
**Analisis Dinamika Luas Rawa Pening dan Tutupan Eceng Gondok
Menggunakan Citra Satelit Multitemporal**

**Mada Hatma Wijaya, Diva Oktavia Mardiani*, Risma Nurhanifah Khasanah, Ismi
Azizah Difatli, Malva Emiria Wanda Zahira, Trida Ridho Fariz, Andhina Putri
Heriyanti**

Ilmu Lingkungan, Universitas Negeri Semarang, Kota Semarang

*Email korespondensi: divatavia10@students.unnes.ac.id

ABSTRAK

Rawa Pening merupakan danau alami di Jawa Tengah yang memiliki fungsi ekologis, sosial, dan ekonomi, tetapi mengalami tekanan lingkungan akibat sedimentasi, eutrofikasi, dan pertumbuhan eceng gondok. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan luas badan air Rawa Pening dan tutupan eceng gondok secara spasial-temporal pada tahun 2018 dan 2025. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif berbasis analisis spasial melalui interpretasi visual dan digitasi citra satelit resolusi tinggi. Data yang dianalisis meliputi luas badan air dan luas tutupan eceng gondok pada dua tahun pengamatan, kemudian dibandingkan untuk mengetahui perubahan luas antarwaktu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas Rawa Pening meningkat dari 1.678,70 ha pada tahun 2018 menjadi 1.822,86 ha pada tahun 2025, atau bertambah sebesar 144,16 ha. Sebaliknya, luas tutupan eceng gondok menurun dari 806,09 ha pada tahun 2018 menjadi 490,79 ha pada tahun 2025, atau berkurang sebesar 315,29 ha. Persentase tutupan eceng gondok terhadap luas Rawa Pening juga menurun dari 48,02% menjadi 26,92%. Penurunan tutupan eceng gondok diduga berkontribusi terhadap meningkatnya area badan air terbuka yang teridentifikasi pada citra satelit. Meskipun demikian, tutupan eceng gondok pada tahun 2025 masih menunjukkan adanya tekanan ekologis terhadap Rawa Pening. Oleh karena itu, pemantauan spasial-temporal secara berkala diperlukan sebagai dasar pengelolaan danau yang lebih berkelanjutan.

Kata kunci: Rawa Pening; eceng gondok; spasial-temporal; citra satelit; eutrofikasi

PENDAHULUAN

Perairan darat seperti waduk, danau, dan rawa memiliki fungsi ekologis, sosial, dan ekonomi yang penting bagi masyarakat. Ekosistem ini berperan sebagai sumber air, habitat biota, penyangga lingkungan, serta penopang berbagai aktivitas seperti perikanan, pertanian, pariwisata, irigasi, dan energi. Namun, kondisi perairan darat sangat dipengaruhi oleh aktivitas di wilayah sekitarnya, terutama melalui limpasan permukaan (*run off*) yang membawa sedimen dan nutrisi dari daratan menuju badan air. Masuknya nutrisi dalam jumlah berlebihan dapat memicu eutrofikasi, yaitu meningkatnya kesuburan perairan yang ditandai oleh pertumbuhan berlebih alga, fitoplankton, dan tumbuhan air. Kondisi tersebut dapat menurunkan kualitas air, mengurangi kadar oksigen terlarut, serta mengganggu keseimbangan ekosistem perairan (Herlina et al., 2019; Yusal et al., 2025).

Salah satu perairan darat yang mengalami tekanan ekologis tersebut adalah Rawa Pening di Jawa Tengah. Rawa Pening merupakan danau alami multifungsi yang dimanfaatkan untuk perikanan, pertanian, pariwisata, irigasi, pembangkit listrik, dan air baku. Dalam beberapa tahun terakhir, Rawa Pening menghadapi berbagai permasalahan lingkungan, seperti sedimentasi, penurunan kualitas air, eutrofikasi, serta pertumbuhan eceng gondok yang cukup dominan. Eceng gondok yang tumbuh berlebihan dapat menutupi permukaan perairan, menghambat penetrasi cahaya matahari, menurunkan kadar oksigen, mengganggu aktivitas pemanfaatan danau, serta mempercepat pendangkalan akibat akumulasi biomassa tumbuhan air. Pertumbuhan eceng gondok tersebut berkaitan dengan tingginya masukan nutrisi dari wilayah sekitar dan bagian hulu, termasuk dari limbah domestik, aktivitas pertanian, serta limpasan permukaan dari daerah tangkapan air (Surya et al., 2024; Muna et al., 2025).

Penelitian mengenai Rawa Pening telah banyak dilakukan, terutama terkait kualitas air, kondisi ekosistem, sedimentasi, tutupan lahan, debit dan pertumbuhan eceng gondok Fariz et al (2024), Amalia et al (2024), Henny et al (2026).. Kajian mengenai tutupan eceng gondok berbasis citra satelit juga telah dilakukan pada penelitian terkini, seperti oleh Muna et al. (2025). Namun, kajian yang menganalisis dinamika luas badan air Rawa Pening dan tutupan eceng gondok secara bersamaan menggunakan citra satelit multitemporal masih relatif terbatas, khususnya dalam memberikan gambaran perubahan spasial dan temporal yang terintegrasi. Pendekatan spasial-temporal penting digunakan karena mampu menunjukkan dinamika perubahan luas badan air dan sebaran eceng gondok dari waktu ke waktu secara visual dan terukur. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dinamika luas Rawa Pening dan tutupan eceng gondok menggunakan citra satelit multitemporal, serta menginterpretasikan perubahan tersebut dalam konteks dinamika ekologis perairan dan wilayah tangkapan airnya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Rawa Pening, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis spasial-temporal untuk mengkaji perubahan luas badan air Rawa Pening dan tutupan eceng gondok pada tahun 2018 dan 2025. Data utama yang digunakan berupa citra satelit resolusi tinggi yang mencakup wilayah Rawa Pening. Data tahun 2018 menggunakan citra satelit DigitalGlobe WorldView-2 (WV02) dengan tanggal perekaman 27 September 2018 yang diperoleh melalui ESRI Wayback Imagery. Sementara itu, data tahun 2025 menggunakan citra satelit Vantor WorldView-2 (WV02) dengan tanggal perekaman 15 September 2021 dari ESRI Wayback Imagery yang dipadukan dengan citra satelit Sentinel-2 tahun 2025 yang diunduh melalui Google Earth Engine (GEE) untuk membantu identifikasi objek pada area yang tertutup awan. Data pendukung berupa

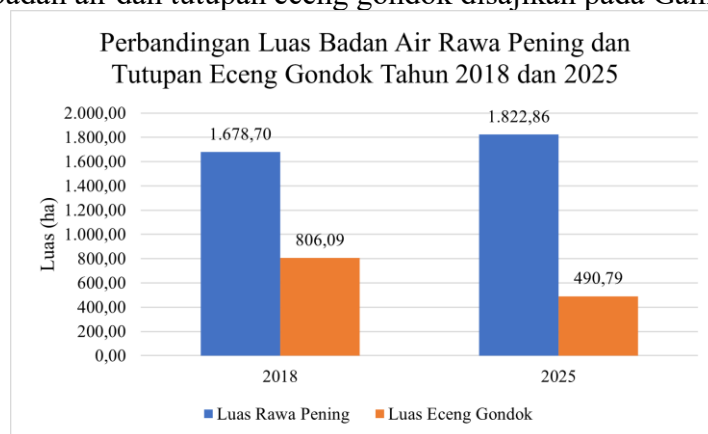
informasi daerah aliran sungai (DAS), daerah tangkapan air, peta wilayah, dan literatur yang relevan digunakan untuk memperkuat interpretasi hasil. Pengolahan data spasial dilakukan menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG), yaitu ArcGIS.

Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan citra satelit resolusi tinggi tahun 2018 dan 2025. Citra dipilih berdasarkan ketersediaan data, kejelasan kenampakan objek, minimnya gangguan awan, serta kesesuaian cakupan wilayah penelitian. Teknik analisis utama yang digunakan adalah interpretasi visual citra satelit. Interpretasi visual dilakukan dengan memanfaatkan kunci interpretasi citra seperti warna, rona, tekstur, bentuk, pola, situs, dan asosiasi untuk membedakan objek badan air dan tutupan eceng gondok. Pendekatan ini dipilih karena dinilai memiliki tingkat akurasi yang baik dalam identifikasi objek meskipun memerlukan waktu analisis yang relatif lebih lama (Schepaschenko, 2019). Setelah objek teridentifikasi, dilakukan digitasi batas badan air Rawa Pening dan area tutupan eceng gondok pada masing-masing tahun pengamatan. Hasil digitasi kemudian digunakan untuk memperoleh data luasan badan air dan luasan tutupan eceng gondok tahun 2018 dan 2025.

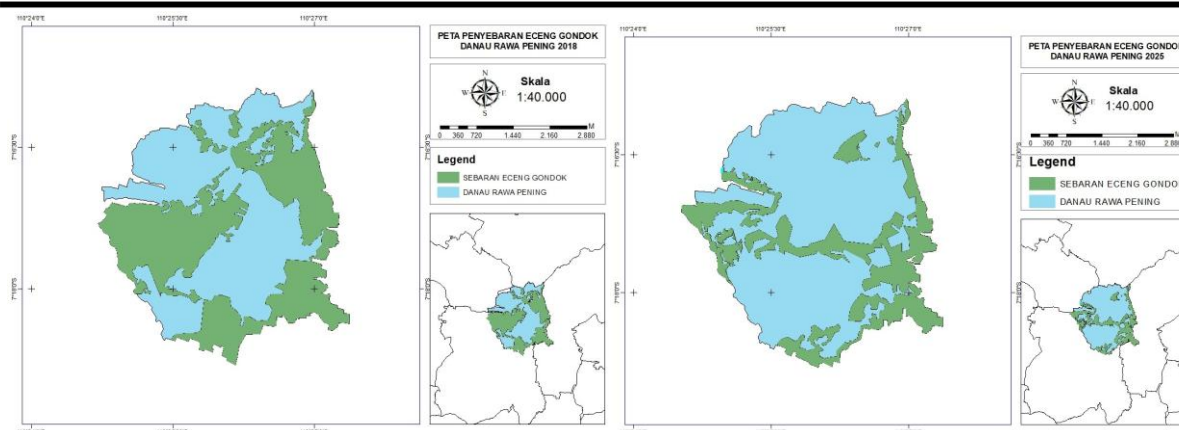
Analisis data dilakukan melalui analisis spasial dan analisis kuantitatif. Analisis spasial dilakukan untuk memetakan sebaran badan air dan tutupan eceng gondok pada tahun 2018 dan 2025. Analisis kuantitatif dilakukan dengan menghitung luas masing-masing objek hasil digitasi, kemudian membandingkan luas badan air dan tutupan eceng gondok antarwaktu. Perbandingan ini digunakan untuk mengetahui perubahan luas badan air terbuka serta perubahan tutupan eceng gondok dalam periode 2018 sampai 2025. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan secara deskriptif dengan dukungan literatur dan informasi DAS sebagai konteks ekologis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis spasial-temporal menggunakan citra satelit resolusi tinggi menunjukkan adanya perubahan luas badan air Rawa Pening dan tutupan eceng gondok pada tahun 2018 dan 2025. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa kondisi permukaan Rawa Pening bersifat dinamis, terutama karena adanya perubahan area perairan terbuka dan tutupan vegetasi air. Data hasil digitasi luas badan air dan tutupan eceng gondok disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perubahan luas badan air Rawa Pening dan tutupan eceng gondok tahun 2018 dan 2025.



Gambar 2. Perbandingan spasial luas badan air dan sebaran eceng gondok Danau Rawa Pening tahun 2018 dan 2025.

Berdasarkan Gambar 1, luas badan air Rawa Pening mengalami peningkatan dari 1.678,701104 hektar pada tahun 2018 menjadi 1.822,862131 hektar pada tahun 2025. Peningkatan tersebut sebesar 144,161027 hektar atau sekitar 8,59%. Hasil ini menunjukkan bahwa area badan air terbuka yang teridentifikasi pada citra tahun 2025 lebih luas dibandingkan tahun 2018. Namun, peningkatan luas badan air ini perlu dipahami secara hati-hati. Dalam analisis citra satelit, area perairan yang tertutup vegetasi terapung seperti eceng gondok dapat teridentifikasi sebagai tutupan vegetasi, bukan sebagai badan air terbuka. Oleh karena itu, peningkatan luas badan air pada tahun 2025 tidak selalu menunjukkan bahwa danau mengalami pelebaran fisik secara permanen, tetapi lebih menunjukkan bertambahnya area perairan terbuka yang tampak pada citra satelit.

Perubahan luas badan air tersebut berkaitan dengan penurunan luas tutupan eceng gondok. Pada tahun 2018, luas eceng gondok mencapai 806,087508 hektar, sedangkan pada tahun 2025 menurun menjadi 490,790055 hektar. Dengan demikian, terjadi penurunan luas eceng gondok sebesar 315,297453 hektar atau sekitar 39,11%. Jika dibandingkan dengan luas badan air Rawa Pening, tutupan eceng gondok pada tahun 2018 mencapai sekitar 48,02%, sedangkan pada tahun 2025 menurun menjadi 26,92%. Artinya, pada tahun 2018 hampir setengah permukaan Rawa Pening tertutup oleh eceng gondok, sedangkan pada tahun 2025 tutupannya berkurang menjadi sekitar seperempat dari luas perairan.

Temuan utama dari penelitian ini adalah adanya hubungan spasial antara penurunan tutupan eceng gondok dan peningkatan area badan air terbuka yang teridentifikasi pada citra satelit. Penurunan tutupan eceng gondok membuat sebagian area permukaan air yang sebelumnya tertutup vegetasi menjadi lebih mudah teridentifikasi sebagai badan air terbuka. Hal ini menjelaskan mengapa luas badan air Rawa Pening pada tahun 2025 tampak lebih besar dibandingkan tahun 2018. Namun, hubungan tersebut tidak dapat dimaknai sebagai hubungan sebab-akibat tunggal, karena perubahan luas badan air dan tutupan eceng gondok juga dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti musim, tinggi muka air, dinamika arus, sedimentasi, kegiatan pengelolaan, serta kondisi daerah tangkapan air.

Penurunan tutupan eceng gondok menjadi temuan penting karena menunjukkan adanya pengurangan dominasi vegetasi terapung pada permukaan Rawa Pening. Pada tahun 2018, tutupan eceng gondok yang mencapai hampir 50% menunjukkan bahwa danau berada dalam tekanan ekologis yang cukup tinggi. Eceng gondok merupakan tumbuhan air invasif yang dapat berkembang cepat pada perairan dengan kandungan nutrisi tinggi. Apabila pertumbuhannya tidak terkendali, eceng gondok dapat menghambat penetrasi cahaya matahari, menurunkan

kadar oksigen terlarut, mengganggu aktivitas perikanan dan pariwisata, serta mempercepat pendangkalan akibat akumulasi biomassa. Hal ini sejalan dengan Muna et al. (2025) yang menyatakan bahwa eceng gondok di Danau Rawa Pening merupakan gulma invasif yang dapat menurunkan kualitas perairan, merusak ekosistem, dan mempercepat pendangkalan apabila tidak dikelola dengan baik.

Penurunan luas eceng gondok pada tahun 2025 dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satu faktor yang mungkin berperan adalah adanya kegiatan pengendalian atau pemanenan eceng gondok. Rawa Pening merupakan danau yang telah lama menghadapi persoalan sedimentasi, eutrofikasi, dan pertumbuhan eceng gondok, sehingga berbagai upaya pengelolaan dan revitalisasi dilakukan untuk mengurangi tekanan terhadap danau. Muna et al. (2025) menjelaskan bahwa penurunan sebaran eceng gondok di Rawa Pening dapat dipengaruhi oleh peralihan musim, berkurangnya *run off*, serta kegiatan revitalisasi dan pemanenan eceng gondok. Dalam penelitian tersebut, luas eceng gondok mengalami penurunan dari 632,5989 ha pada Mei 2024 menjadi 382,109 ha pada Agustus 2024. Temuan tersebut menunjukkan bahwa luasan eceng gondok di Rawa Pening memang dapat berubah dalam periode tertentu akibat kombinasi faktor hidrologis, musim, dan pengelolaan.

Selain pengelolaan, faktor musim dan kondisi hidrologis juga dapat memengaruhi perubahan luas eceng gondok. Eceng gondok merupakan vegetasi terapung, sehingga persebarannya dapat berubah mengikuti arus permukaan, arah angin, tinggi muka air, dan debit aliran. Pada waktu tertentu, peningkatan atau penurunan muka air dapat mengubah posisi dan kerapatan eceng gondok pada permukaan danau. Perbedaan waktu perekaman citra antara tahun 2018 dan 2025 juga dapat memengaruhi hasil interpretasi luas tutupan vegetasi air. Oleh karena itu, penurunan luas eceng gondok dalam penelitian ini tidak dapat dikaitkan dengan satu penyebab tunggal, melainkan lebih tepat dipahami sebagai hasil dari kombinasi beberapa faktor.

Penurunan eceng gondok juga berhubungan dengan meningkatnya luas badan air terbuka yang teridentifikasi pada citra satelit. Pada tahun 2018, eceng gondok menutupi 806,087508 hektar atau sekitar 48,02% dari luas badan air, sehingga sebagian besar permukaan danau tertutup vegetasi terapung. Pada tahun 2025, tutupan eceng gondok menurun menjadi 490,790055 hektar atau sekitar 26,92%, sehingga area permukaan air yang tampak terbuka menjadi lebih luas. Kondisi ini sesuai dengan prinsip interpretasi citra, yaitu objek yang tertutup vegetasi terapung akan memiliki kenampakan berbeda dari badan air terbuka. Chuzaimah et al. (2025) juga menjelaskan bahwa pemantauan luasan eceng gondok menggunakan penginderaan jauh secara spasial-temporal dapat digunakan untuk mengetahui perubahan luas dan sebarannya. Dengan demikian, perubahan luas badan air dalam penelitian ini perlu dibaca bersamaan dengan perubahan tutupan eceng gondok.

Meskipun demikian, selisih penurunan eceng gondok sebesar 315,297453 hektar lebih besar dibandingkan peningkatan luas badan air sebesar 144,161027 hektar. Perbedaan ini menunjukkan bahwa perubahan spasial pada Rawa Pening tidak hanya dipengaruhi oleh eceng gondok. Faktor lain seperti fluktuasi tinggi muka air, perbedaan musim saat perekaman citra, sedimentasi, keberadaan vegetasi air lain, perubahan batas lahan basah, dan keterbatasan interpretasi visual citra juga dapat memengaruhi hasil perhitungan luas. Karena penelitian ini tidak mengukur tinggi muka air, debit, kualitas air, maupun jenis vegetasi lain secara langsung, maka hubungan antara penurunan eceng gondok dan peningkatan badan air terbuka perlu dipahami sebagai interpretasi spasial berdasarkan citra satelit, bukan sebagai hubungan sebab-akibat tunggal.

Dari sisi ekologis, penurunan eceng gondok merupakan indikasi positif karena dapat meningkatkan area badan air terbuka. Berkurangnya tutupan vegetasi terapung dapat

mendukung masuknya cahaya matahari ke kolom air dan memperbaiki pertukaran oksigen antara atmosfer dan badan air. Namun, luas eceng gondok pada tahun 2025 masih mencapai 490,790055 hektar, atau sekitar 26,92% dari luas badan air. Angka tersebut masih cukup besar, sehingga Rawa Pening belum dapat dikatakan terbebas dari tekanan ekologis. Muna et al. (2025) menjelaskan bahwa eceng gondok yang tidak dikelola dapat menurunkan kualitas perairan, merusak ekosistem, dan mempercepat pendangkalan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun luasnya menurun, keberadaan eceng gondok dalam luasan besar tetap perlu diperhatikan dalam pengelolaan Rawa Pening.

Keberadaan eceng gondok di Rawa Pening berkaitan erat dengan kondisi eutrofikasi. Eutrofikasi merupakan peningkatan kesuburan perairan akibat masukan nutrisi berlebih, terutama nitrogen dan fosfor. Perairan dengan kandungan nutrisi tinggi cenderung mendukung pertumbuhan alga, fitoplankton, dan tumbuhan air secara berlebihan. Sulastri et al. (2016) menunjukkan bahwa Rawa Pening merupakan danau eutrofik, dan fosfor berperan penting dalam proses eutrofikasi serta pertumbuhan eceng gondok secara masif. Kajian Astuti et al. (2024) juga menunjukkan bahwa status kesuburan perairan Rawa Pening berdasarkan metode *Trophic State Index* tergolong eutrofik, serta terdapat hubungan kuat antara nitrat, ortofosfat, dan klorofil-a. Oleh karena itu, walaupun penelitian ini tidak mengukur kualitas air secara langsung, hasil perubahan tutupan eceng gondok tetap dapat diinterpretasikan dalam konteks eutrofikasi Rawa Pening.

Dinamika eceng gondok dan luas badan air Rawa Pening juga perlu dipahami dalam konteks daerah tangkapan air atau DAS. Rawa Pening menerima masukan air, sedimen, bahan organik, dan unsur hara dari wilayah hulu melalui beberapa aliran sungai yang bermuara ke danau. Aktivitas di daerah tangkapan air, seperti pertanian, permukiman, peternakan, dan aktivitas domestik, berpotensi meningkatkan limpasan permukaan yang membawa nutrisi ke badan air. Nada et al. (2023) menjelaskan bahwa ekspor nutrisi menuju Rawa Pening berkaitan dengan kondisi zona penyangga sungai dan danau. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan Rawa Pening tidak cukup hanya dilakukan pada badan air, tetapi juga perlu memperhatikan wilayah hulu dan sempadan sungai sebagai sumber potensial masukan nutrisi.

Dalam penelitian ini, informasi DAS digunakan sebagai konteks pendukung untuk memahami keterkaitan antara wilayah hulu dan kondisi ekologis Rawa Pening. Penelitian ini tidak menganalisis DAS secara kuantitatif, misalnya melalui pengukuran debit, beban sedimen, nitrogen, fosfor, atau kualitas air pada masing-masing aliran masuk. Oleh karena itu, hubungan antara DAS dan perubahan tutupan eceng gondok tidak disimpulkan sebagai hubungan sebab-akibat langsung. DAS dibahas sebagai faktor pendukung berdasarkan literatur karena secara teoritis wilayah tangkapan air dapat memengaruhi masukan sedimen dan nutrisi ke danau. Dengan batasan tersebut, analisis utama penelitian ini tetap berada pada perubahan luas badan air dan tutupan eceng gondok berdasarkan hasil interpretasi citra satelit tahun 2018 dan 2025.

Penggunaan citra satelit dalam penelitian ini relevan karena mampu memberikan gambaran spasial mengenai perubahan badan air dan vegetasi terapung secara luas dan terukur. Muna et al. (2025) menggunakan citra Sentinel-2 untuk menganalisis distribusi spasial-temporal eceng gondok di Danau Rawa Pening. Selain itu, Fariz et al. (2024) menunjukkan bahwa pendekatan penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengkaji perubahan kondisi Rawa Pening, termasuk parameter kualitas air dan luasan vegetasi air. Dengan demikian, penggunaan citra satelit resolusi tinggi dalam penelitian ini sesuai untuk memantau perubahan luas badan air dan tutupan eceng gondok secara spasial-temporal.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa pada periode 2018 hingga 2025 terjadi peningkatan luas badan air terbuka Rawa Pening dan penurunan luas tutupan eceng gondok. Luas badan air meningkat sebesar 144,161027 hektar, sedangkan luas eceng gondok

menurun sebesar 315,297453 hektar. Pola ini menunjukkan adanya perubahan spasial-temporal yang cukup jelas pada permukaan Rawa Pening. Penurunan eceng gondok kemungkinan berkontribusi terhadap meningkatnya area badan air terbuka yang teridentifikasi pada citra satelit. Namun, karena tutupan eceng gondok pada tahun 2025 masih mencapai lebih dari seperempat luas badan air, Rawa Pening tetap memerlukan pemantauan dan pengelolaan berkelanjutan. Pengendalian eceng gondok sebaiknya tidak hanya dilakukan melalui pembersihan vegetasi di permukaan danau, tetapi juga melalui pengelolaan sumber nutrisi dan sedimen dari daerah tangkapan air.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan utama karena analisis perubahan luas badan air dan tutupan eceng gondok dilakukan melalui interpretasi visual citra satelit sehingga tingkat subjektivitas interpretasi masih mungkin terjadi, terutama pada area dengan batas tutupan vegetasi yang tidak tegas. Selain itu, pendekatan ini belum memanfaatkan analisis spektral maupun klasifikasi otomatis berbasis piksel yang mampu meningkatkan detail dan konsistensi deteksi objek. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat dikembangkan menggunakan pendekatan berbasis machine learning sebagaimana dilakukan oleh Pádua et al. (2022), seperti *Random Forest* atau *Support Vector Machine* untuk klasifikasi eceng gondok berbasis data multispektral. Pengembangan lain juga dapat dilakukan menggunakan pendekatan multitemporal image differencing (MID) seperti pada studi Wu et al. (2026) yang memanfaatkan perubahan nilai spektral antarwaktu untuk mendeteksi dinamika eceng gondok secara lebih otomatis, spasial, dan temporal. Pendekatan tersebut berpotensi meningkatkan akurasi pemantauan perubahan tutupan eceng gondok dan dinamika badan air pada penelitian lanjutan.

KESIMPULAN

Kondisi spasial-temporal Danau Rawa Pening mengalami perubahan pada periode 2018 sampai 2025. Hasil interpretasi citra satelit menunjukkan bahwa luas badan air terbuka meningkat dari 1.678,701104 hektar menjadi 1.822,862131 hektar, sedangkan luas tutupan eceng gondok menurun dari 806,087508 hektar menjadi 490,790055 hektar. Persentase tutupan eceng gondok terhadap luas badan air juga menurun dari 48,02% menjadi 26,92%. Temuan ini menunjukkan adanya hubungan spasial antara penurunan tutupan eceng gondok dan peningkatan area badan air terbuka yang teridentifikasi pada citra satelit.

Penurunan tutupan eceng gondok menunjukkan berkurangnya tekanan vegetasi terapung terhadap permukaan danau. Namun, Rawa Pening belum dapat dikatakan terbebas dari tekanan ekologis karena pada tahun 2025 eceng gondok masih menutupi lebih dari seperempat luas badan air. Dinamika perubahan luas badan air dan tutupan eceng gondok tidak dapat dipahami sebagai hubungan sebab-akibat tunggal, melainkan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti pengelolaan danau, musim, fluktuasi muka air, dinamika arus, serta masukan sedimen dan nutrisi dari daerah tangkapan air. Oleh karena itu, pemantauan spasial-temporal menggunakan citra satelit perlu dilakukan secara berkala untuk mendukung pengelolaan Rawa Pening yang lebih berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, A. V., Fariz, T. R., Lutfiananda, F., Ihsan, H. M., Atunnisa, R., & Jabbar, A. (2024). Comparison of SWAT-based ecohydrological modeling in the Rawa Pening catchment area, Indonesia. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 13(1), 1-11.
- Astuti, Y., Rahman, A., Jati, O. E., & Prakoso, K. (2024). Profil Lingkungan dan Kesuburan Perairan di Danau Rawa Pening, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. *Jurnal Akuatiklestari*, 8(1), 85-90.
- Chuzaimah, S., Arief, M. C. W., Maulina, I., & Sahidin, A. (2025). Luasan dan Distribusi Eceng Gondok Secara Spasio-Temporal di Waduk Saguling, Jawa Barat. *Akuatika Indonesia*, 10(1), 20-29.
- Fariz, T. R., Amalia, A. V., & Jabbar, A. (2024). Estimation Of changes in water quality parameters in Rawa Pening lake based on remote sensing data. *Indonesian Journal of Conservation*, 13(1), 1-7.
- Henny, C., Julzarika, A., Prasetyo, S., Utami, R. R., Setiadewi, N., & Hakim, A. M. Y. (2026). Recurring struggle in managing water hyacinth invasion and water quality in a tropical lake: Case study of Lake Rawa Pening, Indonesia. *Journal of Environmental Management*, 397, 128210.
- Herlina, H., Ghitarina, G., & Eryati, R. (2021). Kandungan Pb, Cd Dan Cu pada Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) pada Perairan Sungai Karang Mumus Samarinda Kalimantan Timur. *Jurnal Aquarine*, 6(2 Okt), 1.
- Muna, A. M., Rahman, A., Jundullah, N. I., Hayati, M. N., Aulia, N. M., & Senno, S. B. (2025). Distribusi Spasial dan Temporal Eceng Gondok di Danau Rawa Pening. *Jurnal Akuatiklestari*, 8(2), 169-175.
- Nada, F. M. H., Nugroho, N. P., & Sofwa, N. B. M. (2023). Lake and stream buffer Zone widths' effects on nutrient export to Lake rawapening, Central java, Indonesia: a simple simulation study. In *Forum Geografi* (Vol. 37, No. 1).
- Pádua, L., Antão-Geraldes, A. M., Sousa, J. J., Rodrigues, M. Â., Oliveira, V., Santos, D., ... & Castro, J. P. (2022). Water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) detection using coarse and high resolution multispectral data. *Drones*, 6(2), 47.
- Schepaschenko, D., See, L., Lesiv, M., Bastin, J. F., Mollicone, D., Tsendbazar, N. E., ... & Fritz, S. (2019). Recent advances in forest observation with visual interpretation of very high-resolution imagery. *Surveys in Geophysics*, 40(4), 839-862.
- Sulastri., Henny, C., & Handoko, U. (2016). Environmental condition and trophic status of Lake Rawa Pening in Central Java. *OLDI (Oseanologi dan Limnologi di Indonesia)*, 1(3), 23-28.
- Surya, A. T. J., Sasongko, A. S., & Cahyadi, F. D. (2024). Kandungan amonia, fosfat, nitrat dan nitrit air laut di perairan pesisir desa lontar. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 5(3), 238-245.
- Wu, Y., Li, S., Xu, D., Wang, X., Chen, B., Huang, F., & Zhang, H. (2026). Development of a multitemporal image differencing approach for identifying invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Environmental Monitoring and Assessment*, 198(6), 589.
- Yusal, M. S., Hasyim, A., Hastuti, H., Arif, A., & Pratomo, R. H. S. (2025). Review eutrofikasi: Risiko dalam kesuburan lingkungan perairan dan upaya penanggulangannya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 24(1), 124-135.