

LUASAN DAN DISTRIBUSI ECENG GONDOK SECARA SPASIO-TEMPORAL DI WADUK SAGULING, JAWA BARAT

Syakirah Chuzaimah^{1,3}, Moch. Candra Wirawan Arief², Ine Maulina², dan Asep Sahidin²

¹ Program Studi Perikanan, Universitas Padjadjaran

² Departemen Perikanan, Universitas Padjadjaran

³ PARIMANTA FPIK Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Bandung-Sumedang KM. 21 Jatinangor, Sumedang, Indonesia

E-mail korespondensi: syakirahchz@outlook.com

ABSTRAK

Sungai Citarum adalah salah satu perairan darat yang harus dikelola oleh Provinsi Jawa Barat. Sungai tersebut mengalir tiga waduk, salah satunya Waduk Saguling yang terletak di Kabupaten Bandung Barat. Waduk tersebut berfungsi sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), area budidaya, jalur transportasi. Penurunan kondisi perairan seperti terjadinya eutrofikasi dapat menimbulkan pertumbuhan eceng gondok. Pemantauan langsung secara berkala dibutuhkan tetapi memerlukan biaya dan waktu yang relatif banyak. Maka dari itu diperlukan metode pemantauan yang lebih efisien. Riset ini bertujuan untuk menghitung luasan area yang distribusi eceng gondok di Waduk Saguling dari tahun 2019 sampai tahun 2023. Riset ini menggunakan citra Sentinel-2 dan NDVI dari Snetinel EO Browser pada tahun 2019 sampai 2023 dengan tiga citra per tahun untuk mewakili musim berbeda. Citra satelit diproses dengan klasifikasi tidak terbimbing untuk memperoleh luasan eceng gondok. Uji akurasi dilakukan dengan menempatkan *assessment points* secara acak pada citra NDVI dan membandingkannya dengan citra yang memiliki resolusi lebih tinggi dari PlanetScope *natural colors*. Hasil menunjukkan bahwa luasan eceng gondok di tahun 2019 berkisar antara 242,98 sampai 953,55 hektar, tahun 2020 dari 766,21 sampai 1165,12 hektar, tahun 2021 dari 265,55 sampai 1008,77 hektar, tahun 2022 dari 316,21 sampai 407,33 hektar, dan pada tahun 2023 dari 271,29 sampai 1102,6 hektar. Distribusi eceng gondok umumnya ditemukan di area budidaya dan/atau dekat dengan aktivitas manusia. Sementara yang paling sedikit hingga tidak ada sama sekali berada di area bendungan. Luasan eceng gondok di Waduk Saguling cenderung fluktuatif dengan kenaikan pada musim penghujan. Distribusi dan luasan yang dihasilkan klasifikasi dipengaruhi masukan nutrisi dari keramba jaring apung ataupun *runoff* dan juga gangguan pada sensor satelit yang membatasi kemampuan klasifikasi.

Kata kunci: perairan darat; kaskade; Sentinel-2; PlanetScope; PLTA; NDVI; KJA

SPATIO-TEMPORAL OF AREA AND DISTRIBUTION OF WATER HYACINTH IN SAGULING RESERVOIR, WEST JAVA

ABSTRACT

The Citarum River, managed by the West Java government, flows through three reservoirs crucial for hydropower, aquaculture, transportation, and recreation. One of them is Saguling Reservoir. Decreasing water quality has led to the emergence of water hyacinth. This research studies the length and distribution of water hyacinth in Saguling Reservoir using remote sensing from 2019 to 2023. Sentinel-2 NDVI imagery from 2019 to 2023, with three images representing transitional, dry, and wet seasons, was processed using unsupervised classification to determine water hyacinth area. Accuracy assessment was conducted by comparing random assessment points in classified imagery with higher-resolution PlanetScope natural color imagery. Results show water hyacinth areas in the Saguling Reservoir: 242.98–953.55 hectares (2019), 766.21–1165.12 hectares (2020), 265.55–1008.77 hectares (2021), 316.21–407.33 hectares (2022), and 271.29–1102.6 hectares (2023). Distribution analysis indicates more hyacinth in areas with aquaculture and human activities, and less near dam. Water hyacinth length fluctuates and tends to increase during the wet season. The classification results relate hyacinth distribution and area length to nutrients from aquaculture floating cages or runoff and the disturbance of satellite sensors, which limits classification ability.

Keywords: water quality; cascade; Sentinel-2; PlanetScope; hydropower; NDVI; floating fish cages

PENDAHULUAN

Berdasarkan PP Nomor 27 tahun 2021 tentang penyelenggaraan bidang kelautan dan perikanan menyatakan bahwa perairan darat termasuk sungai dikelola oleh pemerintah daerah. Sungai Citarum adalah salah satu sungai yang menjadi objek pengelolaan di Provinsi Jawa Barat. Sungai dengan

panjang 3.332,97 km ini mengalir tiga waduk kaskade, salah satunya adalah Waduk Saguling di Kabupaten Bandung Barat. Waduk tersebut memiliki luas 5.600 hektar dan berfungsi sebagai tempat wisata dan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) (Krismono, 2006; Kementerian PUPR, 2020). Namun, penurunan kualitas air di waduk ini telah menyebabkan banyaknya eceng gondok, masalah lingkungan yang signifikan. Eceng gondok adalah tumbuhan air yang bersifat *perennial* yang berasal dari wilayah tropis Amerika Selatan dan telah tersebar di seluruh benua kecuali Antartika (Stohlgren et al., 2013). Setelah diperkenalkan ke Indonesia pada tahun 1890, pertumbuhannya kian meningkat hingga pada 1931 menutupi 90% permukaan salah satu danau di Indonesia (Carlander, 1980). Jumlah berlebihan eceng gondok dapat mengganggu transportasi air, mengganggu operasi PLTA, mengurangi biodiversitas, meningkatkan laju sedimentasi, dan menyebabkan kondisi anoksik yang membahayakan biota air karena aktivitas bakteri dekomposer (Honlah et al., 2019; Prasetyo et al., 2022; Auchterlonie et al., 2021). Jika tidak dikelola, ekosistem perairan dapat semakin terganggu. Salah satu upaya pengelolaan yaitu dengan melakukan pemantauan berkala. Namun, survei lapangan memerlukan banyak waktu dan biaya, jadi penginderaan jauh dibutuhkan untuk memastikan pengelolaan ekosistem Waduk Saguling secara efisien.

Penginderaan jauh pada dasarnya adalah ilmu yang menjelaskan suatu objek tanpa menyentuhnya (Campbell, 1996). Menurut Kindaya (2017) penginderaan jauh merupakan ilmu tentang mengakuisisi, memproses, menginterpretasi citra yang direkam dari interaksi energi elektromagnetik dan objek di permukaan bumi. Penginderaan jauh dapat digunakan untuk analisis spasio-temporal yang mampu memperlihatkan perubahan penggunaan lahan seiring waktu dan membantu dalam mitigasi bencana ataupun pengelolaan lahan tersebut (Viju et al., 2023). Salah satu pengaplikasiannya adalah dengan memanfaatkan citra satelit. Berdasarkan Rosyidy et al. (2019), citra satelit Sentinel-2 dapat digunakan untuk mengetahui peningkatan atau penurunan luasan dan sebaran eceng gondok dapat menjadi gambaran upaya pengelolaan menjaga sanitasi dan keberlangsungan sumber air tawar.

Berdasarkan hal-hal yang telah disebutkan, pemantauan kondisi luasan eceng gondok dengan metode yang lebih efisien perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan melakukan pemantauan luasan eceng gondok dengan pemanfaatan data penginderaan jauh secara spasial dan temporal di waduk Saguling Jawa Barat. Metode ini diharapkan dapat menghasilkan informasi yang berkelanjutan untuk membantu upaya pengelolaan ekosistem perairan Waduk Saguling.

METODE

Alat dan Data

Alat yang digunakan dalam riset ini berupa perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan yaitu laptop sebagai alat untuk menjalankan perangkat lunak dan handphone untuk menyimpan dokumentasi kegiatan. Sementara perangkat lunak berupa ArcMap untuk mengolah data citra dan Microsoft Excel untuk melakukan pengolahan statistik. Sedangkan data yang digunakan merupakan data sekunder. Data sekunder berupa citra satelit Sentinel-2 yang sudah diproses dengan algoritma *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) yang diperoleh dari Sentinel EO Hub Browser. Budde (2006) menyatakan bahwa NDVI adalah perbandingan intensitas pantulan cahaya dari permukaan bumi dalam gelombang tampak (*visible*) dan gelombang dekat inframerah (NIR) yang mengukur seberapa besar fotosintesis vegetasi dapat terjadi pada satu piksel permukaan lahan. Sebagai contoh, algoritma ini telah digunakan untuk melacak sebaran eceng gondok invasif di tingkat nasional, melacak sebaran eceng gondok di Sungai Tigris, melacak sebaran eceng gondok di bagian tertentu dari Sungai Mondego, dan memetakan sebaran eceng gondok secara spasio temporal di Teluk Winum (Pádua et al., 2022; Nyawacha et al., 2021; Singh et al., 2020). Periode perekaman yang dipilih berada pada rentang tahun 2019—2024 dengan 1 citra setiap musim peralihan, kemarau, dan penghujan. Data sekunder lainnya yaitu data curah hujan dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan Google Earth Engine yang digunakan sebagai pendukung pemilihan citra.

Lokasi dan Waktu

Lokasi studi penelitian ini adalah Waduk Saguling. Waduk tersebut terletak di Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat. Penelitian dilakukan dari bulan Februari - Agustus 2024 dengan data yang digunakan berada pada rentang tahun 2019 - 2023.

Metode Riset dan Pengolahan Data

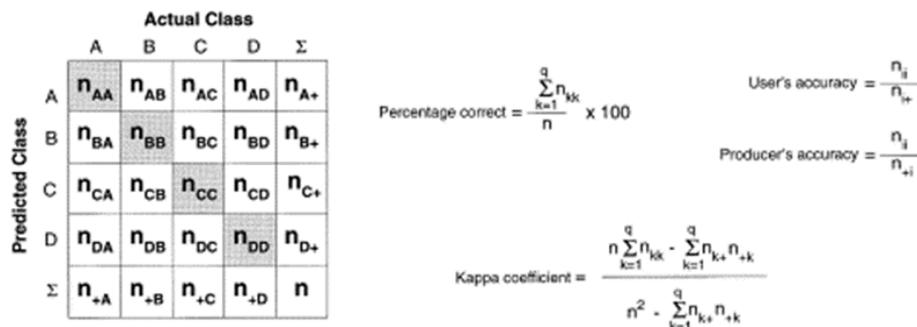
Metode riset yang digunakan terdiri dari pengumpulan dan pemrosesan data citra satelit, klasifikasi, penghitungan statistik, dan uji akurasi. Pengumpulan data citra dilakukan dengan mengunduh citra Sentinel-2 NDVI di situs Sentinel Hub EO Browser dengan setelan resolusi tertinggi dan format .tiff sesuai luasan area waduk. Pemilihan citra mempertimbangkan klasifikasi musim dari data curah hujan yang diperoleh (Tabel 1). Pemrosesan dilakukan dengan *software* ArcMap untuk memotong citra yang semula persegi empat menjadi sesuai bentuk waduk berdasarkan *shapefile* (*clipping*). Setelah itu citra yang sudah diklip akan diklasifikasi menggunakan metode *iso cluster unsupervised classification*. Setelah terklasifikasi, jumlah piksel masing-masing kategori akan dikonversi menjadi satuan luasan meter persegi kemudian menjadi hektar untuk memperoleh luasan.

Tabel 1 Total curah hujan di Jawa Barat

Bulan	Total Curah hujan (mm)			
	Tahun			
	2019	2020	2021	2022
Januari	231	296.112	146	60
Februari	269	494.856	154	117
Maret	223	491.784	309	239
April	299	349.2	177	336
Mei	243	278.256	239	147
Juni	27	101.52	92	151
Juli	13	109.368	33	99
Agustus	0	87.792	92	30
September	55	138.96	73	182
Oktober	84	350.424	218	366
November	271	252	454	307
Desember	316	261.144	199	278
Klasifikasi (Dayantolis et al. 2016):	Jika > 150 mm dalam satu bulan maka tergolong sebagai musim hujan Jika < 150 mm dalam satu bulan maka tergolong sebagai musim kemarau			
Disadur dari:	1. BPS Jawa Barat 2. <i>Global Precipitation Measurement (GPM)</i> melalui <i>Google Earth Engine</i>			

Analisis Data

Analisis data yang dilakukan dalam riset ini berupa penggunaan matriks kesalahan dan analisis spasio-temporal. Matriks kesalahan, juga dikenal sebagai *confusion matrix*, adalah dasar perhitungan akurasi citra. Oleh karena itu, akurasi dan kesalahan keseluruhan dapat dihitung dengan membagi total piksel yang terklasifikasi dengan benar (misalnya, jumlah elemen pada diagonal utama) dengan total piksel yang digunakan sebagai data referensi (Gambar 1) (Lillesand et al., 2007). Analisis data yang dilakukan adalah dengan uji ketelitian interpretasi citra menggunakan perhitungan *confusion matrix* berdasarkan Sutanto (2016) (dengan modifikasi) yang memuat perhitungan ketelitian masing-masing klasifikasi objek dan interpretasi keseluruhan. Selain itu, matriks tersebut memuat perhitungan omisi dan komisi, yaitu perhitungan kesalahan interpretasi. Rumus dan perhitungan disadur dari Foody (2002), dimana akan didapatkan persentase benar, *user's accuracy*, serta *producer's accuracy* perhitungan *overall accuracy* dapat menunjukkan keakuratan citra (dari hasil perhitungannya) dan *error* (dari pengurangan persentase penuh dengan hasil persentase keakuratan). Lalu, Analisis spasio-temporal pada dasarnya merupakan proses analisis data yang memiliki atribut waktu dan posisi absolut dan relatif dalam ruang tiga dimensi (Dong dan Guo, 2021). Analisis ini dapat dilakukan untuk memahami dan mengidentifikasi persebaran maupun distribusi sebuah fenomena dan gejala pada suatu lokasi (Rosyidy et al., 2019).



Gambar 1 Confusion matrix dan persamaan koefisien kappa (Foody, 2002)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akurasi Data Penginderaan Jauh

Akurasi data penginderaan jauh dilakukan dengan perhitungan *overall accuracy* (OA) dan perhitungan koefisien Kappa. Uji akurasi dilakukan dengan menghitung berapa banyak titik asesmen keakuratan yang cocok antara data terklasifikasi dengan pembandingnya berupa citra *natural colors* dari PlanetScope untuk mendapatkan OA. Dapat dilihat pada Tabel 1, OA yang diperoleh berada pada rentang 61%—98% dengan rata-rata keseluruhan mencapai 85%. Angka tersebut menunjukkan bahwa kemampuan klasifikasi untuk membedakan antara eceng gondok dan lainnya (segala yang terdeteksi selain eceng gondok termasuk air) cukup baik dan dapat diterima. Hal ini karena berdasarkan Foody (2002), target keakuratan suatu peta tematik ($\geq 85\%$). Sementara itu, nilai OA yang rendah dapat disebabkan oleh gangguan berupa pantulan sinar matahari, kabut tipis, dan piksel yang bercampur, dan keberadaan objek lain yang mirip dengan eceng gondok dan berada di permukaan waduk (Thamaga dan Dube, 2019; Kay et al., 2009; Hultberg, 2018).

Tabel 2 Hasil *overall accuracy* (OA)

Tahun/Musim	Peralihan	Kemarau	Penghujan
2019	-	97%	63%
2020	-	61%	86%
2021	77%	98%	-
2022	92%	97%	-
2023	95%	95%	69%

Hasil klasifikasi dan keakuratan luasan eceng gondok dipengaruhi beberapa hal. Oleh karena itu digunakan *confusion matrix* untuk memperoleh koefisien kappa yang tidak hanya mempertimbangkan jumlah yang klasifikasi yang benar, tetapi juga jumlah titik yang benar dalam setiap kelas. Tinggi rendahnya keakuratan yang ditunjukkan nilai koefisien kappa dipengaruhi oleh limitasi perangkat lunak dalam membaca citra karena gangguan yang ada. Luasan yang diperoleh pada dasarnya mendeteksi seluruh vegetasi yang ada di permukaan air jadi terdapat kemungkinan adanya vegetasi lain tetapi tetap dominan eceng gondok. Berdasarkan hal tersebut diperoleh koefisien kappa yang relatif beragam di tiap waduk pada setiap musimnya seperti yang tertera pada Tabel 2.

Tabel 3 Hasil koefisien kappa

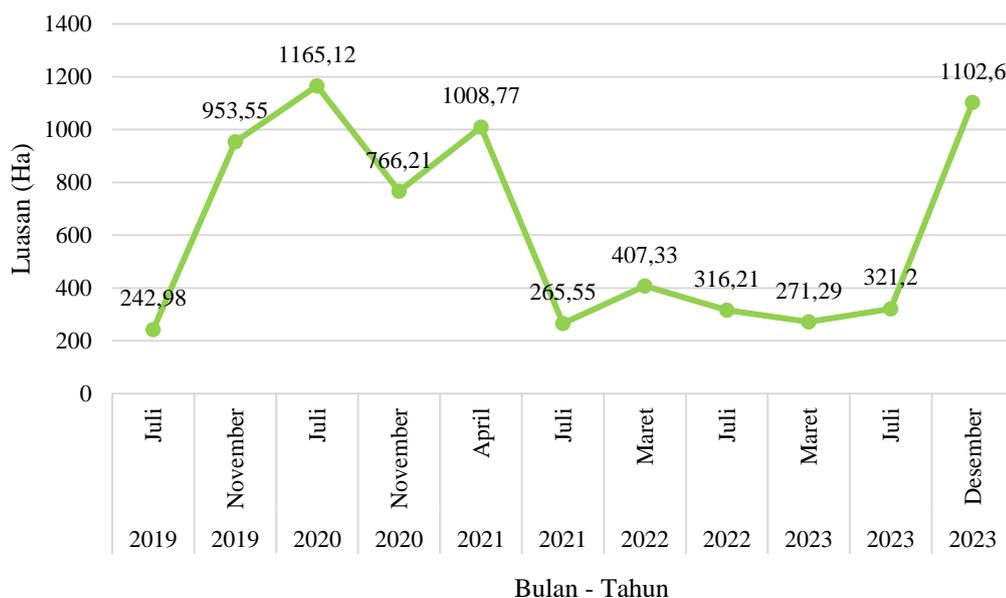
Tahun/Musim	Peralihan	Kemarau	Penghujan
2019	-	0,842	0,256
2020	-	0,157	0,531
2021	0,245	0,814	-
2022	0,357	0,814	-
2023	0,601	0,671	0,278

Berdasarkan tabel di atas, dapat dilihat waduk memiliki rentang hasil koefisien kappa yang berkisar antara 0,157—0,842. Mengacu pada Landis dan Koch (1977), terdapat 1 data yang termasuk dalam *slight agreement*, 4 data dalam *fair agreement*, 2 dalam *moderate agreement*, 1 dalam *substantial agreement*, dan 3 dalam *almost perfect agreement*. Hal tersebut menunjukkan hasil klasifikasi masih cukup dapat diandalkan. Adapun nilai koefisien kappa yang rendah sedangkan OA tinggi dapat disebabkan oleh ketimpangan jumlah titik uji validasi antara eceng gondok dan kategori lainnya. Sehingga saat perhitungan statistik pembagiannya menjadi besar. Ketimpangan jumlah titik validasi sendiri terjadi karena area potongan citra yang digunakan sebagai pembanding hasil klasifikasi tidak selengkap citra untuk proses klasifikasi. Kekeliruan pada klasifikasi di Waduk Saguling dapat disebabkan bentuk waduk yang terlalu bercabang dan rumit, keberadaan vegetasi lain di pinggir perairan, atau citra yang digunakan tidak bisa terklasifikasi dengan baik. Hal tersebut karena salah satu tantangan klasifikasi citra adalah kompleksitas objek yang direkam yang dipengaruhi oleh ciri spektral, tekstur dan bentuk yang rumit, hingga resolusi temporal dan hubungan objek dengan area di sekitarnya (Adegun et al., 2023).

Luasan Eceng Gondok

Berdasarkan hasil klasifikasi, luasan eceng gondok di Waduk Saguling bersifat fluktuatif. Fluktuasi luasan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. Terlihat bahwa pada bulan Juli 2019 yang merupakan musim kemarau luasan eceng gondok sebesar 242,98 hektar tetapi naik pada bulan November dengan curah hujan 271 mm yang merupakan musim hujan menjadi 953,55 hektar. Setelahnya luasan cenderung tinggi di bulan-bulan peralihan (Maret dan April) dan penghujan (November dan Desember), sementara pada bulan Juli cenderung lebih rendah kecuali pada tahun 2020 yang justru mengalami peningkatan. Fluktuasi luasan tumbuhan air termasuk eceng gondok juga dapat ditemukan di Waduk Jatiluhur. Riset Rahman et al. (2024) memperlihatkan adanya peningkatan luasan pada bulan April, Mei, Juli, Agustus, dan September yang terjadi ketika air berkurang, waduk menjadi lebih dangkal sehingga tumbuhan air dapat lebih mudah mengakses nutrisi yang ada.

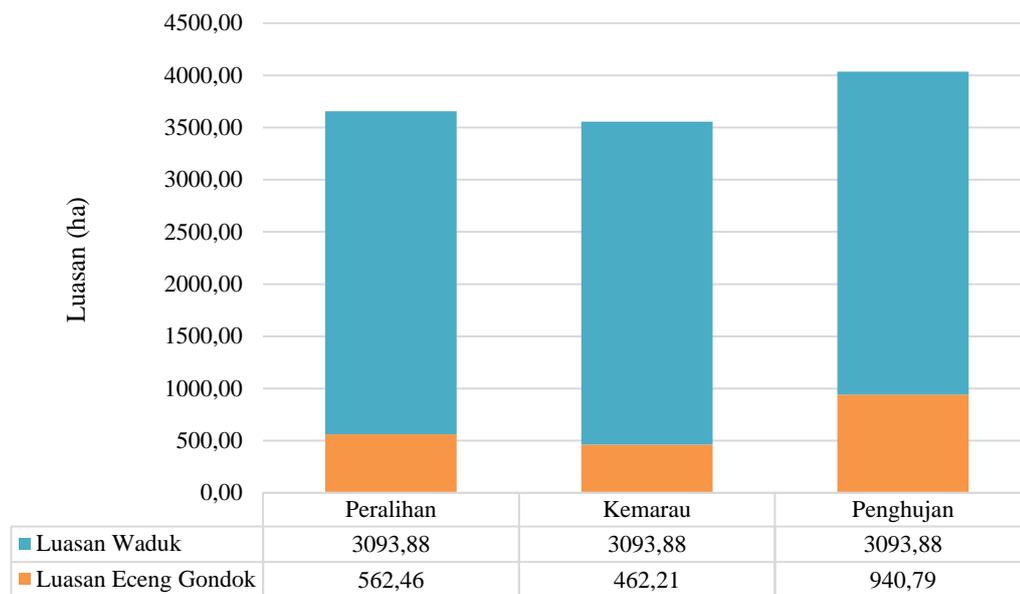
Hal tersebut dapat disebabkan karena adanya masukan nutrisi seperti nitrat dan fosfat yang mendukung pertumbuhan eceng gondok (Chander, 2018). Berdasarkan riset Purnamaningtyas (2014), diperoleh kandungan nitrat antara 0,03 - 1,063 mg/L dan fosfat antara 0,04 - 0,43 mg/L. Dikatakan bahwa kandungan nitrat masih sesuai dengan baku mutu sementara fosfat tergolong tinggi dan dapat mendorong pertumbuhan alga terutama Chyanophyceae. Pada musim hujan dengan dengan intensitas curah hujan tinggi, kedua nutrisi tersebut dapat terbawa bersama *runoff* dari lahan pertanian di sekitar waduk.



Gambar 2 Grafik luasan eceng gondok di Waduk Saguling

Prosentase perbandingan luasan eceng gondok di Waduk Saguling dengan luasan totalnya sebesar 8%-45% (Gambar 2). Berdasarkan gambar tersebut, presentase luasan eceng gondok terbesar

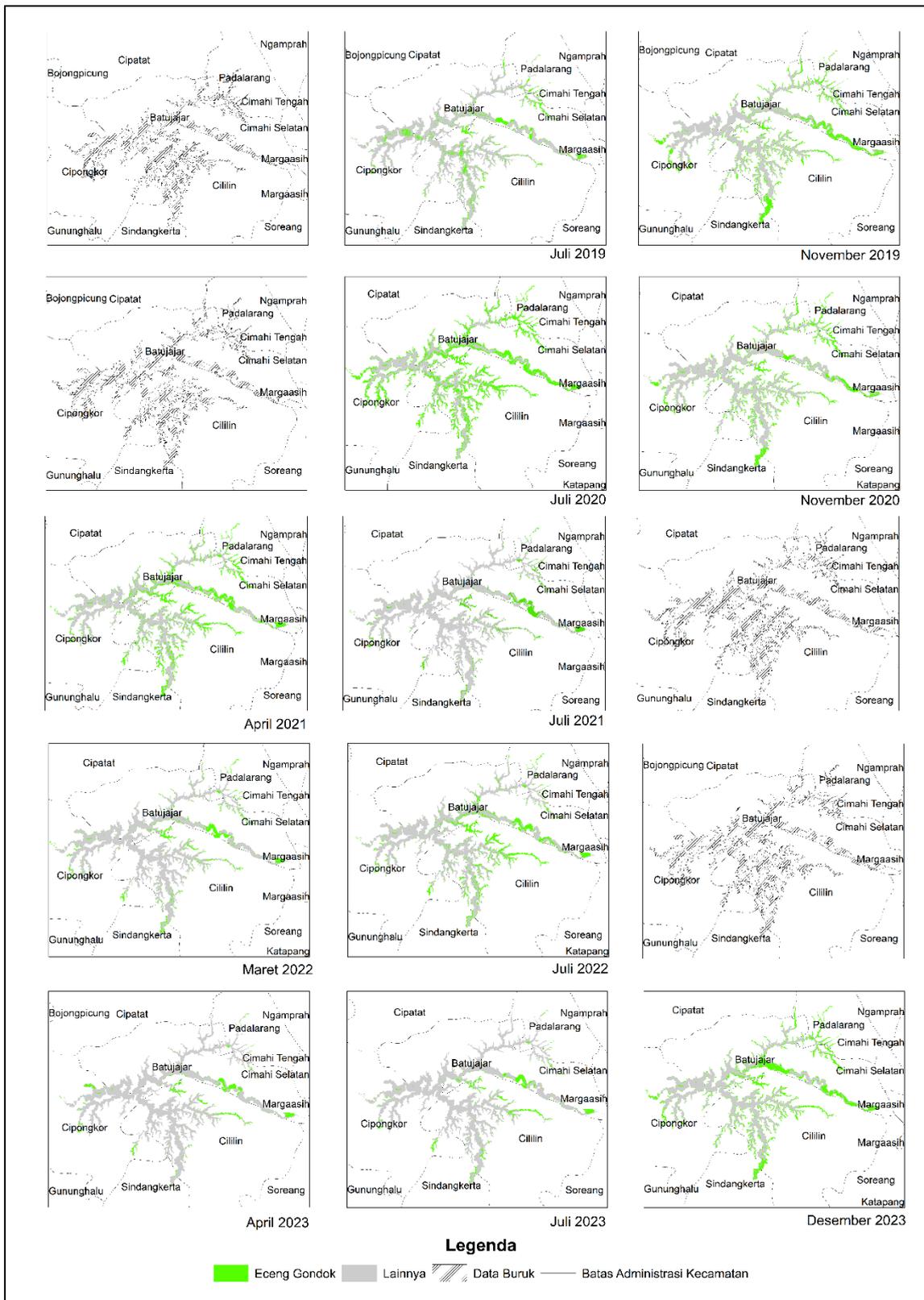
terjadi saat musim penghujan. Besarnya presentase dapat menunjukkan urgensi pengelolaan. Hal itu karena bertambahnya luasan tutupan eceng gondok di permukaan air linear dengan penurunan kualitas air (Kiyemba et al., 2023). Hal tersebut karena sejak tahun 1996 Waduk Saguling telah mengalami penurunan kualitas air (Hidayatunnisa et al., 2003). Penurunan tersebut antara lain tercatat dalam sebuah riset yang dilakukan sejak tahun 1999-2013 dan menunjukkan bahwa Waduk Saguling telah masuk dalam kategori hipertrofik dengan kandungan nitrat 1914,4 MG/L dan fosfat 280 MG/L (Marselina et al., 2017). Kondisi perairan yang kaya dengan nitrat dan fosfat tersebut kemudian dapat mendukung pertumbuhan alga seperti Cyanophyceae ataupun tumbuhan air seperti eceng gondok (Tyas et al., 2017). Jika tidak dikendalikan dengan baik maka eceng gondok akan semakin banyak dan berpotensi menurunkan kadar oksigen terlarut yang berbahaya bagi biota air, menghambat transportasi air dan proses kerja PLTA, hingga mengganggu irigasi untuk pertanian (Degaga, 2018). (jelaskan gambar 2 dan berikan referensi untuk penjelasannya)



Gambar 3 Perbandingan luasan eceng gondok dan luasan permukaan waduk berdasarkan musim

Distribusi Eceng Gondok

Sebaran eceng gondok di Waduk Saguling umumnya berada di wilayah Cihampelas dan Cililin. Distribusi eceng gondok lainnya terdeteksi di Batujajar. Terlihat dari Gambar 5 bahwa percabangan waduk di Batujajar bagian tengah memiliki warna hijau sementara yang berbatasan dengan Cipongkor relatif tidak terdeteksi adanya eceng gondok. Gambar yang sama turut menunjukkan sebaran eceng gondok di wilayah lainnya. Keberadaan eceng gondok di wilayah Cihampelas selaras dengan temuan Rosyidy et al. (2019) yang menunjukkan adanya eceng gondok dan endapan sungai di bagian tersebut yang merupakan inlet Waduk Saguling. Sementara itu, area dekat bendungan yang sedikit populasi eceng gondok dapat disebabkan oleh tidak adanya KJA serta pemasangan *trash boom* atau pelampung pembatas yang dapat menahan bergesernya eceng gondok ke area turbin. Hal ini juga dituangkan dalam Pergub Jawa Barat Nomor 96 Tahun 2022 tentang tata kelola keramba jaring apung di kawasan Waduk Cirata, Waduk Saguling, dan Waduk Jatiluhur, bahwa area tersebut merupakan zona larangan atau bahaya dengan pemanfaatan non budidaya.



Gambar 4 Distribusi eceng gondok di Waduk Saguling

Analisis Spasio-Temporal

Hasil menunjukkan bahwa luasan, penyebaran, dan keakuratan klasifikasi eceng gondok di Waduk Saguling berubah setiap tahun sesuai dengan kondisi musim. Faktor-faktor lingkungan yang berbeda dan situasi global yang berubah setiap tahun dapat menyebabkan perubahan ini. Tata guna lahan atau penggunaan lahan di area tangkapan perairan adalah salah satu komponen yang mempengaruhi kondisi perairan. *Catchment area* pertanian dapat mengandung nutrisi lebih banyak daripada hutan

(Oszczapińska et al., 2018). Seperti yang diketahui, wilayah di sekitar Waduk Saguling digunakan untuk pertanian. Oleh karena itu, pemanfaatan tata guna lahan dan aktivitas KJA serta aktivitas manusia di sekitar aliran sungai yang mengalir ke waduk dapat meningkatkan produksi bahan organik yang dapat terdekomposisi dan menghasilkan nutrisi, sehingga dapat menyebabkan pertumbuhan eceng gondok secara masif. Penelitian Maranata et al. (2024) menunjukkan bahwa wilayah Cihampelas, yang merupakan pintu masuk Waduk Saguling, terjadi peningkatan kadar nitrat dan fosfat. Limbah rumah tangga dan *runoff* pertanian mungkin merupakan penyebab peningkatan ini. Kecamatan Cihampelas mengalami peningkatan populasi penduduk dari 132.659 menjadi 135.732 jiwa pada tahun 2020–2021 (BPS, 2024). Meningkatnya kasus eceng gondok di Waduk Saguling pada tahun 2020–2021 mungkin disebabkan oleh peningkatan populasi di Kecamatan Cihampelas. Informasi aktivitas manusia tersebut berupa budidaya ikan maupun rumah tangga dapat berdampak pada kualitas air dan keberadaan eceng gondok.

El Niño Southern Oscillation (ENSO) adalah peristiwa tahun 2019 yang memengaruhi kondisi samudera dan atmosfer (Becker, 2019). Menurut Putratama (2019), dampak yang ditimbulkan di Indonesia termasuk kemarau yang lama dan kekeringan, yang juga menyebabkan kebakaran hutan. Kekeringan dapat mengurangi aktivitas pertanian dan mengurangi nutrisi yang masuk ke air sehingga kualitas air kurang mendukung pertumbuhan eceng gondok. Ini diduga menjadi penyebab tingkat eceng gondok yang relatif rendah di Waduk Saguling. Karena banyaknya gambar yang gagal diklasifikasikan, awan hujan yang dibuat sebagai hasil dari upaya rekayasa cuaca untuk menjaga volume air tidak terganggu selama musim kemarau (Akrom dan Fauzi, 2023).

Tahun 2020–2023 menjadi periode dengan sejumlah fenomena terjadi di tingkat global, nasional, maupun daerah yang dapat memengaruhi kualitas perairan. Pada tingkat global, terjadi fenomena *Triple-Dip La Niña* atau *La Niña* yang berlangsung selama tiga tahun. Menurut Alhadid dan Nugroho (2024), fenomena tersebut meningkatkan kelembaban (*humidity*) hingga 20% dan curah hujan hingga 150 mm hampir di seluruh daerah di Indonesia. Tingginya curah hujan dapat meningkatkan *runoff* dan nutrisi yang masuk ke perairan sehingga mendukung pertumbuhan eceng gondok.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penginderaan jauh merupakan metode yang efisien untuk memantau distribusi spasial dan temporal eceng gondok di Waduk Saguling. Hasil klasifikasi menunjukkan reliabilitas yang tinggi, dengan rata-rata *overall accuracy* (OA) sebesar 85% dan koefisien kappa sebesar 0,506, yang menunjukkan citra satelit masih layak untuk pemantauan skala besar. Luas eceng gondok berfluktuasi antara 242,98-953,55 hektar pada tahun 2019, 766,21-1165,12 hektar pada tahun 2020, 265,55-1008,77 hektar pada tahun 2021, 316,21-407,33 hektar pada tahun 2022, dan 271,29-1102,6 hektar pada tahun 2023. Perbedaan musim menunjukkan adanya perbedaan luasan, dengan peningkatan selama musim hujan dan penurunan selama musim kemarau. Selain itu, analisis distribusi menunjukkan bahwa eceng gondok paling banyak ditemukan di daerah dengan budidaya ikan jaring apung (KJA) dan aktivitas manusia, sementara keberadaannya lebih sedikit di dekat bendungan. Temuan ini memperlihatkan pentingnya upaya pemantauan dan pengelolaan yang berkelanjutan untuk mengurangi dampak eceng gondok terhadap ekosistem dan kualitas air waduk.

DAFTAR PUSTAKA

- [BPS] Badan Pusat Statistik Kabupaten Bandung Barat. (2024). Jumlah Penduduk Berdasarkan Kecamatan 2020-2021. Diacu pada 17 Juli 2024. *Data Kependudukan*. <https://bandungbaratkab.bps.go.id/indicator/12/253/1/jumlah-penduduk-berdasarkan-kecamatan.html>
- [PUPR] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomo 27, (2015). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. pp. 70.
- Adegun, A. A., Viriri, S., & Tapamo, J.-R. (2023). Review of deep learning methods for remote sensing satellite images classification: experimental survey and comparative analysis. *Journal of Big Data*, 10(1), 93. <https://doi.org/10.1186/s40537-023-00772-x>

- Akrom, I. F., & Fauzi, M. (2023). Monitoring dan Evaluasi Penerapan Teknologi Modifikasi Cuaca di DAS Waduk Kaskade - Citarum, Jawa Barat. *Jurnal Sumber Daya Air*, 19(1), 13–28.
- Alhadid, B., & Nugroho, A. B. (2024). The Study of Triple-Dip La Nina Phenomenon (2020-2023) and Its Impact of Atmospheric and Rainfall in The Indonesian Region. *Proceeding International Conference on Religion, Science, and Education*, 707–716.
- Astuti, L., Sugianti, Y., Warsa, A., & Sentosa, A. (2022). Water Quality and Eutrophication in Jatiluhur Reservoir, West Java, Indonesia. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(2), 1493–1503. <https://doi.org/10.15244/pjoes/142475>
- Auchterlonie, J., Eden, C.-L., & Sheridan, C. (2021). The phytoremediation potential of water hyacinth: A case study from Hartbeespoort Dam, South Africa. *South African Journal of Chemical Engineering*, 37, 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2021.03.002>
- Becker, E. (2019). April 2019 El Niño update: You are here. <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/april-2019-el-niño-update-you-are-here>
- Budde, M. (2006). Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Applications of Coarse to High Resolution Satellite Imagery for Land Productivity Assessment & Management.
- Campbell, H. M. I. (1996). *GIS and Organizations: How Effective are GIS in Practice?* Londra: Taylor and Francis, Ltd.
- Carlander, K. D. (1980). Water Hyacinth and Overfishing problems of An Indonesian Lake. *Proc. Iowa Acad. Sci.*
- Chander, S., Pompapathi, V., Gujrati, A., Singh, R. P., Chaplot, N., & Patel, U. D. (2018). GROWTH OF INVASIVE AQUATIC MACROPHYTES OVER TAPI RIVER. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII–5, 829–833. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-829-2018>
- Degaga, A. H. (2018). Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) Biology and its Impacts on Ecosystem, Biodiversity, Economy, and Human Well-being. *Journal of Life Science and Biomedicine*, 8(6), 94–100.
- Dong, Z., & Guo, C. (2021). A literature review of spatio-temporal data analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 1792(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1792/1/012056>
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185–201. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4)
- Gubernur Jawa Barat. (2022). Peraturan Gubernur Jawa Barat No. 96 Tahun 2022 (pp. 1–9).
- Hidayatunnisa, N. F., & Guritno, I. (2003). inamika Eutrofikasi yang Disebabkan Oleh Perubahan Nitrogen dan Fosfat: Studi Kasus Waduk Saguling, Jawa Barat [Universitas Indonesia]. <https://lib.ui.ac.id/detail.jsp?id=73529>
- Honlah, E., Yao Segbefia, A., Odame Appiah, D., Mensah, M., & Atakora, P. O. (2019). Effects of water hyacinth invasion on the health of the communities, and the education of children along River Tano and Abby-Tano Lagoon in Ghana. *Cogent Social Sciences*, 5(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1619652>
- Hultberg, J. (2018). Dehazing of Satellite Images. Linköping University.
- Kay, S., Hedley, J. D., & Lavender, S. (2009). Sun Glint Correction of High and Low Spatial Resolution Images of Aquatic Scenes: a Review of Methods for Visible and Near-Infrared Wavelengths. *Remote Sensing*, 1(4), 697–730. <https://doi.org/10.3390/rs1040697>
- Kindaya, G. G. (2017). *Fundamentals of Remote Sensing*.
- Kiyemba, H., Barasa, B., Asaba, J., Makoba Gudoyi, P., & Akello, G. (2023). Water Hyacinth's Extent and Its Implication on Water Quality in Lake Victoria, Uganda. *The Scientific World Journal*, 2023, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2023/4947272>
- Krismono, & Astuti, L. P. (2006). Pengelolaan Waduk Kaskade (Saguling, Cirata, Jatiluhur) Untuk Budidaya Ikan Dalam Karamba Jaring Apung (Kja). *Prosiding Seminar Nasional Ikan IV*, 205–209.
- Lillesand, T., Ralph W. Kiefer, J. C. (2007). *Remote Sensing and Image Interpretation (6th Edition)*. pp. 804.
- Maranata, D., Asmaranto, R., & Sudaryati, S. (2024). Identification of Water Quality of Saguling Reservoir, West Bandung Regency with STORET Method. *Jurnal Presipitasi*, 21(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/presipitasi.v0i0.%25p>
- Marselina, M., & Burhanudin, M. (2017). Trophic Status Assessment of Saguling Reservoir, Upper Citarum Basin, Indonesia. *Air, Soil and Water Research*, 10, 117862211774666.

- <https://doi.org/10.1177/1178622117746660>.
- Nyawacha, S. O., Meta, V., & Osio, A. (2021). Spatial temporal mapping of spread of water hyacinth in winum gulf, lake victoria. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 43(B3-2021), 341–346. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2021-341-2021>
- Oszczapińska, K., Skoczko, I., & Szczykowska, J. (2018). Impact of Catchment Area Activities on Water Quality in Small Retention Reservoirs. *E3S Web of Conferences*, 30, 01013. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183001013>
- Pádua, L., Duarte, L., Antão-Geraldes, A. M., Sousa, J. J., & Castro, J. P. (2022). Spatio-Temporal Water Hyacinth Monitoring in the Lower Mondego (Portugal) Using Remote Sensing Data. *Plants*, 11(24), 3465. <https://doi.org/10.3390/plants11243465>
- Prasetyo, S., Anggoro, S., & Soeprbowati, T. R. (2022). Water hyacinth *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms management in Rawapening Lake, Central Java. *AAEL Bioflux*, 15(1), 532–543.
- Purnamaningtyas, S. E. (2014). Distribusi konsentrasi oksigen, N (nitrogen) dan P (fosfat) di Waduk Saguling, Jawa Barat. *LIMNOTEK : Perairan Darat Tropis Di Indonesia*, 21(2), 125–134.
- Putratama, R. (2019). Kilas Balik 2019: Kejadian Bencana Terkait Cuaca, Iklim, dan Gempabumi. <https://www.bmkg.go.id/Berita/?p=kilas-balik-2019-kejadian-bencana-terkait-cuaca-iklim-dan-gempabumi&lang=ID>
- Rahman, A., Anwar Putri, M. R., Purnamaningtyas, S. E., Astuti, L. P., & Warsa, A. (2024). Spatial and Temporal Distribution of Water Plant Based on Satellite Imagery and the Effect in Jatiluhur Reservoir. *JURNAL KESEHATAN LINGKUNGAN: Jurnal Dan Aplikasi Teknik Kesehatan Lingkungan*, 21(2), 267–274. <https://doi.org/10.31964/jkl.v21i2.885>
- Rosyidy, M. K., Ashilah, Q. P., & Siddiq, I. P. A. (2019). Pemanfaatan Citra Sentinel-2 Untuk Monitoring Sebaran dan Luasan Eceng Pemanfaatan Citra Sentinel-2 Untuk Monitoring Sebaran dan Luasan Eceng Gondok Secara Spasio-Temporal Sebagai Upaya Menjaga Kondisi Air dan Sanitasi di Inlet Waduk Saguling, Jawa Barat. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh Ke-6 Tahun 2019*, December, 340.
- Singh, G., Reynolds, C., Byrne, M., & Rosman, B. (2020). A Remote Sensing Method to Monitor Water, Aquatic Vegetation, and Invasive Water Hyacinth at National Extents. *Remote Sensing*, 12(24), 4021. <https://doi.org/10.3390/rs12244021>
- Stohlgren, T. J., Pyšek, P., Kartesz, J., Nishino, M., Pauchard, A., Winter, M., Pino, J., Richardson, D. M., Wilson, J., Murray, B. R., Phillips, M. L., Celesti-Gradow, L., & Graham, J. (2013). Globalization Effects on Common Plant Species. In *Encyclopedia of Biodiversity* (pp. 700–706). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00239-2>
- Sutanto. (2016). *Metode Riset Penginderaan Jauh*. Ombak. pp. 140.
- Thamaga, K. H., & Dube, T. (2019). Understanding seasonal dynamics of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in the Greater Letaba river system using Sentinel-2 satellite data. *GIScience & Remote Sensing*, 56(8), 1355–1377. <https://doi.org/10.1080/15481603.2019.1646988>
- Tyas, E. A., Hutabarat, S., & Ain, C. (2018). STRUKTUR KOMUNITAS PLANKTON PADA PERAIRAN YANG DITUMBUHI ECENG GONDOK SEBAGAI BIOINDIKATOR KUALITAS PERAIRAN DI DANAU RAWA PENING, SEMARANG. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 6(2), 111–119. <https://doi.org/10.14710/marj.v6i2.19819>
- Viju, T., Nambiar, A., & Firoz C., M. (2023). Sustainable land management strategies, drivers of LULC change and degradation. In *Water, Land, and Forest Susceptibility and Sustainability, Volume 2* (pp. 191–214). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15847-6.00003-3>