

## POTENSI PEMANFAATAN TEKNOLOGI CITRA ESA SENTINEL-2 MSI UNTUK PEMANTAUAN KUALITAS AIR

Syam'ani

Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat, Jl. Ahmad Yani km. 35, Banjarbaru, Indonesia

\*Corresponding author: syamani.fhut@ulm.ac.id

**Abstrak.** Parameter kualitas air pada umumnya diukur langsung di lapangan, dengan menggunakan sejumlah titik sampel. Pengukuran kualitas air di lapangan sangat akurat, akan tetapi cakupan wilayah terbatas. Penggunaan teknologi penginderaan jauh dalam pemantauan kualitas air memiliki sejumlah kelebihan. Selain efisien, citra penginderaan jauh juga mampu memberikan informasi distribusi geospasial kualitas air pada wilayah yang sangat luas secara simultan. Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan simulasi pemanfaatan Citra Sentinel-2 dalam memetakan distribusi turbiditas air, muatan suspensi total (TSM), konsentrasi klorofil di air, dan dissolved organic carbon (DOC) flux. Pemantauan distribusi spasial kekeruhan air secara kualitatif dilakukan menggunakan kombinasi antara Normalized Difference Turbidity Index (NDTI) dan Normalized Difference Water Index (NDWI). Pemantauan muatan suspensi total dan konsentrasi klorofil di air secara kuantitatif dilakukan menggunakan Case 2 Regional Coast Colour (C2RCC). Pemantauan karbon organik terlarut dilakukan menggunakan Dissolved Organic Carbon (DOC) flux. Citra yang digunakan adalah Sentinel-2 MSI tile T50MKB, level 1C, perekaman tanggal 30 Juni 2019. Dimana pada citra ini tercakup wilayah Kota Banjarmasin, Kota Banjarbaru, Kabupaten Banjar, Kabupaten Barito Kuala, Kabupaten Kuala Kapuas, dan sekitarnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan NDTI, NDWI, dan C2RCC dapat memberikan gambaran kualitatif dan kuantitatif yang cukup akurat tentang distribusi kekeruhan air. Akan tetapi, estimasi muatan suspensi total air memiliki kesalahan (error) pada perairan jernih yang dangkal. Dimana air jernih yang dangkal dianggap sebagai muatan suspensi (keruh), dikarenakan tanah di dasar perairan yang terekam oleh sensor satelit Sentinel-2. Pengukuran DOC flux juga memberikan hasil estimasi karbon organik terlarut yang cukup akurat, dengan akurasi lebih dari 94%.

**Kata kunci:** Sentinel-2 MSI, penginderaan jauh, kualitas air, geospasial, muatan suspensi

### 1. PENDAHULUAN

Parameter kualitas air pada umumnya langsung diukur di lapangan, seperti muatan suspensi total atau *total suspended matter* (TSM), konsentrasi klorofil, karbon organik terlarut atau *dissolved organic carbon* (DOC) flux, dan sebagainya. Pengukuran di lapangan tentu sangat akurat, akan tetapi cakupan wilayah terbatas. Untuk wilayah yang luas, diperlukan sumberdaya yang besar, baik biaya, waktu, dan tenaga.

Selain hanya dapat dilakukan pada titik-titik tertentu saja, pengukuran langsung di lapangan sifatnya juga hanya insidental atau pada waktu-waktu tertentu saja, tidak mungkin setiap saat. Untuk pemantauan kualitas air secara periodik, apalagi dalam interval waktu yang sangat singkat, misalnya mingguan, pengukuran kualitas air secara langsung di lapangan sangat tidak efisien. Kecuali memang ada alat atau stasiun pengukuran khusus yang disebar di tempat-tempat tertentu di lapangan. Tentu saja, metode seperti ini masih sangat mahal, terutama untuk perawatan alat dan pengambilan data hasil pengukuran.

Kehadiran teknologi Citra Satelit ESA (*European Space Agency*) Sentinel-2 MSI (*Multispectral Instrument*) pada tahun 2015, merupakan salah satu jawaban atas permasalahan dalam pemantauan kualitas air. Citra Sentinel-2 memiliki resolusi spasial yang cukup tinggi, yaitu 10 meter, dan tersedia secara gratis dan *real time* di internet untuk publik di seluruh dunia. Selain resolusi spasial yang tinggi, Citra Sentinel-2 juga memiliki resolusi temporal atau waktu kunjung kembali setiap 5 hari. Sehingga secara teoritis, kita dapat memantau kualitas air pada wilayah yang luas setiap 5 hari sekali. Hal ini tentu sangat menarik, mengingat hal ini sangat sulit atau terlalu mahal jika harus dilakukan secara langsung di lapangan.

Penggunaan teknologi informasi geospasial (citra penginderaan jauh) dalam pemantauan kualitas air memiliki sejumlah kelebihan, selain efisien dari aspek biaya, waktu, dan tenaga, citra penginderaan jauh juga mampu memberikan informasi distribusi kualitas air pada wilayah yang sangat luas secara simultan. Berbeda dengan pengukuran lapangan pada wilayah yang luas, sangat mungkin terjadi waktu atau hari pengambilan antar titik berbeda. Sehingga informasi yang diperoleh di lapangan berpotensi tidak simultan.

Beberapa metode sudah banyak diimplementasikan untuk memantau kualitas air berbasis teknologi citra penginderaan jauh. Seperti yang dilakukan oleh Toming *et al.* (2016), Orlandi *et al.* (2018), Potes *et al.* (2018), Subiyanto *et al.* (2018), dan Bresciani *et al.* (2019), untuk memantau kualitas air menggunakan Citra Sentinel-2. Liu *et al.* (2017) menggunakan Citra Sentinel-2 untuk mengekstrak TSM di Danau Poyang, Tiongkok. Buma and



Lee (2020) menggabungkan Citra Sentinel-2 dan Landsat-8 untuk mengekstrak konsentrasi klorofil-a di Danau Chad, Afrika. Peppas et al. (2020) menggunakan Citra Sentinel-2 untuk memantau eutrofikasi di Danau Pamvotis, Yunani. Brescianiet al. (2018) menggunakan Citra Sentinel-2 dan Landsat-8 untuk memantau fitoplankton. Ouma et al. (2020) menggunakan Citra Sentinel-2 dan Landsat-8 untuk memodelkan klorofil-a, TSM, dan turbiditas air. Ansper and Alikas (2018) menggunakan Citra Sentinel-2 untuk mengekstrak konsentrasi klorofil-a di air. ChunHocket al. (2020) mengestimasi DOC flux di lahan gambut Sarawak, Kalimantan, Malaysia, menggunakan Citra Landsat-8. Bahkan metode transformasi sederhana seperti *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Rouse et al., 1973) yang sudah sangat populer di mata para praktisi penginderaan jauh, juga dapat digunakan untuk memantau eutrofikasi, ganggang, atau fitoplankton di air.

Penelitian ini sifatnya adalah *technology review*, jadi di dalam penelitian ini peneliti mencoba untuk mengulas dan menyajikan informasi tentang peluang atau potensi pemanfaatan salah satu teknologi penginderaan jauh atau teknologi informasi geospasial, yaitu Citra ESA Sentinel-2 MSI untuk pemantauan kualitas air. Di dalam penelitian ini, peneliti akan mencoba memberikan simulasi pemanfaatan Citra Sentinel-2 dalam memetakan distribusi turbiditas air, muatan suspensi total (TSM), konsentrasi klorofil di air, dan dissolved organic carbon (DOC) flux. Harapannya, nanti pihak-pihak yang terkait dengan kualitas air, dapat menggunakan teknologi ini dalam pemantauan kualitas air secara periodik pada wilayah yang luas, dengan lebih efisien.

## 2. METODE

Ada dua metode pemantauan kualitas air yang dipaparkan di dalam penelitian ini, yaitu pemantauan kualitas air secara kualitatif dan pemantauan kualitas air secara kuantitatif. Pemantauan kualitas air secara kualitatif dilakukan dengan mengamati distribusi kekeruhan air secara visual, tanpa ada parameter atau informasi kuantitatif yang diekstrak. Sementara pada pemantauan kualitas air secara kuantitatif, ada beberapa parameter kuantitatif yang diekstrak dari tubuh perairan, yaitu TSM, konsentrasi klorofil, dan DOC.

Pemantauan distribusi spasial kekeruhan air secara kualitatif menggunakan kombinasi antara *Normalized Difference Turbidity Index* (NDTI) (Lacaux et al., 2007) dan *Normalized Difference Water Index* (NDWI) (Xu, 2006). Pemantauan muatan suspensi total dan konsentrasi klorofil di air secara kuantitatif menggunakan *Case 2 Regional Coast Colour* (C2RCC) (Brockmann et al., 2016). Pemantauan karbon organik terlarut menggunakan *Dissolved Organic Carbon* (DOC) flux (ChunHock et al., 2020).

*Normalized Difference Turbidity Index* (NDTI) diformulasikan sebagai berikut (Lacaux et al., 2007):

$$NDTI = \frac{Red - Green}{Red + Green}$$

Dimana:

Red: Saluran merah Citra Sentinel-2

Green: Saluran hijau Citra Sentinel-2

*Normalized Difference Water Index* (NDWI) diformulasikan sebagai berikut (Xu, 2006):

$$NDWI = \frac{Green - SWIR1}{Green + SWIR1}$$

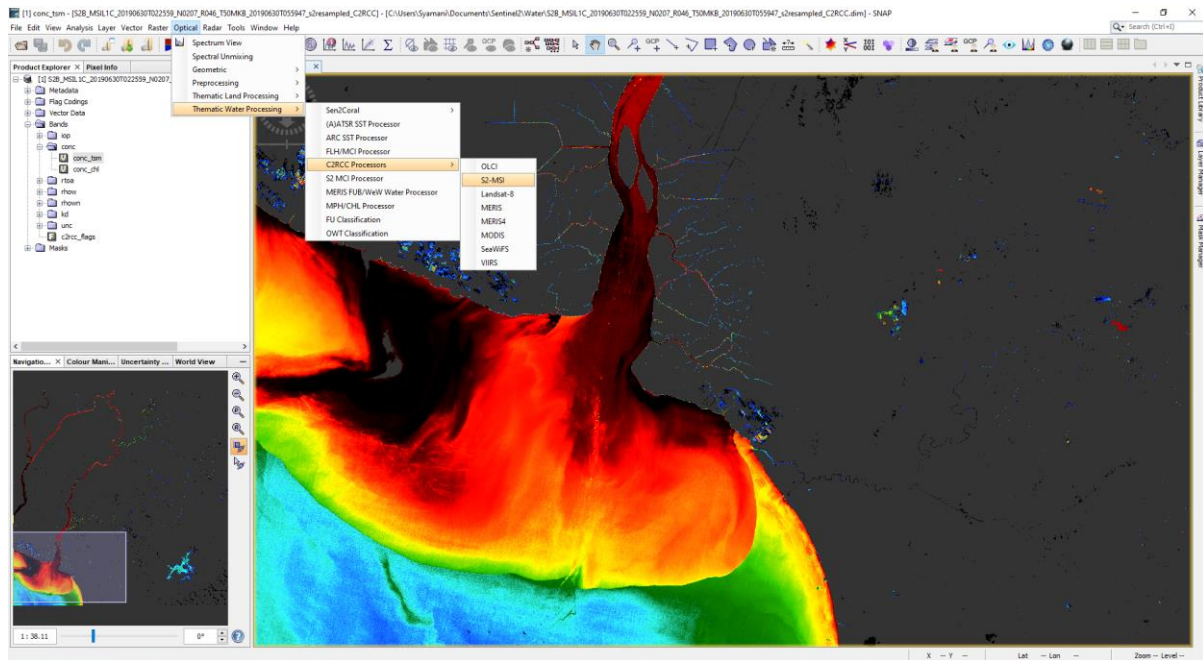
Dimana:

SWIR1: Saluran *shortwave infrared* 1 Citra Sentinel-2

*Dissolved Organic Carbon* (DOC) flux diformulasikan sebagai berikut (ChunHock et al., 2020):

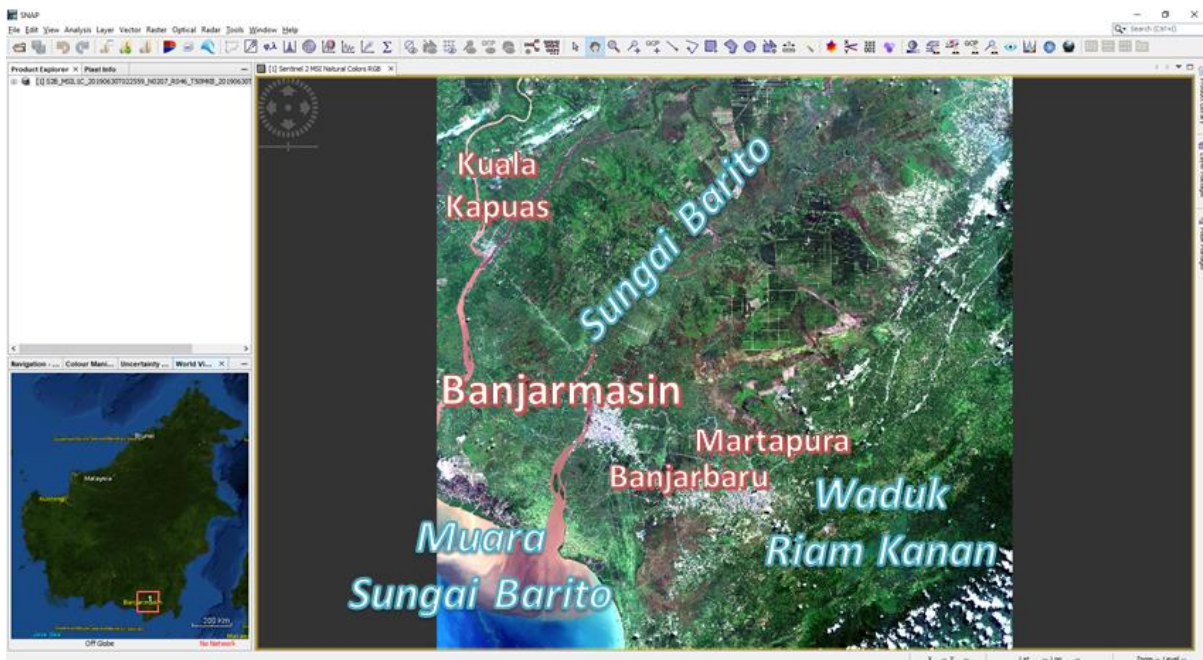
$$DOC = 89,86 \cdot e^{0,27x}$$

Muatan suspensi total atau TSM dan konsentrasi klorofil diekstrak menggunakan tool C2RCC (Brockmann et al., 2016) yang sudah terintegrasi di dalam aplikasi *freeware* dan *opensource* *ESA Sentinel Application Platform* (SNAP). Tool ini dapat dieksekusi langsung secara otomatis, dengan menggunakan Citra Sentinel-2 sebagai input.



Gambar 1. Tool C2RCC di dalam aplikasi ESA SNAP

Citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah Citra ESA Sentinel-2 MSI tile T50MKB, level 1C, perekaman tanggal 30 Juni 2019 (S2B\_MSIL1C\_20190630T022559\_N0207\_R046\_T50MKB\_20190630T055947). Dimana citra ini mencakup wilayah Kota Banjarmasin, Kota Banjarbaru, Kabupaten Banjar, Kabupaten Barito Kuala, Kabupaten Tanah Laut, dan Kabupaten Tapin, Provinsi Kalimantan Selatan. Serta Kabupaten Kuala Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah. Di dalam penelitian ini tidak dilakukan uji sampel kualitas air di lapangan, evaluasi akurasi metode hanya dilakukan secara visual untuk parameter kualitatif kualitas air. Dan evaluasi akurasi berdasarkan literatur untuk parameter kuantitatif kualitas air.



Gambar 2. Wilayah kajian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Visualisasi Citra Sentinel-2 MSI menggunakan komposit 4,3,2 atau komposit warna sejati (*true color composite*) jelas memperlihatkan distribusi kekeruhan atau turbiditas air di Sungai Barito dan laut di muara Sungai Barito. Sebagaimana terlihat pada Gambar 3. Kekeruhan sungai dan muara Sungai Barito ini pada umumnya disebabkan karena semakin banyaknya lahan kritis (lahan-lahan yang terbuka) di bagian hulu sungai, termasuk pada lahan-lahan gambut. Sehingga kekeruhan pada Sungai Barito dan di muaranya ini, selain memuat suspensi tanah biasa juga memuat suspensi karbon organik dari lahan gambut. Untuk membedakannya dapat dilihat dari warnanya, jika warna kekeruhannya lebih berwarna krim atau coklat pucat, kemungkinan itu adalah suspensi dari tanah biasa. Akan tetapi, jika warna kekeruhannya berwarna lebih gelap, baik merah tua, coklat, atau hitam, maka dipastikan itu mengandung karbon organik dari lahan-lahan gambut.

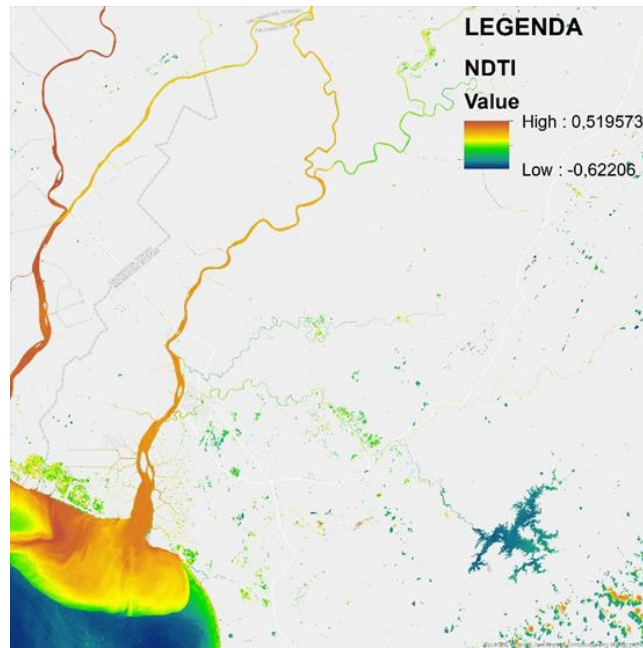


Gambar 3. Citra Sentinel-2 MSI wilayah kajian pada komposit warna sejati

Selain karena lahan kritis dan larutan karbon dari lahan gambut, kekeruhan air di Sungai Barito dan muaranya juga tidak terlepas dari lalu lintas air yang begitu masif di Sungai Barito, serta anak-anak sungainya. Pada Citra Sentinel-2 yang memiliki resolusi spasial cukup tinggi, kita dapat dengan mudah mengamati kapal-kapal yang sedang berlayar di Sungai Barito, atau yang sedang parkir di muara sungainya. Yang lebih parah, kapal-kapal yang melewati Sungai Barito ini sebagiannya merupakan tongkang-tongkang yang mengangkut batubara dari bagian hulu atau tengah sungai.

Sungai Barito merupakan salah satu sungai terpanjang di Indonesia, dan wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS)-nya merupakan yang terluas se Indonesia. Wilayah DAS Barito mencakup dua provinsi, yaitu Kalimantan Selatan dan sebagian besarnya berada di Kalimantan Tengah. Sehingga jika kita ingin memantau kualitas air pada seluruh wilayah Sungai Barito misalnya, tentu sangat sulit jika harus diukur langsung di lapangan. Apalagi jika pengukuran direncanakan serentak pada waktu yang sama di semua wilayah.

Sebagaimana terlihat pada Gambar 4, distribusi spasial turbiditas atau kekeruhan air di Sungai Barito dapat dengan mudah diamati menggunakan kombinasi formula NDTI dan NDWI. Pada wilayah yang dikaji dalam penelitian ini, juga termasuk Waduk Riam Kanan, yang masih menjadi bagian dari DAS Barito. Memang di dalam penelitian ini, peneliti tidak menyajikan informasi kekeruhan air pada seluruh wilayah DAS Barito, mengingat penelitian ini sifatnya hanya simulasi. Akan tetapi, wilayah kajian yang disajikan di dalam simulasi penelitian ini cukup luas, yaitu sekitar 110 kilometer x 110 kilometer. Untuk memetakan kekeruhan air pada seluruh wilayah DAS Barito, masih diperlukan untuk mengunduh beberapa tile/grid lagi Citra Sentinel-2 MSI, sehingga seluruh wilayah DAS Barito bisa terliputi.



Gambar 4. Distribusi spasial turbiditas air

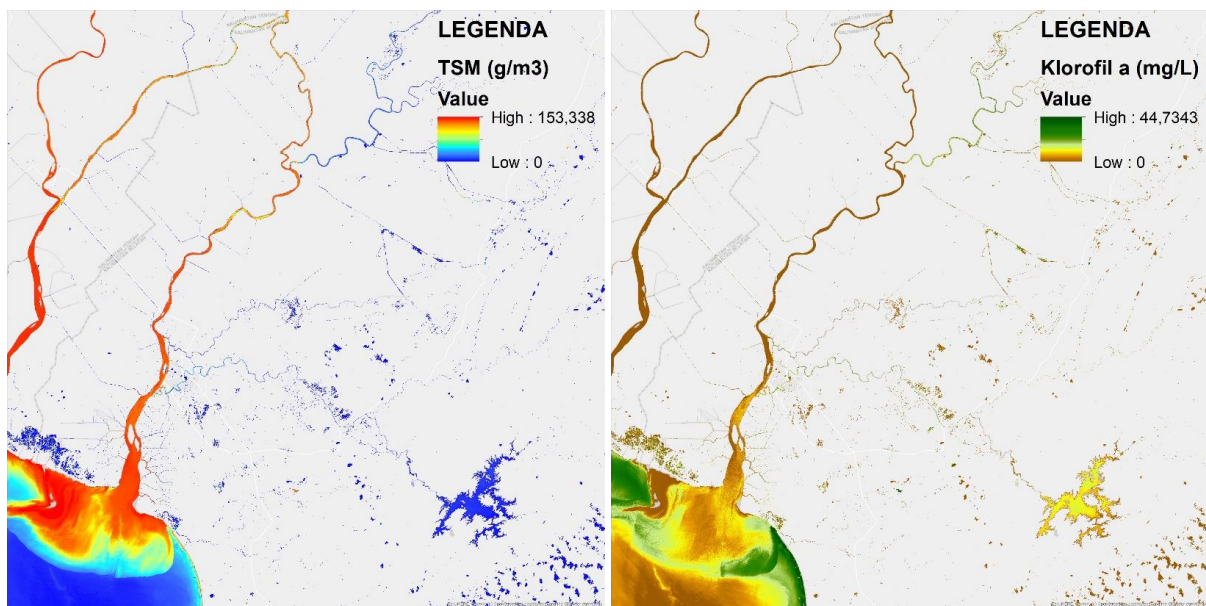
Hasil observasi visual citra hasil transformasi NDTI dan NDWI dapat memberikan gambaran kualitatif kualitas air yang cukup akurat. Hal ini jika dibandingkan dengan kenampakan visual pada citra komposit warna sejati pada Gambar 3. Termasuk dengan menggunakan sedikit pengetahuan lapangan. Dari pengetahuan lapangan, bagi yang sudah pernah berkunjung ke Waduk Riam Kanan tentu sudah tahu bahwa kondisi air Waduk Riam Kanan sangat jernih, sebagaimana terlihat pada Gambar 5. Pada Gambar 4, terlihat sangat jelas bagaimana kontrasnya perbedaan warna antara laut lepas dan Waduk Riam Kanan, dengan Sungai Barito dan muara Sungai Barito. Dimana air muara dan Sungai Barito sangat pekat. Berdasarkan hasil pengamatan visual ini, dapat diketahui bahwa estimasi kualitatif kualitas air menggunakan NDTI dan NDWI cukup akurat.



Gambar 5. Foto lapangan air Waduk Riam Kanan

Tentu saja NDTI dan NDWI hanya memberikan gambaran kualitas air secara kualitatif. Pemantauan kualitatif seperti ini akan sangat bermanfaat jika nantinya menggunakan citra multitemporal. Sehingga kita dapat mengamati fluktuasi kekeruhan air dari waktu ke waktu. Sekaligus secara langsung kita juga dapat mengamati atau memprediksi lahan-lahan yang menjadi sumber air keruh tersebut. Jika lahan-lahan yang dianggap menjadi sumber air keruh tersebut dapat teridentifikasi di atas citra, maka ke depannya kita dapat merencanakan lebih jauh, tindakan atau penanganan seperti apa yang dapat kita terapkan pada lahan-lahan tersebut, misalnya reboisasi atau penghijauan, atau pun tindakan mekanik seperti pembuatan sekat kanal gambut.

Pemantauan kualitas air secara kuantitatif diantaranya dapat dilakukan dengan mengekstrak muatan suspensi total atau TSM, termasuk konsentrasi klorofil yang dalam hal ini adalah klorofil-a. Dimana keduanya disimulasikan dalam penelitian ini. Proses ekstraksi informasi geospasial TSM dan konsentrasi klorofil-a dilakukan secara otomatis menggunakan tool C2RCC yang terintegrasi di dalam perangkat lunak SNAP. Karena prosesnya dilakukan secara otomatis, maka proses ekstraksi TSM dan konsentrasi klorofil-a ini sangat efisien dan mudah, tidak ada formula yang harus dientri secara manual sebagaimana NDTI dan NDWI sebelumnya.



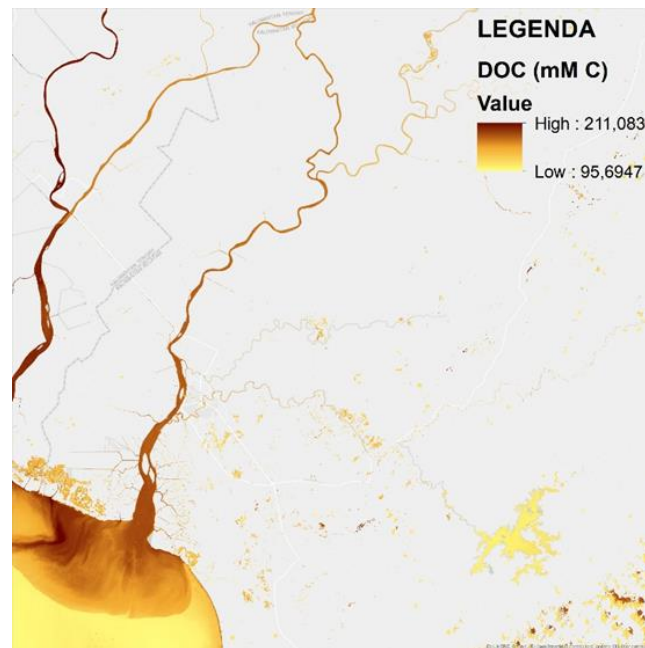
Gambar 6. TSM dan konsentrasi klorofil-a

Muatan suspensi total atau TSM adalah satuan massa zat padat yang terlarut di dalam air, yang dalam hal ini satuannya dinyatakan dengan gram per meter kubik air. Observasi visual hasil ekstraksi TSM, sebagaimana terlihat pada Gambar 6, kenampakannya tidak jauh berbeda dengan turbiditas air pada Gambar 4. Hanya saja, jika diamati lebih jauh, hasil estimasi TSM ini mengalami kesalahan identifikasi pada perairan jernih yang dangkal, seperti rawa atau sawah. Dimana air yang dangkal terekstrak sebagai air keruh, atau dengan kata lain muatan suspensinya dianggap tinggi. Hal ini disebabkan oleh tanah di dasar perairan dangkal yang terekam oleh sensor satelit Sentinel-2, yang secara tidak langsung dianggap sebagai tanah terlarut. Hal ini menjadi kelemahan dari estimasi TSM menggunakan metode C2RCC ini.

Pengamatan konsentrasi klorofil-a pada Gambar 6 menunjukkan bahwa di bagian muara Sungai Barito konsentrasi klorofil-a cukup tinggi. Tingginya konsentrasi klorofil-a dapat berarti positif atau pun negatif, Klorofil-a dapat menunjukkan konsentrasi fitoplankton atau ganggang, yang secara langsung menunjukkan kesuburan air. Sehingga makin tinggi konsentrasi klorofil-a berarti airnya makin subur. Akan tetapi, konsentrasi klorofil-a dapat juga berarti pencemaran air, yaitu eutrofikasi atau tertutupnya permukaan air akibat tumbuhan air yang mengapung, seperti eceng gondok. Sehingga untuk memastikan penyebab tingginya konsentrasi klorofil-a di air muara Sungai Barito harus dilakukan verifikasi langsung di lapangan.

Pada Waduk Riam Kanan, konsentrasi klorofil-a juga cukup tinggi, meskipun tidak setinggi muara Sungai Barito. Tingginya konsentrasi klorofil-a di Waduk Riam Kanan lebih disebabkan karena fitoplankton dan ganggang atau tumbuhan air lainnya. Baik pada Citra Sentinel-2 MSI komposit warna sejati pada Gambar 3, maupun foto lapangan pada Gambar 5, jelas sekali terlihat air Waduk Riam Kanan berwarna hijau. Dan hijaunya air Waduk Riam Kanan ini menunjukkan tingkat kesuburan air yang tinggi.

Ekstraksi karbon organik terlarut atau DOC di dalam penelitian ini dilakukan menggunakan formula ChunHock *et al.* (2020). Dimana formula ini dikembangkan untuk lahan gambut di wilayah Sarawak, Kalimantan, Malaysia. Sehingga karakter wilayahnya diyakini sama dengan wilayah kajian di dalam penelitian ini, sebab masih dalam satu Pulau Kalimantan. Dimana akurasi dari formula yang dikembangkan oleh formula ChunHock *et al.* (2020) ini adalah lebih dari 94%, berdasarkan hasil penelitian mereka. Konsentrasi karbon organik terlarut dinyatakan dalam satuan mikromolar Carbon ( $\mu\text{M C}$ ). Konsentrasi karbon organik menggambarkan kuantitas karbon organik yang terlarut di dalam tubuh air, yang sebagian besarnya berasal dari lahan gambut. Makin tinggi karbon organik yang terlarut di air, menggambarkan besarnya kehilangan karbon organik pada lahan-lahan gambut di dalam DAS tersebut. Sehingga kekritisan lahan gambut sebenarnya dapat dideteksi dengan menggunakan DOC ini.



Gambar 7. Dissolved Organic Carbon (DOC) flux

Hasil estimasi DOC sebagaimana terlihat pada Gambar 7 menunjukkan bahwa konsentrasi DOC tertinggi terjadi di Sungai Barito yang di bagian Provinsi Kalimantan Tengah. Hal ini sesuai dengan kondisi lapangan, bahwa lahan gambut Kalimantan sebagian besar berada di Kalimantan Tengah. Sementara DOC Sungai Barito di wilayah Kalimantan Selatan tidak setinggi wilayah Kalimantan Tengah. Kanal-kanal yang berada di lahan-lahan gambut Kalimantan Tengah, kemungkinan menyebabkan lahan-lahan gambut di sana tererosi, sehingga meningkatkan konsentrasi DOC di air sungai.

#### 4. SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan NDTI, NDWI, dan C2RCC dapat memberikan gambaran kualitatif dan kuantitatif yang cukup akurat tentang distribusi kekeruhan air. Akan tetapi, estimasi muatan suspensi total air memiliki kesalahan (error) pada perairan jernih yang dangkal. Dimana air jernih yang dangkal dianggap sebagai muatan suspensi (keruh), dikarenakan tanah di dasar perairan dangkal yang terekam oleh sensor satelit Sentinel-2. Pengukuran DOC flux juga memberikan hasil estimasi karbon organik terlarut yang cukup akurat, dengan akurasi lebih dari 94%. Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh yang sifatnya gratis, merupakan alternatif yang sangat menarik dalam pemantauan lingkungan, salah satunya adalah ekstraksi parameter-parameter kualitas air. Sebagai rekomendasi, peneliti menyarankan agar ke depannya perlu dilakukan validasi lapangan menggunakan sejumlah titik sampel untuk setiap parameter kualitas air pada wilayah yang dikaji.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada pihak Badan Antariksa Eropa (*European Space Agency*) yang sudah menyediakan Citra ESA Sentinel-2 MSI dan software ESA SNAP secara gratis. Peneliti juga

mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Informasi Geospasial Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat, yang sudah memfasilitasi pengolahan citra digital di dalam penelitian ini.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Ansper, A. and Alikas, K.. (2018). Retrieval of Chlorophyll a from Sentinel-2 MSI Data for the European Union Water Framework Directive Reporting Purposes. *Remote Sensing*. 11: 64.
- Buma, W.G. and Lee, S.. (2020). Evaluation of Sentinel-2 and Landsat 8 Images for Estimating Chlorophyll-a Concentrations in Lake Chad, Africa. *Remote Sensing*. 12: 2437.
- Bresciani, M., Cazzaniga, I., Auston, M., Sforzi, T., Buzzi, F., Morabito, G., and Giardino, C.. (2018). Mapping phytoplankton blooms in deep subalpine lakes from Sentinel-2A and Landsat-8. *Hydrobiologia*. 824:197-214.
- Bresciani, M., Giardino, C., Stroppiana, D., Dessena, M.A., Buscarinu, P., Cabras, L., Schenk, K., Heege, T., Bernet, H., Bazdanis, G., and Tzimas, A.. (2019). Monitoring water quality in two dammed reservoirs from multispectral satellite data. *European Journal of Remote Sensing*. 52 (S4): 113-122.
- Brockmann, C., Doerffer, R., Peters, M., Stelzer, K., Embacher, S., Ruescas, and Ana. (2016). Evolution of the C2RCC Neural Network for Sentinel 2 and 3 for the Retrieval of Ocean Colour Products in Normal and Extreme Optically Complex Waters.
- ChunHock, S., Cherukuru, N., Mujahid, A., Martin, P., Sanwani, N., Wameke, T., Rixen, T., Notholt, J., and Müller, M.. (2020). A New Remote Sensing Method to Estimate River to Ocean DOC Flux in Peatland Dominated Sarawak Coastal Regions, Borneo. *Remote Sensing*. 12: 3380.
- Lacaux, J.P., Tourre, Y., Vignolles, C., Ndione, J.A., and Lafaye, M.. (2007). Classification of Ponds from High-Spatial Resolution Remote Sensing: Application to Rift Valley Fever Epidemics in Senegal. *Remote Sensing of Environment*. 106 (1): 66-74.
- Liu, H., Li, Q., Shi, T., Hu, S., Wu, G., and Zhou, Q.. (2017). Application of Sentinel 2 MSI Images to Retrieve Suspended Particulate Matter Concentration in Poyang Lake. *Remote Sensing*. 9 (761): 1-19.
- Orlandi, M., Marzano, F.S. and Cimini, D.. (2018). Remote sensing of water quality indexes from Sentinel-2 imagery: development and validation around Italian river estuaries. *Geophysical Research Abstracts*. 20: EGU2018-19808-2.
- Ouma, Y.O., Noor, K., and Herbert, K.. (2020). Modelling Reservoir Chlorophyll-a, TSS, and Turbidity Using Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI Satellite Sensors with Empirical Multivariate Regression. *Journal of Sensors*. 21 pages.
- Peppas, M., Vasilakos, C., and Kavroudakis, D.. (2020). Eutrophication Monitoring for Lake Pamvotis, Greece, Using Sentinel-2 Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. (9): 143.
- Potes, M., Rodrigues, G., Penha, A.M., Novais, M.H., Costa, M.J., Salgado, R., and Morais, M.M.. (2018). Use of Sentinel 2 – MSI for water quality monitoring at Alqueva reservoir, Portugal. *Proceeding of International Association of Hydrological*. 380: 73-79.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., and Deering, D. W.. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third ERTS Symposium*. NASA SP-351 I: 309-317.
- Subiyanto, S., Ramadhanis, Z., and Baktiar, A.H.. (2018). Integration of Remote Sensing Technology Using Sentinel-2A Satellite images For Fertilization and Water Pollution Analysis in Estuaries Inlet of Semarang Eastern Flood Canal. *E3S Web of Conferences*. 31: 12008.
- Toming, K., Kutser, T., Laas, A., Sepp, M., Paavel, B., and Nöges, T.. (2016). First Experiences in Mapping Lake Water Quality Parameters with Sentinel-2 MSI Imagery. *Remote Sensing*. 8: 640.
- Xu, H.. (2006). Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 27 (14): 3025–3033.

