



Analisis Korelasi Indeks Klorofil-A Dengan Turbiditas Pada Waduk Karangates Berbasis Citra Satelit Sentinel-2A

Hadian Anditya Fandi Ahmad Syaifullah¹, Muhammad Arrayyan Zaky²,
Muhammad Alfin Muaffaq³, dan Masrurroh⁴

¹²³⁴ Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Negeri Malang
e-mail: hadian.anditya.2307226@students.um.ac.id

ABSTRAK. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air di Waduk Karangates dengan memanfaatkan Google Earth Engine (GEE), sebuah platform komputasi geospasial berbasis cloud, serta data satelit Sentinel-2A. Analisis dilakukan menggunakan dua parameter utama, yaitu *Normalized Difference Chlorophyll Index* (NDCI) untuk mengukur kandungan klorofil-a sebagai indikator produktivitas biologis dan potensi eutrofikasi, serta *Normalized Difference Turbidity Index* (NDTI) untuk menilai tingkat kekeruhan air akibat material tersuspensi seperti lumpur dan sedimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi klorofil-a (NDCI) tinggi ditemukan di area tepi waduk, yang diduga terkait dengan masuknya aliran nutrisi dari sungai. Sementara itu, nilai NDTI tertinggi ditemukan di muara sungai akibat limpasan sedimen dari hulu, sedangkan bagian tengah waduk menunjukkan nilai NDCI dan NDTI yang lebih rendah karena adanya proses pengendapan material. Penelitian ini membuktikan bahwa pemanfaatan GEE memudahkan analisis spasial secara cepat dan efisien tanpa memerlukan pengunduhan data. GEE dan data penginderaan jauh diharapkan dapat dimanfaatkan lebih luas untuk pengelolaan sumber daya dan ekosistem perairan secara berkelanjutan.

Kata kunci: Google Earth Engine, Sentinel-2A, NDCI, NDTI.

PENDAHULUAN

Waduk adalah suatu struktur air yang digunakan untuk menampung debit air berlebih saat musim hujan agar dapat dimanfaatkan saat debit air rendah atau saat musim kering (Sagina, 2021). Waduk dapat diartikan sebagai sebuah media atau wadah yang ditujukan untuk menampung air yang berada pada permukaan bumi berupa air hujan dan sungai. Waduk memberikan berbagai manfaat bagi lingkungan sekitar, yaitu waduk dapat memenuhi kebutuhan masyarakat, menciptakan lapangan pekerjaan, hingga dapat menjadi salah satu mitigasi terjadinya bencana banjir. Waduk juga dapat menjadi tempat tinggal dan menjadi sebuah ekosistem biota air tawar. Biota merupakan sekelompok hewan dan tumbuhan yang tinggal di suatu lokasi geografis tertentu. Secara fisik dan biologis biota air tawar merupakan perantara habitat laut dan habitat darat. Perkembangan biota air tawar disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya yaitu kondisi fisik waduk. Keadaan perairan waduk mendukung dan menjadikan waduk sebagai wadah untuk biota air tawar untuk membentuk sebuah ekosistem.

Perairan pada waduk termasuk kedalam kategori lentik. Menurut Dimenta et al., (2020), sistem lentik adalah suatu perairan yang dicirikan dengan air yang mengenang atau tidak ada aliran air, sedangkan sistem lotik adalah suatu perairan yang dicirikan oleh adanya aliran air yang cukup kuat, sehingga digolongkan ke dalam perairan lentik. Dalam perairan lentik umum terjadi penurunan kualitas air yang disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya adalah karena peningkatan kandungan klorofil-a pada waduk. Menurut Marlian et al., (2015) klorofil-a merupakan pigmen utama dalam tumbuhan dan fitoplankton, yang berperan dalam proses produksi primer di ekosistem akuatik. Klorofil-a adalah indikator penting untuk mengukur produktivitas biologis dalam perairan, yang secara langsung berdampak pada berbagai aspek kehidupan akuatik, termasuk rantai makanan

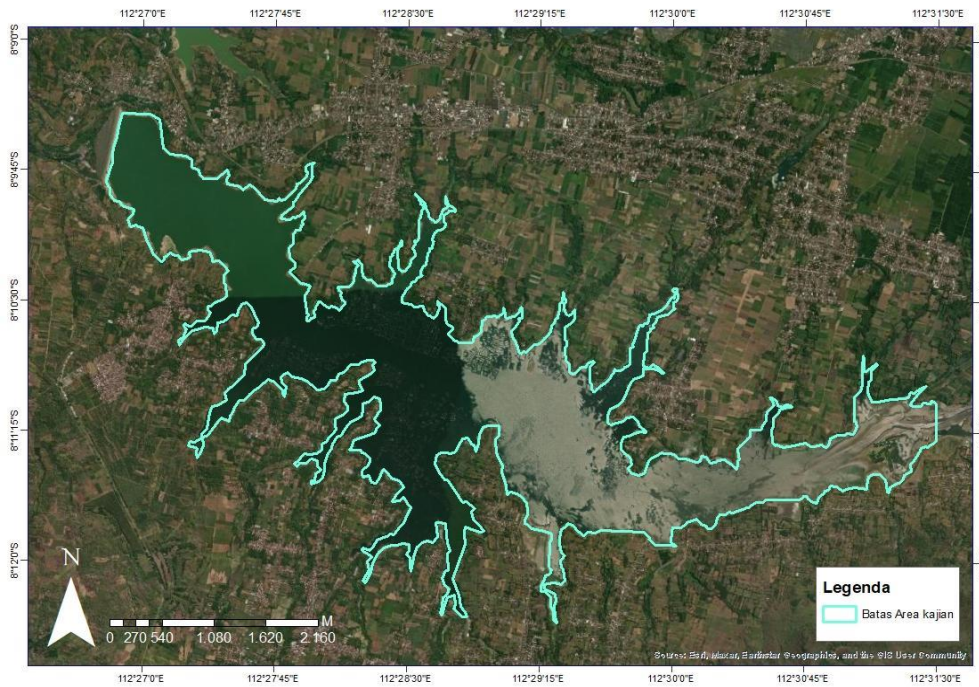
dan sumber daya perikanan. Untuk mengetahui kandungan klorofil-a pada waduk, dilakukan proses pengolahan data citra Sentinel-2A pada Google Earth Engine.

Google Earth Engine (GEE) adalah platform berbasis cloud yang memungkinkan akses dan analisis data geospasial dalam skala besar. Google Earth Engine dapat memudahkan pengguna untuk mengembangkan algoritma khusus untuk proses pengolahan data citra, analisis time-series, dan pemantauan perubahan lingkungan secara cepat dan akurat (Julianto et al., 2020). Pemanfaatan GEE dengan data Sentinel-2A memberikan peluang besar untuk melakukan analisis spasial terhadap kondisi lingkungan waduk, termasuk mengidentifikasi potensi eutrofikasi melalui parameter-parameter berbasis penginderaan jauh (Julianto et al., 2020). Pemilihan *google earth engine* (GEE) sebagai platform komputasi geospasial didasarkan pada beberapa keunggulan yang dimilikinya yaitu GEE memudahkan akses data tanpa perlu melalui proses pengunduhan, memodifikasi algoritma pemrograman dapat dilakukan dengan mudah dan yang terakhir kecepatan dalam pengolahan data menjadi salah satu faktor yang signifikan, mempercepat proses analisis yang dibutuhkan (Sidhu et al., 2018).

Machine Learning merupakan aplikasi komputer dan algoritma matematika yang diadopsi dengan cara pembelajaran yang berasal dari data dan menghasilkan prediksi di masa yang akan datang (Roihan et al., 2019, sebagaimana dikutip dalam Goldberg & Holland, 1988). Machine learning dapat diterapkan untuk mengolah data menjadi suatu algoritma sehingga secara otomatis data yang dimiliki dapat diolah. NDWI (*Normalized Difference Water Index*). Metode ini memanfaatkan band hijau (*green*) dan band inframerah (*near-infrared*) untuk membedakan wilayah perairan dan daratan. NDWI sangat berguna untuk mendeteksi keberadaan air permukaan serta menganalisis kualitas perairan terkait fenomena eutrofikasi (Erlansari et al., 2020). NDCI (*Normalized Difference Chlorophyll Index*) adalah indeks spektral yang digunakan untuk memperkirakan konsentrasi klorofil-a di perairan yang keruh dan produktif. Indeks ini dihitung dengan menggunakan *red* band dan *near-infrared* (NIR) pada citra satelit multispektral, seperti data Sentinel-2 (Mishra & Mishra, 2012). Pada penelitian ini, proses pengolahan data dilakukan dengan menggunakan NDCI untuk mengetahui nilai klorofil indeks pada suatu obyek perairan. Sedangkan NDTI (*Normalized Difference Turbidity Index*) merupakan rasio antara pantulan band merah dan spektrum hijau untuk analisis tingkat kekeruhan perairan di suatu waduk (Rusydi dan Masitoh, 2021).

METODE

Waduk Karangates merupakan waduk aliran sungai Brantas yang bersumber dari mata air Gunung Arjuno. Waduk Karangates mulai dibangun oleh pemerintah antara tahun 1975-1977 dan diresmikan oleh Presiden Soeharto pada tahun 1977 untuk dijadikan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) (Sugiharto, 2020). Waduk karangates secara geografis terletak pada Bendungan Sutami terletak di Desa Karangates, Kecamatan Sumberpucung, Kabupaten Malang. Bendungan Karangates ini menampung dari beberapa sungai, yaitu Sungai Lahor, Sungai Leso, dan Sungai Dewi (Walidaroyani & Kadir, 2023).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan Citra Sentinel-2A multi-temporal yang digunakan untuk melihat pola sebaran klorofil-a pada perairan Waduk Karangates. Menurut (Rahman et al., 2022), pengolahan citra Sentinel-2A dengan beberapa algoritma, dapat digunakan untuk mendukung kegiatan monitoring kualitas perairan pada danau dan waduk terutama klorofil-a. Menurut penelitian (Rahman et al., 2021), data citra Sentinel-2A juga dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kekeruhan yang diprediksi dengan menggunakan data citra satelit sebagai data lapangan. Dalam penelitian (Rusydi & Masitoh, 2021), juga disebutkan bahwa pemilihan citra dengan tingkat keawanan minimal dilakukan untuk menghindari hamburan dan serapan oleh partikel aerosol yang akan memengaruhi pada kemurnian nilai piksel suatu obyek. Sehingga data citra Sentinel-2A yang digunakan memiliki Citra Sentinel-2A yang digunakan pada penelitian memiliki cloud presentage sebesar 45%. Untuk menghasilkan data citra temporal, dilakukan filtering date pada rentang waktu tertentu sehingga dapat menganalisis perkembangan persebaran klorofil-a dan kekeruhan Waduk Karangates. Rentang waktu data citra Sentinel-2A yang digunakan untuk penelitian ini yaitu antara bulan Januari hingga bulan Desember 2024.

Pengolahan data citra satelit Sentinel-2A dilakukan untuk mendapatkan data persebaran klorofil-a dan tingkat kekeruhan dengan menggunakan algoritma pada perangkat lunak Google Earth Engine. Untuk melakukan pengolahan data pada Waduk Karangates, dibutuhkan pemisah pada badan air dengan daratan yang terletak pada permukaan bumi. Pemisahan dilakukan dengan perhitungan *Normalized Difference Water Index* (NDWI) pada citra satelit Sentinel-2A. Index (NDWI) dihitung dengan menggunakan persamaan 1 sebagai berikut:

$$NDWI = \frac{B3 - B8}{B3 + B8} \quad (1)$$

Keterangan:

B3 = Band 3

B8 = Band 8

Analisis persebaran klorofil-a sebagai salah satu indikator dalam menentukan kualitas air dilakukan dengan perhitungan *Normalized Difference Chlorophyll Index* (NDCI) pada citra satelit Sentinel-2A. Index (NDCI) dihitung dengan menggunakan persamaan 2 sebagai berikut:

$$\text{NDCI} = \frac{B5 - B4}{B5 + B4} \quad (2)$$

Keterangan:

B5 = Band 5

B4 = Band 4

Analisis tingkat kekeruhan air juga menjadi salah satu indikator dalam kualitas air karena kandungan material sedimen yang dimiliki oleh waduk. Perhitungan dilakukan melalui *Normalized Difference Turbidity Index* (NDTI) pada citra satelit Sentinel-2A. *Normalized Difference Turbidity Index* (NDTI) dihitung menggunakan Persamaan 3 sebagai berikut:

$$\text{NDCI} = \frac{B3 - B2}{B3 + B2} \quad (3)$$

Keterangan:

B3 = Band 3

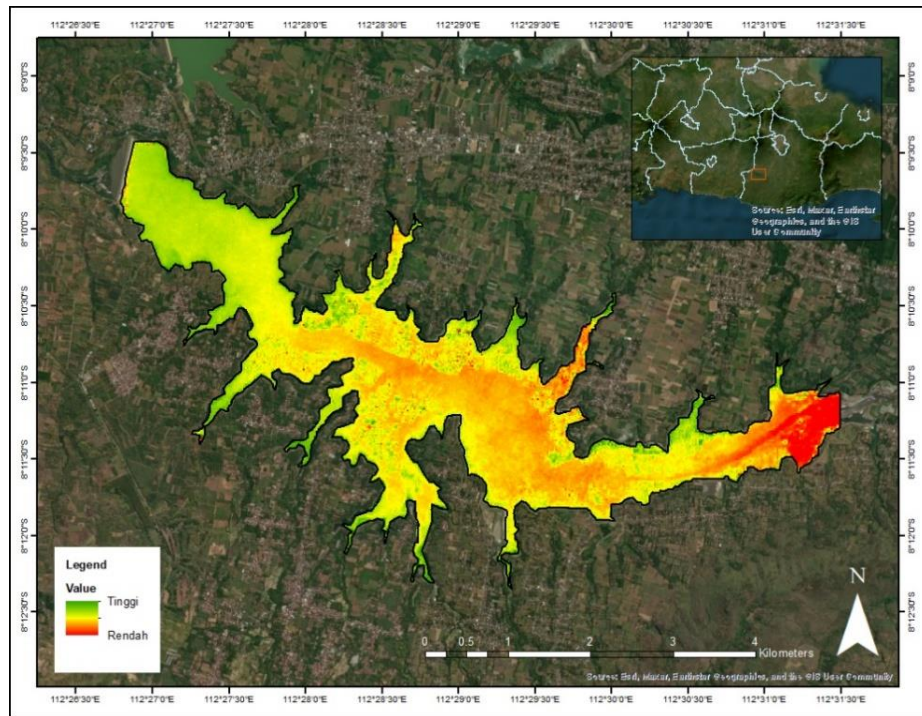
B2 = Band 2

Dengan hasil dari pengolahan data menggunakan masing-masing persamaan, untuk mendapatkan data kualitas air dilakukan korelasi antara parameter kualitas air. Dalam hal tersebut, nilai NDCI dan NDTI dihubungkan dengan melihat histogram NDCI dan NDTI.

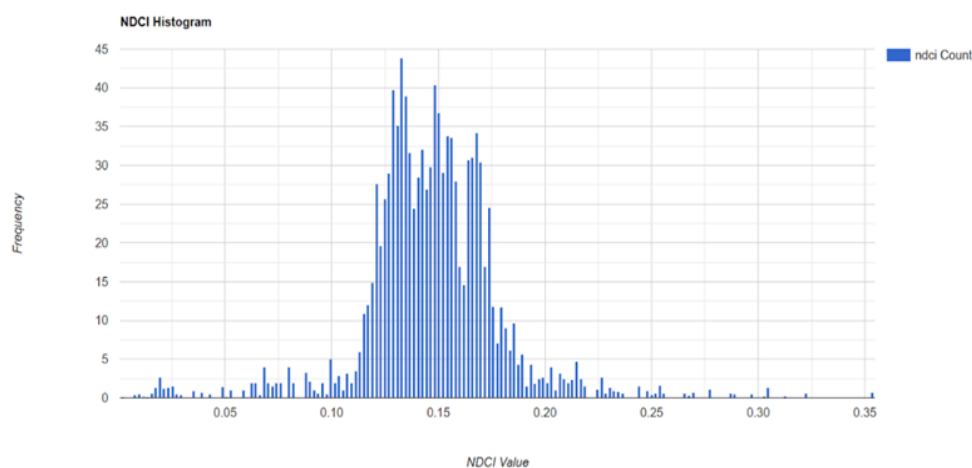
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas air di Waduk Karangates menggunakan data citra satelit Sentinel-2A. Fokus analisis terletak pada dua indeks utama, yaitu *Normalized Difference Chlorophyll Index* (NDCI) untuk mengukur kandungan klorofil-a sebagai indikator produktivitas biologis, serta *Normalized Difference Turbidity Index* (NDTI) untuk mengukur tingkat kekeruhan air. Berdasarkan hasil analisis citra satelit, ditemukan temuan signifikan mengenai kualitas air dan faktor yang mempengaruhinya di Waduk Karangates.

Gambar 2 menunjukkan distribusi *Normalized Difference Chlorophyll Index* (NDCI) di Waduk Karangates, dengan rentang nilai 0,002 hingga 0,354 seperti pada gambar 3. Nilai NDCI yang rendah (merah) ditemukan di area yang memiliki konsentrasi klorofil-a yang rendah, sementara nilai yang lebih tinggi (hijau) ditemukan di area yang memiliki kandungan klorofil-a yang lebih banyak. Berdasarkan hasil analisis, nilai NDCI yang lebih tinggi ditemukan di tepi waduk dan tepi jauh waduk, sedangkan tengah waduk menunjukkan nilai NDCI sedang.



Gambar 2. Distribusi NDCI



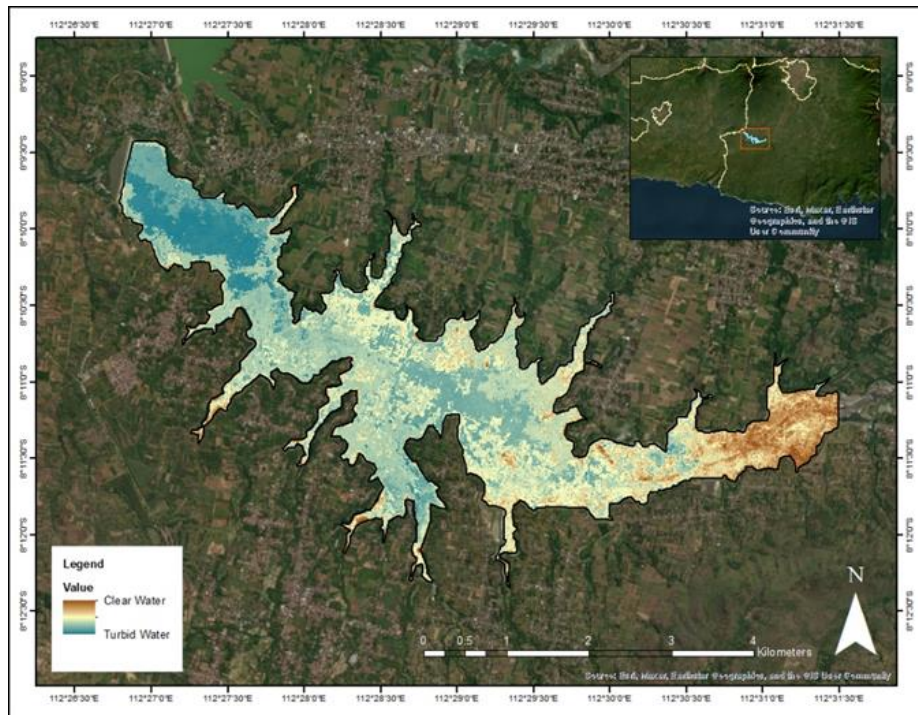
Gambar 3. Histogram Distribusi NDCI

NDCI digunakan untuk mengukur kandungan klorofil-a, yang berfungsi sebagai indikator produktivitas biologis dan potensi eutrofikasi dalam perairan. Berdasarkan analisis, NDCI tinggi di tepi waduk hingga tepi jauh waduk menunjukkan tingginya konsentrasi klorofil-a, yang menunjukkan adanya pertumbuhan fitoplankton yang lebih banyak di area tersebut. Peningkatan konsentrasi klorofil-a ini kemungkinan besar disebabkan oleh aliran nutrisi dari sungai yang masuk ke waduk, yang mendukung pertumbuhan fitoplankton di tepi waduk.

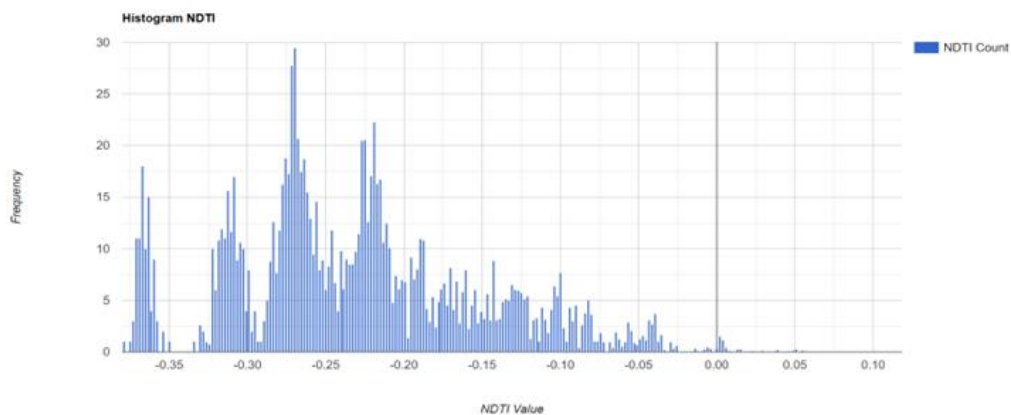
Sebaliknya, NDCI rendah yang ditemukan di bagian tengah waduk mungkin menunjukkan air yang lebih jernih dengan sedikit pertumbuhan fitoplankton, kemungkinan karena pengendapan material di dasar waduk yang mengurangi ketersediaan nutrisi di air permukaan. Hal ini juga sesuai dengan temuan Marlian et al., (2015) yang menyatakan bahwa konsentrasi klorofil-a dapat menjadi indikator penting dari peningkatan atau penurunan produktivitas biologis dalam ekosistem perairan.

Gambar 4 menunjukkan distribusi *Normalized Difference Turbidity Index* (NDTI) di Waduk Karangates, dengan rentang nilai -0,37 hingga 0,117 seperti pada gambar 5. Berdasarkan hasil

analisis, NDTI tinggi (warna coklat, *turbid water*) ditemukan di muara sungai, sedangkan NDTI sedang ditemukan di bagian tengah waduk. NDTI rendah (warna biru, *clear water*) ditemukan di tepi jauh waduk, yang menunjukkan kualitas air yang lebih bersih di area tersebut.



Gambar 4. Distribusi NDTI



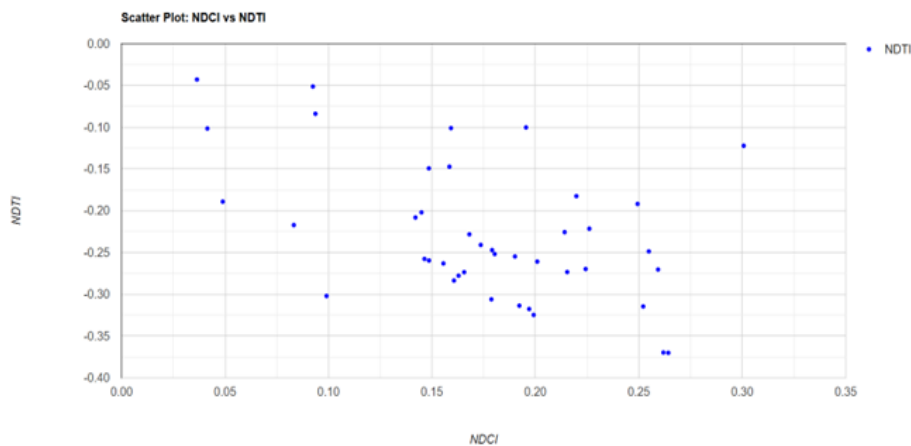
Gambar 5. Histogram Distribusi NDTI

NDTI berfungsi mengukur tingkat kekeruhan air, yang berhubungan dengan keberadaan material tersuspensi seperti lumpur, sedimen, dan limbah organik. Penelitian ini menemukan bahwa nilai NDTI lebih tinggi di muara sungai, yang menunjukkan tingginya kekeruhan akibat limpasan sedimen dan material organik dari daerah hulu sungai. Erlansari et al., (2020) menyatakan bahwa NDTI efektif untuk mendeteksi perubahan kekeruhan air yang disebabkan oleh aktivitas manusia atau proses alami. Hasil ini sesuai dengan temuan kami, yang menunjukkan bahwa muara sungai adalah sumber utama kekeruhan di Waduk Karangates.

Sebaliknya, nilai NDTI yang lebih rendah di tengah waduk menunjukkan kualitas air yang lebih jernih, yang dihasilkan dari proses pengendapan material di dasar waduk. Di sini, arus yang lebih tenang memungkinkan material tersuspensi mengendap, sehingga air menjadi lebih bersih. Julianto et al., (2020) juga mencatat bahwa pengendapan material dapat meningkatkan kualitas air di perairan yang memiliki sirkulasi stabil, seperti di tengah waduk.

Keterkaitan antara nilai NDTI tinggi di muara sungai dan nilai NDCI tinggi di tepian waduk menunjukkan bahwa area dengan tingkat kekeruhan tinggi juga cenderung memiliki kandungan nutrisi rendah, yang menyebabkan pertumbuhan fitoplankton menjadi terhambat. Sidhu et al. (2018) dan Erlansari et al. (2020) mencatat bahwa perubahan kekeruhan yang terjadi di sepanjang sungai dapat mempengaruhi kualitas air secara keseluruhan, yang juga berdampak pada ekosistem waduk.

Analisis korelasi Pearson antara NDCI dan NDTI menunjukkan nilai korelasi -0.484 dengan p -value 0.0013 . Nilai korelasi yang negatif ini menunjukkan adanya hubungan moderat atau sedang antara NDCI (klorofil-a) dan NDTI (kekeruhan air), di mana peningkatan konsentrasi klorofil-a (NDCI) cenderung terkait dengan penurunan kekeruhan (NDTI). Korelasi ini menunjukkan hubungan yang cukup signifikan secara statistik, dengan p -value 0.0013 , yang jauh lebih kecil dari $0,05$, menunjukkan bahwa hubungan ini kuat. Selain itu, nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) yang tercatat sebesar $0,0389$ menunjukkan tingkat kesalahan prediksi yang rendah dalam model yang digunakan. Nilai RMSE yang kecil ini menandakan bahwa model analisis memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dalam menggambarkan hubungan antara NDCI dan NDTI.



Gambar 6. Scatter Plot

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan Google Earth Engine (GEE) dengan data Sentinel-2A dapat memberikan analisis kualitas air yang efisien di Waduk Karangates. Parameter kualitas air utama, seperti kandungan klorofil-a (NDCI) dan tingkat kekeruhan (NDTI), berhasil dianalisis. Hasilnya menunjukkan bahwa area dengan kandungan klorofil-a tinggi umumnya berada di tepi waduk, sedangkan tingkat kekeruhan yang lebih tinggi ditemukan di muara sungai. Selain itu, penelitian juga menghasilkan data bahwa konsentrasi klorofil-a tinggi terdapat di wilayah dengan aliran nutrisi tinggi, sementara tingkat kekeruhan air tinggi cenderung terjadi di muara sungai. Hubungan korelasi negatif antara kedua parameter ini memberikan wawasan penting untuk mendukung langkah pengelolaan sumber daya air yang lebih baik. Hubungan negatif antara NDCI dan NDTI mengindikasikan adanya dinamika interaksi antara nutrisi dan kondisi fisik air. Dengan teknologi ini, pengelolaan sumber daya air dapat ditingkatkan secara berkelanjutan.

REFERENSI

- Dimenta, R., Agustina, R., Machrizal, R., & Khairul. (2020). Kualitas Sungai Bilah Berdasarkan Biodiversitas Fitoplankton Kabupaten Labuhanbatu, Sumatera Utara. 2(11), 24–33.
- Erlansari, A., Susilo, B., & Hernoza, F. (2020). Optimalisasi Data Landsat 8 Untuk Pemetaan Daerah Rawan Banjir Dengan Ndvi Dan NdwI (Studi Kasus : Kota Bengkulu). *Jge (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 6(1), 57–65. <https://doi.org/10.23960/jge.v6i1.60>
- Julianto, F. D., Putri, D. P. D., & Safi'i, H. H. (2020). Analisis Perubahan Vegetasi Dengan Data Sentinel-2 Menggunakan Google Earth Engine. *Jurnal Penginderaan Jauh Indonesia*, 02(02), 13–18. <http://jurnal.mapin.or.id/index.php/jpji/article/view/29>
- Marlian, N., Damar, A., & Effendi, H. (2015). Distribusi Horizontal Klorofil-a Fitoplankton Sebagai Indikator Tingkat Kesuburan Perairan Di Teluk Meulaboh Aceh Barat. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 20(3), 272-279. <https://doi.org/10.18343/jipi.20.3.272>
- Mishra, S., & Mishra, D. R. (2012). Normalized Difference Chlorophyll Index: A Novel Model For Remote Estimation Of Chlorophyll-a Concentration In Turbid Productive Waters. *Remote Sensing Of Environment*, 117, 394–406. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.016>
- Permata, F. D., Putra, Y. S., & Adriat, R. (2022). Distribusi Spasial Tingkat Kebasahan Lahan Di Kota Pontianak Menggunakan Normalized Difference Water Index (NdwI). *Prisma Fisika*, 10(3), 425. <https://doi.org/10.26418/pf.v10i3.60549>
- Rahman, A., Astuti, L. P., Warsa, A., & Sentosa, A. A. (2021). Prediksi Tingkat Kekeruhan (Turbiditas) Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2a Di Waduk Jatiluhur, Jawa Barat. *Jurnal Sumber Daya Air*, 17(2), 59–68. <https://doi.org/10.32679/jsda.v17i2.697>
- Rahman, A., Astuti, L. P., Warsa, A., & Sentosa, A. A. (2022). Prediksi Konsentrasi Klorofil-a Menggunakan Data Citra Satelit Sentinel-2a Di Waduk Jatiluhur Kabupaten Purwakarta. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 23(2), 165–171. <https://doi.org/10.29122/jtl.v23i2.5192>
- Rusydi, A., & Masitoh, F. (2021). Analisis Dinamika Tingkat Kekeruhan Dan Kedalaman Relatif Perairan Di Waduk Sutami Kabupaten Malang. *Jfmr-journal Of Fisheries And Marine Research*, 5(2). <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2021.005.02.16>
- Sagina, M. (2021). Studi Optimasi Pola Pengoperasian Waduk Malahayu Di Kabupaten Brebes Untuk Kebutuhan Irigasi. Doctoral Dissertation, University Of Technology Yogyakarta.
- Sidhu, N., Pebesma, E., & Câmara, G. (2018). Using Google Earth Engine To Detect Land Cover Change: Singapore As A Use Case. *European Journal Of Remote Sensing*, 51(1), 486–500. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1451782>
- Sugiharto, M. A. (2020). Dampak Pembangunan Kawasan Destinasi Wisata Bendungan Karangates Bagi Masyarakat Desa Karangates Kabupaten Malang. *Universitas Muhammadiyah Malang*, 8(2).
- Walidaroyani, A., & Kadir, S. (2023). Analisis Tutupan Lahan Menggunakan GEE Dengan Metode Supervised Classification (Studi Kasus Bendungan Karangates Kab. Malang). *Jurnal Riset Mahasiswa Bidang Teknologi Informasi*, 6(1). <https://ejournal.unikama.ac.id/index.php/jfti>