

IMPLEMENTASI METODE OTSU THRESHOLDING
UNTUK PEMETAAN WILAYAH RAWAN GENANGAN AIR
DI KABUPATEN SAMPANG

Alfandi¹, Anwari², Muhsi³

^{1,2,3}Sistem Infirmasi,Fakultas Teknik,Universitas Islam Madura

¹alfandiibnuwahid@gmail.com, ²email_anwari.uim@gmail.com ³Muhsi@uim.ac.id

ABSTRAK

Kabupaten Sampang merupakan wilayah yang kerap mengalami banjir musiman, khususnya pada musim hujan dengan curah hujan tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan wilayah rawan genangan Air secara spasial menggunakan metode Otsu Thresholding pada citra satelit Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR). Data Sentinel-1 dipilih karena kemampuannya menembus awan dan merekam kondisi permukaan tanah dalam segala cuaca. Metode penelitian mencakup akuisisi citra sebelum dan sesudah tergenang air, analisis image difference melalui platform Google Earth Engine (GEE), klasifikasi piksel menggunakan Otsu Thresholding, serta post-processing berupa masking terhadap badan air permanen berdasarkan data ESA WorldCover. Hasil analisis menunjukkan bahwa genangan air tersebar di dataran rendah dan sepanjang aliran Sungai Kemuning, dengan estimasi luas area tergenang mencapai ± 29.134 hektar. Analisis juga menunjukkan bahwa elevasi tanah di bawah 25 meter memiliki potensi lebih tinggi untuk mengalami genangan. Implementasi metode ini terbukti efisien, adaptif, dan relevan untuk mendukung sistem peringatan dini serta perencanaan mitigasi bencana banjir di tingkat daerah.

Kata kunci: Banjir, Sentinel-1 SAR, Otsu Thresholding, Google Earth Engine, Genangan, Kabupaten Sampang.

ABSTRACT

Sampang Regency frequently experiences seasonal flooding, particularly during periods of high rainfall intensity. This study aims to spatially map flood-prone areas using the Otsu Thresholding method applied to Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery. Sentinel-1 data was selected due to its ability to penetrate cloud cover and capture surface conditions under all weather conditions. The methodology involved acquiring pre- and post-flood imagery, analyzing image differences via the Google Earth Engine (GEE) platform, pixel classification using Otsu Thresholding, and post-processing through masking of permanent water bodies based on ESA WorldCover data. The results indicate that inundation primarily occurs in lowland areas and along the Kemuning River, with an estimated flooded area of approximately $\pm 29,134$ hectares. Spatial elevation analysis also reveals that land below 25 meters above sea level tends to be more susceptible to inundation. The implementation of this method proves to be efficient, adaptive, and applicable in supporting early warning systems and flood disaster mitigation planning at the regional level.

Keywords: Flood, Sentinel-1 SAR, Otsu Thresholding, Google Earth Engine, Inundation, Sampang Regency

1. PENDAHULUAN

Banjir adalah salah satu bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi di berdampak pada infrastruktur, lahan pertanian, dan aktivitas sosial-ekonomi masyarakat berbagai wilayah di Indonesia, khususnya di daerah dengan topografi datar, intensitas curah hujan tinggi, dan sistem drainase yang kurang memadai [1]. Kabupaten Sampang yang terletak di pesisir utara Provinsi Jawa Timur rutin mengalami banjir musiman selama musim hujan,

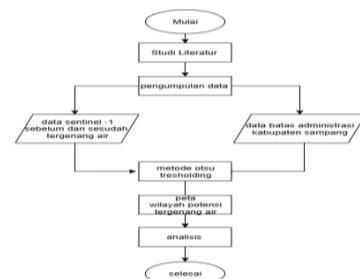
Pemanfaatan data penginderaan jauh optik sering terhambat oleh tutupan awan dan kondisi cuaca buruk. Oleh karena itu, Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR) menjadi pilihan ideal, karena mampu merekam kondisi permukaan daratan dalam kondisi cuaca apapun, siang dan malam, serta menyediakan resolusi spasial 10 meter secara rutin [1]. Khususnya pada polarisasi VH, Sentinel-1 SAR sangat sensitif terhadap perubahan kelembaban dan permukaan perairan [2]. Untuk melakukan klasifikasi piksel secara otomatis, digunakan metode Otsu Thresholding, yang mampu menemukan ambang batas optimal dari histogram citra dengan meminimalkan variansi intra-kelas dan memaksimalkan variansi antar-kelas [3]. Metode ini telah digunakan secara luas untuk pemetaan banjir berbasis citra SENTINEL-1 [4]. termasuk dalam konteks lokal, seperti pemetaan banjir di DAS Barito, Kalimantan Selatan, dengan akurasi klasifikasi mencapai 68,6 % menggunakan Otsu [5]. Studi ini akan menerapkan metode Otsu Thresholding terhadap citra Sentinel-1 SAR dalam mengidentifikasi wilayah rawan genangan banjir di Kabupaten Sampang. Proses analisis dilakukan melalui platform Google Earth Engine (GEE) dan eksekusi di Google Colab menggunakan Python, serta dilengkapi dengan tahap post-processing berupa masking terhadap tutupan lahan perairan permanen untuk meminimalkan overestimasi area banjir. Dengan pendekatan ini, diharapkan hasil berupa peta wilayah genangan yang akurat dapat

menjadi dasar perencanaan mitigasi dan kebijakan tanggap bencana berbasis spasial di tingkat daerah.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan bagian dalam proses penelitian agar menghasilkan penelitian yang baik serta sesuai dengan sasaran penelitian. Alur penelitian berisi tentang tahapan-tahapan yang dilakukan dalam sebuah penelitian. Pada penelitian ini penulis melakukan beberapa tahapan yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1. Tahapan penilitan

2.2 Studi Literatur

Penelitian analisis penggunaan otsu Thresholding dalam menentukan lokasi wilayah potensi tergenang Air untuk meminimalisir dampak lingkungan dilakukan dengan pengumpulan informasi dari penelitian terdahulu dalam bentuk artikel, jurnal, buku, dan skripsi.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Analisis ini menggunakan dua jenis data, yaitu data sentinel-1 sebelum dan sesudah tergenang air Dalam upaya mitigasi dan penanggulangan bencana banjir di Kabupaten Sampang, pemanfaatan teknologi penginderaan jauh melalui citra radar Sentinel-1 dari link situs ini <https://dataspace.copernicus.eu/> menjadi sangat penting. Sentinel-1 merupakan satelit penginderaan jauh yang diluncurkan oleh European Space Agency (ESA) dengan sensor radar Synthetic Aperture Radar (SAR) yang mampu menangkap citra

permukaan bumi siang dan malam, bahkan saat cuaca berawan atau hujan. Untuk keperluan pemetaan wilayah yang rawan tergenang air, digunakan dua jenis data Sentinel-1, yaitu citra sebelum tergenang air (pre-event) dan sesudah tergenang air (post-event). Citra pre-event diambil dalam kondisi normal di mulai pada tanggal 01-04 januari 2021. biasanya beberapa hari atau minggu sebelum tergenang air terjadi, sedangkan citra post-event diambil setelah banjir berlangsung pada tanggal 05-09 januari 2021. Kedua jenis citra ini diperoleh dari produk Level-1 *Ground Range Detected* (GRD) dengan mode Interferometric Wide Swath (IW), yang memiliki resolusi spasial sekitar 10 meter dan mencakup area lebar hingga 250 kilometer—sangat cocok untuk pengamatan wilayah skala kabupaten seperti Sampang. Data batas administrasi kabupaten sampang tersebut diunduh melalui situs *Geospasial* di alamat: <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/>, yang menyediakan informasi dan data yang mendukung kebutuhan instansi pemerintah. Selain itu, Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Pulau Madura dengan skala 1:250.000 digunakan sebagai dasar untuk menentukan Area of Interest (AOI) dalam proses analisis wilayah kerja Mengumpulkan data peta administrasi, jaringan jalan,dan pemukiman.

Gambar 2. Peta batas administrasi



kabupaten sampang.

2.4 Metode Otsu Thresholding

Dalam konteks pemetaan wilayah rawan genangan Air di Kabupaten Sampang menggunakan citra radar Sentinel-1, salah satu teknik penting yang digunakan dalam proses deteksi area tergenang adalah Otsu Thresholding [6]. Metode ini merupakan salah satu pendekatan segmentasi citra berbasis histogram yang digunakan untuk

membedakan dua kelas piksel secara otomatis—dalam hal ini, antara wilayah tergenang (air) dan wilayah tidak tergenang (lahan kering) [7].

Citra Sentinel-1 yang digunakan umumnya adalah citra Level-1 GRD dalam mode Interferometric Wide (IW), yang memiliki resolusi spasial 10 meter dan mampu merekam data dalam segala kondisi cuaca [8]. Citra ini menangkap intensitas pantulan gelombang radar dari permukaan bumi. Permukaan air biasanya memantulkan gelombang radar jauh lebih sedikit dibanding permukaan padat seperti bangunan atau vegetasi, sehingga muncul sebagai area gelap dalam citra radar.

Metode Otsu Thresholding bekerja dengan menganalisis histogram distribusi nilai piksel dari citra Sentinel-1 (baik pada pre-event, post-event, maupun hasil differencing atau log-ratio) [9]. Otsu secara otomatis menentukan nilai ambang (threshold) optimal yang memisahkan dua kelas utama piksel berdasarkan minimisasi varians intra-kelas, yaitu seberapa homogen tiap kelas piksel yang terbentuk. Dalam hal ini, kelas pertama merepresentasikan piksel dengan nilai pantulan rendah (area air/genangan), dan kelas kedua adalah piksel dengan pantulan tinggi (tanah kering, vegetasi, bangunan, dll) [10].

Setelah threshold optimal ditemukan, citra diklasifikasikan menjadi dua kategori:

- Kelas air: piksel di bawah nilai ambang (representasi genangan),
- Kelas non-air: piksel di atas nilai ambang (area kering).

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses ini adalah sebagai berikut:

- Unduh data Sentinel-1 GRD pre- dan post-banjir dari situs <https://dataspace.copernicus.eu/> yang mencakup wilayah Kabupaten Sampang.
- Pra-pemrosesan data: termasuk koreksi radiometrik, speckle filtering, dan koreksi geometrik.
- Hitung selisih atau rasio antara pre- dan post-event untuk menghasilkan citra perubahan.

- c. Terapkan Otsu Thresholding pada citra hasil perubahan untuk mengidentifikasi area dengan perubahan signifikan (indikasi genangan).
- d. Klasifikasikan dan petakan area tersebut sebagai wilayah tergenang.
- e. Overlay dengan peta administrasi Kabupaten Sampang untuk mendapatkan peta wilayah rawan tergenang air.

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari hingga Juni 2025, dengan lokasi kajian terfokus di wilayah administratif kabupaten sampang. Daerah ini dipilih karena memiliki potensi tergenang Air dan sekaligus menghadapi risiko dampak lingkungan apabila tidak direncanakan secara baik.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi laptop sebagai sarana pengolahan data serta perangkat lunak Google Chrome sebagai alat bantu analisis dan visualisasi spasial. Bahan penelitian meliputi Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:250.000, citra satelit google Earth Engine, serta data observasi dan wawancara di lapangan.

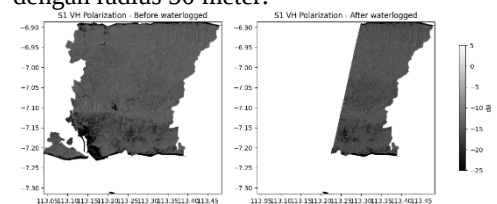
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Proses Akuisisi dan Pengolahan Data Sentinel-1 SAR

Data Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR) digunakan sebagai basis utama dalam pemetaan wilayah rawan tergenang Air di Kabupaten Sampang. Pengambilan data dilakukan melalui platform Google Earth Engine (GEE) menggunakan koleksi COPERNICUS/S1_GRD, dengan dua periode waktu: sebelum dan sesudah kejadian banjir. Wilayah kajian (Area of Interest/AOI) ditentukan dengan batas administratif dari dataset FAO GAUL, kemudian dilakukan pemfilteran spasial dan temporal.

Data sebelum tergenang air diambil dari 1-4 januari 2021, sebelum tergenang air, sedangkan data setelah tergenang air difokuskan pada rentang 5–9 Januari 2021, menyesuaikan dengan laporan kejadian banjir. Data Sentinel-1 GRD telah melalui beberapa proses prapemrosesan standar seperti radiometric calibration dan terrain correction, sehingga data siap digunakan dalam analisis.

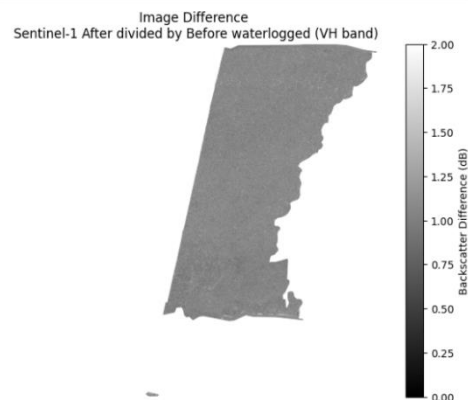
(speckle), dilakukan proses smoothing menggunakan focal mean dengan radius 50 meter.



Gambar, 3 sebelum tergenang air dan sesudah tergenang air

Berdasarkan gambar 3 tersebut, tubuh air akan nampak lebih gelap atau berwarna hitam. Kita dapat melihat secara visual adanya perbedaan area tubuh air pada citra sebelum dan sesudah tergenang air.

Selanjutnya, dilakukan analisis image difference dengan menghitung rasio antara citra setelah banjir dan sebelum tergenang air. Perubahan nilai backscatter yang signifikan mengindikasikan adanya transformasi permukaan, terutama pada area yang semula kering menjadi tergenang. Citra difference ini menjadi dasar dalam penerapan metode thresholding



Gambar.4 image difference sesudah tergenang air dan sebelum tergenang air

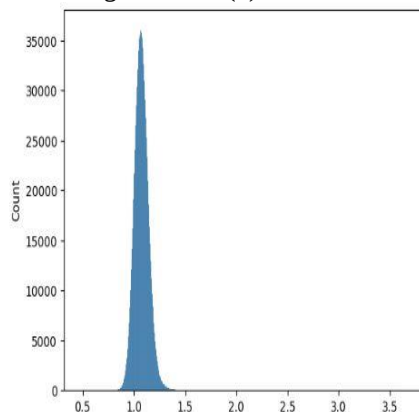
Dapat kita lihat gambar 4 di atas terdapat area yang berwarna sangat putih yang mengindikasikan adanya perubahan area tubuh air sebelum dan sesudah tergenang air. Hal tersebut mengindiasikan adanya area tergenang air, apabila pada citra Sentinel-1 sebelum tergenang air adalah area non-tubuh air namun berubah menjadi tubuh air pada citra Sentinel-1 setelah banjir.

3.2 Penerapan Metode Otsu Thresholding

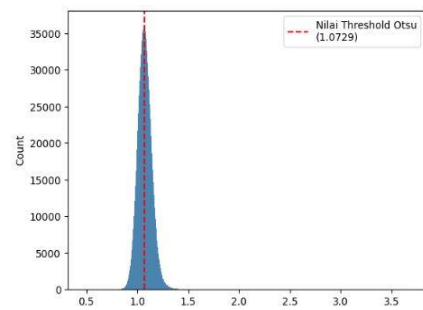
Metode thresholding yang digunakan adalah Otsu's Method, yaitu metode segmentasi otomatis berbasis histogram.

Dengan memanfaatkan pustaka *scikit-image*, nilai threshold diperoleh secara adaptif dari distribusi nilai pixel image difference. Nilai ambang batas yang diperoleh secara otomatis dari analisis histogram digunakan untuk mengklasifikasikan:

- Nilai $\geq$ threshold: Diklasifikasikan sebagai wilayah tegenang air (1)
- Nilai $<$ threshold: Diklasifikasikan sebagai non-air (0)



Gambar.5 Histogram Data Image Difference Dengan Menggunakan Library Seabor



Gambar. 6 Nilai Threshold Untuk Membedakan Area Non-Tergenang air Dan Area Tergenang air

Hasil thresholding ditampilkan sebagai citra biner, dengan visualisasi spasial wilayah yang terdeteksi mengalami genangan.

3.3 Tahapan Post-Processing dengan Land Cover ESA

Agar hasil deteksi genangan lebih akurat, dilakukan tahap post-processing untuk menghilangkan piksel banjir yang tumpang tindih dengan area tubuh air permanen. Untuk itu digunakan dataset ESA WorldCover v200, di mana kelas permanent water bodies memiliki nilai piksel 80.

3.4 Estimasi Luas Area Tergenang air

Setelah proses klasifikasi dan post-processing, dilakukan estimasi luas wilayah tergenang air. Hasil perhitungan menunjukkan:

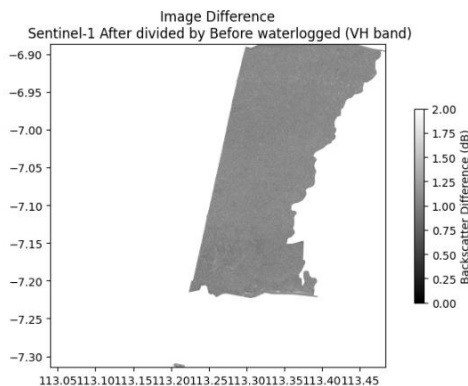
- Jumlah piksel tergenang air sebelum post-processing: ± 2991757
- Jumlah piksel tergenang air sesudah post-processing: ± 2913423
- Resolusi piksel Sentinel-1: $10\text{m} \times 10\text{m} = 100\text{ m}^2/\text{piksel}$
- Total luas area tergenang air: ± 29134.23 hektar

Estimasi ini memberikan gambaran kuantitatif terhadap dampak banjir di wilayah sampang.

3.5 Visualisasi Hasil dan Interpretasi Spasial

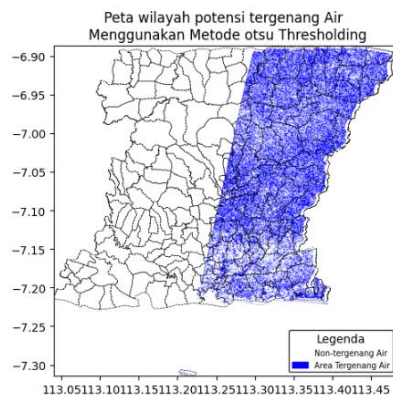
Hasil pemetaan divisualisasikan dalam dua bentuk:

- Peta citra difference Sentinel-1 (After/Before)



Gambar.7 Peta citra difference Sentinel-1

- Peta klasifikasi area tergenang air menggunakan metode Otsu Thresholding



Gambar.8 peta wilayah potensi tergenang Air menggunakan metode otsu thresholding

Peta tersebut menunjukkan area genangan tersebar di sepanjang Sungai Kemuning dan beberapa wilayah dataran rendah, seperti di gunung maddah, desa banyumas, desa panggung, dan sekitarnya. Visualisasi hasil ini diperkuat dengan overlay batas administrasi dan data land cover,

yang mempermudah dalam interpretasi spasial.

3.6 Data Hubungan Elevasi dengan Genangan Air

Tabel 1. Hubungan Elevasi dengan Genangan Air

LOKASI	COORDINATE		KETINGGIAN TANAH	ELEVASI (M)	GENANGAN AIR
1	Latitude	Longitude	Tinggi	52	Tidak Tergenang Air
2	7°12'2.74"S	113°15'18.69"E	Rendah	17	Tidak Tergenang Air
3	7°11'48.17"S	113°15'15.75"E	Tinggi	34	Tidak Tergenang Air
4	7°12'5.80"S	113°15'11.93"E	Rendah	14	Tergenang Air
5	7°12'21.45"S	113°15'26.01"E	Rendah	11	Tergenang Air
6	7°11'51.64"S	113°15'10.55"E	Rendah	20	Tergenang Air
7	7°11'35.08"S	113°15'32.61"E	Rendah	12	Tergenang Air
8	7°11'52.08"S	113°15'21.38"E	Rendah	23	Tergenang Air
9	7°11'27.10"S	113°15'55.32"E	Rendah	5	Tergenang Air
10	7°11'37.65"S	113°16'16.13"E	Tinggi	72	Tidak Tergenang Air
11	7°11'59.30"S	113°15'16.45"E	Tinggi	26	Tergenang Air
12	7°12'12.30"S	113°15'38.85"E	Tinggi	34	Tidak Tergenang Air
13	7°11'39.48"S	113°14'54.99"E	Rendah	5	Tergenang Air
14	7°12'13.14"S	113°15'51.25"E	Tinggi	33	Tidak Tergenang Air
15	7°12'6.72"S	113°15'36.28"E	Tinggi	32	Tidak Tergenang Air
16	7°12'7.61"S	113°16'9.60"E	Tinggi	51	Tidak Tergenang Air
17	7°11'50.03"S	113°15'39.87"E	Tinggi	36	Tidak Tergenang Air
18	7°11'26.88"S	113°15'24.47"E	Rendah	6	Tergenang Air
19	7°12'14.59"S	113°16'0.57"E	Tinggi	38	Tidak Tergenang Air
20	7°11'43.69"S	113°15'44.83"E	Tinggi	40	Tidak Tergenang Air

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan antara ketinggian tanah (elevasi) dengan potensi terjadinya genangan air pada 20 titik lokasi yang tersebar di suatu wilayah. Data diperoleh melalui pengukuran koordinat geografis (latitude dan longitude), klasifikasi ketinggian tanah secara visual (rendah atau tinggi), pengukuran elevasi dalam satuan meter, serta pengamatan terhadap kondisi genangan air di masing-masing titik.

Dari hasil Tabel 1 diatas, ditemukan bahwa sebagian besar lokasi dengan elevasi di bawah 25 meter mengalami genangan air. Contohnya, lokasi ke-4 (14 m), lokasi ke-5 (11 m), dan lokasi ke-9 (5 m), seluruhnya tergolong dalam kategori rendah dan mengalami genangan air. Namun demikian, terdapat pengecualian menarik pada lokasi ke-2, yang meskipun hanya memiliki elevasi 17 meter dan tergolong rendah, ternyata tidak mengalami genangan air. Hal ini mengindikasikan kemungkinan pengaruh faktor lain seperti drainase lokal atau kemiringan lahan.

terhadap potensi banjir atau genangan sehingga dapat disimpulkan 90 persen sesuai 10 tidak sesuai.

Namun terdapat satu anomali penting, yaitu pada lokasi ke-11, yang memiliki elevasi 26 meter dan dikategorikan tinggi,

tetapi tetap mengalami genangan air. Ini menandakan bahwa meskipun elevasi memberikan kecenderungan terhadap kerentanan banjir, faktor-faktor seperti kontur lokal, sistem aliran air, dan kondisi tanah sangat memengaruhi hasil akhir

4. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa metode Otsu Thresholding dapat diterapkan secara efektif pada citra Sentinel-1 SAR untuk memetakan wilayah rawan genangan banjir secara spasial di Kabupaten Sampang.

menunjukkan bahwa genangan air umumnya terjadi di wilayah dataran rendah dan sepanjang aliran sungai utama, terutama di Desa Gunung Maddah, Desa Banyumas, dan sekitarnya.

Dari analisis spasial dan elevasi tanah, diketahui bahwa lokasi dengan elevasi di bawah 25 meter cenderung lebih berisiko mengalami genangan. Namun, terdapat pengecualian yang menandakan bahwa faktor topografi lokal dan sistem drainase juga mempengaruhi tingkat kerawanan genangan.

5. SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengombinasikan metode Otsu Thresholding dengan algoritma klasifikasi lain (misalnya Random Forest atau Deep Learning) agar akurasi semakin tinggi. Selain itu, penggunaan data multisensor (Sentinel-1, Sentinel-2, atau Landsat) serta analisis deret waktu (time series) perlu dilakukan untuk memahami pola genangan dari waktu ke waktu. Integrasi data curah hujan, hidrologi, serta validasi lapangan yang lebih luas juga penting untuk memperkuat hasil. Ke depan, penelitian ini dapat dikembangkan menjadi sistem peringatan dini berbasis spasial yang aplikatif bagi masyarakat dan pemerintah daerah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SPIE, "Rapid flood monitoring based on Otsu threshold and damage assessment," *SPIE Conference Proceedings*, Bellingham, WA, USA, 2024, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1117/12.3040715>
- [2] T. E. Yorulmaz, "Automatic flood mapping using Sentinel-1 SAR and Otsu method on Google Earth Engine: Case study of Duzce/Golyaka," *Medium*, Jul. 24, 2023, [Online]. Available: <https://medium.com/@taremyor/automatic-flood-mapping-using-sentinel-1-sar-and-otsu-method-on-google-earth-engine-case-study-of-21c401a8602d>
- [3] Wikipedia, "Otsu's method," *Wikipedia*, Jun. 2025, [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Otsu%27s_method
- [4] K. H. Tran, M. Menenti, and L. Jia, "Surface water mapping and flood monitoring in the Mekong Delta using Sentinel-1 SAR time series and Otsu threshold," *Remote Sensing*, vol. 14, no. 22, p. 5721, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/rs14225721>
- [5] J. Smith, "Rapid flood inundation mapping using multi-temporal Sentinel-1 SAR and Otsu method," *Journal of Geospatial Research and Studies*, Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2022, [Online]. Available: <https://jgrs.eng.unila.ac.id/index.php/geo/article/view/205>
- [6] ResearchGate Author, "The capability of Sentinel-1 SAR for flood mapping: A case study in Serang watershed (Kulonprogo Regency)," *ResearchGate*, 2023, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/363781932>
- [7] *International Journal for Disaster and Development Interface*, "Flood inundation detection in Bandung City using Sentinel-1 SAR imagery," *International Journal for Disaster and Development Interface*, Jakarta, 2025, [Online]. Available: <https://ijddi.net/index.php/ijddi/article/download/93/87>

-
- [8] SPIE/Bi, "Automatic monitoring of surface water dynamics using Sentinel-1 on Google Earth Engine," *ScienceDirect*, Elsevier, Amsterdam, 2024, [Online]. Available:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569843222001984>
- [9] Z. Wang, Z. Hao, Q. Yang, P. Mapfumo, and F. Ling, "Mapping seamless surface water dynamics over East Africa semimonthly by integrating Sentinel-1/2 data," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Hannover, May 2025, [Online]. Available:
https://www.researchgate.net/figure/The-results-of-spectral-indices-and-thresholding-by-the-Otsu-thresholding-technique-for_fig10_378594899
- [10] G. T. Tassew, A. B. Mitiku, T. M. Mekonnen, F. B. Geleta, and A. T. Woldemichael, "Evaluating flood extent using Synthetic Aperture Radar (SAR) and MNDWI methods," *ResearchGate*, Mar. 2025, [Online]. Available:
<https://www.researchgate.net>