

KOMPARASI METODE NDWI DAN MNDWI PADA CITRA SATELIT SENTINEL-2A UNTUK MEMETAKAN LUAS DANAU SITU CIPONDOH

M Fikri Najam¹, Levana Apriani, S.T., M.T.², Denis S. Singawilastra, S.T., M.T.³

¹Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

^[2,3]Dosen Pembimbing Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

Abstract

Teknologi pemetaan saat ini mengalami kemajuan pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan data spasial yang cepat dan presisi, khususnya dalam pemantauan sumber daya air. Salah satu objek yang memerlukan pemantauan berkelanjutan adalah danau atau situ. Situ Cipondoh, yang terletak di Kota Tangerang, Provinsi Banten, Danau ini mengalami penyusutan luas dari 142 hektar menjadi 126,17 hektar, berdasarkan data BPS Kota Tangerang. Perubahan ini mendorong perlunya metode pemantauan yang cepat, presisi, dan dapat menjangkau area yang luas.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menerapkan indeks kebasahan yaitu perhitungan algoritma *Normalized Difference Water Index* (NDWI) dan *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI). Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi citra satelit Sentinel-2A dan data *Global Navigation Satellite System Real-time Kinematic* (GNSS RTK). Pengolahan citra dilakukan menggunakan perangkat lunak pengolahan citra satelit, untuk mengekstraksi area perairan. Sedangkan data GNSS RTK diolah menggunakan perangkat lunak pengolahan GNSS yang menghasilkan batas muka air danau yang digunakan sebagai data acuan untuk validasi spasial.

Pada hasil metode klasifikasi NDWI dan MNDWI, menunjukkan bahwa metode MNDWI memiliki akurasi yang lebih tinggi dibanding NDWI, dengan *overall accuracy* sebesar 88,33% dan nilai Kappa 0,76. MNDWI mampu mengurangi kesalahan klasifikasi pada area nonair seperti bangunan di daerah urban. Oleh karena itu, metode ini dinilai lebih efektif dalam mendeteksi luas Danau Situ Cipondoh dan mendukung pemantauan berkelanjutan.

Kata Kunci: Danau, Sentinel-2A, NDWI, MNDWI

Abstrak

Mapping technology has advanced rapidly in response to the growing demand for fast and precision spatial data, particularly in monitoring of water resources. One of the key objects requiring continuous observation is lakes or artificial lakes. Situ Cipondoh, located in Tangerang City, Banten Province, is an artificial lake that has experienced a reduction in surface area from 142 hectares to 126.17 hectares based on data from the Tangerang City Statistics Agency (Badan Pusat Statistik). This changes the highlights need for rapid, precision, and wide-reaching monitoring methods.

This study applies water index algorithms, called Normalized Difference Water Index (NDWI) and Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI). The data includes Sentinel-2A satellite imagery and Real-time Kinematic Global Navigation Satellite System (GNSS RTK) measurements. Satellite imagery was processed using image processing software to extract water surface areas, while GNSS RTK data were processed using GNSS software to produce the lake water boundaries, which served as reference data for spatial validation.

The classification results from both NDWI and MNDWI methods show that MNDWI provides higher accuracy, with an overall accuracy of 88.33% and a Kappa coefficient of 0.76. MNDWI is more effective in reducing misclassification in non-water areas, particularly urban structures. Therefore, this method is considered more effective in detecting the surface area of Situ Cipondoh and supports sustainable water resource monitoring.

Keywords: Lake, Sentinel-2A, NDWI, MNDWI.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pemetaan dewasa ini mengalami kemajuan yang pesat, menawarkan solusi inovatif untuk berbagai kebutuhan, khususnya dalam pemantauan sumber daya air. Salah satu objek penting yang memerlukan pemantauan berkelanjutan adalah danau atau situ. Situ Cipondoh, yang berlokasi di Kota Tangerang, Provinsi Banten, merupakan bendungan buatan yang dibangun oleh pemerintah kolonial Belanda pada tahun 1930-an. Awalnya berfungsi sebagai penampung air saat musim kemarau, Situ Cipondoh kini memiliki peran krusial sebagai pengendali banjir pada musim hujan (Andawayati, 2019).

Seiring berjalannya waktu, perubahan fungsi dan kondisi lingkungan telah menyebabkan fluktuasi pada luas area danau terutama pada muka air yang tertampung. Berdasarkan data dari BPS Kota Tangerang, luas Danau Cipondoh telah mengalami penyusutan dari 142 hektar menjadi 126,17 hektar. Pemantaua luas area danau secara berkala sangatlah penting untuk manajemen sumber daya air. Namun, pemetaan area yang luas dengan metode topografi konvensional seringkali menghadapi kendala seperti wilayah yang luas, sulit diakses, serta memerlukan waktu dan biaya yang tidak sedikit. Selain itu, kondisi cuaca yang tidak menentu dapat menghambat proses survei lapangan. Padahal, data spasial terkait luas danau sangat dibutuhkan secara cepat dan presisi guna mendukung pemantauan berkelanjutan.

Teknologi penginderaan jauh menjadi alternatif yang efektif dan efisien dalam proses pemetaan, karena mampu memperoleh data secara cepat, menjangkau area yang sulit diakses tanpa perlu kontak langsung, serta relatif tidak terpengaruh oleh kondisi cuaca. Salah satu data penginderaan jauh yang banyak dimanfaatkan adalah citra satelit Sentinel-2A, yang memiliki berbagai kanal (band) spektral untuk merekam pantulan objek di permukaan bumi. Untuk mengidentifikasi objek tertentu, kanal band ini dapat dikombinasikan melalui penerapan algoritma tertentu yang dikenal sebagai spectral indices. Salah satu metode yang umum digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan air di permukaan bumi adalah dengan menerapkan *algoritma Normalized Difference Water Index* (NDWI) dan *Modified Normalized Difference Water Index* (MNDWI).

NDWI dikembangkan oleh McFeeters (1996) dengan memanfaatkan kanal hijau (*Green*) dan inframerah dekat (*Near-Infrared/NIR*) untuk membedakan antara objek air dan

nonair. Algoritma ini kemudian disempurnakan oleh Xu (2006) melalui pengembangan MNDWI, yang menggantikan kanal NIR dengan kanal inframerah menengah (*Mid-Infrared/MIR* atau *Short-Wave Infrared/SWIR*). Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan dalam mendeteksi objek air, khususnya di area perkotaan atau wilayah dengan pantulan tinggi.

Menurut Xu (2006) dan Ji et al. (2012), penentuan nilai ambang (*threshold*) sangat krusial dalam proses klasifikasi genangan air. Hal ini disebabkan oleh adanya variasi kondisi citra dan dinamika lapangan yang berbeda-beda pada tiap lokasi dan waktu pengambilan data. Oleh karena itu, proses validasi melalui uji akurasi menjadi langkah penting untuk mengevaluasi sejauh mana hasil pengolahan citra satelit dapat merepresentasikan kondisi nyata di lapangan (Pranadiarso dkk., 2022).

Untuk memvalidasi data penginderaan jauh dibutuhkan data dengan ketelitian tinggi maka digunakan data pengukuran luas dengan *Global Navigation Satellite System Real-time Kinematic* (GNSS RTK). Dengan membandingkan metode NDWI dan MNDWI, serta didukung oleh data pengukuran luas dengan GNSS, dapat diperoleh gambaran yang lebih menyeluruh mengenai hasil nilai ambang batas genangan, uji akurasi, dan perhitungan luasan. Pendekatan terpadu ini dinilai mampu meningkatkan akurasi pemantauan sekaligus memberikan informasi awal secara cepat dan presisi dalam pengambilan kebijakan berbasis data untuk pengelolaan sumber daya air danau secara berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif yang berfokus pada mengumpulkan, mengolah, dan menganalisis serta menginterpretasikan informasi. Pada penelitian ini digunakan beberapa tahapan metode dalam pengolahan data untuk menghasilkan informasi. Tahapan tersebut antara lain pengumpulan data, metode dalam pengolahan data, dan metode dalam analisis hasil.

Berikut ini merupakan tahapan atau proses pengolahan data yang telah dilakukan selama penelitian ini berlangsung.

1. Data pengukuran luas Danau Situ Cipondoh menggunakan GNSS diakuisisi pada tanggal 7 Juli 2023 hingga 25 Juli 2023. Akuisisi data ini dilaksanakan selama periode awal musim kemarau dengan intensitas hujan rendah. Data hasil pengukuran GNSS diunduh dan selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak pengolahan GNSS. Tahapan pengolahan meliputi pengolahan data GNSS Statik, data RTK, dan digitalisasi serta deliniasi batas muka air danau berdasarkan hasil interpretasi. Setelah batas muka air terdefinisi dengan jelas, dilakukan perhitungan luas area tersebut. Hasil pengolahan kemudian dikonversi ke dalam format *shapefile* untuk keperluan analisis lebih lanjut.
2. Citra Sentinel-2A yang sudah terkoreksi geometrik dan radiometrik diakuisisi pada tanggal 23 Juli 2023 pada periode awal musim kemarau. Pengolahan citra satelit Sentinel-2A dilakukan dengan tahapan pemilihan band yang digunakan yaitu *band 3 (Green)*, *Band 8 (NIR)* dan *Band 11 (SWIR)*. Penerapan algoritma NDWI dan MNDWI melalui perangkat lunak pengolahan citra. Setelah itu, dilakukan ekstraksi data untuk digunakan dalam tahapan visualisasi data. Visualisasi data dilakukan melalui perangkat lunak *Microsoft Excel* dan pengolahan citra. Ekstraksi data juga dilakukan untuk mengetahui nilai ambang (*threshold*) yang digunakan dalam

membedakan objek area tergenang dan tidak tergenang dan jumlah piksel dari setiap kelas. Penentuan nilai ambang dilakukan secara manual dengan perangkat lunak pengolahan citra. Sementara itu, uji akurasi point dilakukan dengan random sampling dan uji akurasi klasifikasi menggunakan matriks konfusi melalui perangkat lunak pengolahan citra

Pada tahapan analiasi data, dilakukan penentuan nilai ambang batas untuk mengidentifikasi titik pemisah yang mewakili antara kelas nonair dan air, dari uji akurasi matriks konfusi untuk menganalisis tingkat keakuratan klasifikasi citra dari kedua metode, kemudian dilakukan analisis perbandingan luas dari NDWI dan MNDWI dengan data referensi luas GNSS untuk merepresentasi metode yang paling presisi dalam mendeteksi danau secara spassial

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Nilai Ambang batas Metode NDWI dan MNDWI

Nilai ambang batas ditentukan berdasarkan analisis distribusi dari nilai indeks yang dihasilkan oleh metode NDWI dan MNDWI. Dari nilai indeks ini akan digunakan untuk mengidentifikasi titik pemisah yang mewakili antara kelas nonair dan air. Untuk hasil dan pembahasan disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Nilai Ambang NDWI dan MNDWI

Keterangan	Nilai	Metode
NDWI Nongenangan Air	-0.617315233- -0.184394433	Natural Breaks
NDWI Genangan Air	-0.184394433- 0.128595606	Natural Breaks
MNDWI Nongenangan Air	-0.448425621- -0.076961482	Natural Breaks
MNDWI Genangan Air	-0.076961482- 0.200364485	Natural Breaks

Pada Tabel 1 menjelaskan metode NDWI memiliki nilai ambang batas -0.617315233 sampai dengan -0.184394433 dan -0.184394433 sampai dengan 0.128595606 dimana objek genangan air tidak dapat diidentifikasi bila nilainya dibawah -0.184394433 dan objek genangan air dapat diidentifikasi bila nilainya diatas -0.184394433. Sedangkan, MNDWI memiliki nilai ambang batas -0.448425621 sampai dengan -0.076961482 dan -0.076961482 sampai dengan 0.200364485 dimana objek genangan air tidak dapat diidentifikasi bila nilainya dibawah -0.076961482 dan objek genangan air dapat diidentifikasi bila nilainya diatas -0.076961482.

Hasil Uji Akurtasi Matriks Konfusi NDWI

Berdasarkan hasil reklasifikasi NDWI, dilakukan perbandingan dengan titik uji berdasarkan citra referensi yang telah ditentukan. Hasilnya untuk kelas nongenangan terdapat 5 titik sampel yang tidak terklasifikasi dari total 30 sampel. Sedangkan kelas genangan terdapat 3 titik sampel yang tidak terklasifikasi dari total 30 sampel.

Tabel 2. Uji akurasi Matriks Konfusi NDWI

NDWI				
Kelas	Klasifikasi		Total	<i>User Accuracy</i>
	Nongenangan	Genangan		
Nongenangan	25	5	30	83.3333%
Genangan	3	27	30	90%
Total	28	32	60	
<i>Producer Accuracy</i>	89.2857%	84.3750%		
<i>Overall Accuracy</i>	86.6667%			
Nilai Kappa	0.733333 (73.3333%)			

Pada Tabel 2 menjelaskan hasil dari nilai akurasi pengguna sebesar 83.33% untuk nongenangan dan 90% untuk genangan, akurasi produser sebesar 89.28% untuk nongenangan dan 84.37% untuk genangan, akurasi keseluruhan sebesar 86,67% dengan nilai Kappa sebesar 73,33%. Berdasarkan klasifikasi akurasi menurut nilai Kappa, seluruh hasil klasifikasi citra termasuk dalam kategori akurasi yang tinggi, karena nilai Kappa berada di atas 60%.

Hasil Uji Akurasi Matriks Konfusi MNDWI

Berdasarkan hasil reklasifikasi MNDWI, dilakukan perbandingan dengan titik uji berdasarkan citra referensi yang telah ditentukan. Hasilnya untuk kelas nongenangan terdapat 6 titik sampel yang tidak terklasifikasi dari total 30 sampel. Sedangkan kelas genangan terdapat 1 titik sampel yang tidak terklasifikasi dari total 30 sampel.

Tabel 3. Uji akurasi Matriks Konfusi MNDWI

MNDWI				
Kelas	Klasifikasi		Total	<i>User Accuracy</i>
	Nongenangan	Genangan		
Nongenangan	24	6	30	80%
Genangan	1	29	30	96.6667%
Total	25	35	60	
<i>Producer Accuracy</i>	96%	82.8571%		
<i>Overall Accuracy</i>	88.3333%			
Nilai Kappa	0.766667 (76.6667%)			

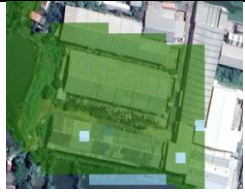
Pada Tabel 3 menjelaskan hasil dari nilai akurasi pengguna sebesar 80% untuk nongenangan dan 96.66% untuk genangan, akurasi produser sebesar 96% untuk nongenangan dan 82.85% untuk genangan, akurasi keseluruhan sebesar 88,33% dengan nilai Kappa sebesar 76,66%. Khusus untuk metode MNDWI, akurasi keseluruhan dan nilai Kappa yang melebihi 75% mengindikasikan bahwa hasil klasifikasi tergolong layak untuk digunakan, sesuai dengan pedoman LAPAN (2015).

Perbandingan Akurasi pada NDWI dan MNDWI

Perbandingan akurasi antar metode menunjukkan bahwa citra yang diproses menggunakan metode MNDWI memberikan hasil paling optimal dalam pemetaan genangan air danau. Perbedaan tingkat akurasi yang terjadi mengindikasikan adanya potensi kesalahan dalam proses pengelompokan sampel, yang disebabkan oleh

ketidaksesuaian antara hasil klasifikasi dengan kondisi aktual di lapangan. Ketidaksesuaian ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh perbedaan algoritma pengolahan antara NDWI dan MNDWI.

Tabel 4. Perbedaan Akurasi pada NDWI dan MNDWI

OBJEK		NDWI	MNDWI
Bangunan			
			

Berdasarkan hasil pada tabel 4 diatas, terlihat bahwa metode NDWI cenderung mengklasifikasikan objek bangunan sebagai area genangan air. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan NDWI dalam membedakan antara area terbangun dan badan air, karena keduanya dapat memiliki nilai indeks yang serupa. Pada NDWI, objek terbangun menghasilkan nilai positif yang menyerupai nilai dari objek air, karena reflektansi pada *band* NIR lebih rendah dibandingkan dengan *band* Green. Sedangkan metode MNDWI yang memanfaatkan *band* Green dan *band* SWIR memiliki reflektansi yang lebih tinggi. *Band* Green berfungsi untuk meningkatkan pantulan cahaya dari objek air, sedangkan *band* SWIR memiliki karakteristik penyerapan tinggi terhadap objek air. Dengan pendekatan ini, objek bangunan pada MNDWI umumnya menghasilkan nilai negatif, sehingga dapat dengan jelas dibedakan dari objek air dengan nonair.

Secara umum, kesalahan klasifikasi pada NDWI terjadi karena *band* NIR lebih responsif terhadap objek yang memantulkan cahaya, seperti bangunan. Sebaliknya, MNDWI lebih akurat dalam mengidentifikasi badan air karena *band* SWIR lebih sensitif terhadap objek yang menyerap cahaya, seperti air.

Hasil Validasi dengan Data pengukuran Luas GNSS

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi luas badan air menggunakan dua metode indeks, yaitu NDWI dan MNDWI terhadap referensi dari data pengukuran luas dengan GNSS. Proses perhitungan luas diawali dengan mengalikan ukuran piksel citra satelit dengan jumlah piksel yang termasuk ke dalam kelas genangan. Perhitungan ini menghasilkan estimasi luas wilayah genangan air yang terdeteksi dari masing-masing metode.

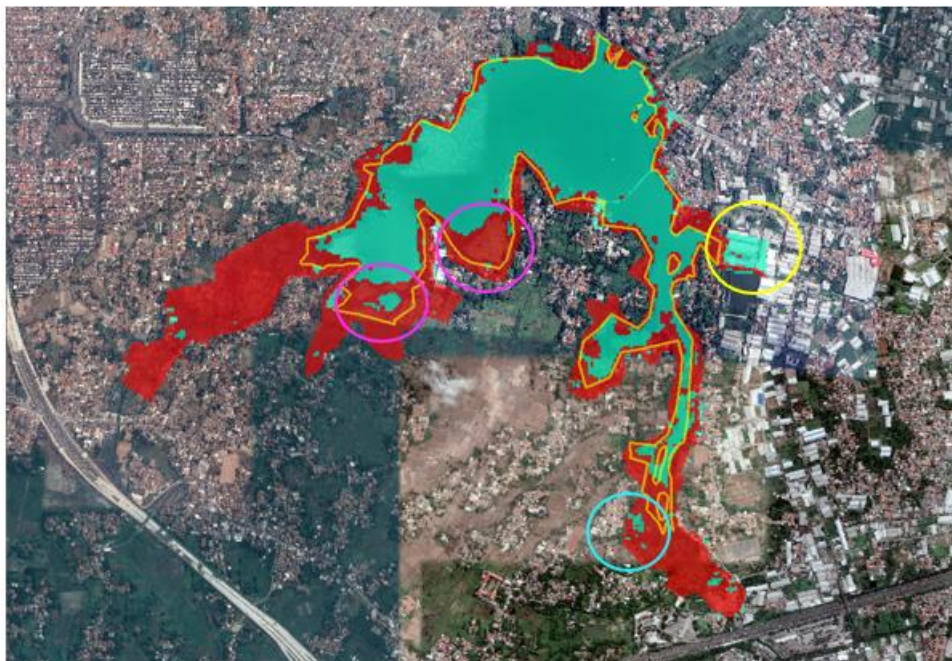
Tabel 5. Hasil Perbandingan Luas Area

Tabel Luas Area						
Metode	Klasifikasi	Ukuran Piksel (m ²)	Jumlah Piksel	Total (Ha)	Selisih Luas (Ha)	Persentase mendekati acuan (%)
NDWI	Genangan	100	6851	68,51	12,07	85,02
MNDWI	Genangan	100	6474	64,74	15,84	80,34
Luas Acuan GNSS	Muka Air		80,58 Ha			

Pada tabel 5 dijelaskan perbandingan antara hasil identifikasi muka air dengan data referensi genangan menunjukkan metode NDWI memiliki selisih luas sebesar 12,07 hektar atau persentase mendakati luas acuan yaitu 85,02% sedangkan metode MNDWI memiliki selisih luas sebesar 15,84 hektar atau persentase mendakati luas acuan yaitu 80,34%. Dengan demikian, metode NDWI memiliki tingkat kedekatan yang lebih tinggi terhadap data acuan.

Hasil *Overlay* Data Pengukuran Luas dengan GNSS

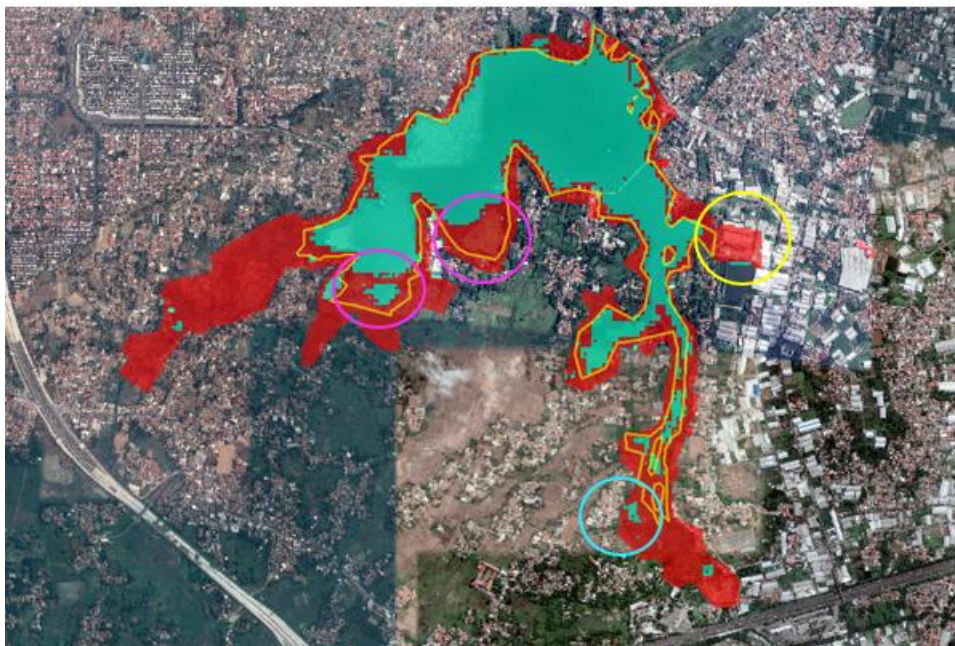
Untuk mengevaluasi tingkat akurasi hasil estimasi tersebut, dilakukan proses *overlay* terhadap data referensi berupa citra Satelit Setinel-2A. Perbandingan ini bertujuan untuk menguji sejauh mana hasil klasifikasi citra mendekati kondisi sebenarnya di lapangan, serta menjadi dasar untuk menilai keandalan metode NDWI dan MNDWI dalam memetakan genangan air.



Gambar 1. Hasil Overlay NDWI dengan Acuan Pengukuran Area Danau

Gambar 1 menjelaskan hasil *overlay* NDWI menunjukkan masih terdapat hasil klasifikasi yang tidak sesuai. Kondisi ini mengakibatkan terjadinya overestimasi terhadap luas area

tergenang. Kesalahan klasifikasi semacam ini menunjukkan keterbatasan metode NDWI dalam membedakan air dari objek lain yang memiliki karakteristik spektral serupa, terutama di lingkungan perkotaan yang kompleks.



Gambar 2. Hasil *overlay* MNDWI dengan Acuan Pengukuran Area Danau

Gambar 2 menjelaskan hasil *overlay* MNDWI juga menunjukkan masih terdapat hasil klasifikasi yang tidak sesuai terutama pada daerah vegetasi air (lingkaran warna ungu) dan terjadi overestimasi terhadap luas area tergenang (lingkaran warna biru). Kesalahan klasifikasi semacam ini juga menunjukkan keterbatasan metode MNDWI dalam membedakan air dari objek lain yang memiliki karakteristik spektral serupa. dari hasil *overlay* NDWI dan MNDWI di atas, terdapat sejumlah objek yang salah diklasifikasikan, terutama pada area yang memiliki karakteristik menyerupai badan air, seperti yang telah ditandai dengan lingkaran. Kesalahan ini mengakibatkan beberapa piksel nonair terdeteksi sebagai badan air, sehingga memengaruhi tingkat akurasi hasil klasifikasi. Untuk lebih rincinya hasil *overlay* yang telah ditandai dengan lingkaran disajikan dengan tabel 6 seperti berikut:

Tabel 6. Keterrangan Hasil *Overlay*

Warna	Keterangan	Gambar
Lingkaran kuning	Bangunan	

Tabel 7. Keterangan Hasil *Overlay* (Lanjutan)

Warna	Keterangan	Gambar
Lingkaran ungu	Vegetasi Air	
Lingkaran biru	Daerah yang rendah mengakibatkan adanya genangan air	

Tabel 6 dan 7 menjelaskan hasil *overlay* menggunakan metode NDWI menunjukkan adanya selisih luas antara hasil identifikasi muka air dengan data referensi genangan yang dijelaskan pada tabel 5. Dengan demikian, metode NDWI memiliki tingkat kedekatan yang lebih tinggi terhadap data acuan. Namun demikian, perlu dicermati bahwa masih terdapat sejumlah piksel raster yang terklasifikasi sebagai area tergenang, padahal secara nyata bukan merupakan genangan. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan metode NDWI dalam membedakan antara permukaan terbangun dan badan air, mengingat keduanya dapat menghasilkan nilai indeks yang serupa contohnya area bangunan. Oleh karena itu, diperlukan proses penyaringan atau seleksi ulang terhadap hasil klasifikasi data raster guna meningkatkan akurasi. Selain itu, ditemukan juga piksel raster yang terklasifikasi sebagai nonair baik NDWI dan MNDWI, padahal seharusnya merupakan area tergenang, seperti pada area dengan vegetasi air. Sehingga metode NDWI kurang cocok diterapkan di daerah urban atau daerah perkotaan sedangkan MNDWI lebih cocok digunakan di daerah urban atau daerah perkotaan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, nilai ambang pada NDWI adalah -0.184394433, sedangkan pada NDWI adalah -0.076961482. Sehingga yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap keberadaan air adalah metode MNDWI.

Hasil uji akurasi menunjukkan bahwa metode NDWI menghasilkan akurasi keseluruhan

sebesar 86,67% dengan nilai Kappa sebesar 73,33%. Sementara itu, metode MNDWI memberikan akurasi keseluruhan yang lebih tinggi, yaitu sebesar 88,33% dengan nilai Kappa mencapai 76,67%. Metode yang memiliki standar akurasi kappa yang baik yang telah ditetapkan adalah MNDWI dengan nilai 0.766667 atau 76.66%.

Hasil perbandingan antara hasil identifikasi muka air dengan data referensi genangan menunjukkan metode NDWI memiliki selisih luas sebesar 12,07 hektar sedangkan metode MNDWI memiliki selisih luas sebesar 15,84 hektar. Dengan demikian, metode NDWI memiliki tingkat kedekatan yang lebih tinggi terhadap data acuan.

5. SARAN

Terdapat keterbatasan dalam memetakan genangan air, dimana objek yang memiliki pantulan cahaya yang lebih terang seperti bangunan atau di daerah urban dan terdapat awan akan terekam sebagai objek genangan pada NDWI sedangkan MNDWI objek bayangan yang ditimbulkan oleh bangunan tinggi dan awan tidak ikut terekam sebagai genangan. Oleh sebab itu, dalam melakukan pemetaan genangan menggunakan kedua metode tersebut, harap dipastikan terlebih dahulu bahwa citra satelit yang digunakan memiliki tutupan awan yang rendah, idealnya kurang dari 10%, atau maksimal 10–20%. Hal ini penting untuk meminimalkan gangguan visual dan spektral akibat keberadaan awan.

Akuisisi data citra satelit sebaiknya dilakukan pada waktu siang hari untuk menghindari potensi kesalahan interpretasi yang disebabkan oleh bayangan atau distorsi dari objek-objek tinggi, seperti gedung dan vegetasi lebat, sehingga akurasi hasil klasifikasi dapat lebih terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2007). *Modul-3: GPS Positioning. Bahan Ajar Kuliah*. Jurusan Teknik Geodesi, Institut Teknologi Bandung.
- Abidin, H. Z. (2021). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Institut Teknologi Bandung.
- Abidin, H. Z., dkk (2023). *Survey dengan GPS*. Cetakan II. Institut Teknologi Bandung.
- Adry, R. (2009). *Evaluasi Perubahan Garis Pantai dan Tutupan Lahan Kawasan Pesisir Surabaya dan Sidoarjo*. Surabaya: Teknik Geodesi FTSP-ITS.
- Afandi, M. (2013). *Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Menggunakan Citra Satelit Landsat di Wilayah Perkotaan*. Jurnal Ilmiah Geomatika, Vol. 19 (2), 111–122.
- Andawayati, U. (2019). *Pengelolaan DAS Terintegrasi*. Malang: UB Press.
- Arikunto. (2013). *Prosedur penelitian: Teknik penelitian data*. Jakarta.
- Bernhardsen, T. (2002). *Geographic Information Systems: An Introduction, 3rd. Edition*. John Wiley & Sons Ltd. Canada.
- Bernhardsen. (1992). *Sejarah Sistem Informasi Geografi*. Yogyakarta: Informatika.
- Bolstad, P. (2016). *GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems* (5th ed.). XanEdu Publishing.
- BPS Kota Tangerang. *Tabel data danau di Kota Tangerang, Data Series 2014-2018*.
- Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press.
- Chang, K. T. (2015). *Introduction to Geographic Information Systems* (8th ed.). McGraw-Hill Education.

- Earth ESA. (2020). *msi-instrument*.
<https://web.archive.org/web/20201017053209/https://earth.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument#expand>.
- ESA Events (2015). *Sentinel-2A satellite - CSG - Carefully aligning the satellite to the adapter*. https://www.flickr.com/photos/esa_events/18604624021/.
- ESA Standard Document (2015). *Sentinel-2 User Handbook*. Rev. 2 No. 38. Paris
- ESA, Copernicus Sentinel-2A (2016). *Central District, Botswana, by Copernicus Sentinel-2Asatellite*.
http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2017/03/Central_District_Botswana
- European Space Agency (ESA) 2021. *Gearing up for third Sentinel-2 satellite*.
https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Gearing_up_for_third_Sentinel-2_satellite.
- Gao, B.C. 1996. “*NDWI a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space*”. *Remote Sensing of Environment*, 58:257-266.
- Gottfried Konecny (2014). *Remote Sensing*. CRC Press. 2014-04-23. hlm. 55–178. ISBN 978-0-429-16248-0.
- Guntara. (2013). *Pengertian Overlay Dalam Sistem Informasi Geografi -Guntara.com*.
<https://www.guntara.com/2013/01/pengertian-overlay-dalam-sistem.html>.
- Hanindito, G. A., Sedyono, E., & Setiawan, A. (2014). *Analisis pantauan dan klasifikasi citra digital pengindeksan jauh dengan data satelit landasat melalui teknik Supervised Classification* (studi kasus kabupaten minahasa tenggara, provinsi sulawesi utara). 8(1), 242–243.
- Henry, F., Herwindiati, D. E., Mulyono, S., & Hendryli, J. (2017). *Sugarcane Land Classification with Satellite Imagery Using Logistic Regression Model*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 185(1), 1—6.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/185/1/012024>.
- Ji, L., Zhang, L., & Wylie, B. (2009). *Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index*. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(11), 1307-1317.
- Lapan. (2015). *Pedoman Pengolahan Data Satelit Multispektral Secara Digital Supervised Untuk Klasifikasi*. Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh. Jakarta.
- Lestari, M., Yulianto Joko Prasetyo, S., & Fibriani, C. (2021). *Analisis Daerah Rawan Banjir Pada Daerah Aliran Sungai Tuntang Menggunakan Skoring dan Inverse Distance Weighted*. *Indonesian Journal of Computing and Modeling*, 4(1), 1–9.
- Li, H. T., Gu, H.Y., Han, Y. S., Yang, J. H., (2008). *Object-oriented Classification of Polarimetric SAR Imagery based on Statistical Region Merging and Support Vector Machine*. *International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications*.
- Li, M., Zang, S., Zhang, B., Li, S., dan Wu, C. (2014). *A Review of Remote Sensing Image Classification Techniques: the Role of Spatio-contextual Information*. *European Journal of Remote Sensing* -2014, 47: 389-411.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. and Chipman, J.W. (2001). *Remote Sensing and Image Interpretation*. 5th Edition. John Wiley & Sons. New York.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. and Chipman, J.W. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation*. 5th Edition. John Wiley & Sons. New York.
- Lillesand, Thomas M., Ralph W. Kiefer. (1979). *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Dulbahri, dkk. Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.

- McFeeters, S. K. (1996). *The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features*. International Journal of Remote Sensing, 17(7), 1425–1432.
- McFeeters, S. K. 2013. “*Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a Geographic Information System to Detect Swimming Pools for Mosquito Abatement: A Practical Approach*”. Remote Sensing, 5(7), pp. 3544–3561. doi: 10.3390/rs5073544.
- Odijk, D. And L. Wanninger (2017). *Differential Positioning, in springer handbook of Global Navigation Satellite System*, by Teunissen, P.J.G. and O. Montenbruck (Eds). Springer Internasional Publishing AG 2017, ISBN: 978-3-319-42926-7, pp.753-780.
- Parsa, M. I. 2013. *Optimalisasi Parameter Segmentasi Untuk Pemetaan Lahan Sawah Menggunakan Citra Satelit Landsat (Studi Kasus Padang Pariaman, Sumatera Barat dan Tanggamus, Lampung)*. Jurnal Penginderaan Jauh.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Rerumahan Rakyat No. 28 Tahun 2015. *Tentang Penetapan Garis Sempadan Sungai Dan Garis Sempadan Danau*. Jakarta.
- Pranadiarso, T., Hidayah, E., & Halik, G. (2022). *Pemetaan Cepat Genangan Banjir Menggunakan Teknologi Remote Sensing*. Jurnal Rekayasa Sipil, 16(2), 132—141.
- Priyono. (2008). *Metode Penelitian Kuantitatif*. Sidoarjo: Zifatama Publishing.
- Projo. (2012). *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta.
- Sentiwiki Copernicus (2025). *Overview of Sentinel-2 Mission*. <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-mission>.
- Sutanto. (1992). *Penginderaan Jauh Jilid 1*, Jakarta.
- Suwarsono, Nugroho, J. T., dan Wiweka. (2013). “*Identification of inundated area using normalized difference water index (NDWI) on lowland region of java island*”. 34th Asian Conference on Remote Sensing 2013, ACRS 2013, 4(2), pp. 3783–3789.
- Upadhyay, Pragati & Gupta, Sudha. (2012). *Introduction To Satellite Imaging Technology and Creating Images Using Raw Data Obtained from Landsat Satellite*. 1. 41-45.
- Wiweka, Parwati, E., Prayogo, T., Marini, Y., & Budiman, S. (2014). *Uji Akurasi Training Sample untuk Klasifikasi Terawasi Data Penginderaan Jauh Resolusi Menengah*. Semin. Nas. IDEC 2014, 559-566.
- Xie, Y., Sha, Z., & Yu, M. (2008). *Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review*. Journal of Plant Ecology, 1(1), 9-23.
- Xu, H. (2006). *Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery*. International Journal of Remote Sensing, 27(4), 3025-3033.
- Zhou, W., Troy, A., dan Grove, M. (2008). *Object-based Land Cover Classification and Change Analysis in the Baltimore Metropolitan Area Using Multitemporal High Resolution Remote Sensing Data*. Sensors, 8: 1613–1636.