

Aplikasi Citra Sentinel-1 SAR untuk Deteksi Banjir di Kecamatan Sandai, Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat

Ria Dhanisa¹, Joko Sampurno^{1*}, dan Radhitya Perdhana¹

¹Program Studi Geofisika, Universitas Tanjungpura; *e-mail: jokosampurno@physics.untan.ac.id

ABSTRAK

Kecamatan Sandai di Kabupaten Ketapang, Provinsi Kalimantan Barat, merupakan wilayah pedalaman yang sering terkena bencana banjir. Namun, keterbatasan data terkait kejadian banjir di kecamatan tersebut menjadi hambatan dalam memahami dan menganalisis dampak kejadian tersebut. Penelitian ini mencoba memanfaatkan citra Sentinel-1 *Synthetic Aperture Radar* (SAR) untuk memetakan sebaran banjir dan menganalisis dampaknya terhadap populasi penduduk dan infrastruktur (bangunan dan jalan) di wilayah studi. Citra diolah menggunakan metode *Change Detection and Thresholding* (CDAT) untuk menghasilkan peta sebaran banjir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peta sebaran banjir yang diperoleh memiliki tingkat akurasi yang cukup baik (0,67). Studi kasus pada kejadian banjir Oktober 2022 menunjukkan banjir berdampak signifikan terhadap jumlah penduduk (11.300 jiwa terdampak), bangunan (5.400 terendam), dan jaringan jalan (98 km tergenang). Hasil studi ini dapat digunakan oleh pemerintah setempat dalam merencanakan langkah-langkah mitigasi bencana banjir masa depan di lokasi studi.

Kata kunci: Banjir, Sandai, Sentinel-1 SAR, *Change Detection and Thresholding*

ABSTRACT

The Sandai district in Ketapang Regency, West Kalimantan Province, is a remote area that is frequently affected by flood disasters. However, the limited data on flood occurrences in the subdistrict poses a challenge in understanding and analyzing the impacts of these events. This research aims to utilize Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery to map the flood extent and analyze its impacts on the population and infrastructure (buildings and roads) in the study area. The images were processed using the Change Detection and Thresholding (CDAT) method to generate a flood extent map. The results indicate that the obtained flood extent map has a reasonably good accuracy (0.67). A case study of the October 2022 flood event reveals significant impacts on the population (11,300 affected individuals), buildings (5,400 inundated), and road networks (98 km submerged). The findings of this study can be utilized by the local government in planning future flood disaster mitigation measures in the study area.

Keywords: Flood, Sandai, Sentinel-1 SAR, *Change Detection and Thresholding*

Citation: Dhanisa, R., Sampurno, J., dan Perdhana R. (2024). Aplikasi Citra Sentinel-1 SAR untuk Deteksi Banjir di Kecamatan Sandai Kabupaten Ketapang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 672-677, doi:10.14710/jil.22.3.672-677

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan bencana alam yang terus menerus mengancam pemukiman manusia, pertanian, dan infrastruktur di seluruh Indonesia. Banjir adalah fenomena alam di mana wilayah dataran banjir tidak mampu menyerap jumlah air yang berlebih akibat luapan sungai atau curah hujan yang tinggi, sehingga terjadi genangan di permukaan (Pradana et al., 2020). Banjir menjadi ancaman serius ketika daerah yang telah dikembangkan menjadi kawasan pemukiman, pertanian, perkebunan, dan tempat aktivitas manusia lainnya terendam, menyebabkan kerugian baik dalam hal korban jiwa maupun kerugian material (Putuhena dan Ginting, 2013).

Kecamatan Sandai merupakan daerah yang secara rutin mengalami banjir di Kabupaten Ketapang,

Kalimantan Barat. Pada bulan Oktober 2022, banjir diestimasi telah mengakibatkan kerugian yang cukup signifikan (BPBD, 2022). Oleh karena itu, ketersediaan informasi yang akurat mengenai sebaran banjir sangat diperlukan dalam pengambilan keputusan oleh instansi terkait, guna meminimalisir dampak ekonomi dan korban jiwa akibat banjir (Tsyganskaya et al., 2018). Sayangnya, informasi mengenai sebaran banjir yang diperlukan tersebut belum tersedia secara memadai.

Metode penginderaan jauh memiliki potensi sebagai salah satu pendekatan yang efektif dalam memetakan sebaran banjir di wilayah yang sulit mendapatkan data. Salah satu metode penginderaan jauh yang dapat digunakan adalah menggunakan citra satelit Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR). Keunggulan utama dari Sentinel-1 SAR adalah

kemampuannya untuk menembus awan dan vegetasi yang rapat, serta tidak terbatas oleh kondisi waktu siang atau malam, serta tidak terpengaruh oleh kondisi cuaca (Ariyantoni dan Rokhmana, 2020).

Untuk memetakan sebaran banjir berdasarkan citra SAR, metode CDAT (*Change Detection Analysis Technique*) telah menunjukkan keunggulan yang signifikan dalam memetakan sebaran banjir. Penelitian oleh Bioresita dkk. (2021), Kasanah dkk. (2021), dan Nasution dkk. (2020) semuanya mengonfirmasi efektivitas metode ini. Keunggulan utama CDAT terletak pada kemampuannya dalam mengidentifikasi perubahan permukaan akibat banjir, bahkan di bawah kondisi cuaca buruk atau penutupan awan, dimana teknologi penginderaan jauh optik tradisional sering kali gagal. CDAT mampu memanfaatkan karakteristik backscatter SAR yang sensitif terhadap perubahan kelembaban tanah dan permukaan air, memungkinkan deteksi banjir yang lebih akurat dan efisien. Hasil dari ketiga penelitian tersebut menegaskan bahwa metode CDAT memberikan hasil yang baik dalam mengidentifikasi area terdampak banjir, sehingga memberikan informasi penting untuk upaya mitigasi dan respons bencana.

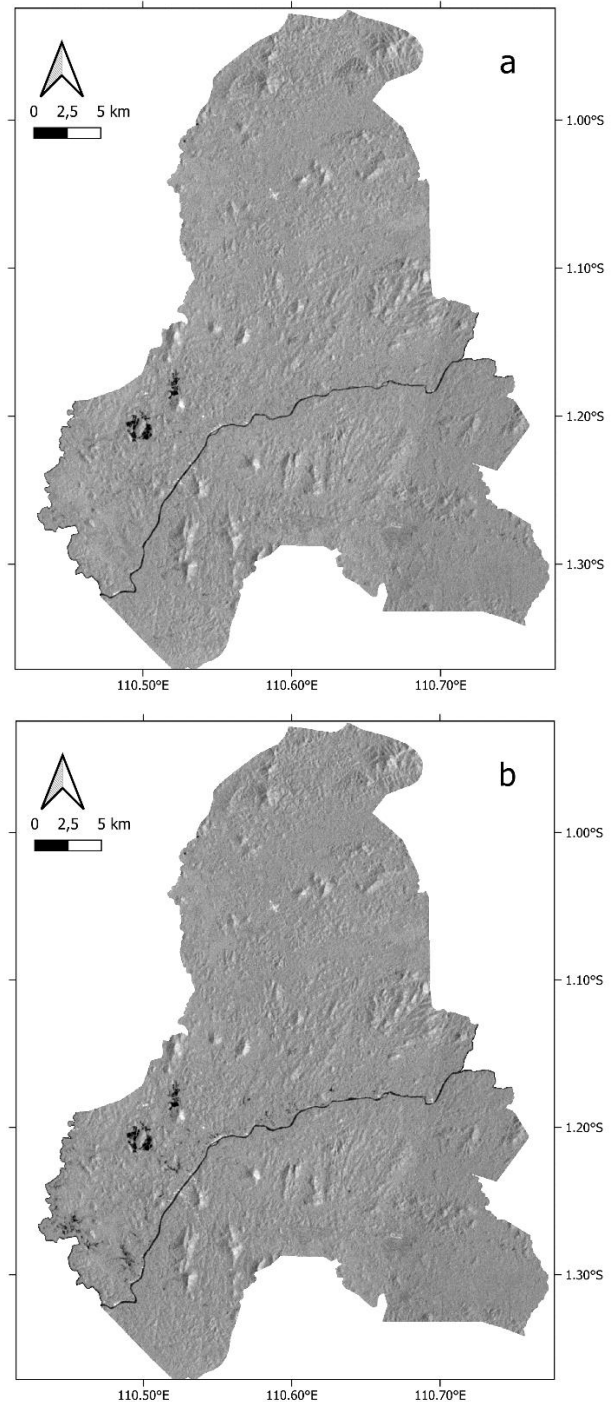
Pada penelitian ini, metode CDAT dimanfaatkan untuk mengidentifikasi area sebaran banjir pada kejadian banjir di bulan Oktober tahun 2022 di Kecamatan Sandai, Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat. Data yang digunakan untuk mendeteksi sebaran banjir adalah citra Sentinel-1 SAR sebelum dan saat kejadian banjir. Setelah peta sebaran banjir didapatkan, selanjutnya luasan banjir dan dampak banjir terhadap populasi penduduk dan infrastruktur dihitung dan dianalisis. Ketersediaan peta sebaran banjir dan dampaknya tersebut diperlukan oleh pemerintah setempat untuk memitigasi bencana banjir di masa depan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini memilih Kecamatan Sandai sebagai studi kasus. Kecamatan Sandai terletak di pedalaman Kabupaten Ketapang, Provinsi Kalimantan Barat, Indonesia. Kecamatan ini dipilih karena merupakan daerah yang secara rutin mengalami banjir setiap tahun. Salah satu banjir besar terjadi pada tanggal 07 - 23 Oktober 2022, dan telah dinyatakan sebagai Status Tanggap Darurat Bencana Banjir oleh Pemerintah Kabupaten Ketapang (BPBD, 2022). Oleh karena itu, kejadian banjir pada bulan ini dipilih sebagai studi kasus pada penelitian ini.

Citra SAR yang digunakan adalah citra satelit Sentinel-1 Level-1 GRD (*Ground Range Detected*), yang dapat diunduh melalui platform *Google Earth Engine* (GEE) di laman: <https://code.earthengine.google.com/>. Citra Sentinel-1 Level-1 GRD di GEE telah melalui berbagai tahap pra-pemrosesan data, diantaranya penghilangan derau, kalibrasi radiometrik untuk menghitung intensitas *backscatter* dengan menggunakan parameter kalibrasi sensor, koreksi topografi untuk

orthorectification, dan konversi koefisien *backscatter* (σ^0) menjadi desibel (dB) (Filipponi, 2019). Citra tersebut kemudian difilter kembali berdasarkan mode instrumen, polarisasi, arah lewat, dan resolusi spasial, serta dipotong sesuai dengan area penelitian (*region of interest*). Selanjutnya, dilakukan proses *smoothing* pada citra untuk mengurangi efek derau intrinsik pada citra SAR.



Gambar 1. Citra SAR sebelum (a) dan saat banjir (b)

Untuk mendeteksi sebaran banjir, dilakukan pengolahan data dalam beberapa tahap. Pertama, dilakukan pemilihan citra SAR sebelum dan saat kejadian banjir (Gambar 1). Di sini, citra SAR dengan

pola polarisasi *Vertical Transmit - Vertical Receive* (VV) dipilih karena topografi daerah studi yang dikaji berupa dataran tinggi. Citra Sentinel-1 SAR sebelum banjir yang dipilih dalam penelitian ini citra yang diakuisisi pada tanggal 17 Juli 2022, sementara citra saat banjir yang dipilih adalah citra yang diakuisisi pada tanggal 09 dan 21 Oktober 2022 (Gambar 1). Selanjutnya, citra-citra tersebut dipotong sesuai geometri daerah penelitian. Setelah itu, citra dihaluskan dengan metode *Gaussian filter* untuk menghilangkan noise pada citra.

Langkah selanjutnya, peta sebaran banjir dibuat menggunakan metode CDAT. Citra saat kejadian banjir dan sebelum kejadian dibandingkan untuk diamati perubahan nilai pixelnya. Perubahan nilai pixel ini dijadikan satu buah citra baru (citra perubahan pixel). Setelah itu, citra tersebut diberi ambang batas (*thresholding*) untuk mengklasifikasikan pixel-pixel yang mengalami perubahan yang signifikan (Bioresta, et al., 2021). Nilai threshold dipilih melalui tahapan *trial and error*. Dengan threshold tersebut, pixel-pixel di citra diklasifikasikan sebagai pixel banjir jika mengalami perubahan signifikan (nilai pixel di atas nilai threshold). Sebaliknya, pixel dikategorikan tidak banjir jika tidak terjadi perubahan yang signifikan (nilai pixel di bawah nilai threshold).

Hasil klasifikasi sebaran banjir selanjutnya dikoreksi kembali. Koreksi pertama dengan memanfaatkan data *JRC Global Surface Water* (Pekel, et al., 2016) untuk menghilangkan area perairan permanen. Kemudian, data *NASA SRTM Digital Elevation 30m* (Farr, et al., 2007) digunakan untuk menghapus daerah terprediksi banjir yang memiliki kemiringan yang curam (di atas 5%). Terakhir, koreksi tambahan dilakukan dengan menghapus area banjir yang memiliki ukuran piksel kurang dari delapan piksel, yang dianggap sebagai genangan air kecil saja (UN-SPIDER, 2023).

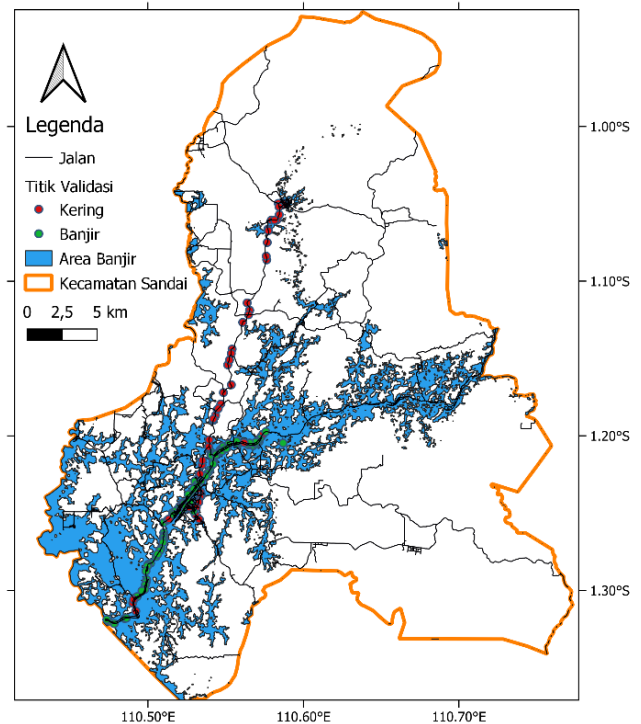
Selanjutnya, hasil klasifikasi sebaran banjir divalidasi akurasi dengan menggunakan data validasi lapangan. Untuk menggambarkan tingkat akurasi model dalam mengklasifikasikan banjir secara benar, digunakan nilai parameter *accuracy* (Ukrainski, 2016; Rahman et al., 2017). Hasil peta sebaran banjir tervalidasi kemudian dihitung dan dievaluasi dampaknya. Dampak sebaran banjir dievaluasi terhadap populasi penduduk dan infrastruktur. Untuk menghitung luasan daerah terdampak, peta sebaran banjir tersebut ditumpang tindihkan (*overlay*) dengan peta populasi penduduk dari *Gridded Population of the World Version 4.11* (CIESIN - Columbia University, 2018) dan peta sebaran infrastruktur dari *Open Street Map* (2023). Proses evaluasi dampak ini dihitung menggunakan plugin QGIS: INaSAFE (Pranaty, et al, 2015).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pemetaan Sebaran Banjir

Untuk mendapatkan akurasi terbaik, dalam penelitian ini nilai threshold antara 1,01 hingga 1,30

diuji cobakan. Hasilnya diperoleh 1,06 sebagai nilai yang menghasilkan nilai *accuracy* terbaik. Visualisasi hasil sebaran banjir di Kecamatan Sandai berdasarkan threshold 1,06 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Hasil Sebaran Banjir dan titik validasi

Untuk melakukan validasi terhadap peta sebaran banjir, digunakan data observasi di 143 titik pengamatan di lapangan sebagai acuan (Gambar 2). Dari total titik tersebut, 79 titik merupakan daerah tidak banjir, sementara 64 titik merupakan daerah banjir. Hasil validasi disajikan dalam bentuk *confusion matrix* sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan *Confusion Matrix*

	Observasi		
	Tidak Banjir	Banjir	
Prediksi	Tidak Banjir	45	13
	Banjir	34	51

Tabel 1 menunjukkan sebanyak 45 titik tidak banjir diprediksi benar sebagai titik tidak banjir (*True Negative*) dan 51 titik banjir diprediksi benar sebagai titik banjir (*True Positive*). Sebaliknya, ada 34 titik tidak banjir yang terprediksi sebagai banjir (*False Positive*) dan 13 titik banjir yang terprediksi sebagai tidak banjir (*False Negative*). Berdasarkan nilai-nilai tersebut dihitunglah nilai *accuracy*. Nilai *accuracy* dihitung dengan cara menjumlahkan *True Positive* dan *True Negative*. Kemudian hasil penjumlahannya dibagi dengan total data. Nilai *accuracy* menunjukkan tingkat kedekatan antara nilai prediksi dengan nilai kejadian yang sebenarnya (Rahman et al., 2017). Klasifikasi nilai akurasi dalam beberapa kelas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Nilai Akurasi (Gorunescu, 2011; Nurlaela, 2020)

Nilai Akurasi	Kelas
0,9 - 1,0	Sangat Baik
0,8 - 0,9	Baik
0,7 - 0,8	Menengah
0,7 - 0,6	Cukup
0,5 - 0,6	Buruk

Hasil validasi sebaran banjir citra Sentinel-1 SAR dengan polarisasi VV dan threshold 1,06 diperoleh nilai *accuracy* sebesar 0,67. Berdasarkan Tabel 2 nilai *accuracy* ini masuk ke dalam klasifikasi kelas cukup. Nilai ini menunjukkan bahwa peta sebaran banjir yang dibuat sudah cukup mewakili kejadian banjir yang sebenarnya (Filianoti dkk., 2020).

Tabel 1 menunjukkan bahwa 34 area tidak banjir terprediksi sebagai area banjir. Hal ini terjadi karena adanya kemungkinan beberapa hal. Pertama, adanya area *double bounce* yang dapat mempengaruhi citra dalam mendeteksi banjir. *Double bounce* artinya sinyal SAR yang dideteksi oleh satelit kemungkinan dipantulkan tidak secara langsung oleh permukaan objek tetapi terpantul terlebih dahulu ke objek lain sebelum dideteksi oleh sensor. Hal ini dapat menyebabkan refleksi yang terdistorsi pada citra SAR, sehingga pixel citra yang terdistorsi akan terdeteksi sebagai area banjir (Alawiyah dan Harintaka, 2021). Fenomena ini biasanya terjadi pada lokasi yang terdapat banyak gedung, bangunan, atau daerah bertopografi perbukitan di permukaan bumi. Kedua, resolusi spasial citra SAR juga dapat mempengaruhi kemampuan untuk mendeteksi dan mengestimasi sebaran banjir yang tepat. Semakin rendah resolusi dari citra maka akan semakin sulit membedakan antara objek air dan bukan air secara jelas, sehingga menurunkan nilai akurasi. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang dijalankan oleh Juliandri dkk. (2022), yang mengindikasikan bahwa semakin tinggi resolusi spasial, maka akurasi dari model untuk memprediksi bahaya banjir juga akan meningkat.

3.2. Identifikasi Dampak Sebaran banjir

Proses identifikasi dampak sebaran banjir terhadap populasi penduduk dan infrastruktur dimulai dengan menumpangtindihkan (*overlay*) antara peta sebaran banjir dan peta *exposure* (populasi penduduk dan sebaran infrastruktur). Proses perhitungan ini dikerjakan dengan menggunakan plugin INaSAFE (2023) di QGIS.

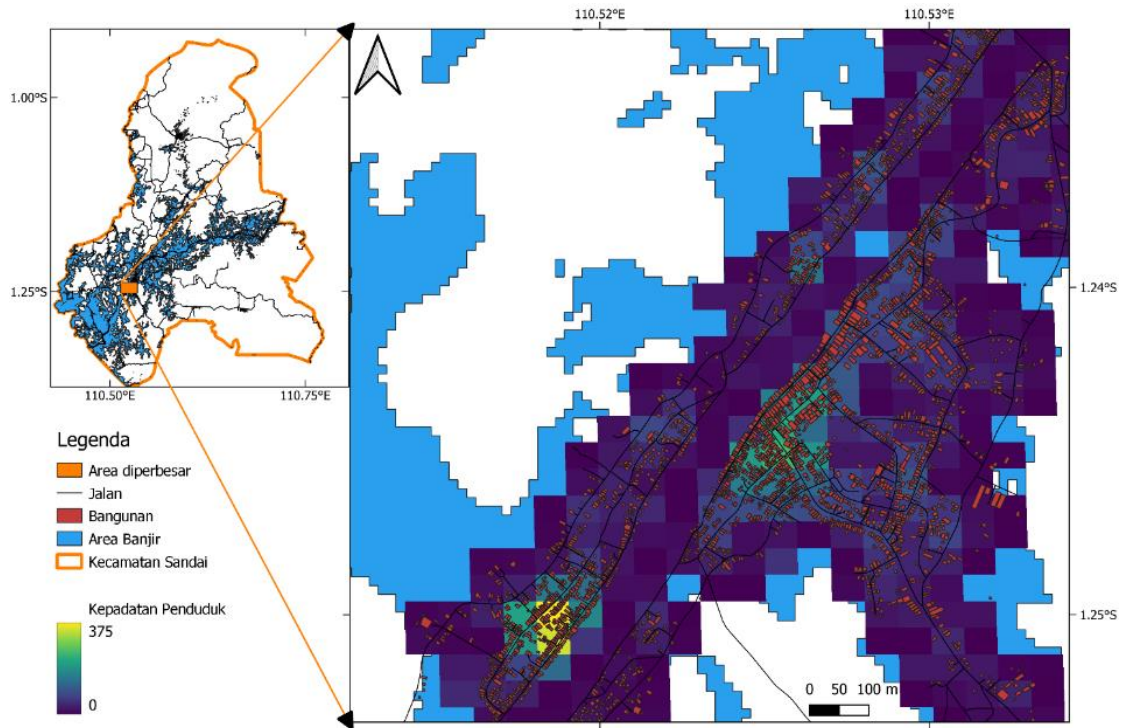
Jumlah penduduk yang terdampak dan tidak terdampak oleh banjir dihitung dengan melihat luasan

peta kepadatan penduduk yang beririsan dengan peta sebaran banjir (Akrimullah et al., 2017). Berdasarkan irisan peta tersebut, selanjutnya jumlah penduduk terdampak dan tidak terdampak dihitung dan dibulatkan dalam angka ratusan. Peta dampak sebaran banjir terhadap populasi penduduk dapat ditemukan pada Gambar 3. Berdasarkan gambar tersebut, dapat diketahui bahwa dari total populasi penduduk Kecamatan Sandai sebanyak 26.200 jiwa, terdapat 11.300 jiwa yang terdampak banjir dan 14.900 jiwa yang tidak terdampak.

Selanjutnya, dampak sebaran banjir terhadap infrastruktur (jalan dan bangunan) juga dihitung dan dianalisis. Peta jalan dan sebaran bangunan di Kecamatan Sandai yang diperoleh dari *Open Street Map* (2023) digunakan sebagai data *exposure*. Cara menghitung panjang jalan dan jumlah bangunan terdampak sama dengan sebelumnya. Peta ditumpangtindihkan dengan peta sebaran banjir. Peta jalan dan bangunan yang beririsan dengan peta sebaran banjir dihitung sebagai panjang jalan dan jumlah bangunan terdampak. Hasilnya menunjukkan bahwa panjang jalan yang terdampak banjir mencapai 98 km, sementara jalan yang tidak terdampak banjir memiliki panjang 407 km. Kemudian, dari total 10.000 bangunan di Kecamatan Sandai, 5.400 bangunan terdampak dan 4.600 bangunan tidak terdampak.

Selain itu, peta sebaran banjir yang diperoleh juga ditumpangtindihkan dengan peta sebaran desa di Kecamatan Sandai. Hasilnya menunjukkan bahwa dampak banjir paling signifikan terjadi di Desa Muara Jekak dan Sandai Kiri. Kedua desa tersebut berada di sepanjang Sungai Pawan, yang merupakan sungai cukup lebar dan menjadi pusat kegiatan penduduk di Kecamatan Sandai. Kemudian, Desa Petai Patah, Randau Jungkal, Jago Bersatu, Penjawaan, dan Randau juga mengalami dampak yang cukup signifikan. Sementara itu, desa-desa yang paling sedikit terdampak adalah Sandai, Demit, Pendamar Indah, Berimbang Jaya, dan Alas Pangkuan.

Secara keseluruhan, dapat dianalisis bahwa banjir di Kecamatan Sandai berdampak paling signifikan terhadap bangunan dan desa yang berada di bantaran Sungai Pawan. Di sepanjang bantaran sungai ini, belum ada infrastruktur penahan banjir (*flood defense*) yang memadai. Akibatnya, luapan banjir dari Sungai Pawan akan langsung berdampak pada infrastruktur di kawasan ini (Mollah & Ferdaush, 2015).



Gambar 3. Dampak Sebaran Banjir

Selain itu, populasi penduduk di Kecamatan Sandai juga terkonsentrasi di bantaran sungai pawan (Gambar 3). Secara umum, kepadatan penduduk yang tinggi dapat meningkatkan risiko banjir. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, kepadatan penduduk yang tinggi seringkali berhubungan dengan penggunaan lahan yang intensif, yang mengurangi area permukaan yang dapat menyerap air hujan, seperti taman dan lahan hijau. Kedua, perkembangan infrastruktur perkotaan seperti jalan dan bangunan sering kali tidak disertai dengan sistem drainase yang memadai, menyebabkan penumpukan air saat hujan lebat. Ketiga, kepadatan penduduk yang tinggi juga dapat memperburuk dampak banjir, karena lebih banyak orang dan harta benda yang berisiko terkena dampak langsung. Studi yang dilakukan oleh Jonkman, dkk. (2008) di Rotterdam, misalnya, menunjukkan bahwa peningkatan kepadatan penduduk berbanding lurus dengan peningkatan kerentanan terhadap banjir. Dalam konteks ini, upaya mitigasi banjir dan perencanaan pemukiman yang bertanggung jawab menjadi sangat penting untuk mengurangi risiko dan dampak banjir di daerah dengan kepadatan penduduk tinggi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, disimpulkan bahwa metode CDAT pada data Sentinel-1 SAR dengan nilai threshold sebesar 1,06 mampu menghasilkan peta sebaran banjir dengan tingkat akurasi sebesar 0,67. Hasil ini menunjukkan bahwa peta sebaran banjir tersebut sudah cukup baik dalam merepresentasikan sebaran banjir sebenarnya. Berdasarkan peta sebaran tersebut, dapat diketahui bahwa kejadian banjir pada tanggal 07-23 Oktober

2022 di Kecamatan Sandai menyebabkan 11.300 jiwa yang terdampak, 5.400 bangunan terendam, dan 98 km jalan terputus aksesnya. Temuan ini dapat digunakan oleh pemerintah setempat sebagai dasar untuk merencanakan mitigasi bencana banjir di masa depan di wilayah studi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Akrimullah, A., Sima, B. S., Akhadi, Y. (2017). Open Street Map Infrastructure Mapping and Its Usage on Flood Impact Assessment Using InaSAFE in Surabaya, The 3rd International Seminar on Science and Technology, 9-19.
- Alawiyah, A. M. dan Harintaka. (2021), Identifikasi Genangan Banjir di Wilayah DKI Jakarta Menggunakan Citra Satelit Sentinel-1, *Journal of Geospatial Information Science and Engineering (JGISE)*, Vol. 4, No.1, Hal. 95-101.
- Ariyantoni, J., dan Rokhmana, C. A. (2020). Evaluasi Polarisasi Citra SAR (*Sythetic Aperture Radar*) untuk Klasifikasi Objek Tutupan Lahan. *ELIPSOIDA*, Vol. 3, No. 1, Hal. 22-29.
- Bioresita, F., Ngurawan, M. G. R. dan Hayati, N. (2021). Identifikasi Sebaran Spasial Genangan Banjir Memanfaatkan Citra Sentinel-1 dan Google Earth Engine (Studi Kasus: Banjir Kalimantan Selatan). *Geoid*, Vol.17, No. 1, Hal: 108-118.
- BPBD PROV KALBAR. Update Data Bencana Banjir di Kabupaten Ketapang 15 Oktober 2022. <https://data.kalbarprov.go.id/dataset/update-data-bencana-banjir-di-kabupaten-ketapang-15-oktober-2022> diakses pada tanggal 13-07-2023
- CIESIN - Columbia University. 2018. Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Density, Revision 11. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC).

- Dhanisa, R., Sampurno, J., dan Perdhana R. (2024). Aplikasi Citra *Sentinel-1 SAR* untuk Deteksi Banjir di Kecamatan Sandai Kabupaten Ketapang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 672-677, doi:10.14710/jil.22.3.672-677
<https://doi.org/10.7927/H49C6VHW>. Diakses pada tanggal 13-07-2023.
- Farr, T.G., Rosen, P.A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., and Alsdorf, D.E. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of geophysics*, 45(2).
- Filianoti, P., Gurnari, L., Zema, D. A., Bombino, G., Sinagra, M., & Tucciarelli, T. (2020). An evaluation matrix to compare computer hydrological models for flood predictions. *Hydrology*, 7(3), 42.
- Filipponi, F. (2019). Sentinel-1 GRD preprocessing workflow. In *International Electronic Conference on Remote Sensing* (p. 11). MDPI. Putuhen, W. M. dan Ginting, S. 2013, Pengembangan Model Banjir Jakarta. *Jurnal Teknik Hidraulik*, Vol. 4, No. 1, Hal. 63-78.
- Gorunescu, F. (2011) *Data Mining: Concepts, Models and Techniques*. Datating -Concepts, Models, and Technique. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-19721-5>.
- InaSAFE (2023). Available from: www.inasafe.org (diakses terakhir tanggal 05 Desember 2023).
- Jonkman, S. N., Vrijling, J. K., & Vrouwenvelder, A. C. W. M. (2008). Methods for the estimation of loss of life due to floods: a literature review and a proposal for a new method. *Natural Hazards*, 46, 353-389.
- Juliandri, F., Andreas, H., Pradipta, D. (2022). Perbandingan Hasil Pemodelan Bahaya Banjir Rob di Jakarta Menggunakan DEMNAS, DEM Global, dan DEM LIDAR, *Bulletin of Geology*, Vol.6, Hal: 934-948.
- Kasanah, N., Bashit, N. dan Hadi, F. (2021). Analisis Lahan Sawah Tergenang Banjir Menggunakan Metode Change Detection Dan PPPM (Phenology And Pixel Based Paddy Rice Mapping) (Studi Kasus: Kabupaten Demak), *Jurnal Geodesi Undip*, Vol.10, Hal: 259-268.
- Mollah, T. H., & Ferdaush, J. (2015). Riverbank erosion, population migration and rural vulnerability in Bangladesh (a case study on Kazipur Upazila at Sirajgonj District). *Environment and Ecology Research*, 3(5), 125-131.
- Nasution, A. Maulana, dan Nurtyawan, R. (2020). Identifikasi Sebaran Banjir Berdasarkan Studi Citra Sentinel-1 SAR (Studi Kasus: Kecamatan Cikampek dan Kecamatan Purwasari, Kabupaten Karawang), *Prosiding FTSP Series 1: Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir*, Penerbit Itenas, Bandung.
- Nurlaela, D. (2020). Penerapan Adaboost untuk Meningkatkan Akurasi Naive Bayes pada Prediksi Pendapatan Penjualan Film, *Jurnal Inti Nusa Mandiri*, Vol.14, No.2, Hal: 181-188.
- Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418-422.
- Open Street Map (2023), <https://planet.osm.org>, terakhir diakses pada tanggal 2023/07/08.
- Pradana, I. H. et al. (2020). Analisis Daerah Tergenang Banjir di Desa Sitiarjo, Kabupaten Malang Menggunakan Data SAR (*Synthetic Aperture Radar*) *Sentinel-1*. *Jurnal Georaflesia*, Vol. 5, No. 1, Hal. 58-67.
- Pranantyo, I. R., Fadmastuti, M., & Chandra, F. (2015). InaSAFE applications in disaster preparedness. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1658, No. 1). AIP
- Rahman. M. F., Darmawidjaja. M. I., Alamsah. D. 2017. Klasifikasi Untuk Diagnosa Diabetes Menggunakan Metode *Bayesian Regularization Neural Network (RBNN)*. *Jurnal Informatika*, Vol. 11, No. 1, Hal. 36-45.
- Tsyganskaya, V. et al. 2018. *SAR-based detection of flooded vegetation - a review of characteristics and approaches*. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 39, No. 8, Hal. 2255-2293, Doi: 10.1080/01431161.2017.1420938.
- Ukrainski. P. 2016. *Classification Accuracy Assessment Confusion Matrix Method*. <http://www.50northspatial.org/classification-accuracy-assessment-confusion-matrix-method/>
- UN_SPIDER, <https://www.un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-google-earth-engine-flood-mapping>, diakses pada tanggal 13-07-2023