi yang memiliki nilai turbiditas tinggi berada dekat dengan daratan dan memiliki kedalaman yang dangkal yaitu di daerah Cilalawi 1. Sedangkan lokasi yang memiliki nilai turbiditas rendah berada di tengah waduk pada perairan yang dalam yaitu daerah Pasir Canar (Gambar 3). Kekeruhan pada suatu perairan bisa disebabkan oleh adanya bahan organik, anorganik dan organisme renik (plankton) yang tersuspensi dan terlarut (Davis & Cornwell, 2008). Bahan organik dan organik yang masuk ke perairan bisa disebabkan oleh adanya aliran (*run off*) dari daratan yang membawa serta lumpur dan pasir halus yang dapat mengakibatkan sedimentasi di dasar perairan. Beban sedimen yang terbawa oleh aliran air dapat merugikan ekosistem air tawar yang ada di bagian hilirnya salah satunya dapat mengakibatkan kematian ikan (Baoligao *et al*., 2016). Sedangkan melimpahnya plankton di perairan disebabkan oleh meningkatnya kesuburan perairan. Kekeruhan yang tinggi yang disebabkan oleh bahan organik dan anorganik dapat mempengaruhi penetrasi cahaya matahari yang akan menghambat proses fotosintesis pada kolom air.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **Turbiditas Insitu (NTU)** | **Turbiditas Prediksi (NTU)** |
| Minimum | 3.10 | 2.47 |
| Maksimum | 18.20 | 12.78 |
| Rata-rata | 5.25 | 5.25 |

**Tabel 2**. Kisaran nilai turbiditas insitu dan prediksi

**Algoritma Prediksi Nilai Turbiditas**

Regresi dan multiregresi antara kombinasi nilai reflektansi dengan nilai turbiditas hasil pengukuran lapangan dilakukan untuk memperoleh hubungan kombinasi terbaik yang ditandai dengan nilai korelasi dan determinasi yang tinggi (Tabel 3). Berdasarkan hasil perhitungan yang terdapat pada Tabel 1, kombinasi multiregresi band 3 (B3) dan band 4 (B4) memiliki nilai koefisien determinasi tertinggi (R2=0.60). Sehingga selanjutnya kombinasi B3 dan B4 digunakan dalam persamaan algoritma.

**Tabel 3**. Koefisien korelasi (r) dan koefisien determinasi (R2) hasil regresi antara kombinasi nilai reflektansi dan nilai turbiditas hasil pengukuran lapangan**.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Kombinasi | Regresi Linear (ratio band) | | Multiregresi Linear (kombinasi 2 band) | |
| r | R2 | r | R2 |
| lnB2 | 0.38 | 0.15 | - | - |
| lnB3 | 0.61 | 0.37 | - | - |
| lnB4 | 0.41 | 0.16 | - | - |
| lnB8 | 0.26 | 0.06 | - | - |
| lnB2, lnB3 | 0.76 | 0.57 | 0.75 | 0.57 |
| lnB2, lnB4 | 0.37 | 0.13 | 0.4 | 0.16 |
| lnB2, lnB8 | 0.16 | 0.02 | 0.38 | 0.15 |
| lnB3, lnB4 | 0.21 | 0.04 | 0.77 | **0.6** |
| lnB3, lnB8 | 0.01 | 0.0001 | 0.65 | 0.43 |
| lnB4, lnB8 | 0.07 | 0.006 | 0.43 | 0.18 |

Berdasarkan hasil multiregresi, kombinasi B3 dan B4 dengan nilai turbiditas hasil pengukuran diperoleh koefisien regresi a=76.77, b=63.22 dan c=-34.31, sehingga diperoleh persamaan empiris untuk memprediksi nilai turbiditas di perairan waduk jatiluhur adalah:

Dimana, Y = turbiditi prediksi, X1 (ln B3), X2 (ln B4)

Korelasi antara nilai turbiditas insitu dengan nilai turbiditas prediksi cukup tinggi dengan koefisien determinasi (R2=0.60). Hasil korelasi tersebut sedikit lebih baik dari hasil penelitian (Wang et.al., 2006), yang menggunakan persamaan multiregresi dengan data citra Landsat-5 (R2=0.53).

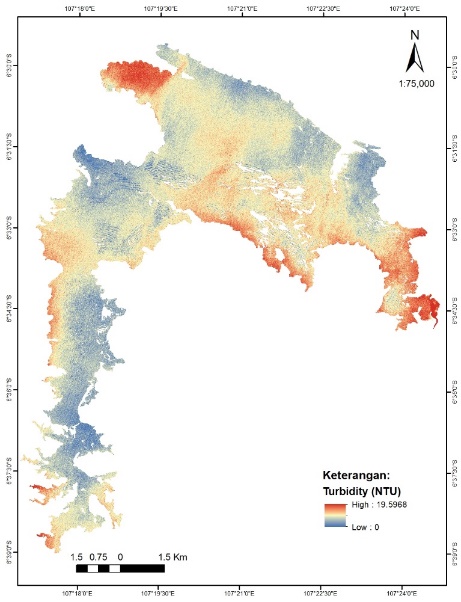
Namun nilai R2 tersebut lebih kecil dibandingkan hasil penelitian Liu & Wang, 2019, pada saat membangun model turbidity untuk menilai turbidity di Tseng-Wen and Nan-Hwa Reservoirs dengan menggunakan citra Landsat-8 yang menghasilkan nilai R2 = 0.727. Koefisien determinasi mengambarkan seberapa besar kemampuan variabel bebas (X1 dan X2) dalam menjelaskan varians dari variabel terikatnya (Y). Nilai RMSE yang diperoleh berdasarkan hasil perhitungan sebesar 1.95 NTU, yang menggambarkan seberapa besar nilai kesalahan yang terjadi diantara dua set data (data insitu dan data prediksi). Grafik hubungan antara nilai turbiditas insitu dan nilai turbiditas prediksi dijelaskan pada Gambar 4. Berdasarkan analisis MAPE, penyimpangan nilai turbiditas prediksi terhadap nilai turbiditas insitu sebesar 31.1% yang digambarkan pada Gambar 5.

**Gambar 4**. Hubungan antara turbiditas insitu dan turbiditas prediksi

**Gambar 5**. Gambaran penyimpangan nilai turbiditas prediksi dan nilai turbiditas insitu

**Peta Sebaran Tingkat Kekeruhan**

Model persamaan algoritma yang dihasilkan untuk memprediksi nilai turbiditas dapat digunakan untuk menggambarkan prediksi sebaran tingkat kekeruhan di Waduk Jatiluhur (Gambar 6). Setelah diketahuinya sebaran tingkat kekeruhan pada suatu badan air, perlu dilakukan kajian lanjutan untuk mengetahui faktor yang menyebabkan terjadinya kekeruhan tersebut, apakah disebabkan oleh bahan organik dan anorganik atau disebabkan oleh mikroorganisme yang tersuspensi di kolom perairan. Effendi 2003 menyatakan bahwa kekeruhan pada perairan tergenang lebih banyak disebabkan oleh bahan tersuspensi yang berupa koloid dan partikel-partikel halus.



Peningkatan turbiditas sebesar 5 NTU di perairan danau dapat mengurangi produktifitas primer sebesar 75% (Effendi, 2003). Perairan dengan tingkat kekeruhan yang tinggi akan mengganggu pernafasan dan penglihatan organisme yang ada di dalamnya.

Berdasarkan gambaran dari peta sebaran turbiditas di Waduk Jatiluhur, kekeruhan yang tinggi sebagian besar berada di pinggir perairan pada cekungan yang memiliki kedalaman dangkal. Hal tersebut diduga adanya pengaruh aliran (run off) dari daratan. Sedangkan di perairan bagian tengah yang dalam, tingkat kekeruhannya berkurang.

**Gambar 6**. Peta sebaran nilai turbiditas di Waduk Jatiluhur

# KESIMPULAN

Persamaan multiregresi antara kombinasi band 3 (hijau) dan band 4 (merah) citra satelit Sentinel-2A dengan nilai turbiditas insitu menunjukan korelasi yang cukup tinggi dengan koefisien determinasi (R2) = 0.60 dan RMSE 1.95 NTU. Hasil anslisis MAPE, persentasi penyimpangan data hasil prediksi terhadap hasil pengukuran sekitar 31.1%. Prediksi tingkat kekeruhan dengan menggunakan persamaan algoritma dengan menggunakan data citra satelit Sentinel-2A dapat dilakukan untuk memetakan sebaran turbiditas di Waduk Jatiluhur.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih sedalam-dalamnya penulis sampaikan kepada Balai Riset Pemulihan Sumberdaya Ikan tempat penulis bekerja, Dr. Lismining Pujiyani Astuti sebagai penanggung jawab kegiatan penelitian di Waduk Ir. H. Djuanda beserta tim penelitiannya, serta Andri Warsa, M.Si. dan Agus Arifin Sentosa, S.Pi. yang membantu dalam penyusunan makalah ini. Sebagai kontributor utama dalam makalah ini adalah Lismining Pujiyani Astuti, Andri Warsa dan Agus Arifin Sentosa.

# Daftar pustaka

Astuti, Lismining Pujiyantiurfiarini, A., Sugianti, Y., Warsa, A., Rahman, A., & Hendrawan, A. L. S. (2016). *Tata Kelola Perikanan Berkelanjutan di Waduk Jatiluhur*. (J. Haryadi, E. . Kartamihardja, Krismono, D. W. . Tjahjo, & K. Amri, Eds.), *Penerbit Deepublish*. Yogyakarta: PENERBIT DEEPUBLISH.

Baoligao, B., Xu, F., Chen, X., Wang, X., & Chen, W. (2016). Acute impacts of reservoir sediment flushing on fishes in the Yellow River. *Journal of Hydro-Environment Research*, *13*, 26–35. https://doi.org/10.1016/j.jher.2015.11.003

Boucher, J., Weathers, K. C., Norouzi, H., & Steele, B. (2018). Assessing the effectiveness of Landsat 8 chlorophyll a retrieval algorithms for regional freshwater monitoring. *Ecological Applications*, *28*(4), 1044–1054. https://doi.org/10.1002/eap.1708

Castaño, J. A., & Higuita, J. C. (2016). Using turbidity for designing water networks. *Journal of Environmental Management*, *172*, 129–135. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.027

Chamoun, S., De Cesare, G., & Schleiss, A. J. (2017). Management of turbidity current venting in reservoirs under different bed slopes. *Journal of Environmental Management*, *204*, 519–530. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.030

Davis, M. ., & Cornwell, D. . (2008). *Introduction to Environtmental Engineering*. *วารสารสังคมศาสตร์วิชาการ* (Fourth Edi, Vol. 7). New: Mc Graw Hill, Inc.

Dekker, A. G., Brando, V. E., Anstee, J. M., Pinnel, N., Kutser, T., Hoogenboom, E. J., … Malthus, T. J. M. (2002). Imaging Spectrometry of Water, (June 2014), 307–359. https://doi.org/10.1007/978-0-306-47578-8\_11

Dörnhöfer, K., & Oppelt, N. (2016). Remote sensing for lake research and monitoring – Recent advances. *Ecological Indicators*, *64*, 105–122. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.009

Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.

Espa, P., Brignoli, M. L., Crosa, G., Gentili, G., & Quadroni, S. (2016). Controlled sediment flushing at the Cancano Reservoir (Italian Alps): Management of the operation and downstream environmental impact. *Journal of Environmental Management*, *182*, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.021

Guo, M., Li, J., Sheng, C., Xu, J., & Wu, L. (2017). A review of wetland remote sensing. *Sensors (Switzerland)*, *17*(4), 1–36. https://doi.org/10.3390/s17040777

Hannouche, A., Joannis, C., & Chebbo, G. (2017). Assessment of total suspended solids (TSS) event load and its uncertainties in combined sewer system from continuous turbidity measurements. *Urban Water Journal*, *14*(8), 789–796. https://doi.org/10.1080/1573062X.2016.1254256

Ismail, K., Boudhar, A., Abdelkrim, A., Mohammed, H., Mouatassime, S., Kamal, A., … Nouaim, W. (2019). Evaluating the potential of Sentinel-2 satellite images for water quality characterization of artificial reservoirs: The Bin El Ouidane Reservoir case study (Morocco). *Meteorology Hydrology and Water Management*, *7*(1). https://doi.org/10.26491/mhwm/95087

Jin, H., Huang, C., Lang, M. W., Yeo, I. Y., & Stehman, S. V. (2017). Monitoring of wetland inundation dynamics in the Delmarva Peninsula using Landsat time-series imagery from 1985 to 2011. *Remote Sensing of Environment*, *190*, 26–41. https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.12.001

Joshi, I. D., D’Sa, E. J., Osburn, C. L., & Bianchi, T. S. (2017). Turbidity in Apalachicola Bay, Florida from Landsat 5 TM and field data: Seasonal patterns and response to extreme events. *Remote Sensing*, *9*(4), 1–27. https://doi.org/10.3390/rs9040367

KC, A., Chalise, A., Parajuli, D., Dhital, N., Shrestha, S., & Kandel, T. (2019). Surface Water Quality Assessment Using Remote Sensing, Gis and Artificial Intelligence. *Technical Journal*, *1*(1), 113–122. https://doi.org/10.3126/tj.v1i1.27709

Kutser, T., Paavel, B., Verpoorter, C., Ligi, M., Soomets, T., Toming, K., & Casal, G. (2016). Remote sensing of black lakes and using 810 nm reflectance peak for retrieving water quality parameters of optically complex waters. *Remote Sensing*, *8*(6). https://doi.org/10.3390/rs8060497

Liu, L. W., & Wang, Y. M. (2019). Modelling reservoir turbidity using Landsat 8 satellite imagery by gene expression programming. *Water (Switzerland)*, *11*(7). https://doi.org/10.3390/w11071479

Martins, V. S., Barbosa, C. C. F., de Carvalho, L. A. S., Jorge, D. S. F., Lobo, F. de L., & de Moraes Novo, E. M. L. (2017). Assessment of atmospheric correction methods for sentinel-2 MSI images applied to Amazon floodplain lakes. *Remote Sensing*, *9*(4). https://doi.org/10.3390/rs9040322

Mullins, D., Jones, E., Glavin, M., Coburn, D., Hannon, L., & Clifford, E. (2018). A novel image processing-based system for turbidity measurement in domestic and industrial wastewater. *Water Science and Technology*, *77*(5), 1469–1482. https://doi.org/10.2166/wst.2018.030

Ouma, Y. O., Waga, J., Okech, M., Lavisa, O., & Mbuthia, D. (2018). Estimation of Reservoir Bio-Optical Water Quality Parameters Using Smartphone Sensor Apps and Landsat ETM+: Review and Comparative Experimental Results. *Journal of Sensors*, *2018*(August). https://doi.org/10.1155/2018/3490757

Pizani, F. M. C., Maillard, P., Ferreira, A. F. F., & De Amorim, C. C. (2020). Estimation of water quality in a reservoir from sentinel-2 msi and landsat-8 oli sensors. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *5*(3), 401–408. https://doi.org/10.5194/isprs-Annals-V-3-2020-401-2020

Robert, E., Grippa, M., Kergoat, L., Pinet, S., Gal, L., Cochonneau, G., & Martinez, J. M. (2016). Monitoring water turbidity and surface suspended sediment concentration of the Bagre Reservoir (Burkina Faso) using MODIS and field reflectance data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *52*(June), 243–251. https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.06.016

Stoddard, J. L., Van Sickle, J., Herlihy, A. T., Brahney, J., Paulsen, S., Peck, D. V., … Pollard, A. I. (2016). Continental-Scale Increase in Lake and Stream Phosphorus: Are Oligotrophic Systems Disappearing in the United States? *Environmental Science and Technology*, *50*(7), 3409–3415. https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05950

Wang, F., Han, L., Kung, H. T., & van Arsdale, R. B. (2006). Applications of Landsat-5 TM imagery in assessing and mapping water quality in Reelfoot Lake, Tennessee. *International Journal of Remote Sensing*, *27*(23), 5269–5283. https://doi.org/10.1080/01431160500191704

Zhao, Q., Bai, J., Huang, L., Gu, B., Lu, Q., & Gao, Z. (2016). A review of methodologies and success indicators for coastal wetland restoration. *Ecological Indicators*, *60*(April 2020), 442–452. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.07.003