

Analisis Spasial Genangan Banjir Perkotaan Menggunakan Citra Sentinel-1 SAR Berbasis Google Earth Engine di Kota Gorontalo

Saniver Rachel Butarbutar¹, Fitriyane Lihawa², M. Iqbal Liayong Pratama³

¹⁻³ Program Studi Geografi, Universitas Negeri Gorontalo

Article Info

Article history:

Received Jun, 2026

Revised Jun, 2026

Accepted Jun, 2026

Kata Kunci:

Banjir, Sentinel-1, Change Detection, Google Earth Engine, Analisis Spasial

Keywords:

Flood, Sentinel-1, Change Detection, Google Earth Engine, Spatial Analysis

ABSTRAK

Kota Gorontalo merupakan salah satu wilayah perkotaan yang rentan terhadap banjir akibat luapan Sungai Bone dan Sungai Bolango, kondisi topografi dataran rendah, serta keterbatasan kapasitas drainase. Frekuensi kejadian banjir yang terus meningkat menuntut ketersediaan informasi spasial yang cepat dan akurat untuk mendukung upaya mitigasi bencana. Penelitian ini bertujuan menganalisis sebaran spasial genangan banjir menggunakan citra Synthetic Aperture Radar (SAR) Sentinel-1 yang diproses melalui platform Google Earth Engine. Metode yang digunakan adalah Change Detection Approach dengan membandingkan nilai backscatter polarisasi VH pada kondisi pra-banjir (1 Juni 2024) dan saat banjir (26 Juni 2024). Hasil penelitian menunjukkan luas genangan banjir mencapai ±86,98 ha dengan konsentrasi tertinggi di Kecamatan Sipatana (36,67 ha) dan Kota Utara (24,00 ha). Analisis dampak penggunaan lahan menunjukkan bahwa genangan memengaruhi 54,18 ha lahan persawahan dan 28,81 ha kawasan permukiman. Hasil validasi menghasilkan Overall Accuracy sebesar 91% dan koefisien Kappa 0,82 yang menunjukkan tingkat akurasi tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi Sentinel-1 SAR dan Google Earth Engine efektif untuk mendeteksi serta menganalisis genangan banjir perkotaan dan dapat dimanfaatkan sebagai dasar perencanaan mitigasi bencana serta pengelolaan tata ruang berbasis risiko di Kota Gorontalo.

ABSTRACT

Gorontalo City is one of the urban areas highly vulnerable to flooding due to the overflow of the Bone and Bolango Rivers, low-lying topographic conditions, and limited drainage capacity. The increasing frequency of flood events highlights the need for timely and accurate spatial information to support disaster mitigation efforts. This study aimed to analyze the spatial distribution of flood inundation using Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery processed through the Google Earth Engine platform. A Change Detection Approach was employed by comparing VH polarization backscatter values acquired during pre-flood conditions (1 June 2024) and flood conditions (26 June 2024). The results revealed that the total inundated area reached approximately 86.98 ha, with the largest concentrations occurring in Sipatana District (36.67 ha) and Kota Utara District (24.00 ha). Land-use impact analysis showed that flooding affected 54.18 ha of paddy fields and 28.81 ha of residential areas. Accuracy assessment using a confusion matrix produced an Overall Accuracy of 91% and a Kappa coefficient of 0.82, indicating high classification reliability. These findings demonstrate that the integration of Sentinel-1 SAR imagery

and Google Earth Engine is effective for detecting and analyzing urban flood inundation and can provide valuable geospatial information to support disaster mitigation planning and risk-based spatial management in Gorontalo City.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Corresponding Author:

Name: Saniver Rachel Butarbutar

Institution: Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Negeri Gorontalo, Jl. Prof. Dr. Ing. B.J. Habibie, Moutong, Tilongkabila, Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo 96119, Indonesia

Email: sanibutarbutar33@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang paling sering terjadi dan menimbulkan dampak signifikan terhadap kehidupan sosial, ekonomi, serta lingkungan. Peningkatan intensitas curah hujan, perubahan penggunaan lahan, urbanisasi yang tidak terkendali, dan keterbatasan kapasitas sistem drainase telah meningkatkan frekuensi serta dampak kejadian banjir di berbagai wilayah perkotaan. Di Indonesia, banjir secara konsisten menjadi bencana dengan jumlah kejadian tertinggi dibandingkan jenis bencana lainnya. Data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menunjukkan bahwa jumlah kejadian banjir meningkat dari 1.255 kejadian pada tahun 2023 menjadi 1.420 kejadian pada tahun 2024, yang mengakibatkan kerusakan infrastruktur, kerugian ekonomi, dan terganggunya aktivitas masyarakat (BNPB, 2025).

Kota Gorontalo termasuk wilayah perkotaan yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap banjir. Secara fisiografis, kota ini berada pada dataran rendah yang dilalui oleh Sungai Bone, Sungai Bolango, dan Sungai Tamalate yang bermuara ke Teluk Tomini. Karakteristik tersebut menyebabkan wilayah perkotaan Gorontalo rentan mengalami genangan akibat luapan sungai ketika terjadi hujan berintensitas tinggi (Doda, 2013). Kerentanan tersebut semakin meningkat akibat terbatasnya kapasitas sistem drainase dan bertambahnya kawasan terbangun yang mengurangi kemampuan lahan dalam meresapkan air. Pada tahun 2024, banjir besar yang terjadi sejak akhir Juni hingga pertengahan Juli menggenangi 81 lokasi dan berdampak pada 53.687 jiwa. Peristiwa tersebut menjadi salah satu kejadian banjir terbesar yang pernah tercatat di Kota Gorontalo (BPBD Kota Gorontalo, 2024).

Informasi mengenai sebaran genangan banjir memiliki peran penting dalam mendukung mitigasi bencana, perencanaan evakuasi, serta pengelolaan wilayah berbasis risiko. Ketersediaan informasi yang cepat dan akurat memungkinkan pemerintah daerah melakukan penanganan yang lebih efektif, terutama pada wilayah yang memiliki tingkat paparan tinggi terhadap bencana banjir. Penginderaan jauh menjadi salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk memperoleh informasi tersebut karena mampu menyediakan data spasial secara luas dan berkelanjutan.

Pemanfaatan sensor *Synthetic Aperture Radar* (SAR) berkembang pesat dalam pemantauan banjir karena mampu merekam kondisi permukaan bumi tanpa dipengaruhi tutupan awan maupun kondisi pencahayaan. Keunggulan ini menjadikan SAR lebih efektif dibandingkan sensor optik dalam mendeteksi genangan saat kejadian banjir berlangsung (Shen et al., 2019). Sentinel-1 yang

dikembangkan oleh *European Space Agency* (ESA) menyediakan data SAR resolusi spasial 10 meter dengan cakupan temporal yang relatif tinggi dan dapat diakses secara terbuka. Ketersediaan data tersebut semakin didukung oleh platform *Google Earth Engine* (GEE) yang memungkinkan pemrosesan data penginderaan jauh dalam skala besar melalui komputasi awan (Gorelick et al., 2017).

Berbagai penelitian telah menunjukkan efektivitas Sentinel-1 dalam pemetaan genangan banjir. Alawiyah dan Harintaka (2021) mengidentifikasi genangan seluas 1.156,84 ha di DKI Jakarta menggunakan pendekatan *change detection*. Bioresita et al., (2022) memanfaatkan Sentinel-1 dan GEE untuk memetakan banjir di Kalimantan Selatan, sedangkan Dhanisa et al., (2024) menerapkan metode *Change Detection and Thresholding* untuk mendeteksi genangan banjir di Kabupaten Ketapang. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa perubahan nilai *backscatter* pada citra SAR mampu merepresentasikan keberadaan genangan banjir dengan tingkat akurasi yang baik.

Kajian pemetaan genangan banjir berbasis Sentinel-1 di Kota Gorontalo masih sangat terbatas, padahal wilayah ini memiliki karakteristik hidrologi yang berbeda dibandingkan daerah penelitian sebelumnya. Topografi dataran rendah, keberadaan beberapa sungai utama, dan tingginya frekuensi kejadian banjir membentuk pola genangan yang khas pada lingkungan perkotaan. Informasi mengenai dampak genangan terhadap penggunaan lahan, khususnya kawasan permukiman dan persawahan, juga masih belum banyak tersedia. Keterbatasan informasi tersebut menyulitkan penyusunan strategi mitigasi yang berbasis bukti spasial.

Penelitian ini bertujuan menganalisis sebaran spasial genangan banjir di Kota Gorontalo menggunakan citra Sentinel-1 SAR yang diproses melalui platform *Google Earth Engine* dengan pendekatan *Change Detection*. Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi luas dan distribusi genangan banjir, mengevaluasi dampaknya terhadap penggunaan lahan, serta menguji tingkat akurasi hasil pemetaan. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi sumber informasi geospasial yang mendukung mitigasi bencana dan perencanaan wilayah berbasis risiko di Kota Gorontalo.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Banjir dan Faktor Pengontrol Genangan

Banjir merupakan peristiwa tergenangnya suatu wilayah akibat volume air yang melebihi kapasitas tampung sistem hidrologi dan drainase sehingga mengganggu aktivitas manusia serta fungsi lingkungan (Rahayu et al., 2009). Kejadian banjir dipengaruhi oleh interaksi berbagai faktor fisik dan antropogenik, seperti curah hujan, karakteristik daerah aliran sungai, topografi, penggunaan lahan, dan kapasitas infiltrasi tanah (Putri Imaniyati, 2022). Pada kawasan perkotaan, peningkatan luas permukaan kedap air akibat perkembangan permukiman dan infrastruktur sering kali meningkatkan limpasan permukaan sehingga memperbesar risiko genangan (Razikin et al., 2017).

Topografi menjadi salah satu faktor utama yang mengontrol distribusi genangan banjir. Wilayah dengan kemiringan lereng rendah cenderung memiliki kemampuan pengaliran yang terbatas sehingga lebih rentan mengalami akumulasi air permukaan (Matondang et al., 2013). Penggunaan lahan juga berperan penting dalam menentukan besarnya limpasan, di mana kawasan permukiman dan persawahan umumnya memiliki tingkat kerentanan lebih tinggi dibandingkan lahan berhutan. Kedekatan

terhadap jaringan sungai turut meningkatkan potensi genangan akibat luapan aliran pada saat debit sungai meningkat (Probo Kusumo & Evi Nursar, 2016).

2.2 Sentinel-1 SAR untuk Pemetaan Banjir

Synthetic Aperture Radar (SAR) merupakan sistem penginderaan jauh aktif yang mampu merekam kondisi permukaan bumi menggunakan gelombang mikro tanpa dipengaruhi tutupan awan maupun kondisi pencahayaan (Rosen et al., 2002). Karakteristik ini menjadikan SAR sangat efektif untuk pemantauan banjir karena data tetap dapat diperoleh saat kejadian berlangsung, ketika sensor optik sering terhalang awan.

Dalam pemetaan banjir, permukaan air yang relatif tenang menghasilkan pantulan spekular yang menyebabkan energi radar dipantulkan menjauhi sensor sehingga nilai *backscatter* menjadi rendah. Sebaliknya, permukaan daratan menghasilkan hamburan yang lebih tinggi sehingga perbedaan nilai *backscatter* dapat digunakan untuk mengidentifikasi area yang tergenang (Shen et al., 2019).

Sentinel-1 merupakan konstelasi satelit SAR berbasis C-band yang dikembangkan oleh *European Space Agency* (ESA) dalam program *Copernicus*. Data Sentinel-1 memiliki resolusi spasial hingga 10 meter, cakupan temporal yang tinggi, serta tersedia secara terbuka sehingga banyak digunakan dalam pemetaan dan pemantauan banjir di berbagai wilayah dunia (Torres et al., 2012).

2.3 Google Earth Engine dan Pendekatan Change Detection

Google Earth Engine (GEE) adalah platform komputasi geospasial berbasis *cloud computing* yang menyediakan akses terhadap berbagai arsip data penginderaan jauh dan kemampuan pemrosesan skala besar secara daring (Gorelick et al., 2017). Platform ini memungkinkan analisis data spasial dilakukan secara efisien tanpa memerlukan perangkat keras berkapasitas tinggi serta telah banyak dimanfaatkan dalam penelitian pemantauan lingkungan dan kebencanaan (Tamiminia et al., 2020).

Salah satu metode yang umum digunakan untuk mendeteksi genangan banjir berbasis SAR adalah *Change Detection Approach*. Metode ini mengidentifikasi perubahan nilai *backscatter* antara citra sebelum dan saat kejadian banjir. Penurunan nilai *backscatter* menunjukkan perubahan karakteristik permukaan dari daratan menjadi genangan air. Teknik ini banyak digunakan karena relatif sederhana, efisien, dan mampu menghasilkan informasi genangan dengan tingkat akurasi yang baik pada berbagai kondisi wilayah (Long et al., 2014).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Kota Gorontalo, Provinsi Gorontalo, yang terletak pada koordinat 0°28'17"-0°35'36" LU dan 122°59'44"-123°05'59" BT dengan luas wilayah sekitar 79,59 km². Kota Gorontalo terdiri atas 9 kecamatan dan 50 kelurahan serta didominasi oleh wilayah dataran rendah yang dilalui oleh Sungai Bone, Sungai Bolango, dan Sungai Tamalate yang bermuara ke Teluk Tomini. Kondisi topografi tersebut menyebabkan wilayah ini rentan terhadap kejadian banjir, terutama pada musim hujan ketika debit sungai meningkat secara signifikan. Jumlah penduduk Kota Gorontalo pada tahun 2024 tercatat sebanyak 203.800 jiwa (BPS Kota Gorontalo, 2025).

3.2 Data dan Perangkat Analisis

Penelitian menggunakan citra Sentinel-1 SAR *Ground Range Detected* (GRD) mode *Interferometric Wide Swath* (IW) dengan polarisasi VH sebagai data utama untuk identifikasi genangan banjir. Dua citra digunakan untuk merepresentasikan kondisi pra-banjir (1 Juni 2024) dan saat banjir (26 Juni 2024). Polarisasi VH dipilih karena memiliki sensitivitas yang lebih baik dalam mendeteksi perubahan karakteristik permukaan akibat genangan air.

Data pendukung meliputi *Digital Elevation Model* (DEM) SRTM resolusi 30 m untuk analisis kemiringan lereng, *JRC Global Surface Water* versi 1.4 untuk identifikasi badan air permanen, data Sentinel-2 10 m *Land Use/Land Cover* dari ESRI untuk analisis dampak penggunaan lahan, serta batas administrasi Kota Gorontalo dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Seluruh proses pengolahan data dilakukan menggunakan Google Earth Engine (GEE), sedangkan visualisasi dan penyusunan peta akhir dilakukan menggunakan ArcMap

3.3 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara bertahap melalui empat tahap yang saling berkaitan pada platform Google Earth Engine. Tahap *Preprocessing*: (1) Filter temporal diterapkan untuk membatasi koleksi citra pada rentang 1 Juni 2024 (*pre-flood*) dan 26 Juni 2024 (*flood*); (2) Filter orbit *ascending/descending* diterapkan untuk konsistensi sudut pandang sensor; (3) Filter polarisasi VH dipilih sebagai band analisis utama; (4) Proses mosaik menggabungkan beberapa *scene* citra menjadi cakupan wilayah penelitian yang utuh; (5) *Reduksi speckle noise* menggunakan filter spasial untuk memperbaiki kualitas visual citra tanpa menghilangkan informasi penting.

Tahap *Processing (Change Detection)*: Metode ratio image diterapkan dengan persamaan: (Vanama et al., 2021)

$$RI = \sigma^{\circ}VH(\text{flood}) / \sigma^{\circ}VH(\text{pre-flood})$$

Nilai *threshold* (ambang batas) ditentukan menggunakan formula statistik yang ditetapkan UN-SPIDER: (Long et al., 2014)

$$PD < (\mu D - kf \times \sigma D)$$

dengan μD = nilai rata-rata, σD = standar deviasi distribusi nilai perbedaan backscatter, dan $kf = 1,25$ sebagai nilai ambang standar UN-SPIDER. Piksel dengan nilai rasio di bawah *threshold* diklasifikasikan sebagai area tergenang banjir (*binary flood extend layer*).

Hasil klasifikasi genangan kemudian disaring menggunakan beberapa variabel kontrol untuk mengurangi kesalahan identifikasi. Area dengan kemiringan lereng lebih dari 5% dieliminasi menggunakan data DEM SRTM. Badan air permanen dihilangkan menggunakan data *JRC Global Surface Water*, sedangkan piksel terisolasi dengan jumlah tetangga kurang dari delapan piksel dihapus untuk mereduksi noise. Luas genangan banjir dihitung melalui analisis spasial pada lingkungan GEE. Selanjutnya dilakukan interseksi antara peta genangan dan data tutupan lahan untuk mengidentifikasi luas lahan persawahan dan permukiman yang terdampak banjir.

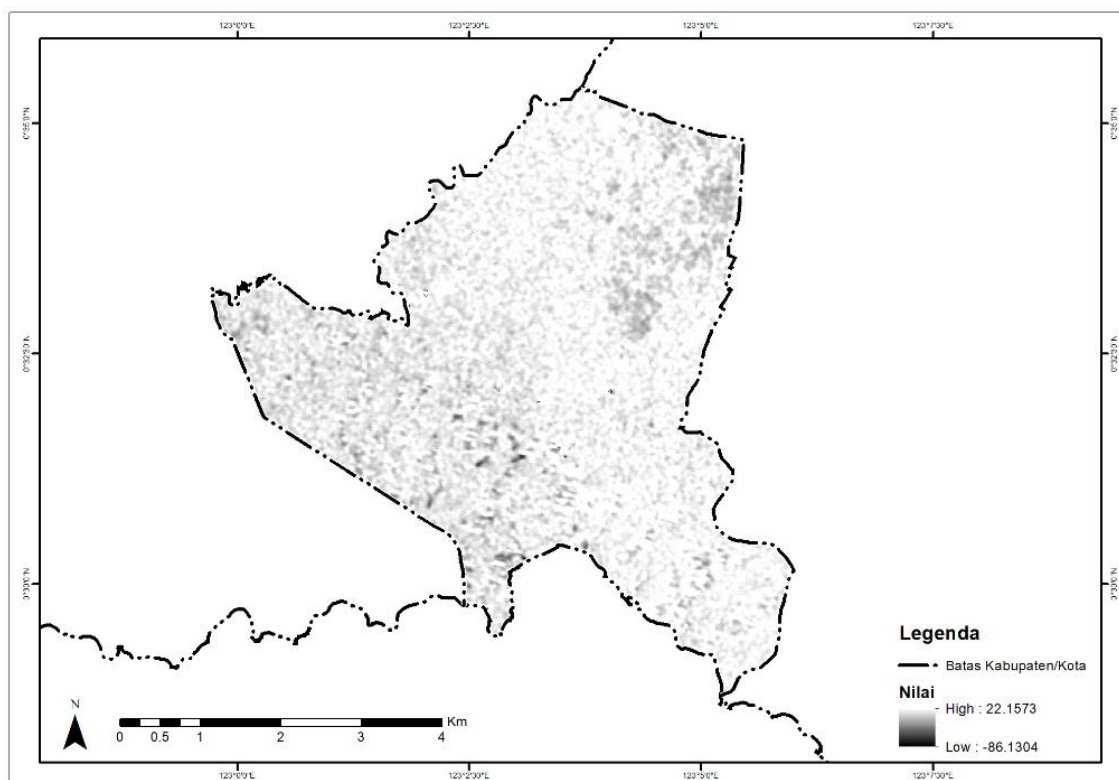
Keandalan hasil pemetaan dievaluasi menggunakan *confusion matrix* berdasarkan 50 titik sampel yang dipilih secara acak. Titik validasi diperoleh melalui interpretasi visual hasil pemetaan yang dibandingkan dengan citra resolusi tinggi Google Earth dan informasi kejadian banjir dari BPBD Kota Gorontalo. Parameter yang digunakan meliputi *Overall Accuracy* dan *koefisien Kappa*

(Watson & Petrie, 2010). Nilai akurasi tersebut digunakan untuk menilai tingkat kesesuaian antara hasil klasifikasi dan kondisi aktual di lapangan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deteksi Genangan Banjir Menggunakan Pendekatan Change Detection

Penerapan metode *Change Detection* pada citra Sentinel-1 menghasilkan *difference layer* yang merepresentasikan perubahan nilai *backscatter* antara kondisi pra-banjir (1 Juni 2024) dan saat banjir (26 Juni 2024). Perubahan nilai *backscatter* yang tinggi teridentifikasi terutama pada wilayah yang berdekatan dengan Sungai Bone dan Sungai Bolango, sedangkan perubahan yang relatif rendah ditemukan pada kawasan perbukitan di bagian utara dan selatan Kota Gorontalo.



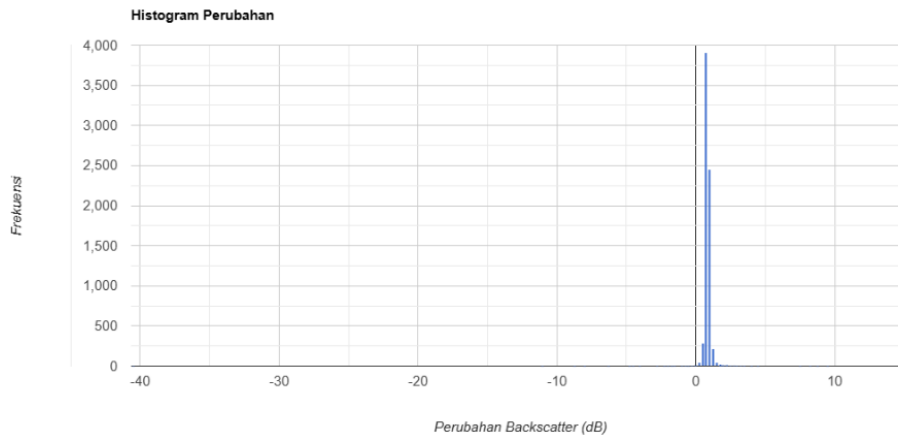
Gambar 1. *Difference Layer*

Pola perubahan yang terdeteksi menunjukkan karakteristik banjir sungai (*riverine flood*) yang berkembang dari sempadan sungai menuju dataran rendah di sekitarnya. Fenomena ini terjadi karena permukaan air yang tenang menghasilkan pantulan spekular sehingga nilai *backscatter* menurun secara signifikan dibandingkan kondisi daratan kering (Shen et al., 2019). Konsentrasi perubahan pada area dataran rendah mengindikasikan bahwa faktor topografi berperan penting dalam mengontrol distribusi genangan banjir di Kota Gorontalo.

4.2 Nilai Threshold dan Klasifikasi Genangan

Analisis statistik terhadap nilai perubahan *backscatter* menghasilkan nilai ambang (*threshold*) sebesar 0,6161 yang digunakan untuk memisahkan area tergenang dan tidak tergenang. Histogram

distribusi nilai menunjukkan bahwa piksel dengan penurunan *backscatter* yang signifikan terkonsentrasi pada bagian kiri distribusi dan merepresentasikan area yang mengalami genangan.



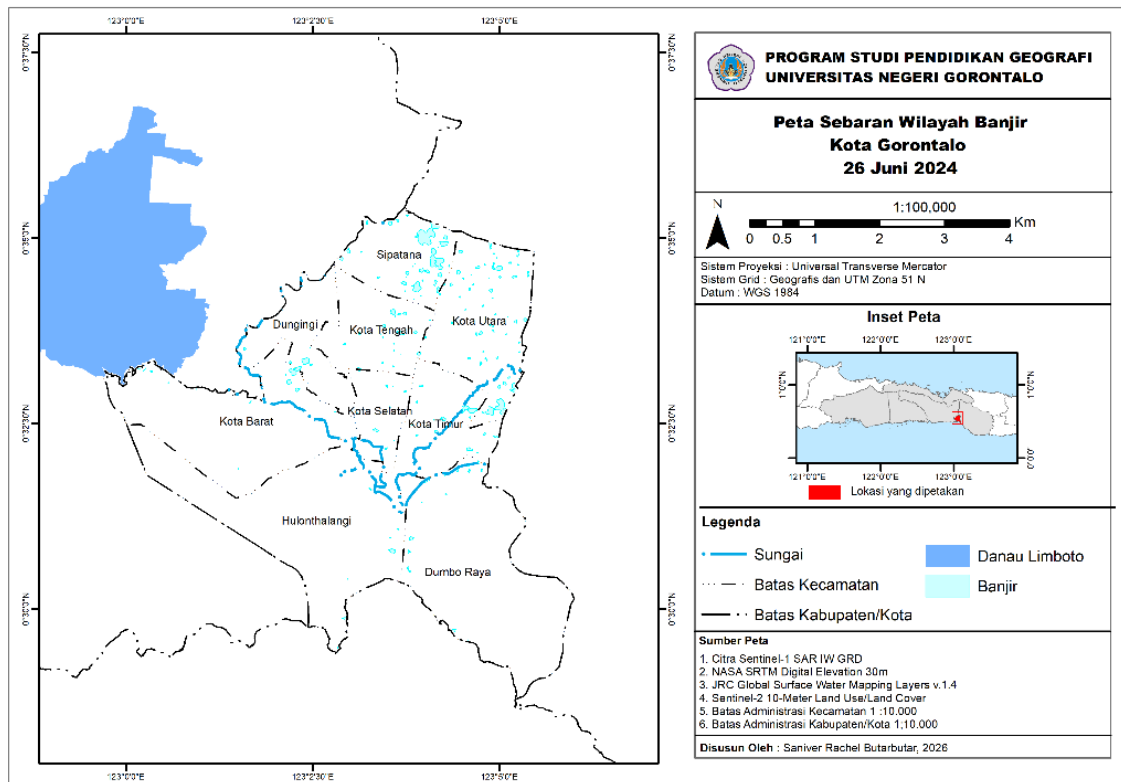
Gambar 2. Histogram Nilai Beda (*Difference Value*)

Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa luas genangan banjir pada 26 Juni 2024 mencapai ±86,98 ha dan tersebar pada seluruh kecamatan di Kota Gorontalo. Kecamatan Sipatana memiliki luas genangan terbesar yaitu 36,67 ha atau sekitar 7,98% dari luas wilayah kecamatan, diikuti oleh Kecamatan Kota Utara sebesar 24,00 ha (2,88%), Kota Timur sebesar 6,92 ha (1,38%), dan Kota Tengah sebesar 4,69 ha (0,97%). Distribusi genangan per kecamatan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sebaran Genangan Banjir

Kecamatan	Luas Daerah (ha)	Banjir (ha)	Persentase (%)
Dumbo Raya	1275.61	3.17	0.25%
Dungingi	438.12	3.7	0.84%
Hulonthalangi	1044.59	2.19	0.21%
Kota Barat	1140.71	4.48	0.39%
Kota Selatan	281.67	1.12	0.40%
Kota Tengah	485.33	4.69	0.97%
Kota Timur	501.27	6.92	1.38%
Kota Utara	834.6	24	2.88%
Sipatana	459.81	36.67	7.98%

Sumber: Data Diolah (2026)



Gambar 3. Peta Genangan Banjir

Dominasi genangan pada Kecamatan Sipatana dan Kota Utara menunjukkan keterkaitan yang kuat antara banjir dan karakteristik fisiografi wilayah. Kedua kecamatan berada pada dataran rendah yang menerima akumulasi limpasan dari daerah yang lebih tinggi serta berada dekat dengan sistem sungai utama. Posisi geografis tersebut menyebabkan wilayah ini lebih rentan mengalami genangan ketika terjadi peningkatan debit sungai akibat hujan ekstrem. Temuan ini sejalan dengan penelitian Yusup et al., (2023) yang menunjukkan bahwa sebagian besar genangan banjir terkonsentrasi pada wilayah dataran rendah yang berdekatan dengan jaringan sungai.

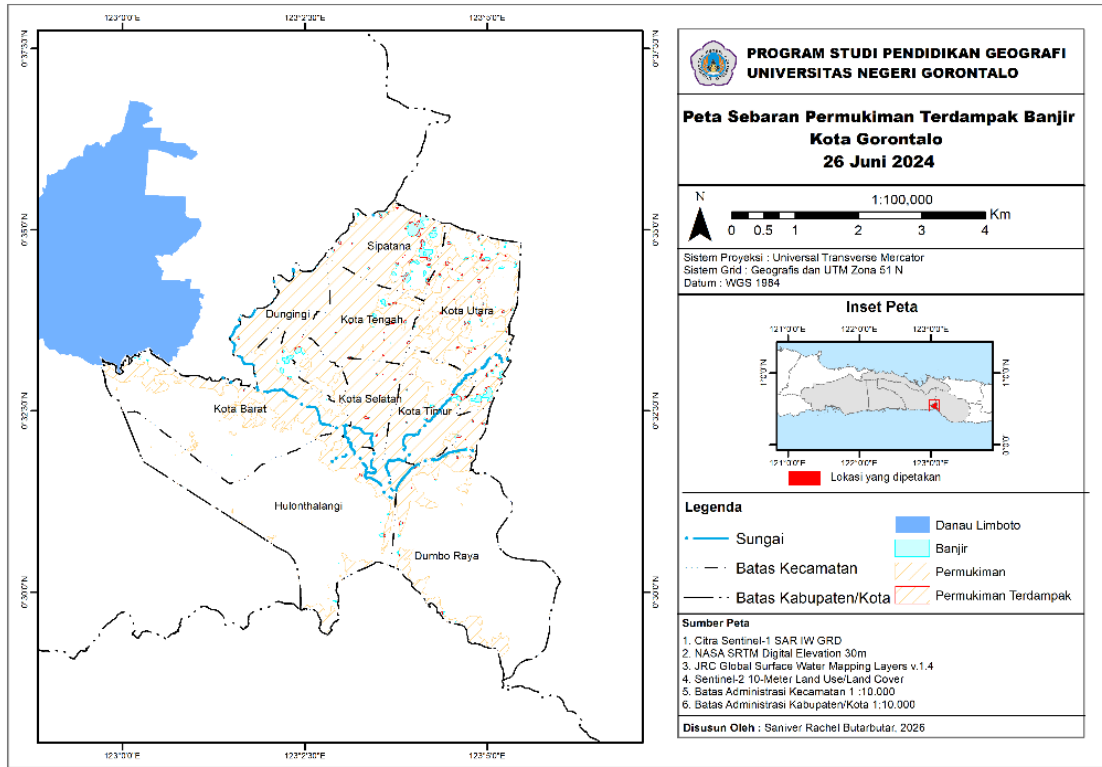
4.3 Dampak Banjir terhadap Penggunaan Lahan

Interseksi antara peta genangan banjir dan data tutupan lahan menghasilkan informasi mengenai tingkat paparan penggunaan lahan terhadap banjir. Hasil analisis menunjukkan bahwa genangan banjir berdampak pada dua kelas penggunaan lahan utama, yaitu persawahan dan permukiman Tabel 2.

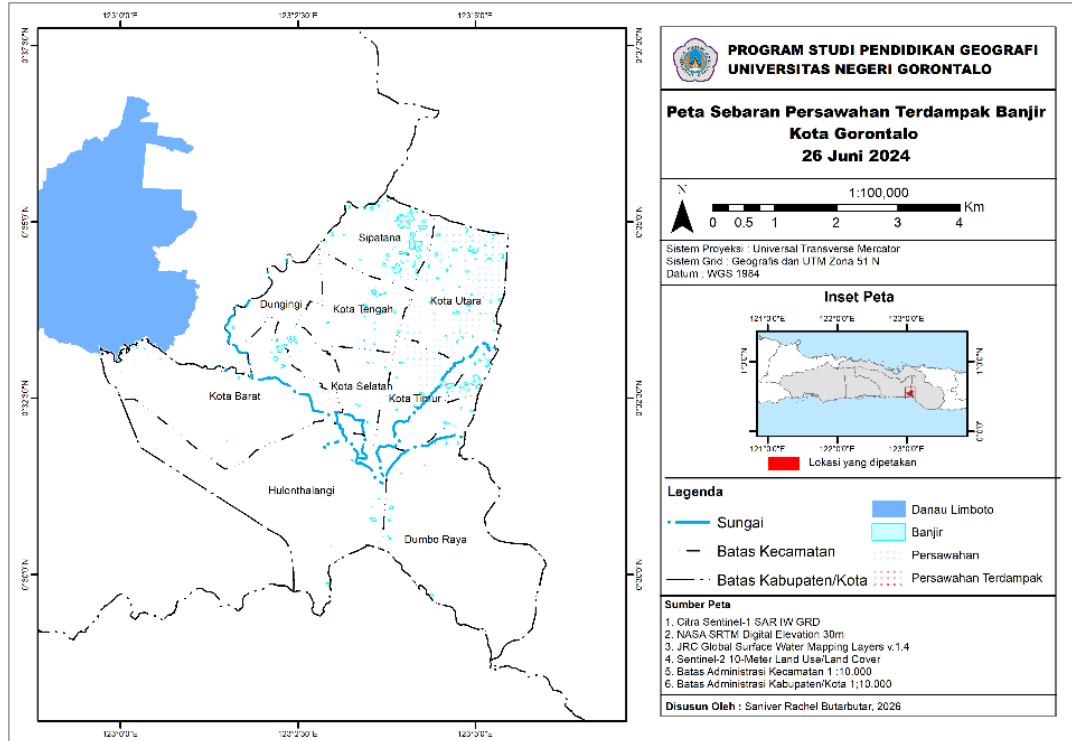
Tabel 2. Luas Dampak Banjir terhadap Penggunaan Lahan

Kelas Lahan	Total Luas (ha)	Luas Terdampak (ha)
Persawahan	634,25	54,18
Permukiman	3.244,17	28,81

Sumber: Data Diolah (2026)



Gambar 4. Peta Sebaran Permukiman Terdampak



Gambar 5. Peta Sebaran Persawahan Terdampak

Lahan persawahan terdampak mencapai 54,18 ha atau sekitar 8,54% dari total luas persawahan Kota Gorontalo. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sektor pertanian merupakan sektor yang paling rentan terhadap dampak banjir pada periode pengamatan. Genangan yang berlangsung dalam waktu relatif lama berpotensi menyebabkan penurunan produktivitas hingga gagal panen, terutama pada fase pertumbuhan tanaman yang sensitif terhadap kondisi tergenang.

Pada kawasan permukiman, luas area terdampak mencapai 28,81 ha atau sekitar 0,89% dari total luas permukiman. Meskipun persentasenya relatif kecil, dampak sosial yang ditimbulkan cukup besar karena berkaitan langsung dengan aktivitas masyarakat, kerusakan aset, serta kebutuhan evakuasi penduduk. Sebaran permukiman terdampak yang terkonsentrasi di Kecamatan Sipatana dan Kota Utara menunjukkan bahwa sebagian kawasan hunian masih berkembang pada area dengan tingkat kerentanan banjir yang tinggi. Kondisi ini mengindikasikan perlunya penguatan kebijakan penataan ruang dan pengendalian pembangunan pada wilayah rawan banjir.

4.4 Evaluasi Akurasi Pemetaan Genangan

Keandalan hasil klasifikasi dievaluasi menggunakan *confusion matrix* berdasarkan 50 titik sampel validasi. Hasil pengujian menunjukkan *Overall Accuracy* sebesar 91% dan koefisien Kappa sebesar 0,82 Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Akurasi

Class Value	Non Banjir	Banjir	Total	User Accuracy
Non Banjir	44	6	50	88%
Banjir	3	47	50	94%
Total	47	53	100	
Producer Accuracy	9362%	8868%		
Overall Accuracy			91%	
Kappa Coefficien			82	

Sumber: Data Diolah (2026)

Nilai Kappa sebesar 0,82 termasuk dalam kategori *almost perfect agreement* menurut (Watson & Petrie, 2010), yang menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi antara hasil klasifikasi dan kondisi referensi. *Producer's Accuracy* kelas banjir sebesar 88,68% mengindikasikan bahwa sebagian besar area yang benar-benar tergenang berhasil teridentifikasi oleh model. Sementara itu, *User's Accuracy* sebesar 94,00% menunjukkan tingkat kepercayaan yang tinggi terhadap piksel yang diklasifikasikan sebagai area banjir.

Tingkat akurasi yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan beberapa penelitian serupa yang menggunakan pendekatan *change detection* pada lingkungan yang lebih kompleks. Kondisi topografi Kota Gorontalo yang relatif homogen pada wilayah dataran rendah memungkinkan pemisahan sinyal *backscatter* antara area tergenang dan tidak tergenang menjadi lebih jelas. Penerapan filter kemiringan lereng, badan air permanen, dan penyaringan piksel terisolasi juga berkontribusi dalam mengurangi kesalahan klasifikasi yang umum terjadi pada pemetaan banjir berbasis SAR.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi Sentinel-1 SAR dan Google Earth Engine mampu menghasilkan informasi genangan banjir dengan tingkat akurasi yang tinggi serta dapat dimanfaatkan sebagai pendekatan yang efektif untuk pemantauan banjir perkotaan. Informasi spasial yang dihasilkan berpotensi mendukung sistem peringatan dini, mitigasi bencana, dan pengelolaan tata ruang berbasis risiko di Kota Gorontalo.

Temuan ini mengonfirmasi bahwa pendekatan *Change Detection* berbasis Sentinel-1 SAR mampu mengidentifikasi genangan banjir secara efektif pada lingkungan perkotaan yang didominasi oleh dataran rendah dan sistem sungai yang kompleks. Akurasi yang diperoleh menunjukkan bahwa perubahan nilai *backscatter* dapat digunakan sebagai indikator yang andal untuk mendeteksi keberadaan genangan, terutama pada kejadian banjir yang berkembang akibat luapan sungai. Hasil tersebut memperkuat temuan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa citra SAR memiliki kemampuan tinggi dalam pemantauan banjir pada wilayah tropis yang umumnya terkendala tutupan awan ketika menggunakan citra optik.

Dari sisi operasional, integrasi Sentinel-1 SAR dan Google Earth Engine menawarkan pendekatan yang efisien untuk menghasilkan informasi genangan banjir dalam waktu relatif singkat dengan biaya yang rendah. Kemampuan ini menjadi penting bagi pemerintah daerah dan lembaga kebencanaan dalam mendukung pemantauan banjir, penyusunan rencana evakuasi, serta pengembangan sistem peringatan dini berbasis data spasial. Informasi mengenai lokasi genangan, luas wilayah terdampak, dan paparan penggunaan lahan juga dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam perencanaan tata ruang dan pengurangan risiko bencana di kawasan perkotaan.

Meskipun menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Analisis dilakukan menggunakan satu pasangan citra pra-banjir dan saat banjir sehingga belum menggambarkan dinamika genangan secara temporal. Selain itu, validasi masih mengandalkan interpretasi citra resolusi tinggi dan laporan kejadian banjir karena keterbatasan data observasi lapangan pada saat kejadian. Penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan data multi-temporal Sentinel-1, informasi curah hujan, serta data hidrologi untuk meningkatkan pemahaman mengenai pola perkembangan banjir dan faktor-faktor yang memengaruhinya.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi citra Sentinel-1 SAR dan Google Earth Engine efektif untuk memetakan genangan banjir perkotaan di Kota Gorontalo melalui pendekatan *Change Detection*. Hasil analisis mengidentifikasi luas genangan sebesar $\pm 86,98$ ha yang tersebar pada seluruh kecamatan, dengan konsentrasi tertinggi di Kecamatan Sipatana dan Kota Utara. Pola distribusi genangan mengikuti karakteristik banjir sungai (*riverine flood*) yang berkembang dari sempadan Sungai Bone dan Sungai Bolango menuju dataran rendah di sekitarnya. Analisis dampak penggunaan lahan menunjukkan bahwa genangan memengaruhi 54,18 ha lahan persawahan dan 28,81 ha kawasan permukiman, yang mengindikasikan adanya potensi kerugian pada sektor pertanian dan permukiman perkotaan.

Hasil validasi menghasilkan *Overall Accuracy* sebesar 91% dan koefisien Kappa sebesar 0,82 yang termasuk kategori *almost perfect agreement*. Tingkat akurasi tersebut menunjukkan bahwa pendekatan berbasis Sentinel-1 SAR mampu mengidentifikasi genangan banjir secara andal pada lingkungan perkotaan tropis yang memiliki keterbatasan pengamatan optik akibat tutupan awan dan kondisi cuaca saat kejadian banjir.

Temuan penelitian ini menegaskan potensi pemanfaatan data SAR berbasis *cloud computing* sebagai sumber informasi geospasial untuk mendukung mitigasi bencana, perencanaan tata ruang berbasis risiko, dan pengembangan sistem pemantauan banjir operasional di Kota Gorontalo. Pengembangan penelitian selanjutnya dapat diarahkan pada analisis multi-temporal, integrasi data hidrometeorologi, serta pemodelan kerawanan dan risiko banjir untuk menghasilkan informasi yang lebih komprehensif dalam mendukung pengelolaan bencana perkotaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alawiyah, A. M., & Harintaka, H. (2021). Identifikasi Genangan Banjir di Wilayah DKI Jakarta Menggunakan Citra Satelit Sentinel-1. *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 4(2), 95–101.
- Bioresita, F., Ngurawan, M. G. R., & Hayati, N. (2022). Identifikasi Sebaran Spasial Genangan Banjir Memanfaatkan Citra Sentinel-1 dan Google Earth Engine (Studi Kasus: Banjir Kalimantan Selatan). *Geoid*, 17(1), 108–118.
- BNPB. (2025). Data Bencana Indonesia 2024. *Pusat Data Informasi Dan Komunikasi Kebencanaan Badan Nasional Penanggulangan Bencana*. <https://gis.bnpb.go.id/>
- BPBD Kota Gorontalo. (2024, July 7). *Laporan: Kejadian Bencana Banjir Dan Longsor Serta Kegiatan Tanggap Darurat Penanggulangan Oleh Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Gorontalo Provinsi Gorontalo Tanggal 27 Juni S/D 6 Juli 2024*.
- BPS Kota Gorontalo. (2025). *BPS Kota Gorontalo dalam angka 2025*. 19.
- Dhanisa, R., Sampurno, J., & Perdhana, R. (2024). Aplikasi Citra Sentinel-1 SAR untuk Deteksi Banjir di Kecamatan Sandai, Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 672–677.
- Doda, N. (2013). Analisis Daerah Rawan Banjir Kota Gorontalo Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). *Radial*, 1(2), 112–125.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Long, S., Fatoyinbo, T. E., & Policelli, F. (2014). Flood extent mapping for Namibia using change detection and thresholding with SAR. *Environmental Research Letters*, 9(3), 035002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/035002>
- Matondang, J. P., Kahar, S., & Sasmito, B. (2013). Analisis zonasi daerah rentan banjir dengan pemanfaatan sistem informasi geografis (Studi kasus: Kota Kendal dan Sekitarnya). *Jurnal Geodesi Undip*, 2(2).
- Probo Kusumo, & Evi Nursar. (2016). Zonasi Tingkat Kerawanan Banjir Dengan Sistem Informasi Geografis Pada DAS Cidurian, kab.Serang, Banten. *Jurnal String*, 1(1).
- Putri Imaniyati. (2022). Kesiapsiagaan Masyarakat Cempaka Terhadap Permasalahan Lingkungan Bencana Banjir Akibat Hujan Deras dan Ulah Manusia. *Publikasi Pembelajaran : Pendidikan Lingkungan Hidup-AKBK3308*, 1.
- Rahayu, H. P., Wahdiny, I., Anin, U., & Mardhiatul, A. (2009). Banjir dan Upaya penanggulangannya. *Bandung: Promise Indonesia*.
- Razikin, P., Kumalawati, R., & Arisanty, D. (2017). *Strategi Penanggulangan Bencana Banjir Berdasarkan Persepsi Masyarakat Di Kecamatan Barabai Kabupaten Hulu Sungai Tengah*. <http://ppjp.unlam.ac.id/journal/index.php/jpg>
- Rosen, P. A., Hensley, S., Joughin, I. R., Li, F. K., Madsen, S. N., Rodriguez, E., & Goldstein, R. M. (2002). Synthetic aperture radar interferometry. *Proceedings of the IEEE*, 88(3), 333–382.
- Shen, X., Wang, D., Mao, K., Anagnostou, E., & Hong, Y. (2019). Inundation extent mapping by synthetic aperture radar: A review. *Remote Sensing*, 11(7), 879.
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 152–170.
- Torres, R., Snoeij, P., Geudtner, D., Bibby, D., Davidson, M., Attema, E., Potin, P., Rommen, B., Floury, N., & Brown, M. (2012). GMES Sentinel-1 mission. *Remote Sensing of Environment*, 120, 9–24.
- Vanama, V. S. K., Rao, Y. S., & Bhatt, C. M. (2021). Change detection based flood mapping using multi-temporal Earth Observation satellite images: 2018 flood event of Kerala, India. *European Journal of Remote Sensing*, 54(1), 42–58. <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1867901>
- Watson, P. F., & Petrie, A. (2010). Method agreement analysis: a review of correct methodology. *Theriogenology*, 73(9), 1167–1179. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2010.01.003>
- Yusup, M., Tarigan, P. I. S., Noviansah, K., Ridwana, R., & Aliyan, S. A. (2023). Identifikasi Genangan Banjir Menggunakan Sentinel-1 dan Korelasinya dengan Kerawanan Banjir di Kabupaten Barito Selatan. *Geo-Image Journal*, 12(1), 62–70.