

## Analisis Dataran Banjir Menggunakan Spatial Computing MNDWI Dengan Sentinel 2 di Danau Rawa Pening

Ikhlas Nur Muhammad\* , Rahayu Gemilang, Hindun Fatiniyah Rosyidi, Emy Khilmiah, Fahrizal Maulana, Dimas Andriyan, Edo Novandrian Syah, Fahmi Arif Kurnianto

Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Jember, Jember, 68121, Indonesia

\*Penulis korespondensi, e-mail: ikhlasnurmuhammad@gmail.com

### ABSTRAK

Danau Rawa Pening menjadi sistem penyimpanan air yang penting bagi masyarakat Kabupaten Semarang. Danau Rawa Pening memiliki permasalahan terhadap pendangkalan yang disebabkan salah satunya karena faktor eutrofikasi oleh tanaman eceng gondok. Pendangkalan danau berdampak buruk terhadap kapasitas penyimpanan air, sehingga dapat berpotensi mengalami luapan pada saat musim hujan. Luapan tersebut berpotensi menyebabkan kerugian pada pemilik lahan, dimana mereka tidak dapat menggunakan lahannya dikarenakan tergenang. Peneliti tertarik melakukan penelitian terkait analisis lahan berpotensi tergenang banjir menggunakan komputasi spasial MNDWI dengan bantuan citra Sentinel 2. Hasil penelitian ini menunjukkan luasan wilayah terdampak dan berpotensi tergenang pada saat banjir mencapai luasan hingga 645 Ha dengan hasil uji akurasi mencapai 87%.

**Kata Kunci** : Penginderaan Jauh;Komputasi Spasial ; MNDWI ; Perencanaan Wilayah

### PENDAHULUAN

Pemetaan lahan menjadi bagian yang penting di dalam melaksanakan perancangan rencana kewilayahan. Penggunaan sistem informasi geospasial menjadi salah satu acuan di dalam membantu identifikasi lahan. Identifikasi lahan menjadi hal yang utama di dalam menganalisis keberlanjutan fungsi lahan disesuaikan dengan peruntukannya. Penggunaan Sistem Informasi memiliki berbagai peranan penting bagi perencanaan kewilayahan. Kurniawati *et al.*, (2020) memaparkan sistem informasi geografi sebagai sistem dapat mengakomodasi data spasial dan atribut menjadi tampilan yang dapat memberikan informasi terkait analisis keruangan yang berguna dalam informasi dalam perencanaan.

Analisis lahan yang memiliki tingkat kritis terhadap banjir menjadi sangat penting di dalam investigasi lahan pertanian. Faktor iklim dan faktor kemampuan lahan menjadi salah satu indikator yang dapat digunakan untuk mengetahui kesesuaian lahan. Data spasio-temporal menginformasikan bagaimana permukaan lahan pada beberapa rentang waktu dapat dijadikan acuan informasi untuk tindakan acuan di dalam merencanakan keruangan. Iglesias & Garrote (2015) memaparkan salah satu konsekuensi pada intensitas curah hujan pada siklus air meningkatkan resiko terhadap banjir, yang dimana dapat berdampak langsung terhadap tantangan aktivitas ekonomi, dan kehidupan manusia.

Danau Rawa Pening merupakan salah satu danau di Indonesia yang termasuk kedalam 15 danau kritis di Indonesia. Danau Rawa Pening ini berlokasi di Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah dengan letak lokasi koordinat 7° 4' 00" LS – 7° 30' 00" dan 110° 24' 46" BT – 110° 49' 06" BT. Danau Rawa Pening juga mencakup empat kecamatan yakni Kecamatan Tuntang, Kecamatan Bawen, Kecamatan Banyubiru, dan Kecamatan Ambarawa. Danau Rawa Pening memiliki peran penting sebagai sumber air dan peruntukan irigasi pertanian di wilayah Kabupaten Semarang. Wilayah yang krusial sebagai sumber air ini perlu dilakukan pembatasan pemanfaatan ruang. Penelitian oleh Raharjo

*et al.*, (2019) memaparkan dari sisi penegakan hukum rawa pening termasuk wilayah disinsentif atau merupakan wilayah yang digunakan untuk mencegah dan membatasi penggunaan ruang yang telah ditetapkan oleh pemerintah daerah Provinsi Jawa Tengah.

Permasalahan Danau Rawa Pening adalah permasalahan di dalam pendangkalan danau yang diakibatkan oleh laju sedimentasi yang tinggi dan tidak dilaksanakan pengelolaan lebih lanjut. Problem permasalahan tersebut diduga karena tingkat laju pertumbuhan eceng gondok yang masif yang dapat meningkatkan tingkat laju sedimentasi terjadi. Penelitian lain oleh Sanjoto *et al.*, (2020) memaparkan bahwa tingkat tingginya sedimentasi di Danau Rawa Pening disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan pada daerah hulu Sub DAS Rawa Pening.

Penelitian ini memiliki output analisis untuk wilayah yang memiliki luasan lahan yang terdampak dan rentang mengalami banjir Danau Rawa Pening. Selain itu peneliti akan memberikan gambaran terkait luasan wilayah perbedaan diantara Danau Rawa Pening ketika mengalami banjir dengan pada saat musim kemarau. Penelitian ini memiliki beberapa keterbaruan dimana pengolahan data menggunakan *Google Earth Engine* dalam pengolahan dan keterbaruan lainnya yakni memberikan analisis luas wilayah beresiko terendam air untuk melakukan upaya pengendalian dan solusi di dalam lahan yang rentan tenggelam oleh air, selain itu peneliti juga menggunakan formulasi algoritma penginderaan jauh yang cukup terbaru dalam mengidentifikasi badan air yakni dengan MNDWI (*Modification Normalized Difference Water Index*).

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dan memvisualisasikan analisis dengan pemetaan. Pemetaan analisis lahan terdampak tergenang oleh air ini menggunakan metode analisis spasial dengan bantuan algoritma untuk menganalisis dengan indeks MNDWI (*Modification of Normalized Difference Water Index*). Penelitian ini juga menggunakan data akurasi pada wilayah lapangan yang terjadi pada tahun 2023. Data akurasi tersebut digunakan dalam menganalisis keakuratan data spasial dengan kondisi eksisting di lapangan.

Penelitian ini memiliki tujuan di dalam memetakan tingkat perbedaan badan air ketika Danau Rawa Pening mengalami kondisi banjir dan ketika pada saat musim kemarau. Pengolahan spasial menggunakan *Google Earth Engine* untuk melakukan komputasi spasial MNDWI (*Modification Normalized Difference Water Index*). Pengolahan data spasial tersebut akan dikurangi antara kondisi permukaan air pada saat banjir pada bulan April 2021 dengan bulan November 2023. Formula perhitungan MNDWI menggunakan beberapa band dengan formula yang telah dikembangkan oleh Xu (2005) sebagai berikut;

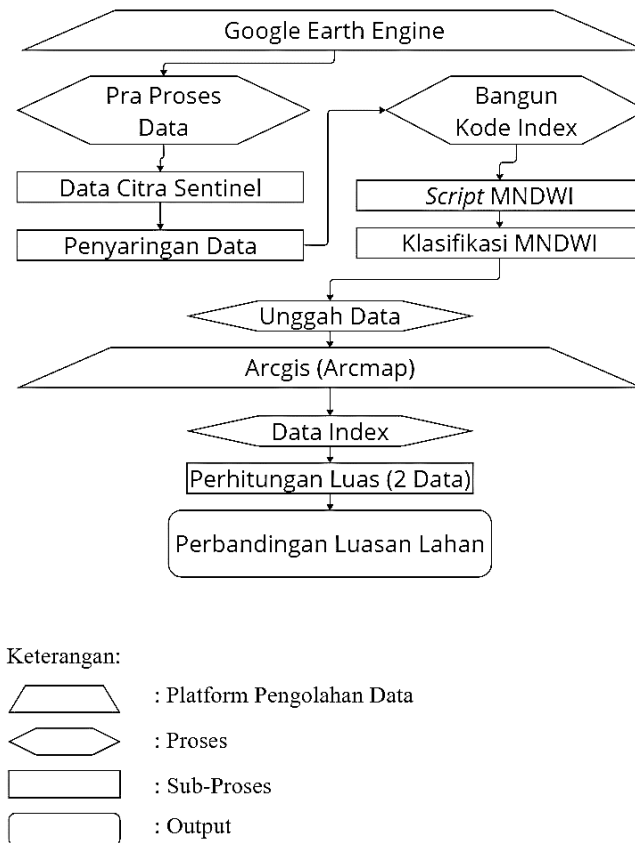
$$\text{MNDWI} = \frac{(\text{Green} - \text{Swir})}{(\text{Green} + \text{Swir})}$$

Hasil komputasi algoritma pada MNDWI menggunakan kode pita band sesuai dengan band yang diinginkan. Penggunaan band Green pada citra Sentinel terdapat pada band 3 (Green) dan band 11 (Swir). Sarp dan Ozelik (2017) memaparkan bahwa nilai piksel pada MNDWI memiliki rentangan nilai -1 hingga 1, dengan identifikasi badan air dengan piksel diatas 0 dan non badan air pada piksel dibawah 0. Penggunaan algoritma MNDWI memiliki akurasi yang cukup tinggi dalam identifikasi badan air, sehingga luasan badan air tersebut tidak tergabung dengan objek lainnya seperti lahan terbangun maupun vegetasi.

Pengolahan data citra ini nantinya akan menampilkan pembagian antara lahan daratan dan badan air. Klasifikasi dua kelas tersebut akan menampilkan perbandingan tahun dan dapat dianalisis lebih lanjut perbandingan antar kedua tahun tersebut. Data lanjutan setelah proses pengolahan

menjadi index MNDWI akan dilanjutkan ke analisis luas wilayah yang memiliki kerentanan terendam banjir pada saat musim hujan. Analisis MNDWI ini juga dapat menjadi batasan zona disinsentif untuk mengurangi beban penggunaan lahan pada wilayah danau yang berperan krusial sebagai tempat penyimpanan air bagi sebagian besar masyarakat Kabupaten Semarang.

Pengolahan informasi spasial ini kami memiliki beberapa proses tahapan atau diagram alur penelitian. Diagram alur penelitian ini terjabarkan sebagai berikut;

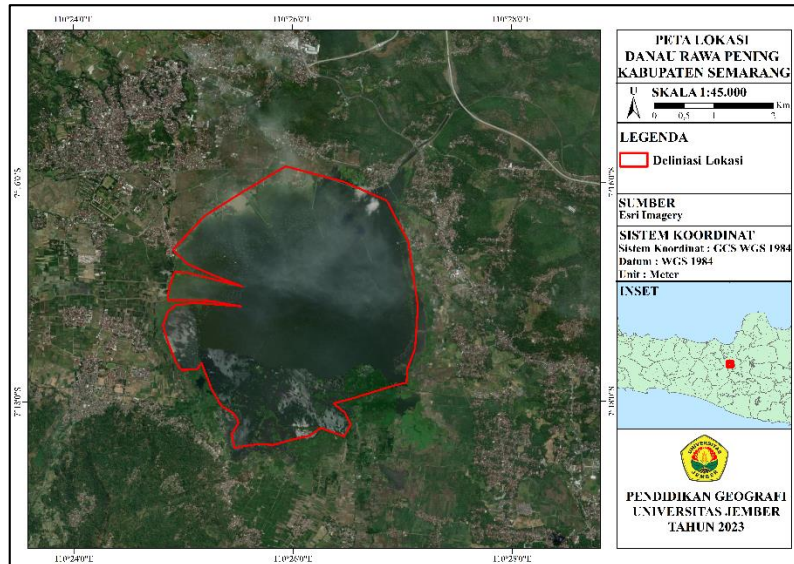


Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

## HASIL

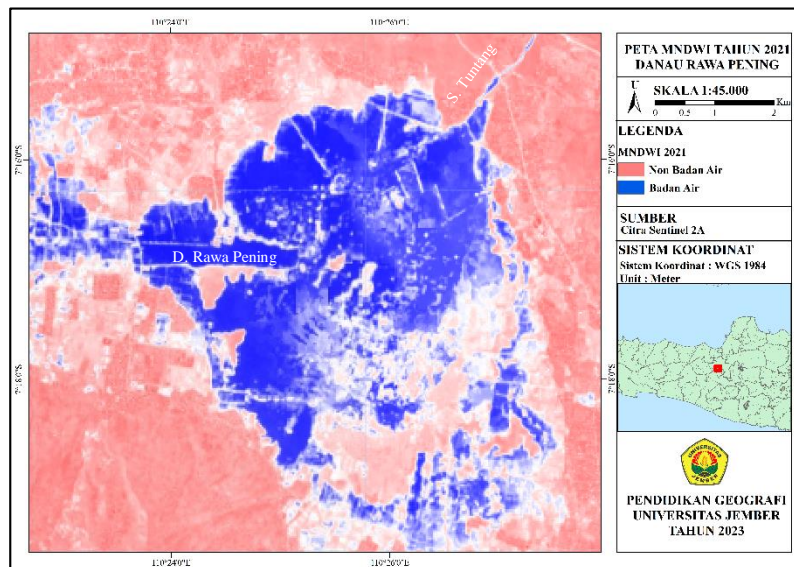
### PEMETAAN MNDWI TAHUN 2021

Hasil pengolahan pemetaan menggunakan *Google Earth Engine* pada Danau Rawa Pening di tahun 2021 memperlihatkan pola persebaran badan air yang cukup luas. Hasil tersebut dikarenakan oleh pengambilan data citra di saat terjadi banjir pada wilayah kajian. Luapan air menutupi sebagian lahan persawahan masyarakat, sehingga perlu usaha di pengelolaan secara lebih lanjut lagi dalam penanganan permasalahan tersebut.



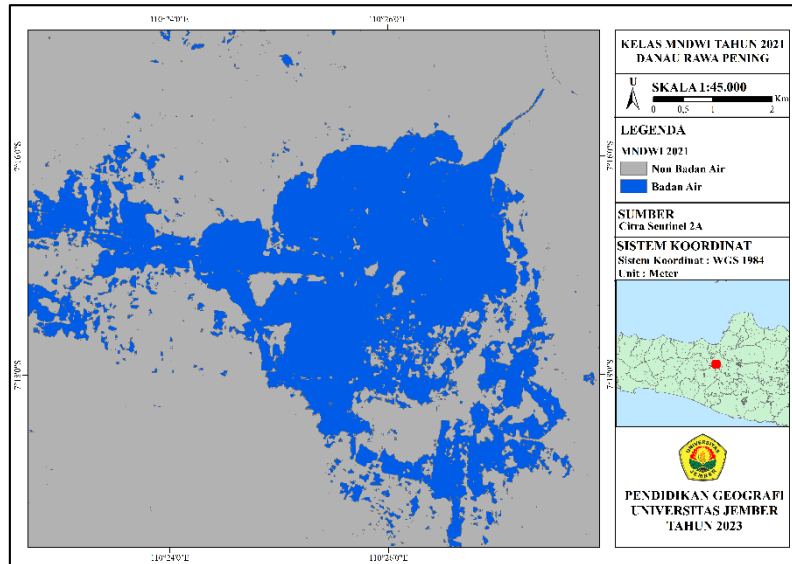
Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

Pengolahan MNDWI pada analisis kali ini memperlihatkan secara jelas wilayah yang teridentifikasi sebagai badan air dengan wilayah yang diidentifikasi sebagai non badan air. Perbedaan mencolok tersebut dapat membantu dalam menganalisis lebih lanjut tindakan penataan ruang seperti apa yang dapat disesuaikan di saat terjadi luapan areal air pada saat seperti banjir pada tahun 2021 tersebut. Hasil pengolahan MNDWI 2021 menunjukkan areal badan air secara tampak kondisi yang terjadi pada data perekaman citra di tahun tersebut.



Gambar 2. Peta MNDWI Tahun 2021 Danau Rawa Pening

Hasil peta MNDWI menggambarkan eksisting wilayah kajian berdasarkan klasifikasi indeks yang kita pilih. Hasil MNDWI menampilkan secara akurat perbedaan badan air dengan non badan air. Perbedaan objek pada identifikasi menjadi sangat berguna dalam identifikasi secara lanjut di dalam perencanaan wilayah dengan melakukan penyesuaian terhadap identifikasi lahan yang menjadi objek.



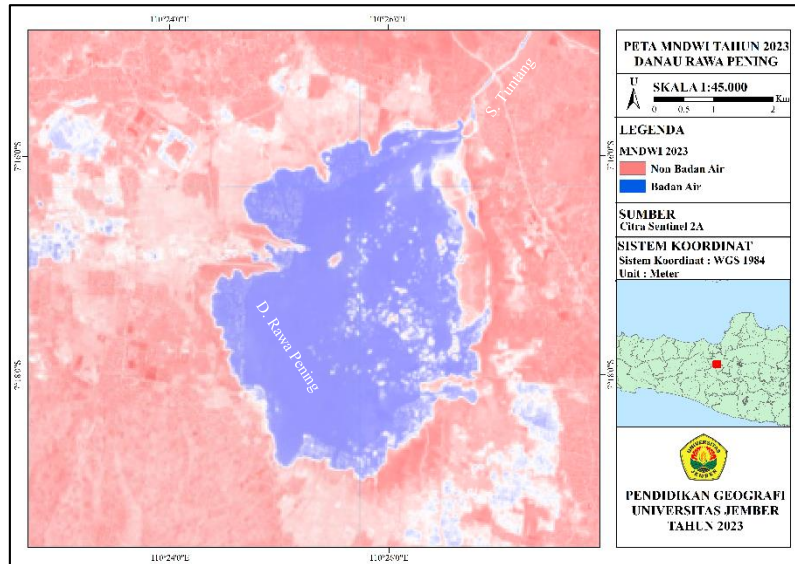
Gambar 3. Klasifikasi MNDWI Tahun 2021 Danau Rawa Pening

Hasil klasifikasi memudahkan kita di dalam identifikasi secara spesifik badan air dan non badan air. Hasil pengelolaan data menunjukkan wilayah yang teridentifikasi sebagai badan air pada proses pengolahan peta pada tahun 2021 menunjukkan luasan wilayah sebesar 2.467 Ha, sedangkan untuk luasan wilayah teridentifikasi sebagai non badan air sebesar 7.333 Ha. Hasil tersebut menunjukkan luasan wilayah berdasarkan klasifikasi yang telah ditentukan menggunakan nilai piksel dibawah 0 merupakan non badan air, dan nilai piksel diatas 0 merupakan teridentifikasi sebagai badan air.

Klasifikasi hasil membantu menampilkan secara detail wilayah dengan kondisi permukaan berupa badan air maupun tidak. Hasil klasifikasi tersebut telah ditetapkan oleh beberapa ahli di dalam mengidentifikasi badan air secara terperinci sesuai objek dan kenampakan pada kondisi aslinya. Hasil klasifikasi ini nantinya dapat menjadi sebagai acuan rekomendasi deliniasi wilayah di dalam penentuan zona disinsentif sebagai upaya perlindungan lahan dan Danau Rawa Pening tersebut.

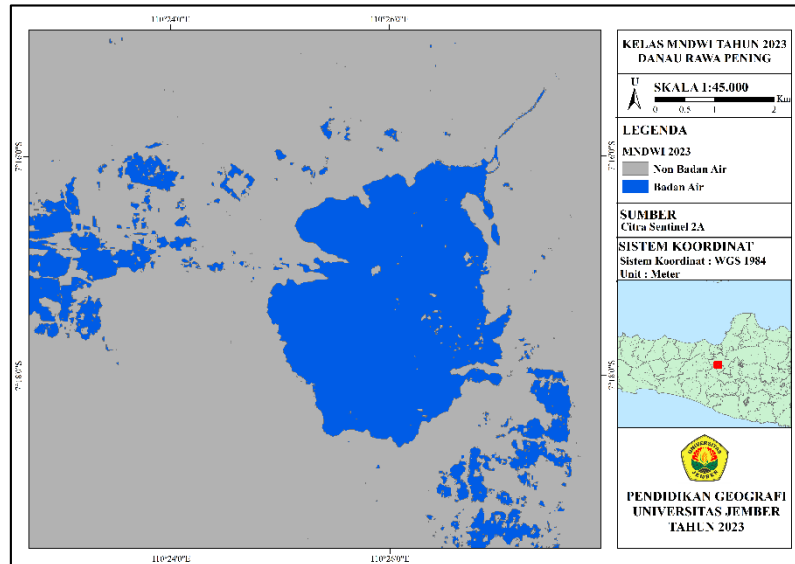
### PEMETAAN MNDWI TAHUN 2023

Hasil pemetaan MNDWI tahun 2023 menghasilkan pola persebaran badan air lebih sedikit. Pengambilan perekaman data citra pada peta MNDWI tahun 2023 ini menggunakan dataset Sentinel 2. Perekaman data yang diambil merupakan data pada bulan November 2023, dimana pada bulan tersebut merupakan wilayah Kabupaten Semarang masih berada dalam peralihan musim kemarau ke musim hujan. Pengambilan waktu data sangat mempengaruhi hasil eksisting pada wilayah kajian, visualisasi peta menunjukkan hasil eksisting badan air memiliki sebaran wilayah cenderung lebih kecil dibandingkan pada hasil peta sebelumnya.



Gambar 4. Peta MNDWI Tahun 2023 Danau Rawa Pening

Pengolahan data menggunakan *cloud computing* menggunakan *platform Google Earth Engine*. Hasil pengolahan menampilkan data keadaan pada saat perekaman citra tersebut diambil. Interpretasi warna pada peta menggunakan dua identifikasi objek yakni badan air dan non badan air. Penampakan citra pada tahun tersebut tidak terlihat permasalahan yang lebih besar dibandingkan dengan data sebelumnya, dimana data sebelumnya terlihat banyak obyek non badan air teridentifikasi menjadi badan air karena luapan air.



Gambar 5. Klasifikasi MNDWI Tahun 2023 Danau Rawa Pening

Hasil klasifikasi mengidentifikasi secara akurat area yang teridentifikasi sebagai badan air, dan wilayah yang teridentifikasi sebagai non badan air. Wilayah non badan air pada hasil pemetaan berdasarkan klasifikasi MNDWI pada tahun 2023 menunjukkan luasan wilayah mencapai 7978 Ha, dan untuk wilayah yang teridentifikasi sebagai badan air memiliki luasan wilayah mencapai 1.822 Ha. Hasil tersebut memiliki luasan badan air lebih kecil dibandingkan dengan hasil pemetaan pada tahun sebelumnya.

#### ANALISIS WILAYAH TERENDAM BANJIR

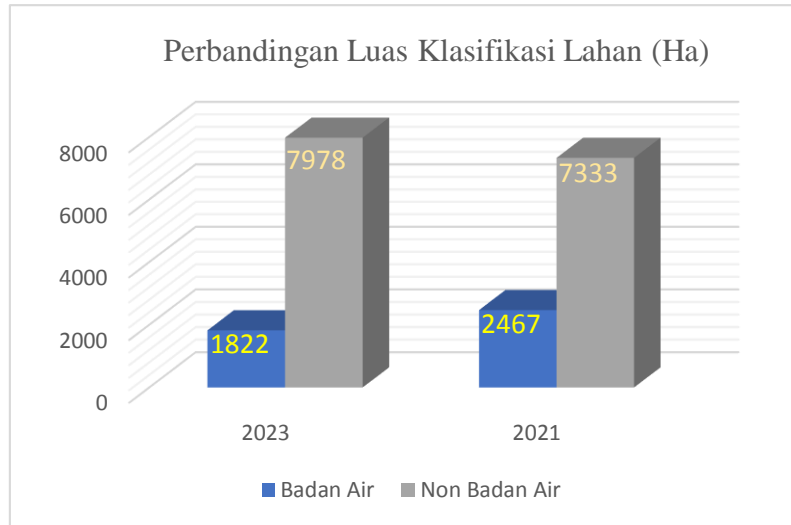
Hasil pemetaan pada perbandingan kedua tahun tersebut dapat menjadi acuan dalam melihat seberapa besar perbedaan luasan pada wilayah kajian. Penentuan wilayah yang memiliki resiko

kerentanan terendam banjir dapat dilakukan dengan mengurangi hasil pada wilayah yang teridentifikasi sebagai badan air. Acuan perencanaan wilayah dapat menggunakan kondisi eksisting dengan membuat batasan pada wilayah pada analisis ketika Danau Rawa Pening mengalami banjir.

Perbedaan Luas = Badan Air pada Saat Banjir – Badan Air pada Saat Kemarau

Perbedaan Luas = MNDWI 2021- MNDWI 2023

Tabel 1. Perbandingan Luas Klasifikasi Lahan



Analisis perbedaan tersebut dapat melihat seberapa luas perkiraan lahan yang mengalami terendam banjir pada perbedaan luas pada kedua tahun tersebut. Hasil pengolahan menggunakan pengurangan pada hasil luasan badan air. Luasan wilayah teridentifikasi sebagai badan air pada tahun 2021 seluas 2.467 Ha, sedangkan luasan wilayah teridentifikasi sebagai badan air pada tahun 2023 memiliki luasan sebesar 1.822 Ha. Hasil dari kedua data tersebut dapat dianalisis seberapa luas perubahan tersebut.

Hasil perubahan badan air tersebut seluas 645 Ha, sehingga ketika ditarik kesimpulan wilayah non badan air yang memiliki resiko terdampak tenggelam oleh banjir seluas 645 Ha. Analisis tersebut dapat diinterpretasikan bahwa pada kejadian banjir pada bulan April 2021 di Danau Rawa Pening dengan perbandingan saat Danau Rawa Pening mengalami air surut pada bulan November 2023 menunjukkan perbedaan luas 645 Ha. Perbedaan tersebut merupakan wilayah yang berpotensi tergenang oleh air lagi ketika permasalahan sedimentasi yang menyebabkan pendangkalan pada danau tidak segera diatasi dengan baik.

**Hasil Uji Akurasi**

Tabel 1. Hasil Uji Akurasi Peta MNDWI

| Kategori Lapangan       | Kategori Hasil Interpretasi |               | Total           |
|-------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------|
|                         | Non Badan Air               | Badan Air     |                 |
| Non Badan Air           | 7                           | 2             | 9               |
| Badan Air               | 0                           | 6             | 6               |
| <b>Total Kolom</b>      | 7                           | 8             | <b>15</b>       |
| Ketelitian Pemetaan     |                             |               |                 |
| Producer's Accuracy     | Omisi Kesalahan             | User Accuracy | Omisi Kesalahan |
| 100%                    | 0%                          | 78%           | 22%             |
| 75%                     | 25%                         | 0%            | 100%            |
| <b>Overall Accuracy</b> |                             |               |                 |
| <b>87%</b>              |                             |               |                 |

Hasil akurasi pada pemetaan MNDWI menghasilkan ketelitian akurasi hingga 87%. Hasil akurasi di dapatkan berdasarkan total hasil yang benar dibagi dengan total hasil. Data tersebut menampilkan bahwa hasil interpretasi dapat digunakan dan diterima, dikarenakan telah mencapai batas standar minimum keakurasian yang ditetapkan oleh USGS yakni 85%.

## PEMBAHASAN

Hasil analisis lahan beresiko tergenang pada pemetaan MNDWI menunjukkan luasan wilayah sebesar 645 Ha beresiko untuk tergenang. Setelah mengetahui lahan beresiko tergenang oleh air perlu untuk segera dilaksanakan solusi yang bijak dalam arahan penggunaan tata lahan, dan konservasi pada wilayah danau itu sendiri. Dampak lahan tergenang menyebabkan kerugian oleh masyarakat terutama padi yang dimana merupakan sebagian besar penggunaan lahan disekitar danau tersebut merupakan persawahan.

Hasil akurasi menunjukkan keakuratan antara hasil pengolahan dengan kondisi yang ada pada eksisting secara nyata. Hasil uji akurasi pada penelitian kali ini menunjukkan nilai 87%. Nilai tersebut masih diterima dengan baik dikarenakan ambang batas uji akurasi menurut USGS adalah 85%. Penelitian dengan analisis MNDWI di dalam mendeteksi badan air terdapat pada penelitian-penelitian terdahulu pada lokasi yang berbeda. Penelitian pada wilayah kajian Sungai Ping Thailan oleh Laonamsai *et al.* (2023) melakukan uji akurasi peta MNDWI dengan 201 sampel menghasilkan nilai akurasi 89.55% pada tahun 2022 dan 88.56% pada tahun 2015. Hasil penelitiannya dilakukan oleh Deoli *et al.* (2022) melakukan pemetaan MNDWI menggunakan citra Landsat 7 dan Landsat 8 pada lokasi kajian di Danau Nainital India, menghasilkan uji akurasi total 97.90% hingga 99.40%. Wilayah kajian yang mengkaji luasan badan air danau juga dikaji oleh Jiang *et al.* (2021) mengkaji luasan badan air pada wilayah Danau Taihu China menggunakan perhitungan NDWI menghasilkan uji akurasi peta 91.50%. penelitian lainnya yang mengkaji terkait badan air diujikan pada wilayah Dataran Tinggi Tibet Bagian Barat dengan membandingkan MNDWI pada beberapa bulan kajian, kajian oleh Khalid *et al.* (2021) menghasilkan nilai akurasi pada kajian pada bulan Januari 88.64%, bulan April 90.82%, bulan Juli 80.9% dan pada bulan September menghasilkan uji akurasi 85.18%.

Penelitian relevan diatas merupakan kajian – kajian secara global. Terdapat beberapa kajian mengenai MNDWI secara lokal dikaji oleh beberapa peneliti. Hasil penelitian oleh Ali *et al.* (2021) mengkaji wilayah lahan basah di Kalimantan Selatan menggunakan Landsat 8 OLI menghasilkan *overall accuracy* sebesar 68.59% pada wilayah kajian. Terdapat kajian MNDWI pada kajian di wilayah Kabupaten Jember yang melakukan kajian pada beberapa kecamatannya oleh Hidayah *et al.* (2022) hasil pengolahan data MNDWI setelah di uji akurasi menghasilkan nilai *overall accuracy* sebesar 75.47%. Hasil penelitian oleh Nugraha *et al.* (2018) pada penelitian mengenai badan air di Sungai Yeh Unda Bali menggunakan Landsat 8, menghasilkan nilai *overall accuracy* mencapai 97.54%. Hasil selanjutnya oleh Kalther *et al.* (2020) melakukan pemetaan MNDWI pada wilayah Sungai Blanakan di Kabupaten Subang menunjukkan perbandingan hasil akurasi pada tahun 1990 dan tahun 2018, pada pemetaan tahun 1990 menghasilkan *overall accuracy* mencapai 87.2% dan pada tahun 2018 menghasilkan *overall accuracy* mencapai 80.8%.

Hasil perbandingan di antara wilayah kajian oleh peneliti internasional memiliki tingkat akurasi secara umum lebih tinggi dibandingkan dengan peneliti lokal. Hasil penelitian mengenai MNDWI berdampak penting dalam pemantauan badan air secara khusus. MNDWI dapat memetakan kemungkinan luasan wilayah banjir berdasarkan data secara *historical* melalui data citra. Pemetaan MNDWI dapat menjadi acuan awal dalam tindakan dan usaha pada konservasi wilayah di Danau Rawa Pening. Permasalahan pada wilayah Danau juga harus tetap diperhatikan salah satunya permasalahan



pada fenomena overpopulasi vegetasi pada air yang berdampak buruk bagi danau yang dapat menyebabkan pendangkalan.

Fenomena overpopulasi tanaman pada badan air ini bisa menjadi permasalahan yang buruk bagi masyarakat. Fenomena tersebut secara ilmiah dinamakan dengan fenomena eutrofikasi, dimana permukaan badan air secara sebagian besar tertutup oleh vegetasi atau tanaman. Pemaparan oleh Bonifasius *et al.*, (2020) menjelaskan penyebab eutrofikasi ini disebabkan karena meningkatnya konsentrasi unsur hara yang terjadi pada ekosistem air. Pencemaran air berupa hasil buang pertanian seperti pupuk dan deterjen dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman air ini secara invasif. Permasalahan limbah pertanian dan dapur oleh Marlida (2020) dapat menjadi polutan penyebab eutrofikasi dan dapat beracun pada ekosistem akuatik.

Manajemen pengelolaan dan konservasi danau menjadi sangat penting, dimana Danau Rawa Pening merupakan danau yang menjadi salah satu tempat penyimpanan air utama oleh masyarakat Kabupaten Semarang. Permasalahan saat dilaksanakan observasi juga menunjukkan terkait bagaimana populasi eceng gondok telah menutupi sebagian wilayah pada badan air di danau tersebut. Perkembangbiakan eceng gondok ini perlu dimanfaatkan secara optimal untuk membantu mengurangi populasi eceng gondok yang terlalu berlebihan.

Pemulihan kembali fungsi danau dengan baik menjadi sangat penting dalam keberlanjutan danau tersebut sebagai penampung air dan sistem irigasi di wilayah tersebut. Penggunaan penataan ruang yang tepat menjadi sangat penting untuk menyelaraskan pemanfaatan dengan daya dukung lingkungan pada wilayah danau. Sesuai dengan tujuan penataan ruang yakni : (1) mewujudkan keselarasan lingkungan alam dan lingkungan buatan; (2) kesesuaian dalam penggunaan SDA dan sumber daya buatan dengan SDM; dan (3) mewujudkan perlindungan fungsi ruang dan mencegah dampak negatif terhadap lingkungan akibat pemanfaatan ruang (UU 26/2007 Pasal 3).

Kondisi kritis Danau Rawa Pening perlu untuk segera ditangani, penanganan yang tepat melalui perencanaan penataan ruang yang sesuai dapat meminimalisir kerugian yang diterima oleh masyarakat. Pemberdayaan perekonomian pada wilayah tetap bisa diberdayakan melalui arahan pengembangan pemanfaatan lainnya seperti lokasi wisata alam. Pemberdayaan lainnya juga bisa dapat berupa pemanfaatan wilayah perairan itu sendiri sebagai tambak dengan sistem keramba dan jaring.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini yakni berupa analisis lahan terdampak banjir dan resiko ancaman lahan tererosi oleh banjir. Hasil analisis menampilkan wilayah dengan potensi terendam banjir pada Danau Rawa Pening seluas 645 ha dengan hasil uji akurasi mencapai 87%. Hasil pemetaan pada penelitian ini bisa menjadi rekomendasi tambahan terkait tindakan penataan ruang pada wilayah yang memiliki potensi terendam banjir. Pengelolaan penataan ruang dapat dengan merubah fungsi lahan untuk menjadi wilayah zona terbatas pemanfaatannya sehingga daya dukung pada Danau Rawa Pening terhadap alam bisa stabil. Permasalahan lainnya terhadap sedimentasi juga harus dilaksanakan tindakan secara lebih lanjut oleh instansi terkait.

## REFERENSI

Ali, S. D., Hartono, H., & Danoedoro, P. (2021). Comparison of Various Spectral Indices for Optimum Extraction of Tropical Wetlands Using Landsat 8 OLI. *Indonesian Journal of Geography*, 53(2), 274-284.

Bonifasius, C., Rombang, J. R. J., & Kalangi, J. K. J. (2020). Peranan Penggunaan Lahan Di Area

- Tangkapan Sungai Tataaran Terhadap Eutrofikasi Danau Tondano. In *COCOS* (Vol. 2, No. 4).
- Deoli, V., Kumar, D., & Kuriqi, A. (2022). Detection of water spread area changes in eutrophic lake using Landsat data. *Sensors*, 22(18), 6827.
- Hidayah, E., Pranadiarso, T., Halik, G., Indarto, I., Lee, W. K., & Maruf, M. F. (2022). Flood mapping based on open-source remote sensing data using an efficient band combination system.
- Iglesias, A., & Garrote, L. (2015). Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural water management*, 155, 113-124.
- Jiang, W., Ni, Y., Pang, Z., Li, X., Ju, H., He, G., ... & Qin, X. (2021). An effective water body extraction method with new water index for Sentinel-2 imagery. *Water*, 13(12), 1647.
- Kalthar, J., & Itaya, A. (2020). Coastline changes and their effects on land use and cover in Subang, Indonesia. *Journal of Coastal Conservation*, 24(2), 16.
- Khalid, H. W., Khalil, R. M. Z., & Qureshi, M. A. (2021). Evaluating spectral indices for water bodies extraction in western Tibetan Plateau. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 619-634.
- Kurniawati, U. F., Handayani, K. D. M. E., Nurlaela, S., Idajati, H., Firmansyah, F., Pratomoadmojo, N. A., & Septriadi, R. S. (2020). Pengolahan data berbasis sistem informasi geografis (sig) untuk kebutuhan penyusunan profil di Kecamatan Sukolilo. *Sewagati*, 4(3), 190-196.
- Laonamsai, J., Julphunthong, P., Saprathet, T., Kimmany, B., Ganchanasuragit, T., Chomcheawchan, P., & Tomun, N. (2023). Utilizing NDWI, MNDWI, SAVI, WRI, and AWEI for Estimating Erosion and Deposition in Ping River in Thailand. *Hydrology*, 10(3), 70.
- Nugraha, P. V. N., Wibirama, S., & Hidayat, R. (2018). River body extraction and classification using enhanced models of modified normalized water difference index at Yeh Unda River Bali. In *2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)* (pp. 337-342). IEEE.
- Raharjo, S. A. S., Falah, F., & Cahyono, S. A. (2019). Germadan Rawa Pening: Tindakan Bersama Dalam Pengelolaan Common Pool Resources (Germadan Rawa Pening: Collective Action in Managing Common Pool Resources). *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Journal of Watershed Management Research)*, 3(1), 1-12.
- Republik Indonesia. (2007). Peraturan Pemerintah No. 26 Tahun 2007 Pasal 3 Tentang Penataan Ruang. Jakarta : Pemerintah Pusat.
- Sanjoto, T. B., Sidiq, W. A. B. N., & Nugraha, S. B. (2020). Land Cover Change Analysis To Sedimentation Rate Of Rawapening Lake. *GEOMATE Journal*, 18(70), 294-301.
- Sarp, G., & Ozcelik, M. (2017). Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey. *Journal of Taibah University for Science*, 11(3), 381-391.
- Xu, H. (2005): A Study on Information Extraction of Water Body with the Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI). *Journal of Remote Sensing*. 9: 589-595.