



Jurnal Ekspos

Badan Perencanaan Pembangunan, Riset, dan Inovasi Daerah
Kabupaten Kudus



Penerapan Data Citra Satelit Landsat-9 Dalam Mendeteksi Genangan Banjir di Kabupaten Kudus Tahun 2023

Izzuddin Muhammad^{1✉}, Muhammad Rizki Ubaidillah Saputra²

^{1,2}Departemen Geografi, Fakultas Ilmu Sosial Dan Ilmu Politik, Universitas Negeri Semarang

✉izzuddinmuhammad53@gmail.com

Info Artikel

Riwayat:

Diterima :

Direvisi :

Disetujui :

ABSTRAK

Penelitian ini membandingkan NDWI dan MNDWI pada citra Landsat-9 untuk memetakan genangan banjir Kabupaten Kudus pada Januari-Februari 2023. Citra Top of Atmosphere Reflectance diolah melalui Google Earth Engine, Fiji ImageJ, dan QGIS; ambang NDWI ditentukan dengan Otsu, sedangkan MNDWI menggunakan Natural Breaks. Akurasi dievaluasi dengan confusion matrix. Luas genangan Januari mencapai 43,77 km² (NDWI) dan 78,15 km² (MNDWI), lalu meningkat pada Februari menjadi 60,99 km² (NDWI) dan 90,45 km² (MNDWI). Kappa tertinggi diperoleh MNDWI pada Januari (0,90) dan NDWI pada Februari (0,97), menunjukkan bahwa keunggulan indeks bergantung pada kondisi citra. Undaan konsisten menempati peringkat pertama luas genangan pada kedua indeks. Hasil dapat mendukung pemutakhiran kajian risiko, prioritas penanganan Undaan, dan penilaian dampak pertanian. Namun, metadata scene, sumber data acuan, cloud masking, dan validasi lapangan perlu dilengkapi sebelum hasil digunakan sebagai peta operasional.

Kata kunci: Landsat-9; NDWI; MNDWI; genangan banjir; penginderaan jauh.

ABSTRACT

This study compares NDWI and MNDWI applied to Landsat-9 imagery for mapping flood inundation in Kudus Regency during January-February 2023. Top of Atmosphere Reflectance imagery was processed using Google Earth Engine, Fiji ImageJ, and QGIS; NDWI thresholds were derived with Otsu, while MNDWI used Natural Breaks. Accuracy was evaluated using confusion matrices. Inundated areas in January reached 43.77 km² (NDWI) and 78.15 km² (MNDWI), increasing in February to 60.99 km² (NDWI) and 90.45 km² (MNDWI). The highest Kappa was obtained by MNDWI in January (0.90) and NDWI in February (0.97), indicating that index performance depends on image conditions. Undaan consistently ranked first under both indices. The results can support risk-assessment updates, intervention prioritization in Undaan, and agricultural impact assessment. Scene metadata, reference data, cloud masking, and field validation must nevertheless be completed before operational use.

Keywords: Landsat-9; NDWI; MNDWI; flood inundation; remote sensing.

ISSN 3110-570X (Print)

ISSN 3110-4932 (Online)

PENDAHULUAN

Salah satu indikator utama perubahan iklim adalah terjadinya musim hujan yang berkepanjangan, yang ditandai dengan peningkatan intensitas curah hujan dan total presipitasi. Intensitas dan volume curah hujan yang tinggi sering kali memicu bencana alam, khususnya banjir dan tanah longsor. Pada awal tahun 2023, Kabupaten Kudus mengalami peristiwa banjir parah yang menggenangi puluhan desa di lima kecamatan. Faktor utama yang berkontribusi terhadap banjir tersebut meliputi tingkat presipitasi yang tinggi serta kondisi topografi wilayah. Dampak banjir dapat diperparah oleh aktivitas antropogenik, terutama perubahan penggunaan lahan yang mengubah kawasan bervegetasi menjadi lahan terbangun (Lestari et al., 2021). Konversi lahan tersebut mengurangi fungsi ekologis tanah dalam menyerap dan menahan air, sehingga curah hujan dengan cepat berubah menjadi limpasan permukaan alih-alih diintersepsi oleh vegetasi. Jika perubahan penggunaan lahan ini tidak dikelola dengan baik, risiko potensi bencana banjir akan meningkat secara signifikan di masa depan.

Manajemen bencana banjir dilakukan melalui beberapa tahapan mitigasi, yaitu kesiapsiagaan pra-bencana, tanggap darurat, dan pemulihan pasca-bencana (Bria et al., 2025). Tahap pra-bencana mencakup kegiatan perencanaan seperti analisis risiko bencana yang dapat dilakukan melalui pemetaan spasial wilayah studi. Dalam beberapa tahun terakhir, kemajuan teknologi pemetaan telah berkembang pesat, menyediakan berbagai media dan sumber data untuk mendukung pemetaan bencana, salah satunya adalah citra satelit penginderaan jauh (Pranadiarso et al., 2022). Citra penginderaan jauh terdiri dari beberapa saluran (band) spektral dengan panjang gelombang tertentu yang menangkap karakteristik reflektansi permukaan objek di bumi. Untuk mengidentifikasi objek permukaan tertentu, saluran spektral ini dapat dikombinasikan menggunakan algoritma yang dikenal sebagai indeks spektral. Di antara indeks yang paling banyak diterapkan untuk deteksi air permukaan adalah *Normalized Difference Water Index (NDWI)* dan *Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)*. NDWI dikembangkan oleh McFeeters (1996) menggunakan saluran hijau (*green*) dan inframerah dekat (*near-infrared/NIR*) untuk membedakan fitur air dan non-air. Sementara itu, MNDWI yang diusulkan oleh Xu (2006) merupakan versi pengembangan dari NDWI yang mengganti saluran NIR dengan saluran inframerah tengah atau inframerah gelombang pendek (*MIR/SWIR*) untuk meningkatkan ekstraksi fitur air. Studi sebelumnya menekankan pentingnya menentukan nilai ambang batas (*threshold*) yang tepat untuk setiap algoritma karena variasi kondisi citra satelit dan dinamika lapangan (Xu, 2006). Selain itu, uji akurasi juga sangat penting untuk mengevaluasi keandalan dan validitas hasil pengolahan citra (Pranadiarso et al., 2022).

Pemetaan genangan banjir menggunakan algoritma NDWI dan MNDWI telah banyak dilakukan dalam penelitian sebelumnya. Rahman et al (2023) berhasil mengidentifikasi luasan genangan banjir rob di Kota Semarang pada tahun 2022 dengan menggunakan algoritma NDWI. Di sisi lain, penelitian Ounrit et al. (2022) mengevaluasi deteksi genangan banjir menggunakan NDWI dan MNDWI di Thailand dan menemukan bahwa NDWI mengungguli MNDWI dalam memetakan genangan banjir. Lebih lanjut, Pranadiarso et al. (2022) menguji penerapan NDWI dan MNDWI untuk pemetaan genangan banjir cepat dan menunjukkan bahwa MNDWI memberikan akurasi yang lebih tinggi dan pemrosesan yang lebih cepat dalam mengidentifikasi area banjir, sembari menekankan peran kritis pemilihan ambang batas dan uji akurasi dalam alur kerja pemetaan banjir.

Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini bertujuan memetakan genangan banjir Kabupaten Kudus pada Januari-Februari 2023 serta membandingkan kinerja NDWI dan MNDWI. Pertanyaan penelitian dirumuskan sebagai berikut: (1) berapa nilai ambang, akurasi, dan luas genangan yang dihasilkan masing-masing indeks; (2) apakah keunggulan NDWI atau MNDWI konsisten pada dua waktu perekaman; dan (3) kecamatan mana yang menjadi prioritas penanganan berdasarkan hasil kedua indeks? Peta genangan diharapkan mendukung pemutakhiran kajian risiko dan rencana kontingensi BPBD, penajaman zona rawan dalam penataan ruang, tanggap darurat, serta penilaian kerusakan dan kerugian pascabencana.

TINJAUAN PUSTAKA

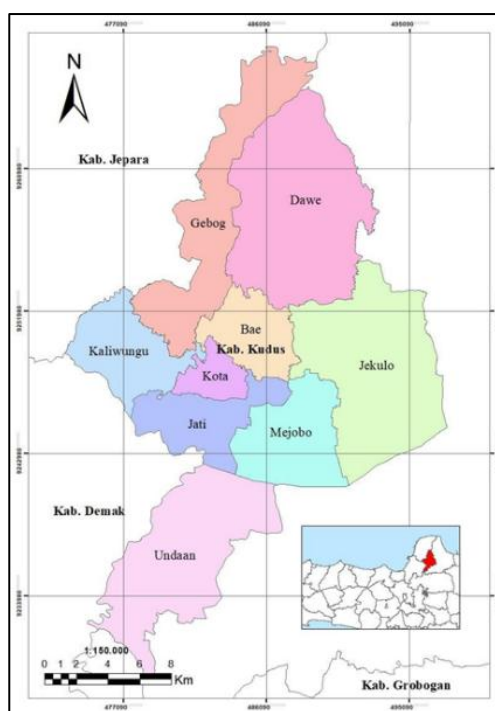
Bagian metode penelitian ditulis secara jelas yang berisi informasi teknis dan uraian secara lengkap metode yang digunakan jika metode baru yang digunakan merupakan metode baru. Untuk metode yang sudah umum digunakan, cukup menyebutkan pustaka yang diacu.

METODE PENELITIAN

NDWI memanfaatkan perbedaan reflektansi saluran hijau dan NIR untuk menonjolkan badan air (McFeeters, 1996). MNDWI mengganti NIR dengan SWIR sehingga cenderung menekan respons lahan terbangun (Xu, 2006). Nilai ambang tidak bersifat universal karena dipengaruhi penutup lahan, kelembapan, atmosfer, dan karakter scene (Ji et al., 2009). Oleh karena itu, perbandingan indeks harus menggunakan ambang yang diturunkan dari setiap citra dan disertai validasi yang sumber acuannya dijelaskan.

Pemilihan citra merupakan keputusan metodologis yang memengaruhi ketelitian peta. Landsat-9 menyediakan data terbuka, seri waktu yang konsisten, dan resolusi spasial 30 m yang memadai untuk pemetaan tingkat kabupaten. Sentinel-2 menawarkan resolusi 10 m dan periode kunjungan lebih rapat, sedangkan Sentinel-1 SAR dapat merekam permukaan dalam kondisi berawan. Landsat-9 tetap dipilih untuk menguji alur pemetaan yang murah, mudah direplikasi, dan kompatibel dengan arsip Landsat; konsekuensinya, genangan sempit dan gangguan awan harus diperlakukan sebagai keterbatasan.

Penelitian ini mengambil daerah Kabupaten Kudus sebagai objek kajian. Kabupaten Kudus merupakan kabupaten yang terletak di Pantai Utara Jawa, Provinsi Jawa Tengah. Secara astronomis, Kabupaten Kudus terletak pada koordinat $110^{\circ}36'$ dan $110^{\circ}50'$ BT serta $6^{\circ}51'$ dan $7^{\circ}16'$ LS. Administrasi Kabupaten Kudus terbagi menjadi 9 kecamatan, 123 desa, dan 9 kelurahan. Total luas keseluruhan wilayah Kabupaten Kudus adalah 425,15 km². Adapun untuk waktu penelitian dilakukan pada bulan Januari dan Februari tahun 2023 di mana pada saat itu sedang terjadi bencana banjir di Kabupaten Kudus.



Gambar 1. Peta Administrasi Kabupaten Kudus

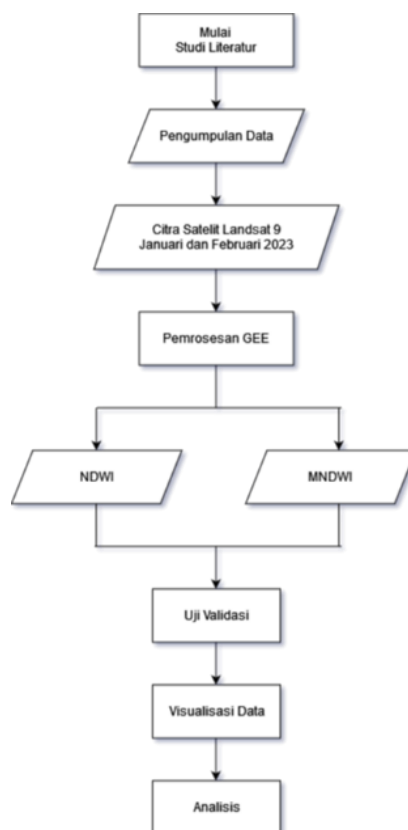
Penelitian ini menggunakan beberapa perangkat pendukung untuk pemrosesan dan analisis data. Google Earth Engine (GEE) digunakan sebagai platform berbasis awan utama untuk pemrosesan dan analisis citra satelit, sedangkan QGIS 3.24 diterapkan untuk analisis spasial tingkat lanjut dan visualisasi

kartografi akhir. Microsoft Excel digunakan untuk tabulasi statistik dan analisis kuantitatif, serta Fiji ImageJ 2.9.0 berfungsi sebagai alat pendukung dalam pemrosesan dan analisis citra.

Data penelitian terdiri atas citra Landsat-9 Collection 2 Tier 1 Top of Atmosphere (TOA) Reflectance yang merepresentasikan kondisi banjir Januari dan Februari 2023, citra pembanding sebelum banjir pada Juli 2022, serta shapefile batas administrasi Kabupaten Kudus. Produk TOA digunakan karena tersedia langsung untuk pemrosesan cepat dan mempertahankan reflektansi pada sensor; akibatnya, pengaruh atmosfer tetap mungkin memengaruhi nilai indeks dan ditangani melalui ambang khusus scene. Metadata tanggal akuisisi, path/row, scene ID, dan tutupan awan wajib dilaporkan agar analisis dapat direplikasi.

Tabel 1. Metadata Citra Satelit Landsat 9

Periode	Tanggal akuisisi	Scene ID / path-row	Tutupan awan
Sebelum banjir (Juli 2022)	2022-07-27	LC91200652022208LGN01/Path 120 Row 65	3.74%
Banjir Januari 2023	2023-01-12	LC91190652023012LGN01/Path 119 Row 65	22.28%
Banjir Februari 2023	2023-02-13	LC91190652023044LGN01/Path 119 Row 65	68.94%



Gambar 1. Alur Penelitian

Pengumpulan data citra satelit dilakukan melalui platform Earth Engine. Earth Engine merupakan platform pengolahan data citra satelit penginderaan jauh berbasis komputasi awan (Fathoni et al., 2025). Platform ini terdapat beragam data penginderaan jauh telah tersedia dan pengguna hanya perlu mengimpor dan mengolah data di platform tersebut. Sedangkan, citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra satelit Landsat 9 yang tersedia di platform Earth Engine dan telah terkoreksi secara TOA (Top of Atmosphere) Reflectance.

Analisis utama dalam penelitian ini melibatkan penerapan dua algoritma indeks air untuk mengidentifikasi area genangan banjir. Pertama adalah Normalized Difference Water Index (NDWI),

yang dikembangkan oleh McFeeters (1996). Algoritma ini memanfaatkan saluran Hijau (Green) dan Inframerah Dekat (Near-Infrared/NIR) untuk menonjolkan fitur air sekaligus menekan informasi daratan. Kedua adalah Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI), yang diusulkan oleh Xu (2006). Algoritma ini mengganti saluran NIR dengan saluran Inframerah Gelombang Pendek (Short-Wave Infrared/SWIR) agar dapat membedakan badan air dari lingkungan perkotaan/lahan terbangun secara lebih efektif. Persamaan matematika untuk kedua indeks tersebut adalah sebagai berikut:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (1)$$

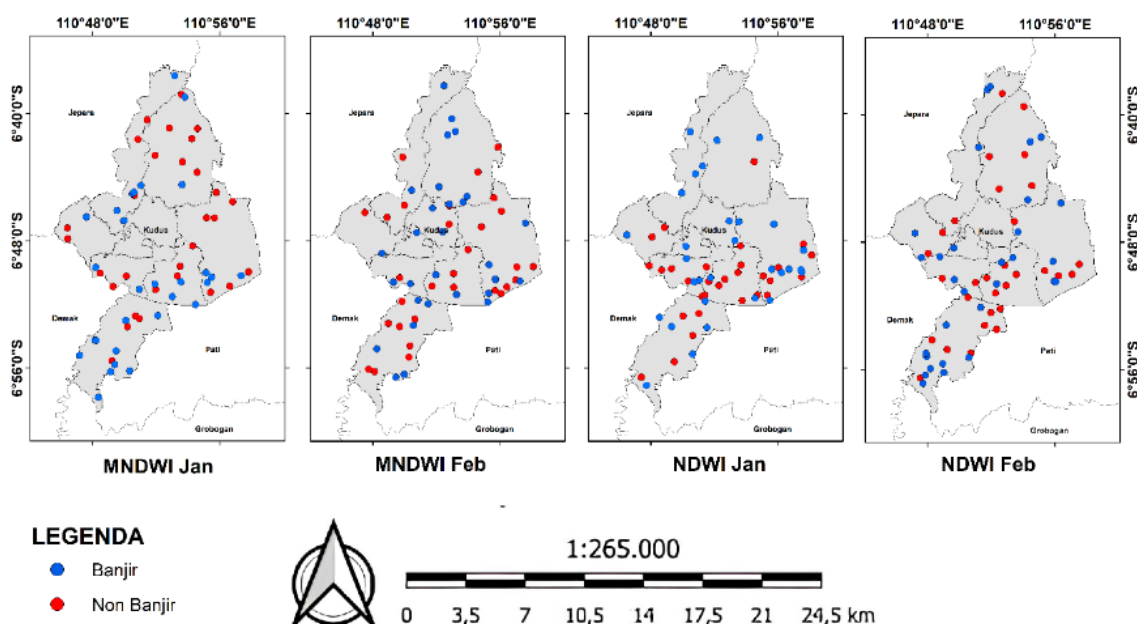
$$MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR} \quad (2)$$

Di mana Green, NIR, dan SWIR masing-masing merujuk pada saluran (band) 3, saluran 5, dan saluran 6. Nilai NDWI dan MNDWI berkisar antara -1 hingga 1 dengan nilai yang lebih positif menunjukkan keberadaan air, sedangkan nilai yang lebih negatif menunjukkan rendahnya keberadaan air. Secara umum, nilai NDWI yang lebih besar dari 0 menunjukkan adanya air (Ghalehtemouri et al., 2024), sedangkan keberadaan air pada MNDWI umumnya direpresentasikan oleh nilai yang lebih besar dari $0,2$.

Setelah indeks dihitung, nilai ambang NDWI ditentukan dengan algoritma Otsu dan ambang MNDWI dengan Natural Breaks (Jenks). Raster direklasifikasi menjadi dua kelas: tergenang dan tidak tergenang. Uji akurasi menggunakan 30 sampel pada masing-masing kelas yang dipilih secara stratified random sampling, lalu dievaluasi melalui confusion matrix untuk menghasilkan User's Accuracy, Producer's Accuracy, Overall Accuracy, dan Koefisien Kappa. Luas genangan dihitung dari jumlah piksel kelas tergenang pada sistem koordinat proyeksi UTM zona 49S; satu piksel Landsat berukuran $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ atau 900 m^2 , kemudian dikonversi menjadi km^2 dan diagregasi menurut batas kecamatan. Cloud masking belum diterapkan pada pengolahan awal; karena itu, awan dan bayangannya dianalisis sebagai sumber kesalahan dan hasil diperlakukan sebagai estimasi.

Pengujian akurasi peta genangan dilakukan untuk mengevaluasi tingkat ketelitian hasil klasifikasi yang dihasilkan. Pengambilan sampel ditentukan menggunakan metode stratified random sampling berdasarkan kelas genangan yang terdiri atas kelas banjir dan non-banjir. Pada setiap pengujian digunakan sebanyak 60 titik sampel yang masing-masing terdiri atas 30 titik kelas banjir dan 30 titik kelas non-banjir. Jumlah sampel tersebut dipertahankan secara konsisten pada setiap skenario pengujian, sedangkan lokasi titik sampel ditentukan secara independen sehingga berbeda untuk setiap periode pengamatan dan indeks spektral yang digunakan.

Validasi dilakukan melalui interpretasi visual terhadap citra komposit Landsat 9 pada seluruh titik sampel menggunakan perangkat lunak QGIS yang dilengkapi dengan plugin AcATaMa. Selanjutnya, hasil interpretasi dibandingkan dengan hasil klasifikasi untuk menyusun matriks konfusi sebagai dasar perhitungan parameter uji akurasi.



Gambar 3. Persebaran Titik Sampel Uji Akurasi

Tabel 2. Kelas Indeks Kappa

Nilai Kappa	Keterangan
< 0,20	Buruk
0,21 – 0,40	Lumayan
0,41 – 0,60	Cukup
0,61 – 0,80	Baik
0,81 – 1,00	Sangat Baik

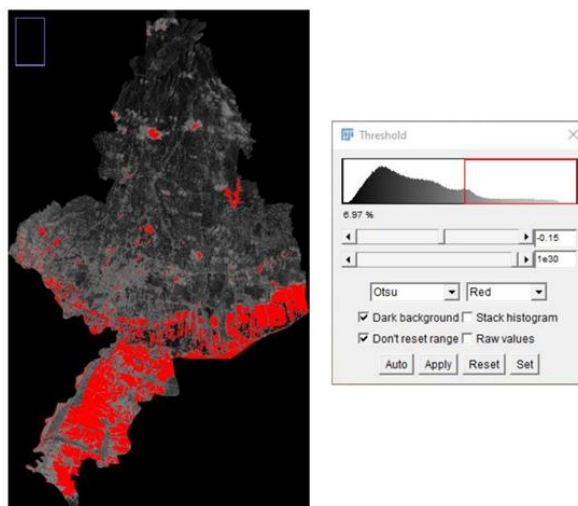
Sumber: Noer & Wibowo, 2024

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Ambang Batas Genangan Banjir

Nilai ambang batas (threshold) memegang peranan krusial dalam membedakan antara objek yang tergenang dan tidak tergenang. Area dengan nilai di atas ambang batas dikategorikan sebagai area tergenang, sedangkan area dengan nilai di bawah ambang batas diklasifikasikan sebagai area tidak tergenang. Menurut McFeeters (1996), ambang batas umum untuk NDWI adalah 0. Namun, Ji dkk. (2009) berpendapat bahwa nilai ambang batas 0 bukanlah angka konstan, melainkan nilai dinamis yang dapat bervariasi. Variasi ini disebabkan oleh perbedaan komponen penutup lahan di berbagai wilayah studi.

Oleh karena itu, nilai ambang batas harus ditentukan menggunakan metode spesifik agar dapat membedakan objek air dan non-air secara efektif. Dalam penelitian ini, proses penentuan ambang batas menggunakan Algoritma Otsu untuk NDWI dan metode Natural Breaks (Jenks) untuk MNDWI. Metode-metode ini diterapkan untuk mengklasifikasikan data berdasarkan distribusi statistik spesifik dari nilai-nilai yang ada.



Gambar 4. Penentuan Ambang Batas NDWI Menggunakan Algoritma Otsu di Fiji ImageJ

Penentuan nilai ambang menggunakan algoritma Otsu pada NDWI dilakukan melalui perangkat lunak Fiji ImageJ. Sedangkan, penentuan nilai ambang pada MNDWI dilakukan menggunakan metode natural breaks melalui pemrosesan secara otomatis pada perangkat lunak QGIS 3.24. Hasil dari penentuan nilai ambang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Nilai ambang batas (*threshold value*)

Indeks Spektral	Nilai Ambang	Metode
NDWI Januari	-0.15	Otsu
NDWI Februari	-0.15	Otsu
MNDWI Januari	-0.00774	Natural Breaks
MNDWI Februari	0,00197	Natural Breaks

NDWI bulan Januari dan Februari memiliki nilai ambang yang sama yakni -0,15 di mana objek genangan air dapat diidentifikasi bila nilainya di atas -0,15 dan objek non genangan dapat diidentifikasi bila nilainya di bawah -0,15. Sedangkan, MNDWI Januari memiliki nilai ambang -0,00774 di mana objek genangan air dapat diidentifikasi bila nilainya di atas - 0,00774. MNDWI Februari memiliki nilai ambang 0,00197 di mana objek genangan air dapat diidentifikasi bila nilainya di atas 0,00197. Nilai ambang tersebut digunakan dalam klasifikasi ulang (*reclassify*) untuk menghasilkan dua kelas, yaitu objek tergenang dan objek non tergenang.

Uji Akurasi Deteksi Genangan Banjir

Uji akurasi memperlihatkan bagaimana tingkat keakuratan pada objek tergenang dan tidak tergenang. Uji akurasi pada penelitian ini menggunakan jumlah sampel 30 yang diperoleh dari metode stratified random sampling. Hasil dari uji akurasi dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4. Hasil uji akurasi NDWI bulan Januari

Klasifikasi	Nilai		Total	<i>User's Accuracy</i>
	Non-Banjir	Banjir		
Non-Banjir	29	1	30	96,67

Klasifikasi	Nilai		Total	User's Accuracy
	Non-Banjir	Banjir		
Banjir	3	27	30	90
Total	32	28	60	
<i>Producer's Accuracy</i>	90,63	96,43		
<i>Overall Accuracy</i>	93,33			
Kappa	0,87 (87%)			

Tabel 5. Hasil uji akurasi NDWI bulan Februari

Klasifikasi	Nilai		Total	User's Accuracy
	Non-Banjir	Banjir		
Non-Banjir	29	1	30	96,67
Banjir	0	30	30	100
Total	29	31	60	
<i>Producer's Accuracy</i>	100	96,77		
<i>Overall Accuracy</i>	98,33			
Kappa	0,97 (97%)			

Tabel 6. Hasil uji akurasi MNDWI bulan Januari

Klasifikasi	Nilai		Total	User's Accuracy
	Non-Banjir	Banjir		
Non-Banjir	30	0	30	100
Banjir	3	27	30	90
Total	33	27	60	
<i>Producer's Accuracy</i>	90,91	100		
<i>Overall Accuracy</i>	95			
Kappa	0,90 (90%)			

Tabel 7. Hasil uji akurasi MNDWI bulan Februari

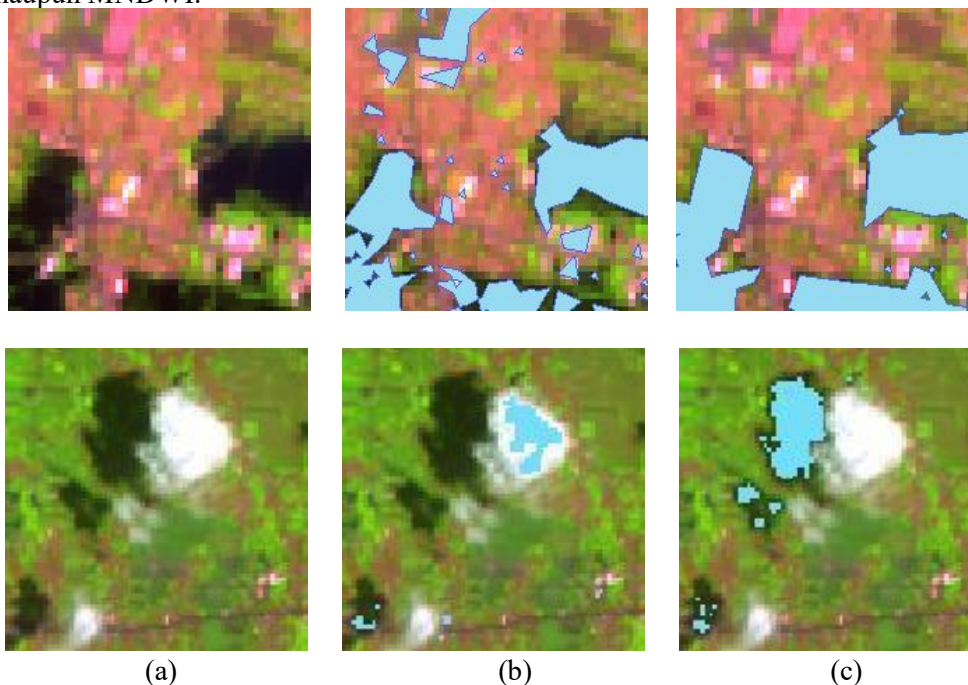
Klasifikasi	Nilai		Total	User's Accuracy
	Non-Banjir	Banjir		
Non-Banjir	29	1	30	96,67
Banjir	3	27	30	90
Total	32	28	60	

Klasifikasi	Nilai		Total	User's Accuracy
	Non-Banjir	Banjir		
<i>Producer's Accuracy</i>	90,63	96,43		
<i>Overall Accuracy</i>	93,33			
Kappa Accuracy	0,87 (87%)			

Hasil uji akurasi menunjukkan bahwa untuk bulan Januari, NDWI mencapai akurasi keseluruhan (overall accuracy) sebesar 93,33% dengan koefisien Kappa sebesar 0,87. Sebagai perbandingan, MNDWI bulan Januari mencapai akurasi keseluruhan sebesar 95% dan koefisien Kappa sebesar 0,90. Untuk bulan Februari, NDWI menunjukkan akurasi keseluruhan sebesar 98,33% dan koefisien Kappa sebesar 0,97, sedangkan MNDWI bulan Februari menunjukkan akurasi keseluruhan sebesar 93,33% dan koefisien Kappa sebesar 0,87.

Berdasarkan klasifikasi nilai Kappa, semua citra yang diproses masuk ke dalam kategori sangat baik yang menunjukkan bahwa hasil tersebut sangat andal untuk dijadikan referensi dalam pengambilan kebijakan manajemen bencana banjir. Selain itu, seluruh nilai akurasi keseluruhan dan nilai Kappa melebihi ambang batas 75%, yang menurut LAPAN (2015), menandakan performa yang sangat baik dalam pemetaan genangan banjir.

Perbandingan akurasi pada citra Landsat 9 menunjukkan bahwa hasil yang paling efektif untuk pemetaan genangan banjir diperoleh dari MNDWI bulan Januari dan NDWI bulan Februari. Akurasi yang lebih rendah pada beberapa kasus disebabkan oleh kesalahan klasifikasi selama proses pengambilan sampel, di mana beberapa sampel tidak selaras dengan kondisi lapangan yang sebenarnya (Waladi, 2025). Ketidaksesuaian ini bersumber dari karakteristik pemrosesan algoritma, baik pada NDWI maupun MNDWI.



Gambar 5. Kesalahan Klasifikasi pada NDWI dan MNDWI dalam Deteksi Genangan Banjir; (a) Bangunan dan Awan, (b) NDWI, (c) MNDWI

Gambar 5 mengilustrasikan bahwa dalam hal fitur lahan terbangun, NDWI cenderung salah mengklasifikasikan bangunan sebagai objek tergenang. Hal ini terjadi karena NDWI tidak mampu membedakan antara area terbangun dan badan air. Dalam algoritma NDWI, objek bangunan

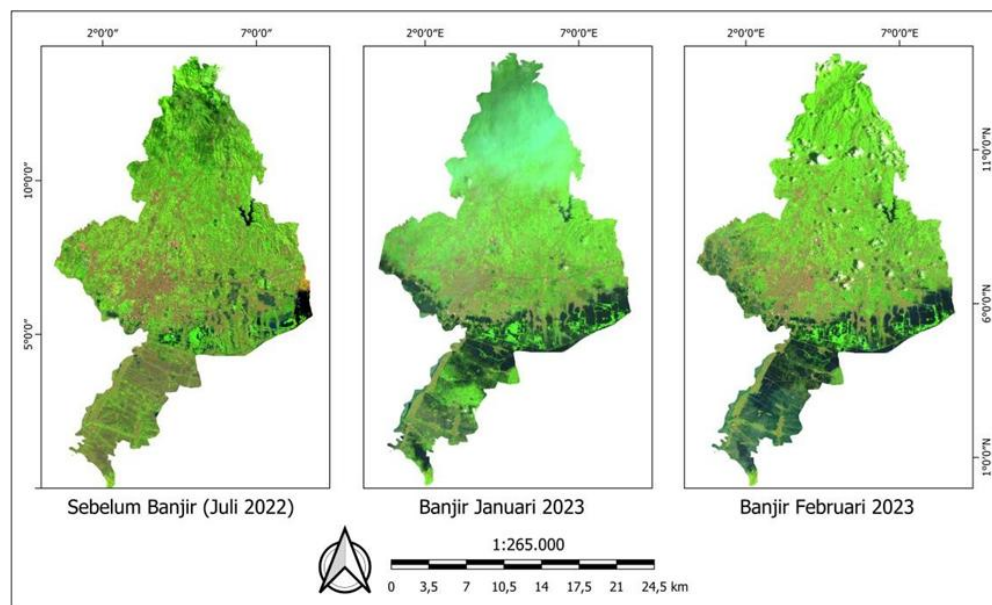
menghasilkan nilai positif yang serupa dengan air karena reflektansi pada saluran NIR lebih rendah dibandingkan saluran Hijau (Xu, 2006, dalam Ji dkk., 2009). Oleh karena itu, NDWI lebih efektif dalam mendeteksi genangan air pada permukaan alami seperti danau, sungai, laut, dan sebagainya daripada mendeteksi genangan air yang terdapat di daratan (Liu et al., 2022).

Sementara itu, Formula MNDWI yang dikembangkan oleh Xu (2006) menggunakan saluran Hijau dan MIR/SWIR. Saluran Hijau berfungsi untuk meningkatkan reflektansi fitur air, sementara saluran SWIR memiliki tingkat penyerapan yang tinggi terhadap air (Octarina et al., 2019). Akibatnya, area terbangun menghasilkan nilai negatif pada MNDWI, sehingga memungkinkan perbedaan yang jelas antara struktur perkotaan dan air (Pranadiarso et al., 2022).

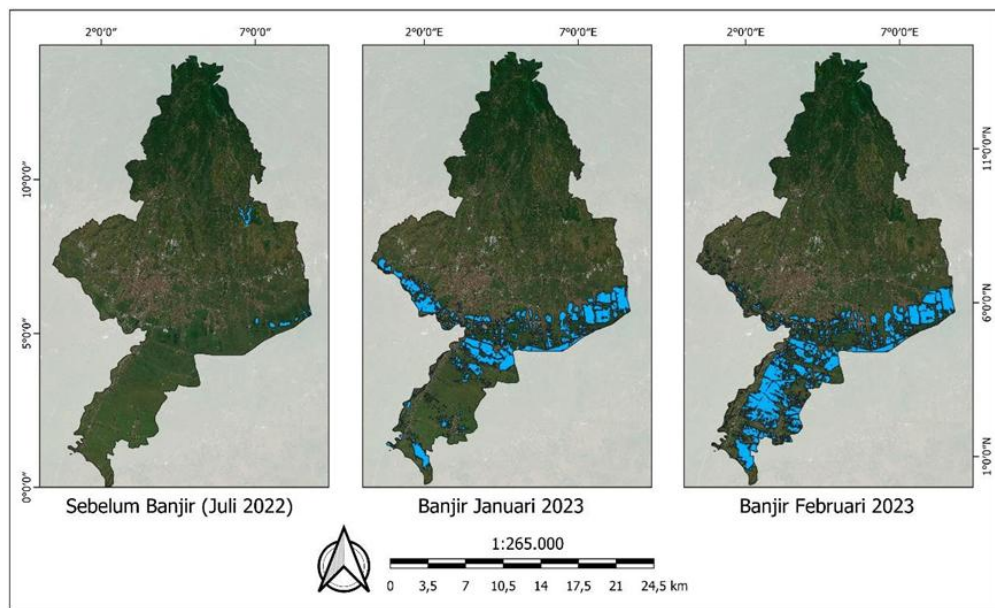
Terkait kondisi atmosfer, MNDWI mengklasifikasikan objek yang tertutup oleh bayangan awan sebagai area tergenang. Sebaliknya, NDWI cenderung mengklasifikasikan awan itu sendiri sebagai objek tergenang. Hal ini disebabkan saluran NIR pada NDWI lebih sensitif terhadap objek yang memantulkan cahaya seperti bangunan, sedangkan saluran SWIR pada MNDWI lebih sensitif terhadap objek yang menyerap cahaya dalam spektrum SWIR, seperti badan air. Oleh karena itu, dalam memetakan genangan banjir menggunakan algoritma NDWI dan MNDWI, pemilihan citra berdasarkan tutupan awan atau penerapan teknik *cloud masking* sangat penting untuk dipertimbangkan.

Analisis Genangan Banjir Kabupaten Kudus Tahun 2023

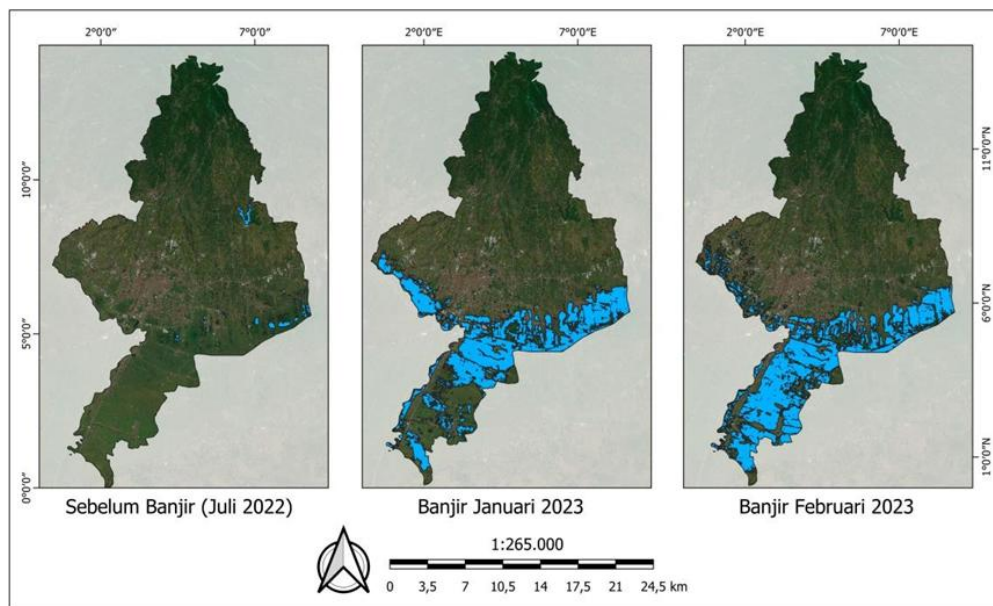
Hasil pemrosesan algoritma NDWI dan MNDWI menunjukkan adanya peningkatan luas badan air permukaan dibandingkan dengan kondisi sebelum banjir. Penerapan algoritma-algoritma tersebut divisualisasikan dalam peta genangan berikut:



Gambar 6. Visualisasi komposit natural color ketika terjadi banjir



Gambar 7. Pemetaan banjir menggunakan algoritma NDWI



Gambar 8. Pemetaan banjir menggunakan algoritma MNDWI

Gambar 6 mengilustrasikan dinamika air permukaan sebelum banjir (Juli 2022) serta selama peristiwa banjir pada Januari 2023 dan Februari 2023. Gambar 7 dan Gambar 8 menyajikan visualisasi penerapan algoritma NDWI dan MNDWI dalam pemetaan genangan banjir. Hasil perhitungan untuk luas wilayah yang terdampak banjir disajikan dalam Tabel 8 sebagai berikut

Tabel 8. Luas Area (km²) Tergenang Banjir Kabupaten Kudus Tahun 2023

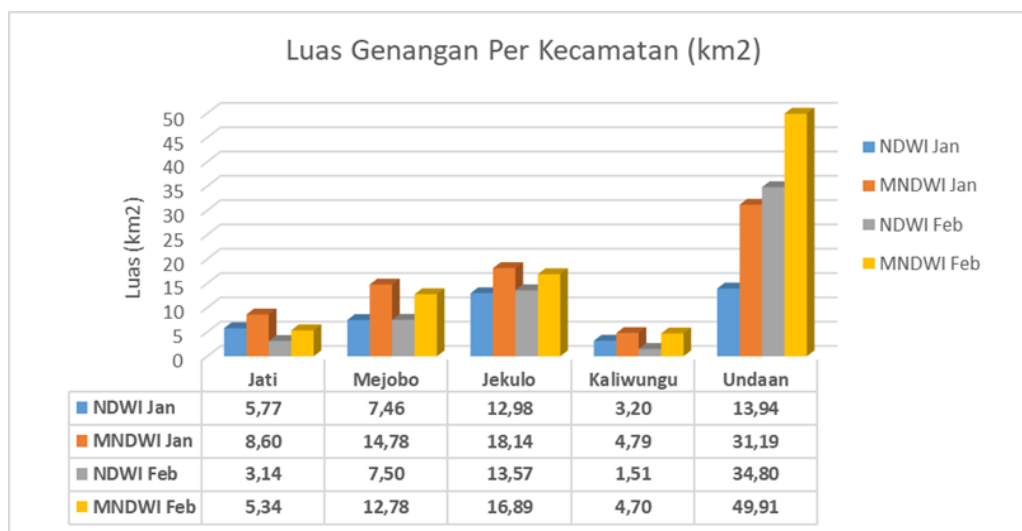
Bulan	NDWI		MNDWI	
	Luas	Persentase	Luas	Persentase
Januari	43,77	39,34%	78,15	15,74%
Februari	60,99		90,45	

Tabel 8 menunjukkan bahwa estimasi luas genangan Januari mencapai 43,77 km² berdasarkan NDWI dan 78,15 km² berdasarkan MNDWI. Pada Februari, estimasi meningkat menjadi 60,99 km² berdasarkan NDWI dan 90,45 km² berdasarkan MNDWI. Dengan basis indeks yang sama, kenaikan Januari-Februari mencapai 39,34% pada NDWI dan 15,74% pada MNDWI. Selisih absolut kedua indeks memperlihatkan sensitivitas yang berbeda terhadap lahan basah, bangunan, awan, dan bayangan; karena itu, angka luas tidak boleh dipertukarkan atau digabungkan sebagai satu pengukuran tunggal.

Hasil pemrosesan algoritma NDWI dan MNDWI memberikan informasi luasan genangan banjir di Kabupaten Kudus yang memungkinkan perhitungan rinci untuk setiap kecamatan. Berdasarkan data kejadian banjir dari BPBD Kabupaten Kudus (2023), terdapat lima kecamatan yang terdampak banjir dengan kedalaman genangan bervariasi antara 20 cm hingga 30 cm. Kelima kecamatan terdampak tersebut adalah Jati, Undaan, Jekulo, Kaliwungu, dan Mejobo. Hasil pemrosesan NDWI dan MNDWI untuk kelima kecamatan ini disajikan dalam Tabel 9 dan Gambar 9.

Tabel 9. Luas Area (km²) Tergenang Banjir Per Kecamatan Kabupaten Kudus 2023

Kecamatan	Januari		Februari	
	NDWI	MNDWI	NDWI	MNDWI
Jati	5,77	8,60	3,14	5,34
Mejobo	7,46	14,78	7,50	12,78
Jekulo	12,98	18,14	13,57	16,89
Kaliwungu	3,20	4,79	1,51	4,70
Undaan	13,94	31,19	34,80	49,91



Gambar 9. Grafik luas area tergenang banjir per kecamatan

Perbandingan antarkecamatan dilakukan secara terpisah untuk setiap indeks. Pada Januari, peringkat NDWI dari genangan terluas adalah Undaan (13,94 km²), Jekulo (12,98 km²), Mejobo (7,46 km²), Jati (5,77 km²), dan Kaliwungu (3,20 km²); urutan MNDWI sama, yaitu Undaan (31,19 km²), Jekulo (18,14 km²), Mejobo (14,78 km²), Jati (8,60 km²), dan Kaliwungu (4,79 km²). Pada Februari, NDWI kembali menempatkan Undaan (34,80 km²) diikuti Jekulo (13,57 km²), Mejobo (7,50 km²), Jati (3,14 km²), dan Kaliwungu (1,51 km²); MNDWI menghasilkan urutan identik dengan luas 49,91;

16,89; 12,78; 5,34; dan 4,70 km². Konsistensi peringkat kedua indeks memperkuat identifikasi Undaan sebagai prioritas, walaupun nilai luas absolutnya berbeda.

SIMPULAN

Temuan utama penelitian bukan bahwa satu indeks selalu lebih unggul, melainkan bahwa kinerja indeks bergantung pada kondisi scene. MNDWI menghasilkan Kappa tertinggi pada Januari (0,90), sedangkan NDWI tertinggi pada Februari (0,97). Pola ini menjembatani perbedaan hasil Ounrit et al. (2022), yang menemukan keunggulan NDWI, dan Pranadiarso et al. (2022), yang melaporkan MNDWI lebih akurat. Variasi tutupan awan, bayangan, kelembapan tanah, fase genangan, dan proporsi lahan terbangun secara bersama-sama dapat mengubah separabilitas spektral air dan nonair. Tanpa metadata scene dan cloud masking, penyebab dominan belum dapat dipastikan; oleh karena itu, perbedaan 1,67–5,00 poin persentase Overall Accuracy tidak boleh langsung ditafsirkan sebagai keunggulan universal.

NDWI cenderung menghasilkan positif palsu pada bangunan karena respons saluran hijau dan NIR dapat menyerupai air, sedangkan MNDWI lebih mampu menekan lahan terbangun melalui penggunaan SWIR (Xu, 2006). Sebaliknya, bayangan awan dapat memiliki respons gelap yang menyerupai air pada MNDWI. Temuan kesalahan klasifikasi tersebut menjelaskan mengapa MNDWI selalu menghasilkan estimasi luas lebih besar daripada NDWI. Selisih itu juga menegaskan bahwa peta indeks air bukan pengganti observasi lapangan, melainkan sumber informasi cepat yang perlu dikalibrasi.

Peringkat antarkecamatan yang konsisten pada kedua indeks merupakan hasil yang lebih stabil daripada perbedaan luas absolut. Undaan menempati urutan pertama pada Januari dan Februari, dan peningkatannya pada Februari jauh lebih besar daripada kecamatan lain. Pola tersebut dapat berkaitan dengan karakter dataran rendah, dominasi lahan pertanian, kapasitas drainase, dan konektivitas hidrologis dengan sistem Sungai Serang-Wulan. Pengaruh rob atau aliran balik di bagian hilir juga patut diuji. Karena variabel hidrologi, elevasi, curah hujan, dan pasang surut tidak dianalisis dalam penelitian ini, penjelasan tersebut merupakan hipotesis kebijakan, bukan hubungan kausal yang telah dibuktikan.

Validasi silang dengan laporan BPBD menunjukkan kesesuaian lokus secara kualitatif: lima kecamatan yang dianalisis—Jati, Undaan, Jekulo, Kaliwungu, dan Mejobo—juga tercatat terdampak banjir dengan kedalaman 20–30 cm. Namun, laporan administratif tersebut belum memberikan poligon genangan pada tanggal akuisisi, sehingga belum dapat digunakan untuk menghitung akurasi piksel. Integrasi waktu kejadian, desa terdampak, kedalaman, dan titik dokumentasi BPBD dengan scene satelit akan menjadi bentuk validasi berbiaya rendah yang lebih kuat.

Bagi Pemerintah Kabupaten Kudus, peta genangan dapat digunakan pada empat tingkat. Pertama, BPBD dapat memanfaatkannya untuk memperbarui Kajian Risiko Bencana dan Rencana Kontingensi Banjir. Kedua, perangkat daerah bidang penataan ruang dapat menguji konsistensi zona rawan dengan RTRW dan mengendalikan pembangunan pada koridor genangan berulang. Ketiga, prioritas penguatan tanggul, pompa, pintu air, drainase, dan jalur evakuasi dapat diarahkan terutama ke Undaan setelah diverifikasi lapangan. Keempat, Dinas Pertanian dapat menumpangtindihkan peta dengan lahan sawah untuk memperkirakan tanaman terdampak dan kebutuhan pemulihan.

Dari sisi biaya-manfaat, Landsat-9 dan Google Earth Engine mengurangi biaya lisensi, penyimpanan, dan komputasi serta memungkinkan pemetaan awal tingkat kabupaten secara cepat. Keterbatasannya adalah resolusi 30 m, periode kunjungan, dan sensitivitas sensor optik terhadap awan. Survei lapangan dan drone memberikan detail lebih tinggi, tetapi lebih mahal dan sulit menjangkau wilayah luas saat darurat. Skema operasional yang efisien ialah menggunakan Landsat atau Sentinel sebagai penyaringan awal, Sentinel-1 SAR ketika awan tebal, lalu survei/drone pada lokasi prioritas. Dengan demikian, metode satelit melengkapi, bukan menggantikan, pemetaan konvensional.

Pemetaan genangan banjir Kabupaten Kudus menghasilkan ambang NDWI -0,15 pada Januari dan Februari, serta ambang MNDWI -0,00774 pada Januari dan 0,00197 pada Februari. Estimasi luas genangan Januari adalah 43,77 km² (NDWI) dan 78,15 km² (MNDWI); pada Februari meningkat menjadi 60,99 km² (NDWI) dan 90,45 km² (MNDWI). MNDWI memberikan Kappa tertinggi pada Januari (0,90), sedangkan NDWI tertinggi pada Februari (0,97). Dengan demikian, keunggulan indeks

bersifat kondisional terhadap karakter citra, bukan mutlak. Kedua indeks secara konsisten menempatkan Undaan sebagai kecamatan dengan genangan terluas.

Meskipun demikian, hasil penelitian belum dilakukan validasi dengan data genangan banjir di lapangan sehingga luasan banjir yang didapatkan masih bersifat estimasi sementara. Di sisi lain, terdapat batasan tertentu dalam penggunaan algoritma NDWI dan MNDWI untuk pemetaan genangan banjir. Pada NDWI, fitur lahan terbangun dan awan sering kali salah diklasifikasikan sebagai air. Pada MNDWI, bayangan awan sering kali tercatat sebagai objek tergenang. Kesalahan klasifikasi ini berkontribusi pada tingkat akurasi yang lebih rendah. Oleh karena itu, dalam memetakan genangan banjir menggunakan algoritma tersebut, disarankan untuk mempertimbangkan tutupan awan pada citra satelit dan menerapkan teknik cloud masking untuk menghilangkan gangguan awan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa data citra satelit seperti Landsat-9 dapat digunakan untuk memetakan genangan banjir. Hal ini dapat dilihat dari hasil akurasi yang menunjukkan akurasi sangat baik dalam mendeteksi dan mengidentifikasi daerah yang tergenang oleh banjir. Metode pengolahan data serta penggunaan data satelit Landsat-9 yang gratis dan mudah diakses ini diharapkan dapat menjadi referensi yang lebih presisi bagi pemerintah daerah dalam upaya manajemen bencana banjir di Kabupaten Kudus.

SARAN

Penelitian deteksi genangan banjir disarankan untuk mengintegrasikan data penginderaan jauh dengan data elevasi digital (DEM), menerapkan teknik *cloud masking*, ataupun menggunakan data satelit Sentinel-1 SAR untuk meminimalisir kesalahan klasifikasi pada area terbangun dan bayangan awan. Selain itu, uji validasi tetap harus dilakukan untuk menilai akurasi dari penerapan algoritma dari data satelit terhadap kondisi genangan banjir sebenarnya di lapangan. Salah satu cara dalam menguji akurasi genangan banjir adalah dengan melakukan pengamatan dan pengukuran secara langsung maupun menggunakan citra dengan resolusi spasial yang lebih tinggi seperti drone sehingga dapat meningkatkan akurasi pemetaan.

DAFTAR PUSTAKA

- U.S. Geological Survey. (2020). Landsat 8–9 Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor Level-1, Collection 2 [Data set]. <https://doi.org/10.5066/P975CC9B>
- Al Fathoni, H., Junaidi, A., & Aditiawan, F. P. (2025). Klasifikasi Tutupan Lahan Pada Citra Sentinel-2 Di Kawasan IKN Menggunakan Google Earth Engine. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 9(3), 4982-4991.
- Ariyantoni, J., Anisa, R., Natul, A., & Putri, D. N. (2025). Integrasi GIS dan Remote Sensing untuk Deteksi Perubahan Garis Pantai dengan Pendekatan NDWI dan DSAS pada Citra Landsat 8 dan 9 di Taman Nasional Sembilang. *Journal Of Plano Studies*, 2(2), 90-96.
- BPBD Kabupaten Kudus. (2023). *Laporan Kejadian Bencana Banjir Kabupaten Kudus Tahun 2023*. Kudus: Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Kudus.
- Bria, J. K. I., Kase, P., & Rene, M. O. (2025). Peran Badan Penanggulangan Bencana Daerah (Bpbd) Dalam Penanggulangan Bencana Banjir Di Kabupaten Malaka Pada Tahun 2024. *Kybernology Jurnal Ilmu Pemerintahan Dan Administrasi Publik*, 3(1), 139-156.
- Ghalehtemouri, K. J., Ros, F. C., Rambat, S., & Nasr, T. (2024). Spatial and temporal water pattern change detection through the normalized difference water index (NDWI) for initial flood assessment: a case study of Kuala Lumpur 1990 and 2021. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 114(1), 178-187.
- 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 Penyusunan Data Penginderaan Jauh untuk Pemetaan Genangan Banjir*. Jakarta: Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- Lestari, M., Mira, Prasetyo, S. Y., & 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.
- Liu, Q., Tian, Y., Zhang, L., & Chen, B. (2022). Urban surface water mapping from VHR images based on superpixel segmentation and target detection. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 5339-5356.
- Mappatarai, M., Manaf, M., & Alimuddin, I. (2024). Tingkat Kerawanan, Mitigasi dan Adaptasi Banjir di Kota Malili Kabupaten Luwu Timur. *Urban and Regional Studies Journal*, 6(2), 265-277.
- 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.
- Noer, M., & Wibowo, A. (2024). Identifikasi Perubahan Tutupan Lahan Dengan Metode Klasifikasi Terbimbing Menggunakan Data Google Earth. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha*, 12(1), 32-41.
- Octarina, T. M., Putra, I. D. N. N., & Wirdiani, N. K. A. (2019). Penginderaan Jauh Pemrosesan Data Satelit Landsat 8 Untuk Deteksi Genangan. *Jurnal Ilmiah Merpati (Menara Penelitian Akademika Teknologi Informasi)*, 7(1), 77.
- Ounrit, I., Sinnung, S., Meena, P., & Laosuwan, T. (2022). Flash Flood Mapping based on Data from Landsat-8 Satellite and Water Indices. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE)*, (51), 130-135.
- Pranadiarso, T., Hidayah, E., & Halik, G. (2022). Pemetaan Cepat Genangan Banjir Menggunakan Teknologi Remote Sensing. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 16(2), 132–141.
- Rahman, A. N., Kurniadin, N., Wumu, R., & Suryalfihra, S. I. (2023). Identifikasi luasan banjir rob di Kota Semarang pada tanggal 24 Mei 2022 menggunakan Citra Landsat. *Journal of Geomatics Engineering, Technology, and Science*, 1(2), 50-53.
- Waladi, A. (2025). Peningkatan Akurasi Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Random Forest pada Data Sentinel-2 di Jambi. *JURNAL FASILKOM*, 15(1), 17-24.
- 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(14), 3025-3033.