



Prediksi Konsentrasi Klorofil-a Menggunakan Data Citra Satelit Sentinel-2A di Waduk Jatiluhur Kabupaten Purwakarta

Prediction of Chlorophyll-a Using Satellite Imagery Data Sentinel-2A in Jatiluhur Reservoir Purwakarta Regency

ARIP RAHMAN*, LISMINING PUJIYANI ASTUTI, ANDRI WARSA, AGUS ARIFIN SENTOSA

Balai Riset Pemulihan Sumber Daya Ikan
Jl. Cilalawi No. 1 Jatiluhur Purwakarta Jawa Barat
*alphagrt79@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received 10 January 2022

Accepted 15 July 2022

Published 31 July 2022

Keywords:

Chlorophyll-a

Sentinel-2A satellite imagery

Jatiluhur reservoirs

Empirical

Semi-analytical

ABSTRACT

Lakes, reservoirs, and rivers are among the most changing ecosystems on the earth's surface. Chlorophyll-a as the main pigment in phytoplankton is often used to describe the water quality of lake and reservoirs and as an important element that indicates the tropical status of a waters. Spatial and temporal changes in algae blooms in a lake make it difficult to use in situ monitoring. The aim of the study is to predict the concentration of chlorophyll-a in Jatiluhur Reservoirs. The data used in this study were chlorophyll-a data from in situ measurements and satellite data Sentinel-2A. The method to obtain the value of the concentration of chlorophyll-a are an empirical and semi-analytical method. The empirical method is carried out by correlating in situ data with ratio of band 5 (red edge) and band 4 (red) (B5/B4). While the semi-analytical method is carried out by analyzing the Case 2 Regional Coast Colour (C2RCC) algorithm that integration in Sentinel Application Platform (SNAP) software. Correlation between in situ data and prediction of chlorophyll-a data has a strong relationship with the coefficient of determination $R^2=0.67$ (in situ data with ratio prediction data) and $R^2=0.56$ (in situ data with C2RCC prediction data). Based on this, remote sensing data on Sentinel-2A imagery with the application of several algorithms, can be used to support water quality monitoring activities in lakes and reservoirs, especially chlorophyll-a.

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Diterima 10 Januari 2022

Disetujui 15 Juli 2022

Diterbitkan 31 Juli 2022

Kata kunci:

Klorofil-a

Citra Sentinel-2A

Waduk Jatiluhur

Empiris

Semi analisis

ABSTRAK

Danau, waduk, dan sungai merupakan salah satu ekosistem yang paling banyak berubah di permukaan bumi. Klorofil-a sebagai pigmen utama fitoplankton sering digunakan untuk menggambarkan kualitas perairan danau dan waduk. Selain itu, klorofil-a merupakan unsur penting yang menandakan status tropik suatu perairan. Perubahan secara spasial dan temporal *blooming alga* pada suatu danau/waduk membuat sulit untuk melakukan *monitoring* secara in situ. Penelitian dilakukan untuk memprediksi nilai konsentrasi klorofil-a di Waduk Jatiluhur menggunakan data penginderaan jauh. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data klorofil-a hasil pengukuran in situ dan data citra satelit Sentinel-2A. Metode yang digunakan untuk memprediksi nilai konsentrasi klorofil-a adalah metode empiris dan semi analisis. Metode empiris dilakukan dengan mengkorelasikan antara nilai klorofil-a in situ dengan nilai rasio *band 5 (red edge)* dan *band 4 (red)* (B5/B4). Sedangkan metode semi analisis dilakukan dengan analisis algoritma *Case 2 Regional Coast Colour (C2RCC)* yang terintegrasi pada perangkat lunak *Sentinel Application Platform (SNAP)*. Hasil korelasi antara data in situ dan data prediksi klorofil-a diperoleh hubungan yang kuat dengan koefisien determinasi $R^2=0,67$ (data in situ dengan data prediksi rasio) dan $R^2=0,56$ (data in situ dengan data prediksi C2RCC). Berdasarkan hal tersebut, data penginderaan jauh citra Sentinel-2A dengan aplikasi beberapa algoritma, dapat digunakan untuk mendukung kegiatan *monitoring* kualitas perairan di danau dan waduk terutama klorofil-a.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Eutrofikasi merupakan suatu konsekuensi dari penurunan kualitas perairan yang ditandai dengan tingginya konsentrasi nitrogen, fosfor, dan pertumbuhan fitoplankton yang berlebihan serta tanaman air lainnya (Abell *et al.*, 2011). Aktifitas manusia di daerah tangkapan air (*watersheds*) diperkirakan akan mempengaruhi konsentrasi nutrisi yang ada di lingkungan perairan (Liu *et al.*, 2012). Pertumbuhan fitoplankton (*cyanobacteria*) yang berlebihan akibat dari aktivitas antropogenik akan berdampak negatif terhadap suatu badan air yang tertutup, sehingga akan merugikan masyarakat di sekitarnya (Zhang *et al.*, 2015). Kombinasi konsentrasi unsur hara, kondisi hidrologi, dan morfologi danau memberikan gambaran yang luas mengenai kondisi lingkungan perairan dari keadaan jernih sampai keruh (Bolpagni *et al.*, 2014). Perdebatan saat ini mengenai strategi pengelolaan nutrisi untuk mengurangi eutrofikasi di danau, memerlukan kajian lebih lanjut mengenai hubungan antara keberadaan fitoplankton dan nutrisi (Paerl *et al.*, 2016; Schindler *et al.*, 2016).

Klorofil-a sebagai pigmen utama fitoplankton sering digunakan untuk menggambarkan kualitas perairan danau atau waduk (Buma & Lee, 2020) dan sebagai unsur penting yang menandakan status tropik suatu perairan. Secara khusus, konsentrasi klorofil-a banyak digunakan sebagai pengganti biomassa fitoplankton yang digunakan dalam studi tingkat kesuburan perairan di seluruh dunia (Carneiro *et al.*, 2014). Perubahan secara spasial dan temporal *blooming alga* pada suatu danau membuat sulit untuk melakukan *monitoring* secara in situ (Pirasteh *et al.*, 2020). Pemantauan masalah perairan umumnya berdasarkan nilai konsentrasi klorofil-a yang dipantau dengan melakukan pengambilan sampel secara rutin dengan cakupan waktu dan luasan yang terbatas (Ogashawara *et al.*, 2021). Kemampuan untuk mendapatkan gambaran menyeluruh secara berulang beberapa parameter kualitas air pada suatu danau dengan teknik penginderaan jauh akan meningkatkan resolusi spasial dan temporal yang tidak dapat diperoleh melalui *monitoring* lapangan secara langsung (Binding *et al.*, 2010).

Beberapa tahun terakhir, beberapa algoritma empiris dan semi analitik telah dikembangkan untuk perairan daratan yang sangat keruh berdasarkan saluran (*band*) merah dan inframerah dekat (NIR) (Zhang *et al.*, 2015). Penginderaan jauh dapat digunakan untuk memperoleh data yang seragam secara sinoptik yang mencakup waktu dan daerah yang luas secara berulang dan tidak merusak (Green *et al.*, 1996). Tantangan utama teknologi penginderaan jauh dalam *monitoring* kualitas air adalah resolusi spasial dari sensor yang digunakan untuk mendeteksi informasi optik yang berguna dari danau (Verpoorter *et al.*, 2014). Akhir-akhir ini dengan kemajuan di bidang penginderaan jauh (*remote sensing*) dengan resolusi sampai *sub-decimeter* yang dapat digunakan untuk survei vegetasi akuatik sampai level spesies (Birk & Ecke, 2014).

Satelit Sentinel-2A merupakan satelit optik pengamatan bumi pertama dalam program *European Copernicus*, *European Space Agency* (ESA). Penggunaan citra satelit sentinel-2A pertama kali dalam pemantauan parameter kualitas pada perairan daratan (*inland fisheries*) dilakukan di Danau Peipsi dan Danau Vortsjarv, Estonia (Toming *et al.*, 2016). Nilai klorofil-a di perairan dapat diprediksi dengan menggunakan *band* 5 (705 nm) yang kombinasikan dengan *band* 4 (665 nm) dan *band* 6 (740 nm) (Ogashawara *et al.*, 2021). Beberapa studi mengenai prediksi nilai klorofil-a berdasarkan citra satelit Sentinel-2A antara lain dilakukan di Danau Ba Be yang berstatus danau mesotrofik di Vietnam (Ha *et al.*, 2017), Danau Subalpine yang merupakan danau oligotrofik-mesotropik di Italia (Bresciani *et al.*, 2018). Hubungan antara nilai klorofil-a hasil pengukuran in situ dan hasil prediksi dari data citra satelit digambarkan dengan nilai koefisien determinasi (R^2). Nilai koefisien determinasi (R^2) mendekati satu menunjukkan bahwa variabel bebas (nilai reflektansi) memiliki kemampuan dalam menjelaskan variasi variabel terikatnya (nilai klorofil-a) (Nduru *et al.*, 2014).

Waduk Jatiluhur merupakan suatu badan air buatan pada aliran Sungai Citarum yang terletak di Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat. Waduk Jatiluhur memiliki luas genangan air \pm 8.300 ha dengan rata-rata kedalaman 37,6 m (Astuti *et al.*, 2016). Perairan Waduk Jatiluhur menerima masukan beban nutrien baik dari kegiatan budidaya keramba jaring apung (KJA) maupun dari aktifitas manusia yang berada di sekitar waduk. Hal tersebut dapat mempengaruhi kondisi perairan waduk, terutama berkaitan dengan tingkat kesuburan perairan. Salah satu indikator terjadinya penyuburan pada suatu perairan adalah terjadinya *blooming algae*

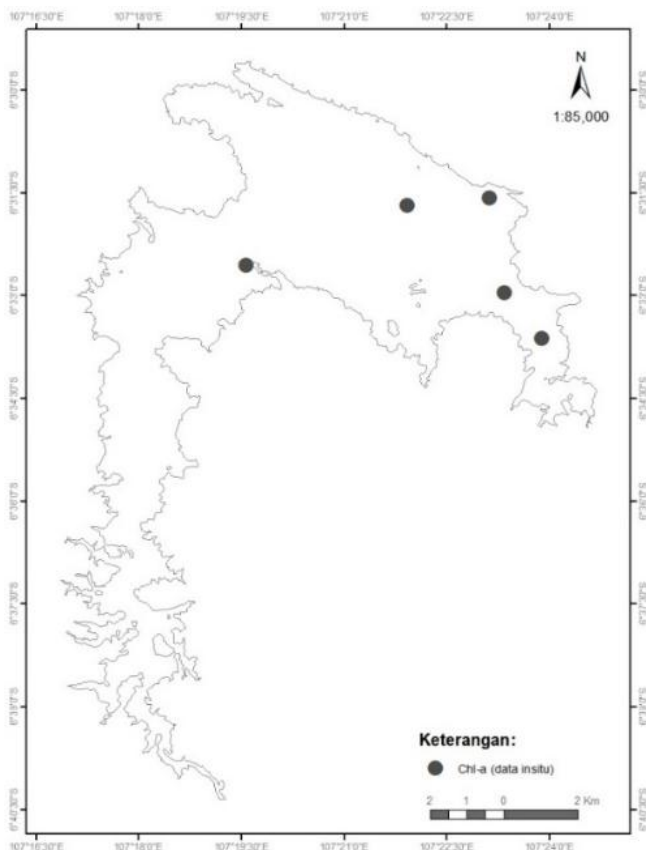
1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian dilakukan untuk memprediksi kandungan klorofil-a di Waduk Jatiluhur dengan menggunakan data citra satelit Sentinel-2A dengan metode empiris dan semi analisis. Prediksi klorofil-a dari citra satelit Sentinel-2A multispektral dapat dijadikan informasi tambahan data in situ. Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan untuk melakukan penilaian status tingkat kesuburan perairan secara cepat dan efisien.

2. METODE

2.1 Lokasi dan Waktu

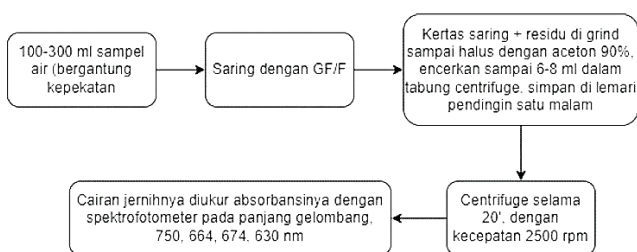
Pengambilan sampel klorofil-a dilakukan di Waduk Jatiluhur, Kabupaten Purwakarta pada bulan Mei 2021 (Gambar 1). Sampel klorofil diambil secara acak pada lima lokasi yang diharapkan dapat mewakili kondisi perairan waduk pada bagian genangan utama. Sampel air diambil pada permukaan air sebanyak 250 ml dan diberi pengawet $MgCO_3$ sebanyak 20 ml. Selanjutnya sampel air dibawa ke Laboratorium Kimia Air Balai Riset Pemulihan Sumber Daya Ikan (BRPSDI) untuk dianalisis kandungan klorofil-a nya..



Gambar 1. Peta lokasi pengambilan sampel klorofil-a di Waduk Jatiluhur, Kabupatén Purwakarta

2.2 Analisa Klorofil-a

Analisis klorofil-a dilakukan di Laboratorium Kimia Air BRPSDI dengan menggunakan spektrofotometer dengan prosedur disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Prosedur analisis Chl-a dengan metode spektrofotometer (APHA, 2005).

Konsentrasi Klorofil-a dihitung dengan persamaan (APHA, 2005):

$$Klorofil - a (mg/m^3) = \frac{Ca \times vol\ ekst (L)}{Vol. sampel (m^3)} \dots\dots\dots (1)$$

$$Ca (mg/L) = 11,85(OD664) - 1,54(OD647) - 0,08(OD630) \dots\dots\dots (2)$$

2.3 Proses Ekstraksi Nilai Klorofil-a dari Citra Satelit Sentinel-2A

Citra Sentinel-2A merupakan citra multispektral dengan 13 kanal (*band*) yang memiliki resolusi spasial 10, 20, dan 60 m bergantung spektral kanalnya. Sentinel-2A memiliki resolusi temporal lima hari untuk daerah ekuator. Citra Sentinel-2A yang digunakan pada penelitian ini

diperoleh tanpa berbayar dari website USGS (<https://glovis.usgs.gov>) yang diakuisisi pada Mei 2021. Koreksi atmosferik diperlukan untuk menghilangkan efek atmosfer yang dapat berpengaruh terhadap perambatan gelombang elektromagnetik.

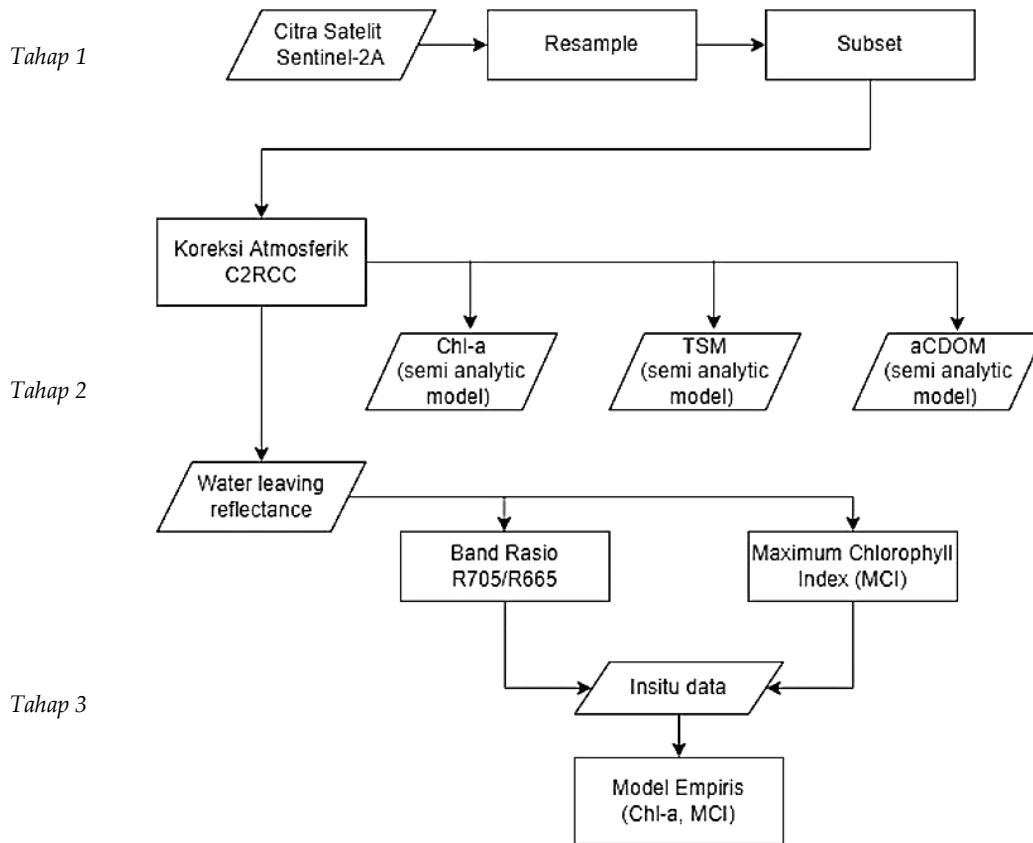
Prosesor C2RCC merupakan koreksi algoritma berbasis *Neural Network* (NN) yang awalnya diusulkan oleh Doerffer & Schiller (2007) yang terintegrasi dengan perangkat lunak *Sentinel Application Platform* (SNAP). Berdasarkan variasi sifat optisnya, suatu perairan dibagi menjadi dua tipe, yaitu perairan dengan tipe *Case 1* dan *Case 2* (Morel & Prieur, 1977). Perairan dengan tipe *Case 1* merupakan perairan di mana fitoplankton menjadi faktor utama yang mempengaruhi variasi sifat optik pada suatu perairan. Perairan dengan tipe *Case 2* sifat optik tidak hanya dipengaruhi oleh fitoplankton tetapi oleh zat lain terutama partikel organik yang tersuspensi dan *yellow substances* (IOCCG, 2000). Algoritma C2RCC digunakan untuk citra satelit multispektral pada perairan dengan tipe *Case 2*. Algoritma C2RCC bergantung pada *database* yang dihasilkan dari simulasi reflektansi dari perairan dan berhubungan dengan radiasi bagian atas atmosfer (TOA, *top of atmosphere*). *Neural networks* dilatih untuk melakukan pembalikan (*inversion*) dari *spectrum* untuk koreksi atmosfer, yaitu menentukan radiasi yang meninggalkan perairan dari radiasi TOA, serta untuk mendapatkan sifat optik yang terdapat pada badan air.

Prosedur ekstraksi nilai konsentrasi klorofil-a dari data citra satelit Sentinel-2A dibagi menjadi tiga tahapan (Gambar 3). Semua tahapan dalam prosedur di atas dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SNAP. Tahap 1 adalah pra-proses citra satelit yang terdiri dari tahapan akuisisi Citra Satelit Sentinel-2A (Mei 2021) dilanjutkan dengan *resample* citra satelit (10 m), dan terakhir subset, yaitu memotong citra satelit sesuai dengan daerah penelitian (*Area of Interest* (AOI)). Tahap 2 yang terdiri dari model semi analisis yang dilanjutkan dengan koreksi atmosferik C2RCC kemudian *bio-optical model* (Chl-a, TSM, aCDOM). Tahap 3 adalah model empiris yang meliputi *band ratio* dan *Maximum Chlorophyll Index* (MCI)).

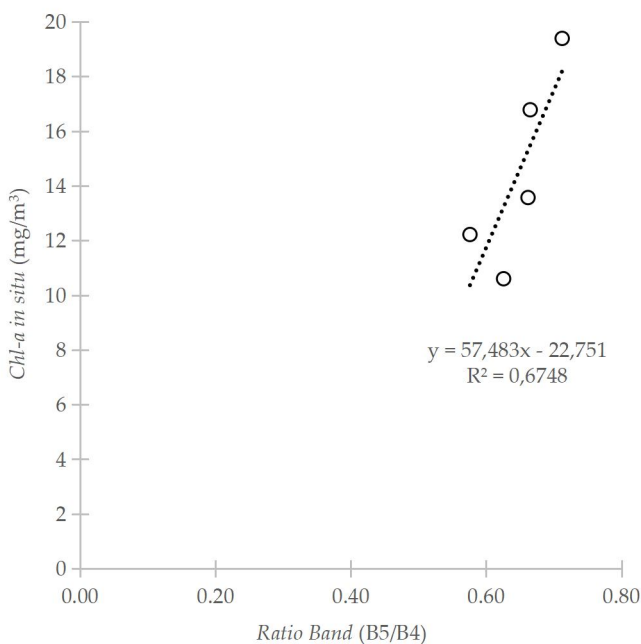
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini digunakan dua metode algoritma yaitu: metode empiris dan metode semi analisis (C2RCC). Pendekatan model empiris (*band ratio*) lebih banyak digunakan meskipun dengan sensitifitas yang rendah tetapi mudah dibangun dan diaplikasikan (Matthews, 2011). Metode empiris dilakukan dengan meregresikan data nilai klorofil-a hasil pengukuran in situ dengan nilai reflektansi (*band ratio, single/multiple band*) yang sudah terkoreksi (*atmosphere correction, C2RCC*). Karena tipe perairan waduk Jatiluhur termasuk tipe *Case 2* maka *band ratio* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *band 5* ($R\lambda_{705}$) dan *band 4* ($R\lambda_{665}$). Pada tipe perairan *Case 2*, kisaran penyerapan maksimum klorofil-a berada pada panjang gelombang antara 660 dan 690 nm ($R\lambda_{665}$, *band 4* (*Red*)) dan kisaran panjang gelombang antara 700 dan 720 nm ($R\lambda_{705}$, *band 5* (*Red edge*)) (Lins et al., 2017; Mark et al., 2010). Sehingga diperoleh persamaan:

$$Chl\ a \sim \frac{R\lambda_{705}}{R\lambda_{665}} \dots\dots\dots (3)$$



Gambar 3. Prosedur penurunan konsentrasi klorofil-a dari data citra satelit.



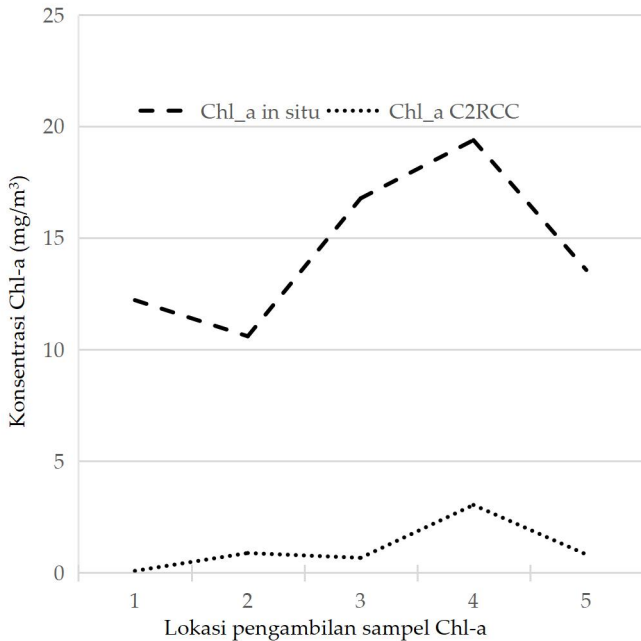
Gambar 4. Korelasi antara Chl-a in situ dan band ratio (B5/B4)

Hasil metode empiris merupakan analisis regresi antara nilai klorofil-a hasil pengukuran in situ dengan nilai reflektansi rasio band (B5/B4) disajikan pada Gambar 4. Sumbu X (horizontal) pada grafik tersebut merupakan nilai reflektansi rasio band (B5/B4) sedangkan sumbu Y (vertikal) merupakan nilai klorofil-a hasil pengukuran in situ. Dari grafik pada Gambar 4, diperoleh persamaan $y=57,483x-22,751$, dengan koefisien determinasi $R^2=0,67$. Berdasarkan nilai koefisien determinasi tersebut, menunjukkan bahwa

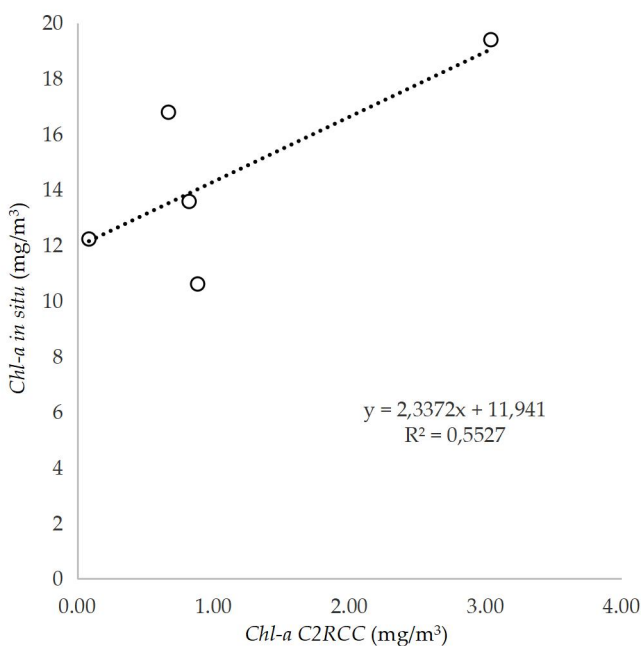
variabel bebas ($x=R\lambda_{705}/R\lambda_{665}$) memiliki kemampuan yang kuat dalam menjelaskan variasi variabel terkaitnya (y =konsentrasi klorofil-a) (Nduru et al., 2014). Hasil korelasi tersebut tidak jauh berbeda dengan hasil korelasi antara rasio band (B3/B4) dengan nilai klorofil-a yang dilakukan di Danau Ba Be Vietnam dengan koefisien determinasi $R^2= 0,68$ (Ha et al., 2017)

Metode semi analisis, C2RCC digunakan untuk menurunkan konsentrasi klorofil-a dari data citra satelit Sentinel-2A. Algoritma C2RCC merupakan algoritma untuk koreksi atmosfer yang terintegrasi pada tool Sentinel Application Platform (SNAP). Hasil keluaran proses koreksi algoritma C2RCC diantaranya adalah band yang menghasilkan konsentrasi klorofil-a dan konsentrasi total suspended matter (TSM). Pada saat proses algoritma C2RCC pada program SNAP, diperlukan beberapa input data parameter terkait lokasi penelitian. Beberapa parameter input yang dimasukkan pada proses algoritma C2RCC pada penelitian ini diantaranya, data elevasi, salinitas, dan suhu, sementara parameter lainnya dibuat default. Konsentrasi klorofil-a yang dihasilkan dari proses koreksi algoritma C2RCC nilainya lebih kecil (underestimate) dibandingkan dengan hasil pengukuran klorofil-a secara in situ di beberapa lokasi pengambilan data in situ (Gambar 5). Pada grafik Gambar 5 disajikan perbandingan nilai klorofil-a hasil pengukuran in situ dengan nilai klorofil-a hasil algoritma C2RCC di beberapa lokasi. Berdasarkan pola garis yang dihasilkan terdapat ketidaksesuaian nilai klorofil-a hasil pengukuran in situ dan hasil algoritma C2RCC. Hal tersebut terlihat di beberapa lokasi nilai klorofil-a hasil pengukuran in situ nya tinggi sementara hasil algoritma C2RCC nya

rendah. Ketidaksesuaian nilai klorofil-a tersebut diduga terjadi pada saat pengukuran in situ atau pada saat mengeksekusi algoritma C2RCC karena ada beberapa parameter input yang dibuat default karena nilai parameternya tidak tersedia. Hasil korelasi antara konsentrasi klorofil-a in situ dan C2RCC disajikan pada Gambar 6. Hasil korelasi pada Gambar 6 menggambarkan bahwa nilai klorofil-a hasil algoritma C2RCC sebagai variabel bebas memiliki pengaruh sebesar 55% terhadap hasil pengukuran konsentrasi klorofil-a secara in situ dengan persamaan $y = 2,3372x + 11,491$.



Gambar 5. Konsentrasi klorofil-a in situ dan hasil koreksi atmosferik C2RCC



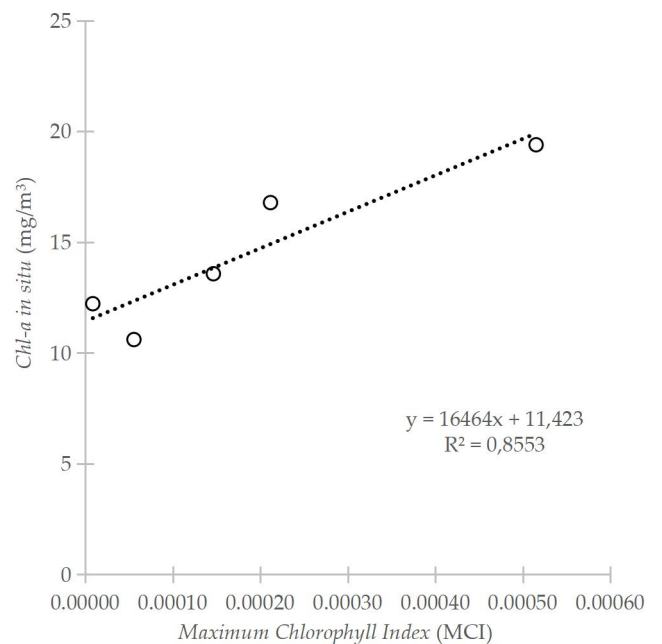
Gambar 6. Korelasi antara konsentrasi klorofil-a in situ dan C2RCC

Hasil koreksi algoritma C2RCC juga dapat digunakan untuk menghitung *Maximum Chlorophyll Index* (MCI) sebagai tool untuk *monitoring blooming alga* (Binding et al., 2013). MCI memiliki potensi untuk digunakan secara efektif untuk mengamati konsentrasi klorofil-a pada danau yang mengalami penyuburan (*eutrophication*) (Pirasteh et al., 2020). Persamaan algoritma yang digunakan untuk memperoleh nilai MCI (Ansper & Alikas, 2019) adalah sebagai berikut:

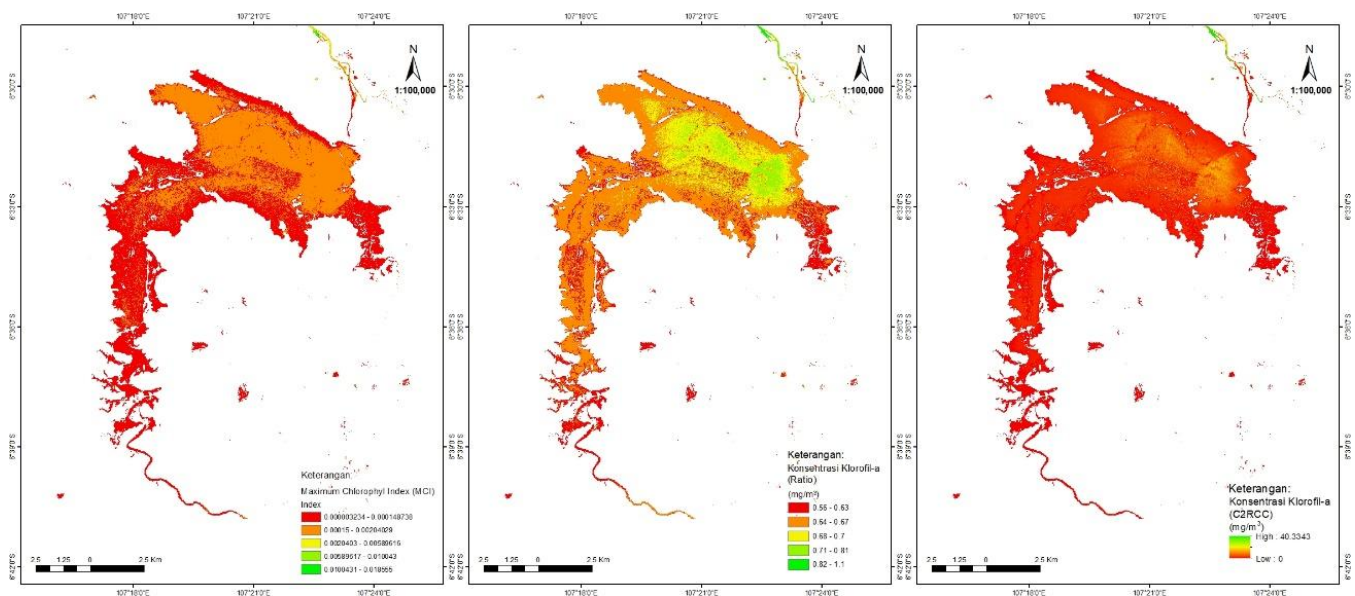
$$MCI = R\lambda_{705} - R\lambda_{665} - 0,53 \times (R\lambda_{740} - R\lambda_{665}) \dots (4)$$

Di mana: $0,53 = \left(\frac{R\lambda_{705} - R\lambda_{665}}{R\lambda_{740} - R\lambda_{665}} \right)$

Perairan dengan kisaran nilai klorofil-a 10–300 mg/m³ berpotensi menggunakan MCI untuk *monitoring blooming alga* (Binding et al., 2013). Sementara itu berdasarkan hasil pengukuran in situ, konsentrasi klorofil-a di Waduk Jatiluhur berkisar antara 11–19 mg/m³. Hal tersebut mengindikasikan bahwa di Waduk Jatiluhur berpotensi untuk menggunakan nilai MCI secara efektif untuk *monitoring blooming alga*. Penggunaan MCI untuk *monitoring blooming alga* juga dilakukan di Danau Erie Amerika Utara (Pirasteh et al., 2020). Hubungan antara nilai klorofil-a hasil pengukuran in situ (sumbu Y) dengan nilai MCI (sumbu X) disajikan pada Gambar 7. Berdasarkan Gambar 7, hubungan linear antara nilai klorofil-a in situ dan nilai MCI sangat kuat dengan nilai koefisien determinasi $R^2=0,85$. Sementara itu gambaran sebaran konsentrasi klorofil-a di Waduk Jatiluhur secara spasial berdasarkan C2RCC, *ratio*, dan MCI disajikan pada peta Gambar 8. Berdasarkan peta sebaran tersebut dapat memprediksi lokasi dengan konsentrasi klorofil-a yang tinggi yang berkaitan dengan tingkat kesuburan dari lokasi perairan tersebut.



Gambar 7. Korelasi antara Chl-a in situ dan Maximum Chlorophyll Index (MCI)



Gambar 8. Sebaran spasial konsentrasi klorofil-a hasil analisis C2RCC, ratio, dan MCI (Citra satelit Sentinel-2A, akuisisi Mei 2021)

4. KESIMPULAN

Prediksi nilai konsentrasi klorofil-a di Waduk Jatiluhur telah dilakukan dengan menggunakan data penginderaan jauh citra Sentinel-2A dengan menggunakan algoritma C2RCC dan *ratio*. Data penginderaan jauh hasil koreksi algoritma C2RCC dapat digunakan untuk menghitung *Maximum Chlorophyll Index* (MCI) untuk mengamati konsentrasi klorofil-a pada perairan yang subur. Analisis korelasi antara konsentrasi klorofil-a hasil pengukuran in situ dengan hasil prediksi menunjukkan adanya korelasi yang kuat, dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,67$ (*Chl*-a in situ dengan *ratio*) dan $R^2 = 0,55$ (*Chl*-a in situ dengan C2RCC). Berdasarkan hal tersebut, data penginderaan jauh citra Sentinel-2A dengan aplikasi beberapa algoritma, dapat digunakan untuk mendukung kegiatan *monitoring* kualitas perairan di danau dan waduk terutama klorofil-a.

PERSANTUNAN

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Ibu Iswari Ratna Astuti sebagai Kepala Balai Riset Pemulihan Sumber Daya Ikan, BRSDM-KP, Ibu Lismining Pujiyani Astuti sebagai Penanggung Jawab kegiatan penelitian di Waduk Jatiluhur, beserta tim peneliti dan teknisi yang terlibat dalam kegiatan penelitian ini, serta kepada rekan penulis atas kerjasama dan diskusinya dalam penyusunan karya tulis ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Abell, J. M., Özkundakci, D., Hamilton, D. P., & Miller SD. (2011). Relationships between land use and nitrogen and phosphorus in New Zealand lakes. *Marine and Freshwater Research* 62: 162–175. DOI: 10.1071/MF10180.

Ansper, A., & Alikas, K. (2019). Retrieval of chlorophyll a from Sentinel-2 MSI data for the European Union water framework directive reporting purposes. *Remote Sensing* 11. DOI: 10.3390/rs11010064.

APHA. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water Including Bottom Sediment and Sludges*. Health Association Inc.: New York.

Astuti, Lismining, P. A., Sugianti, Y., Warsa, A., Rahman, A., & Hendrawan ALS. (2016). *Tata Kelola Perikanan Berkelanjutan di Waduk Jatiluhur*. Penerbit Deepublish. PENERBIT DEEPUBLISH: Yogyakarta.

Binding, C. E., Greenberg, T. A., & Bukata, R.P. (2013). The MERIS Maximum Chlorophyll Index; its merits and limitations for inland water algal bloom monitoring. *Journal of Great Lakes Research* 39: 100–107. DOI: 10.1016/j.jglr.2013.04.005.

Binding, C. E., Jerome, J.H., Bukata, R.P., & Booty, W.G. (2010). Suspended particulate matter in Lake Erie derived from MODIS aquatic colour imagery. *International Journal of Remote Sensing* 31: 5239–5255. DOI: 10.1080/01431160903302973.

Birk, S., & Ecke, F. (2014). The potential of remote sensing in ecological status assessment of coloured lakes using aquatic plants. *Ecological Indicators* 46: 398–406. DOI: 0.1016/j.ecolind.2014.06.035.

Bolpagni, R., Bresciani, M., Laini, A., Pinardi, M, Matta, E., Ampe, E. M., Giardino, C., Viaroli, P., & Bartoli, M. (2014). Remote sensing of phytoplankton-macrophyte coexistence in shallow hypereutrophic fluvial lakes. *Hydrobiologia* 737: 67–76. DOI: 10.1007/s10750-013-1800-6.

Bresciani, M., Cazzaniga, I., Austoni, M., Sforzi, T., Buzzi, F., Morabito, G., & Giardino, C. (2018). Mapping phytoplankton blooms in deep subalpine lakes from Sentinel-2A and Landsat-8. *Hydrobiologia* 824: 197–214. DOI: 10.1007/s10750-017-3462-2.

Buma, W.G., & Lee, S. Il. (2020). Evaluation of Sentinel-2 and Landsat 8 images for estimating Chlorophyll-a concentrations in Lake Chad, Africa. *Remote Sensing* 12. DOI: 10.3390/RS12152437.

- Carneiro, F. M., Nabout, J.C., Vieira, L. C. G., Roland, F., & Bini, L. M. (2014). Determinants of chlorophyll-a concentration in tropical reservoirs. *Hydrobiologia* 740: 89–99. DOI: 10.1007/s10750-014-1940-3.
- Doerffer, R., & Schiller, H. (2007). The MERIS Case 2 water algorithm. *International Journal of Remote Sensing* 28: 517–535. DOI: 10.1080/01431160600821127.
- Green, E.P., Mumby, P.J., Edwards, A.J., & Clark, C. D. (1996). A review of remote sensing for the assessment and management of tropical coastal resources. *Coastal Management* 24: 1–40. DOI: 10.1080/08920759609362279.
- Ha, N. T. T., Thao, N. T. P., Koike, K., & Nhuan, M. T. (2017). Selecting the best band ratio to estimate chlorophyll-a concentration in a tropical freshwater lake using sentinel 2A images from a Case study of Lake Ba Be (Northern Vietnam). *ISPRS International Journal of Geo-Information* 6. DOI: 10.3390/ijgi6090290.
- IOCCG. (2000). IOCCG Report Number 03: Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal, and Other Optically-Complex, Waters. IOCCG web page.
- Lins, R. C., Martinez, J. M., Marques, D da. M., Cirilo, J. A., & Fragoso, C. R. (2017). Assessment of chlorophyll-a remote sensing algorithms in a productive tropical estuarine-lagoon system. *Remote Sensing* 9: 1–19. DOI: 10.3390/rs9060516.
- Liu, W., Li, S., Bu, H., Zhang, Q., & Liu, G. (2012). Eutrophication in the Yunnan Plateau lakes: The influence of lake morphology, watershed land use, and socioeconomic factors. *Environmental Science and Pollution Research* 19: 858–870. DOI: 10.1007/s11356-011-0616-z.
- Matthews, M. W. (2011). A current review of empirical procedures of remote sensing in Inland and near-coastal transitional waters. *International Journal of Remote Sensing*, 6855–6899. DOI: 10.1080/01431161.2010.512947.
- Matthews, M. W., Bernard, S., & Winter, K. (2010). Remote sensing of cyanobacteria-dominant algal blooms and water quality parameters in Zeekoevlei, a small hypertrophic lake, using MERIS. *Remote Sensing of Environment* 114: 2070–2087. DOI: 10.1016/j.rse.2010.04.013.
- Morel A, & Prieur L. (1977). Analysis of variations in ocean color. *Limnology and Oceanography* 22: 709–722. DOI: 10.4319/lo.1977.22.4.0709.
- Nduru, R. E., Situmorang, M., & Tarigan, G. (2014). Analisa Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Hasil Produksi Padi Di Deli Serdang. *Saintia Matematika* 2: 71–83.
- Ogashawara, I., Kiel, C., Jechow, A., Kohnert, K., Ruhtz, T., Grossart, H. P., Hölker, F., Nejtgaard, J. C., Berger, S. A., & Wollrab, S. (2021). The use of sentinel-2 for chlorophyll-A spatial dynamics assessment: A comparative study on different lakes in northern Germany. *Remote Sensing* 13: 1–26. DOI: 10.3390/rs13081542.
- Paerl, H. W., Scott, J. T., McCarthy, M. J., Newell, S. E., Gardner, W. S., Havens, K. E., Hoffman, D. K., Wilhelm, S. W., & Wurtsbaugh, W. A. (2016). It Takes Two to Tango: When and Where Dual Nutrient (N & P) Reductions Are Needed to Protect Lakes and Downstream Ecosystems. *Environmental Science and Technology* 50: 10805–10813. DOI: 10.1021/acs.est.6b02575.