

ESTIMASI MUATAN SUSPENSİ AIR MUARA SUNGAI BARITO BERBASIS CITRA SENTINEL-2 DAN CASE-2 REGIONAL COAST COLOUR (C2RCC) PROCESSOR

*Estimation of Total Suspended Solids at Barito Estuary Based on Sentinel-2 MSI
Imagery and Case-2 Regional Coast Colour (C2RCC) Processor*

Maisarah Ehsan¹, Badaruddin^{1*}, dan Syam'ani¹

¹Program Studi Kehutanan

Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat

ABSTRACT. One of parameters to determine water quality is water suspension. One of the actions that can be taken in protecting it is by mapping the distribution of water suspension and monitoring changes in suspended loads from time to time in sustainable manner. This research aims to form a sensing image-based model to estimate the water suspended loads in the Barito River Estuary, South Kalimantan. The models expanded in this research are based on the C2RCC processor artificial neural network extracted from Sentinel-2 MSI imagery. In the process of designing and validating the water suspended loads estimation models, suspended information was measured in the laboratory with primary data collection. The water suspended loads estimation models were created by correlating the water suspended loads information from the area with the C2RCC processor from the Sentinel-2 MSI Imagery. The best model to estimate water suspended load from the result of this research was $5.10^{13} + C2X - Nets^{-6.348}$. This model has a coefficient of determination (R^2) of 0.5967 and a Root Mean Square Error (RMSE) of 83.077. Based on this, Inderaja data from Sentinel-2 MSI imagery with the C2RCC algorithm can be helped to bolster water quality monitoring activities in the Barito River, particularly total suspended solids (TSS).

Keywords: Total suspended solids; Barito's River; Sentinel-2 MSI; C2RCC

ABSTRAK. Salah satu parameter untuk mengetahui kualitas air yaitu suspensi air. Salah satu usaha yang dapat diambil dalam menjaganya adalah dengan memetakan sebaran suspensi air dan memantau perubahan muatan suspensi dari masa ke masa secara berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk membangun model berbasis citra penginderaan jauh (Inderaja) dalam mengestimasi muatan suspensi air di Muara Sungai Barito, Kalimantan Selatan. Model yang diuraikan pada penelitian ini berbasis pada jaringan saraf tiruan prosesor C2RCC yang diekstrak dari citra Sentinel-2 MSI. Proses rancangan dan pengujian model estimasi muatan suspensi air, data suspensi diolah di laboratorium dengan pengambilan data secara primer. Model-model estimasi muatan suspensi air dibangun dengan cara menghubungkan data muatan suspensi air dari lapangan dengan prosesor C2RCC dari citra Sentinel-2 MSI. Model yang terbaik untuk mengestimasi muatan suspensi air dari hasil penelitian ini adalah $5.10^{13} + C2X - Nets^{-6.348}$. Model ini memiliki koefisien determinasi (R^2) 0,5967 dan *Root Mean Square Error* (RMSE) 83,077. Berlandaskan hal tersebut, data Inderaja citra Sentinel-2 MSI menggunakan algoritma C2RCC mampu dimanfaatkan untuk menunjang aktivitas pemantauan kualitas perairan di Sungai Barito terlebih muatan suspensi air.

Kata kunci: Suspensi; Sungai Barito; Sentinel-2 MSI; C2RCC

Penulis untuk korespondensi, surel: Badaruddin.hamdie@ulm.ac.id

PENDAHULUAN

Muara Sungai Barito berada di Kecamatan Tabunganen, Kabupaten Barito Kuala dan Kecamatan Aluh-Aluh, Kabupaten Banjar pada koordinat 114°25'37" - 114°30'53" Bujur Timur dan 3°32'1" - 3°33'20" Lintang Selatan (Kecamatan Tabunganen Dalam Angka 2021). Air merupakan salah satu zat yang terpenting bagi makhluk hidup, penting untuk menjaga air agar tetap terjaga kualitasnya. Kualitas air

tergantung dari sumber air itu sendiri, salah satu parameternya yaitu sedimentasi, sedimentasi berdasarkan aliran transpor sedimen terbagi atas sedimen dasar (*bed load*) dan sedimen melayang atau suspensi (*suspended load*). Berdasarkan surat keputusan Menteri Kehutanan Nomor 328/Menhut-II/2009, DAS Barito termasuk salah satu DAS prioritas yang harus ditangani. Permasalahan yang ada di DAS Barito adanya alih fungsi lahan di bagian hulu yang berperan dalam meningkatnya erositivitas lahan sehingga

DAS Barito mengalami pendangkalan di bagian muara atau yang disebut sedimentasi.

Pemantauan muatan suspensi air atau *Total Suspended Solids* (TSS) dapat dilakukan dengan pengambilan sampel secara langsung di lapangan, tetapi hal tersebut tidak efektif dan efisien mengingat membutuhkan waktu dan biaya yang tidak sedikit. Teknologi penginderaan jauh merupakan solusi untuk memberikan informasi permukaan bumi dan dapat membantu mengestimasi muatan suspensi air. Salah satu produk penginderaan jauh yaitu citra Sentinel-2 MSI yang mempunyai resolusi spasial yang tinggi 10 m serta resolusi temporal setiap 5 hari sekali sehingga dapat memantau perubahan muatan suspensi air yang dinamis atau perubahannya sangat cepat. Citra Sentinel-2 MSI digunakan untuk mengetahui nilai TSS dengan prosesor C2RCC, dimana salah satu hasil pengolahannya terdapat *band* nilai reflektansi TSS. Prosesor C2RCC dengan beberapa pilihan konfigurasi dan beragam jenis *output* sudah tersedia secara *open source* di *software ESA SNAP Sentinel toolbox* (Brockmann et al., 2016).

Hubungan antara hasil TSS *in-situ* dan hasil estimasi dari citra Sentinel-2 divisualisasikan dengan R^2 . Nilai R^2 mencapai 1 mengindikasikan bahwa variabel bebas (nilai reflektansi) mempunyai kekuatan mempengaruhi variabel terikatnya (nilai TSS *in-situ*) (Nduru et al., 2014). Berbagai penelitian sudah dilakukan untuk mengestimasi TSS dengan menggunakan citra Sentinel-2 dan algoritma C2RCC, misalnya Hafeez et al. (2019), Octaviana et al. (2020), Neves et al. (2021), dan Xavier et al. (2022).

Penelitian ini bertujuan untuk mendirikan model berbasis citra Inderaja guna menduga muatan suspensi air Sungai Barito dan menguji akurasi model algoritma C2RCC terhadap citra penginderaan jauh untuk mengestimasi muatan suspensi air. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran dan mendukung kegiatan monitoring kualitas perairan Sungai Barito.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Muara Sungai Barito, Kecamatan Tabunganen, Kabupaten Barito Kuala, Kalimantan Selatan. Sampel air diambil menggunakan botol sebanyak 50 sampel secara metode jalur untuk mempelajari

suatu luasan yang belum diketahui keadaan sebelumnya sehingga diharapkan dapat mewakili kondisi perairan (Campbell, 2004). Selanjutnya sampel air dibawa ke Laboratorium Silvikultur Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat untuk dianalisis kandungan muatan sedimen suspensinya.

Pengukuran TSS dianalisis untuk mendapatkan berat sedimen dalam satu liter air. Pengukuran konsentrasi suspensi diperoleh dari menimbang berat suspensi yang sudah dipanggang sesuai rumus Muttaqin (2018).

$$SS = g2 - g1 \quad (1)$$

$$Cs = \frac{SS}{V} \quad (2)$$

Keterangan:

Cs = Konsentrasi suspensi air (g/L)

SS = Berat suspensi (g)

g1 = Berat kertas sering kosong (g)

g2 = Berat kertas saring terisi suspensi (g)

V = Volume air sampel (L)

Prosesor C2RCC merupakan koreksi algoritma yang dikembangkan oleh Doerffer dan Schiller pada tahun 2007 menggunakan teknik *machine learning*. Prosedur ekstraksi nilai konsentrasi sedimen suspensi dari citra Sentinel-2 dibagi menjadi 3 tahapan. Tahap 1 yaitu akuisisi citra Sentinel-2 Level 1C di halaman <https://scihub.copernicus.eu/> dan *pra-processing* (*resample* dan *subset*), tahap 2 yaitu koreksi atmosferik C2RCC, tahapan 1 dan 2 dilakukan di *software* SNAP. Tahap 3 yaitu mengekstrak nilai suspensi sesuai koordinat pengambilan sampel di *software* ArcMap. Dari 50 sampel, 30 sampel digunakan untuk membangun model estimasi suspensi, sedangkan 20 sisanya digunakan untuk validasi. Analisis data menggunakan Microsoft Excel.

Model pendugaan dibangun dengan cara menghubungkan antara TSS *in-situ* dengan nilai reflektansi suspensi algoritma C2RCC dari citra Sentinel-2. Pembangunan model-model ini menggunakan model persamaan regresi eksponensial, linear, logaritmik, polinomial orde 2 atau kuadratik, dan power. Hasil estimasi dari model tersebut selanjutnya diukur tingkat kesalahannya dengan rumus RMSE (Goel, 2011) sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{(Y-Y_i)^2}{n}} \quad (3)$$

Keterangan:

n = Jumlah sampel

Y = Nilai TSS aktual dari hasil pengukuran lapangan

Y_i = Nilai estimasi TSS dari hasil algoritma C2RCC

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis TSS *in-situ* bertujuan untuk mengetahui rekapitulasi TSS *in-situ* dengan satuan mg/L untuk menyamakan nilai pengolahan citra Sentinel-2 dengan algoritma C2RCC yang memiliki satuan g/m³. Hasil TSS *in-situ* dijadikan nilai aktual dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi TSS *In-Situ*

Jalur	TSS <i>In-Situ</i> (mg/L)
1	105,06
2	52,32
3	69,26
4	81,62
5	175,2
Jumlah	483,46
Rata-rata	96,692

Sumber: Pengolahan Data 2023

Tabel 1 menyajikan TSS *in-situ* dari terbesar ke terkecil yaitu pada jalur 5 sebesar 175,2 mg/L, jalur 1 sebesar 105,06 mg/L, jalur 4 sebesar 81,62 mg/L, jalur 3 sebesar 69,26 mg/L, dan jalur 2 sebesar 52,32 mg/L. Hasil analisis data menunjukkan TSS *in-situ* memiliki muatan yang tidak jauh berbeda dan mengalami peningkatan dari muara sungai ke arah laut lepas. Faktor yang mempengaruhi muatan TSS *in-situ* tersebut diduga akibat adanya perubahan alih fungsi lahan di bagian hulu yang berperan dalam meningkatkan erosivitas lahan. Badaruddin & Syam'ani (2022) menyatakan bahwa eksploitasi hutan-hutan di Kalimantan seperti penebangan hingga pertambangan terus berlangsung mengakibatkan hutan semakin banyak gundul dan terbuka. Faktor lain yang mempengaruhi yaitu tipe sungai. Menurut Fadilillah (2017), Sungai Barito merupakan sungai permanen atau *perennial* yang artinya sungai yang memiliki aliran jumlahnya relatif sama pada musim kemarau dan musim hujan yang menyebabkan muatan TSS tidak berbeda jauh nilainya.

Muatan TSS *in-situ* yang semakin meningkat tiap tahunnya dan apabila diabaikan berkepanjangan mampu mengakibatkan masalah seperti bencana alam. Muatan TSS *in-situ* dapat ditekan dengan cara masyarakat maupun pemerintah harus lebih memperhatikan penggunaan

tutupan lahan pada bagian hulu DAS yang seharusnya tutupan lahan berupa hutan primer. Badaruddin *et al.* (2013) menyatakan pengelolaan lahan untuk rehabilitasi lahan di sub-DAS Kusambi Batulicin harus berorientasi pada konservasi tanah dan air dan dalam meningkatkan daya dukung tanah untuk kesejahteraan bersama melalui intensifikasi lahan yang cocok dengan setiap level kapabilitas lahan sehingga mampu mengendalikan laju suspensi. Dengan mengikuti arahan penggunaan lahan yang telah diatur maka daerah muara Sungai Barito akan berfungsi dengan baik sebagai pengatur siklus hidrologi.

Algoritma C2RCC memiliki dua jaringan saraf untuk Sentinel-2, yaitu C2RCC-Nets (jaringan saraf tiruan standar yang didesain dari rendah ke medium untuk pendugaan klorofil-a dan TSS) dan C2X-Nets (jaringan saraf tiruan spesial yang didesain memiliki konsentrasi tinggi untuk pendugaan klorofil-a dan TSS). Uji akurasi dipergunakan untuk menerangkan tingkat ketepatan suatu instrumen dalam mengukur suatu informasi salah satunya dengan R² dan RMSE. R² adalah suatu nilai yang bisa menjelaskan seberapa banyak variabel bebas mempengaruhi variabel terikat, yang nilainya berkisar antara 0 – 1. Model-model estimasi sepenuhnya bisa diperhatikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Konstruksi Model Estimasi TSS

Model Regresi	C2RCC-Nets		C2X-Nets	
	Persamaan	R ²	Persamaan	R ²
Ekspensial	$1E+09e^{-0,344x}$	0,5721	$33526e^{-0,084x}$	0,5770
Linear	$-39,551x+2025,5$	0,5135	$-8,4537x+738,97$	0,4447
Logaritmik	$-1897\ln(x)+7469,3$	0,5197	$-640,5\ln(x)+2867,7$	0,4696
Kuadratik	$10,008x^2-994,86x+24785$	0,5902	$0,9185x^2-144,77x+5750$	0,6442
Power	$4E+29x^{-16,5}$	0,5721	$5E+13x^{-6,348}$	0,5967

Tabel 2 menyajikan nilai R² terbesar yaitu model regresi kuadratik C2X-Nets sebesar 0,6442 dan nilai R² terkecil yaitu model regresi linear C2X-Nets sebesar 0,4447. Menurut Hair *et al.* (2011) R² dapat dikelompokkan menjadi 3 kategori yaitu kategori kuat (nilai R² berkisar 0,75-1), kategori moderat (nilai R² berkisar 0,50-0,74), dan kategori lemah (nilai R² <0,50). Hasil R² kategori moderat mencapai 1 artinya hubungan variabel antara hasil algoritma C2RCC dengan TSS *in-situ* menyatakan adanya hubungan antar variabel, sedangkan nilai R² kategori lemah menyatakan bahwa tidak ada hubungan antar variabel. Nilai R² model regresi 8 dari 10 model berada di

kategori moderat, sedangkan 2 model lainnya berada di kategori lemah (C2X-Nets linear dan C2X-Nets logaritma). Persamaan regresi digunakan untuk mengestimasi TSS algoritma C2RCC yang selanjutnya diukur kesalahan prediksinya atau untuk mengetahui berapa besar *error*nya. Dari semua model regresi, model yang berada di kategori lemah saat diimplementasikan nilai estimasi TSS bernilai negatif sehingga model dengan kategori lemah dikecualikan. RMSE memberikan gambaran tentang seberapa besar kesalahan prediksi model dalam satuan asli dari variabel yang diukur, hasil RMSE model estimasi bisa diperhatikan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Uji Akurasi RMSE

Regresi	RMSE	
	C2RCC-Nets	C2X-Nets
Ekspensial	68,228	77,522
Linear	110,203	111,005
Logaritmik	109,802	111,417
Kuadratik	100,271	114,476
Power	74,528	83,077

Berdasarkan Tabel 3 RMSE terbesar berada pada model regresi kuadratik C2X-Nets sebesar 114,476 dan RMSE terkecil berada pada model regresi eksponensial C2RCC-Nets sebesar 68,228. Model RMSE ini mempunyai *error* yang besar dilihat terhadap rentang nilai rata-rata TSS *in-situ* dari validasi model sebesar 100,550. Model hubungan terbaik seharusnya yang memiliki R² tertinggi dan RMSE terkecil. Model kuadratik C2X-Nets memiliki R² yang tinggi tetapi juga memiliki *error* yang besar, sedangkan model eksponensial C2X-Nets memiliki korelasi R² yang rendah tetapi juga memiliki *error* yang kecil. Model power C2X-Nets merupakan R² tertinggi kedua dengan *error* yang tergolong masih rendah dibandingkan model regresi lainnya. Model power C2X-Nets dengan model kuadratik C2X-Nets dengan selisih R² sebesar 0,05 dan selisih *error* sebesar 31, sedangkan model power C2X-Nets dengan model

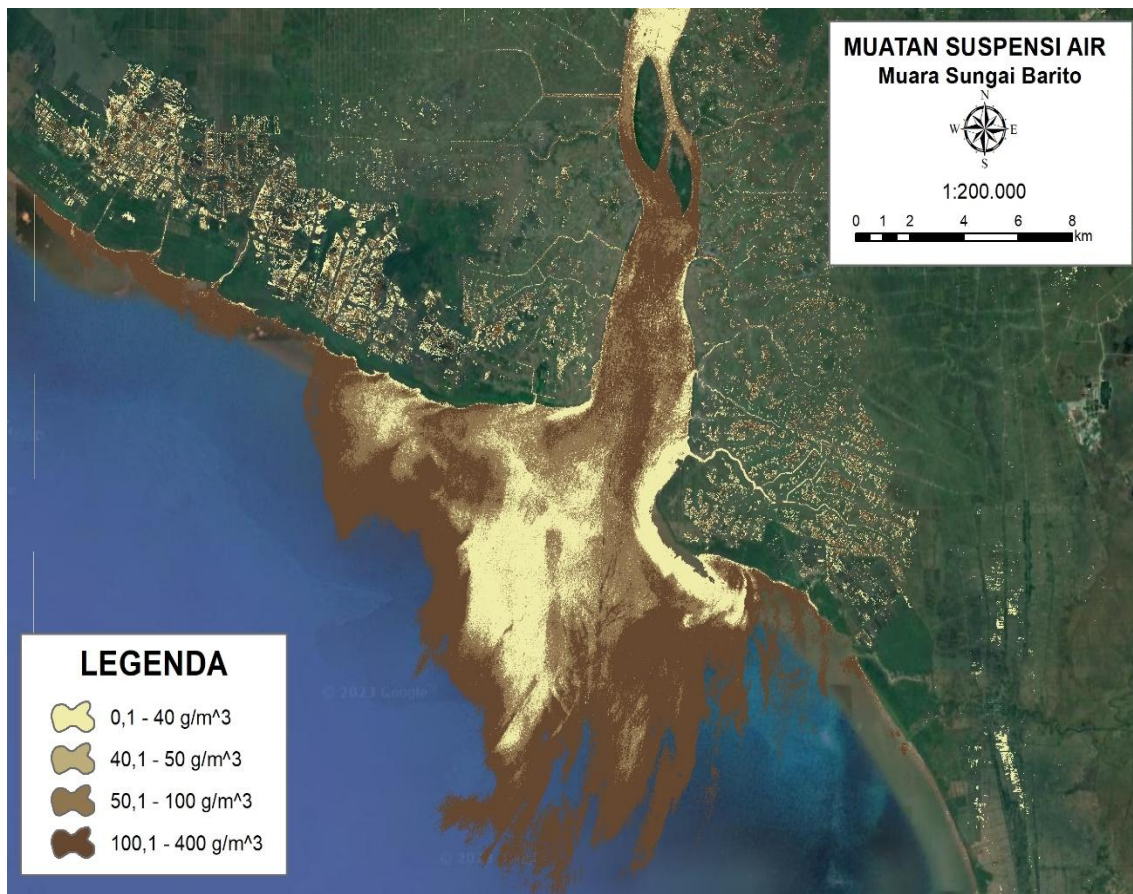
eksponensial C2X-Nets memiliki selisih R² sebesar 0,02 dan selisih *error* sebesar 7. Dari nilai selisih tersebut maka dipilih model power C2X-Nets karena perbandingan R² yang tidak berbeda jauh dan RMSE nya yang berbeda jauh.

Asy'ari *et al* (2021) menyatakan permasalahan utama yang dihadapi ketika memanfaatkan citra satelit untuk mengetahui informasi kenampakan permukaan bumi adalah gangguan atmosferik (kehadiran awan dan bayangan awan). Gangguan atmosferik masih terlihat masif di sekitar lokasi penelitian muara Sungai Barito. Area yang terdapat bayangan berpotensi menurunkan akurasi model estimasi muatan suspensi air. Faktor lain yang menyebabkan R² tinggi dan RMSE yang besar karena waktu pengambilan sampel air yang tidak sesuai dengan lewatnya citra di atmosfer, dimana citra lewat pada jam 10.25

WITA sedangkan pengambilan sampel pada jam 09.15 WITA, hal tersebut membuktikan bahwa muatan suspensi memiliki perubahan yang dinamis yaitu perubahannya sangat cepat. Selain itu, nilai ekstrak C2X-Nets memiliki nilai yang lebih besar dari nilai C2RCC-Nets karena C2X-Nets mempunyai konsentrasi yang tinggi pada jaringan sarafnya daripada C2RCC-Nets (Li *et al.*, 2023). C2X-Nets meningkatkan hasil korelasinya karena meningkatkan hamburan pada saluran NIR atau *Near Infrared* sehingga menunjukkan hasil yang lebih baik untuk kekeruhan (Pahlevan *et al.*, 2021).

Perbandingan data antara hasil estimasi TSS menggunakan algoritma C2RCC dengan TSS *in-situ* terdapat perbedaan nilai dimana hasil estimasi TSS dari algoritma C2RCC rata-

rata memiliki nilai yang lebih kecil dari data *in-situ*. Ketidaksesuaian nilai TSS diduga saat eksekusi algoritma C2RCC adanya beberapa parameter yang dijadikan *default* akibat sumber parameternya tidak tersedia dan parameternya yang tidak sinkron dengan kondisi perairan yang diteliti (Rizqulloh, 2020). Model regresi yang dipilih yaitu model regresi power C2X-Nets karena memiliki R^2 kategori moderat sebesar 0,5967 dan RMSE sebesar 83,077. Model ini dipilih karena 60% sebaran variabel bebas dapat menguraikan variabel terikat, sisanya 40% tidak dapat diuraikan oleh variabel independen. Setelah didapat model estimasi, maka dilakukan klasifikasi hasil estimasi dari model tersebut, hasil estimasi TSS dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Distribusi Hasil Estimasi TSS Muara Sungai Barito

Klasifikasi TSS yang digunakan yaitu menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, sebagai tolak ukur pencemaran air berlandaskan baku mutu

air. Baku mutu air sungai terhadap parameter TSS terbagi 4 kelas yaitu kelas I TSS sebesar <40 mg/L, kelas II sebesar TSS 50 mg/L – 100 mg/L, kelas III TSS sebesar 100 mg/L – 400 mg/L, dan kelas IV TSS sebesar >400 mg/L. Kelas satu (air dapat digunakan sebagai bahan

baku air minum), kelas dua (digunakan untuk sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, dan mengairi tanaman), kelas tiga (digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, dan mengairi tanaman), dan kelas empat (air digunakan untuk mengairi tanaman). Berdasarkan Gambar 9, penduduk yang berdomisili di area tepi sungai ramai memanfaatkan air muara Sungai Barito untuk kehidupan sehari-harinya. Diketahui rata-rata TSS nya berada di kelas II dan kelas IV dimana masyarakat tersebut seharusnya tidak menggunakan air Sungai Barito sebagai bahan baku air minum, jika dikonsumsi dapat berdampak terhadap kesehatan penduduk tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil penelitian ini menunjukkan model-model estimasi regresi eksponensial, linear, logaritmik, kuadratik dan power algoritma C2RCC rata-rata memiliki nilai yang lebih kecil dari data *in-situ*. Akurasi algoritma C2RCC dalam mengestimasi TSS muara Sungai Barito didapatkan model power C2X-Nets dengan R^2 sebesar 0,5967 dan RMSE sebesar 83,077 terhadap rentang nilai rata-rata TSS *in-situ* sebesar 100,550. Model ini dipilih karena 60% sebaran variabel independen mampu menguraikan variabel dependen, sisanya 40% tidak dapat diuraikan oleh variabel dependen, serta memiliki *error* yang rendah daripada model estimasi regresi lainnya.

Saran

Saran berdasarkan penelitian ini agar penelitian berikutnya bisa lebih baik yaitu pengukuran TSS *in-situ* pada setiap perairan penting dilaksanakan lebih lanjut dengan memasukkan parameter-parameter seperti parameter fisika dan parameter kimia yang sesuai dengan kondisi perairan yang diteliti. Saran di samping itu, dari hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan evaluasi untuk pengembangan algoritma C2RCC dalam mengestimasi TSS yang lebih baik di masa mendatang, terlebih di perairan lokal Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Asy'ari, M., Syam'ani, & Satriadi, T. 2021. *Tropical Rain Forest Stand Biomass Mapping at Mandiingin Hill Using Sentinel-2 MSI Imagery*. Journal of Tropical Forest, 9(3), 299-309.
- Badan Pusat Statistik. 2021. *Kecamatan Tabunganen Dalam Angka Tahun 2021*. Barito Kuala.
- Badaruddin, Ruslan, M., Kusuma, Z., Rayes, M.L. 2013. *An Analysis of Land Characteristics and Capabilities in Kusambi Sub-Watershed of Batulicin Watershed in Tanah Bumbu Regency South Kalimantan*. Academic Research International, 4(5) 222-232.
- Badaruddin & Syam'ani. 2022. *Model Estimasi Muatan Suspensi Muara Sungai Barito Berbasis Citra ESA Sentinel-2*. Banjarbaru: LPPM Universitas Lambung Mangkurat.
- Brockmann, C., Doerffer, R., Peters, M., Stelzer, K., Embacher, S., & Ruescas, A. 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*. Europe Space Agency Volume 740(54), ISBN: 978-92-9221-305-3.
- Campbell. 2004. *Pengantar Agronomi*. Jakarta: Gramedia.
- Doerffer, R., & Schiller, H. 2007. *The MERIS Case 2 Water Algorithm*. International Journal of Remote Sensing, 28(3), 517-535.
- Fadililah, R.S.A. 2017. *Peran Pemerintah Daerah dalam Penanggulangan Praktek Penambangan Pasir dan Batu di Aliran Sungai Brantas Ditinjau dari Undang-Undang No.32 Tahun 2009 Tentang Lingkungan Hidup (Studi Di Kabupaten Kediri)*. Other Thesis, University of Muhammadiyah Malang.
- Goel, A. 2011. *ANN-Based Approach for Predicting Rating Curve of an Indian River*. International Scholarly Research Network ISRN Civil Engineering, Volume 2011, Article ID 291370, 4 pages doi:10.5402/2011/291370.
- Hair, J. F., William, C., Barry, J., Rolph, E. 2011. *Multivariate Data Analysis Fifth Edition*. New Jersey: PrenticeHall, Inc.
- Kementerian Kehutanan. 2009. *Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor:P. 328/Menhut-II/2009 Tentang Penetapan Daerah Aliran Sungai (DAS)*

- Prioritas dalam Rangka Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJM) Tahun 2010-2014.* Jakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2021. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.* Jakarta.
- Li, S., Kaishan, S., Yong, L., Ge, L., Zhidan, W., Yingxin, S., Lili, L., dan Chong, F. 2023. *Performances of Atmospheric Correction Processors for Sentinel-2 MSI Imagery Over Typical Lakes Across China.* IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing PP (99):1-16.
- Muttaqin, T. 2018. *Laju Erosi di Lahan Rehabilitasi Bekas Kebakaran Kawasan Taman Hutan Raya R.Soeryo Jawa Timur.* Universitas Muhammadiyah Malang.
- Nduru, R. E., Situmorang, M., & Tarigan, G. 2014. *Analisa Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Hasil Produksi Padi di Deli Serdang.* Saintia Matematika 2: 71-83.
- Neves, V.H., Pace, G., Delegido, J., & Antunes, S.C. 2021. *Chlorophyll and Suspended Solids Estimation in Portuguese Reservoirs (Agueira and Alqueva) from Sentinel-2 Imagery.* MDPI: <https://doi.org/10.3390/w13182479>.
- Octaviana, A., Prestyo, Y., & Amarrohman, F.J. 2020. *Analisis Perubahan Nilai Total Suspended Solid Tahun 2016 dan 2019 Menggunakan Citra Sentinel 2A (Studi Kasus: Banjir Kanal Timur, Semarang).* Jurnal Geodesi: Universitas Diponegoro.
- Pahlevan, N., Mangin, A., Balasubramanian, S.V., Smith, B., Alikas, K., Arai, K., Barbosa, C., Bélanger, S., Binding, C., & Bresciani, M. 2021. *A Global Assessment of Atmospheric Correction Methods for Landsat-8 And Sentinel-2 Over Lakes, Rivers, and Coastal Waters.* Remote Sens. Environ. 2021, 258, 112366.
- Rizqulloh, A.G. 2020. *Analisis Penggunaan Toolbox Case 2 Regional Coast Colour - SNAP Untuk Estimasi Total Suspended Solids pada Citra Landsat 8.* Undergraduate Thesis. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Xavier, S.P., Delegido, J., Urrego, E.S., Verdu, A.R., Soria, J.M., Vicente, E., & Moreno, J. 2022. *Assessment of Sentinel-2-MSI Atmospheric Correction Processors and In Situ Spectrometry Waters Quality Algorithms.* MDPI: <https://doi.org/10.3390/rs14194794>.