

ANALISIS SPASIAL DAMPAK BANJIR BANDANG MENGGUNAKAN GOOGLE EARTH ENGINE DI NAGARI MANINJAU, KEC. TANJUNG RAYA, KAB. AGAM

Nadya Dwi Efendi¹, Triyatno²

^{1,2}Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Padang

[¹nadyadwiefendi@gmail.com](mailto:nadyadwiefendi@gmail.com)

ABSTRACT

The objectives of this research are: 1) analysis the distribution of flash flood areas based on slope and elevation in Nagari Maninjau using Google Earth Engine (GEE); 2) analysis the impact of flooding on physical and social aspects, including agricultural land and infrastructure, using Google Earth Engine (GEE). This research uses a quantitative approach method with spatial analysis based on Remote Sensing and the use of cloud computing technology through Google Earth Engine. The data used included Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar (SAR) images with VV polarization before and after the flash flood event, and National Development Planning Agency (DEMNAS) data through backscatter change detection analysis. The results showed that the flash flood area in Nagari Maninjau reached 50.42 hectares, with an overall accuracy of 94.00% and a Kappa coefficient of 0.8717, indicating a strong level of classification suitability. Flooding was dominated by areas with slopes <15% and elevations <550 meters above sea level, causing damage to agricultural land and infrastructure located near the flood flow path. The results of this study indicate that topographic characteristics, particularly low elevation, gentle slopes as sedimentation zones, and proximity to river networks, have a significant influence on flash flood distribution patterns.

Keywords: *Flash Floods, Sentinel-1 SAR, Google Earth Engine, Geographic Information Systems, Spatial Analysis, Agricultural Land, Infrastructure.*

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini yaitu: 1) Menganalisis sebaran wilayah banjir bandang berdasarkan lereng dan elevasi pada Nagari Maninjau menggunakan *Google Earth Engine* (GEE); 2) Menganalisis dampak banjir terhadap aspek fisik dan sosial berupa lahan pertanian dan infrastruktur menggunakan *Google Earth Engine* (GEE). Penelitian ini menggunakan metode pendekatan kuantitatif dengan analisis spasial berbasis Penginderaan Jauh dan pemanfaatan *teknologi cloud computing* melalui *Google Earth Engine*. Data yang digunakan meliputi citra radar Sentinel-1 *Synthetic Aperture Radar* (SAR) polarisasi VV sebelum dan sesudah kejadian banjir bandang, data DEMNAS melalui analisis perubahan nilai hamburan balik (*backscatter change detection*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas sebaran banjir bandang di Nagari Maninjau mencapai 50,42 hektar dengan tingkat akurasi *Overall Accuracy* sebesar 94,00% dan Koefisien Kappa sebesar 0,8717, yang menunjukkan tingkat kesesuaian klasifikasi yang kuat. Sebaran banjir didominasi wilayah dengan kemiringan lereng <15% dengan elevasi <550 mdpl, menyebabkan kerusakan pada lahan pertanian dan Infrastruktur yang berada di sekitar jalur aliran banjir. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik topografi, terutama elevasi rendah, lereng landai sebagai zona pengendapan, dan kedekatan terhadap

jaringan sungai, memiliki pengaruh yang besar terhadap pola sebaran banjir bandang.

Kata Kunci: Banjir Bandang, *Sentinel-1 SAR*, *Google Earth Engine*, Sistem Informasi Geografis, Analisis Spasial, Lahan Pertanian, Infrastruktur.

A. Pendahuluan

Banjir bandang merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang memiliki tingkat kerusakan tinggi karena membawa aliran air bercampur lumpur, batuan, kayu, dan material sedimen dalam volume besar. Kejadian banjir bandang tidak hanya dipengaruhi oleh curah hujan ekstrem, tetapi juga oleh karakteristik geomorfologi wilayah seperti kemiringan lereng, elevasi, kondisi geologi, serta perubahan tutupan lahan yang memperbesar potensi terjadinya aliran debris. Dalam beberapa tahun terakhir, frekuensi kejadian banjir bandang di Indonesia terus meningkat sebagai dampak perubahan iklim dan meningkatnya intensitas hujan ekstrem, sehingga mengakibatkan kerugian yang besar terhadap lingkungan, sektor pertanian, infrastruktur, maupun kehidupan masyarakat.

Pada tanggal 27 November 2025, wilayah Nagari Maninjau, Kecamatan Tanjung Raya, Kabupaten Agam, mengalami bencana banjir

bandang yang dipicu oleh curah hujan dengan intensitas tinggi pada kawasan dinding Kaldera Maninjau. Kondisi topografi yang didominasi lereng curam menyebabkan material longsor berupa tanah, batuan, dan vegetasi terbawa mengikuti alur sungai menuju dataran rendah di sekitar Danau Maninjau. Material tersebut kemudian mengendap pada kawasan hilir sehingga mengakibatkan kerusakan yang cukup besar terhadap lahan pertanian, permukiman, serta infrastruktur masyarakat. Kondisi ini menunjukkan bahwa karakteristik topografi memiliki peranan penting dalam mengendalikan arah aliran maupun pola distribusi dampak banjir bandang.

Perkembangan teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) memberikan peluang untuk melakukan identifikasi dan pemetaan wilayah terdampak banjir secara lebih cepat dan akurat. *Citra radar Synthetic Aperture Radar (SAR) Sentinel-1*

memiliki kemampuan merekam kondisi permukaan bumi tanpa dipengaruhi oleh tutupan awan sehingga sangat sesuai digunakan pada kondisi pascabencana. Selain itu, pemanfaatan *Google Earth Engine* (GEE) sebagai platform komputasi awan memungkinkan pengolahan data geospasial dalam skala besar secara efisien melalui pendekatan *change detection*, sehingga mampu menghasilkan informasi spasial mengenai sebaran banjir dan dampaknya terhadap berbagai objek di permukaan bumi.

Beberapa penelitian sebelumnya telah memanfaatkan citra Sentinel-1 untuk memetakan wilayah banjir. Penelitian Pradana et al., (2020) berhasil mengidentifikasi daerah tergenang menggunakan nilai *backscatter* citra Sentinel-1, sedangkan Rahman dan Thakur (2018) menunjukkan bahwa metode *density slicing* efektif dalam memisahkan area banjir dan non banjir. Budiarto & Bioresita, (2023) mengembangkan pendekatan *Change Detection* menggunakan Sentinel-1 untuk menghasilkan peta sebaran banjir dan area terdampak. Sementara itu, Gorelick et al., (2017) memperkenalkan *Google Earth*

Engine sebagai platform komputasi awan yang mampu mengolah data geospasial dalam skala besar secara cepat dan efisien. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada pemetaan genangan banjir dan belum mengkaji keterkaitan antara kondisi geomorfologi dengan distribusi dampak kerusakan terhadap sektor pertanian maupun infrastruktur permukiman secara spasial.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis sebaran spasial banjir bandang di Nagari Maninjau menggunakan citra Sentinel-1 SAR berbasis *Google Earth Engine* serta mengkaji pengaruh parameter geomorfologi berupa lereng dan elevasi terhadap pola distribusi banjir. Selanjutnya dilakukan analisis dampak banjir terhadap lahan pertanian dan infrastruktur permukiman menggunakan pendekatan *overlay* dalam Sistem Informasi Geografis. Hasil penelitian diharapkan mampu menghasilkan informasi spasial yang akurat mengenai karakteristik sebaran banjir bandang beserta dampaknya sehingga dapat menjadi dasar dalam penyusunan strategi mitigasi

bencana, perencanaan tata ruang, serta pengurangan risiko bencana di Nagari Maninjau dan wilayah lain yang memiliki karakteristik geomorfologi serupa.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG), Penginderaan Jauh, dan teknologi *cloud computing* melalui platform *Google Earth Engine* (GEE). Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi sebaran wilayah terdampak banjir bandang serta menganalisis dampaknya terhadap lahan pertanian dan infrastruktur di Nagari Maninjau, Kecamatan Tanjung Raya, Kabupaten Agam. Penelitian dilaksanakan pada wilayah yang terdampak banjir bandang akibat kejadian 27 November 2025 hingga Januari 2026. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang meliputi *citra radar Sentinel-1 Synthetic Aperture Radar* (SAR) dari *European Space Agency* (ESA), data batas administrasi dan jaringan sungai dari InaGeoportal, data tutupan lahan *Copernicus Land Cover*, data infrastruktur dari *OpenStreetMap*

(OSM), serta data *Digital Elevation Model* (DEM) untuk memperoleh parameter elevasi dan kemiringan lereng.

Tahapan analisis diawali dengan pengolahan *citra Sentinel-1 SAR* menggunakan *Google Earth Engine* untuk mendeteksi perubahan (*change detection*) antara citra sebelum dan sesudah kejadian banjir bandang. Nilai hamburan balik (*backscatter*) dihitung dalam satuan desibel (dB), kemudian dibandingkan menggunakan metode *thresholding* dengan nilai ambang 1,12 berdasarkan pedoman UN-SPIDER untuk memisahkan piksel banjir dan nonbanjir. Selanjutnya dilakukan penambahan parameter geomorfologi berupa elevasi dan kemiringan lereng yang diperoleh dari data DEM, serta analisis *buffer* sungai untuk mengetahui hubungan spasial antara sebaran banjir dengan kedekatan terhadap alur sungai. Seluruh parameter kemudian diintegrasikan melalui teknik *overlay* sehingga dihasilkan peta sebaran wilayah banjir bandang.

Validasi hasil pemodelan dilakukan menggunakan metode *Stratified Random Sampling* dengan 50 titik sampel yang terdiri atas 30 titik

pada wilayah banjir dan 20 titik pada wilayah nonbanjir. Tingkat akurasi dievaluasi menggunakan *Confusion Matrix* dengan menghitung nilai *Overall Accuracy (OA)* dan *Koefisien Kappa* untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara hasil klasifikasi dengan data referensi lapangan. Analisis dampak banjir bandang dilakukan menggunakan metode *overlay*.

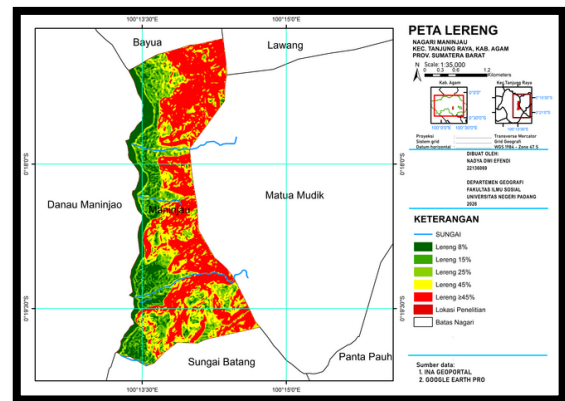
C. Hasil Penelitian dan Pembahasan Hasil

1. Sebaran Banjir Bandang berdasarkan Lereng dan Elevasi

a. Distribusi Sebaran Banjir Bandang berdasarkan Lereng

Analisis karakteristik sebaran banjir bandang berdasarkan tingkat kemiringan lereng di wilayah Nagari Maninjau diperoleh melalui pengolahan turunan data permukaan bumi. Data dasar lereng ini diekstraksi secara otomatis dari grid nilai piksel DEM SRTM 30 meter serta 8 meter menggunakan algoritma perhitungan kemiringan sudut lereng di dalam platform komputasi awan *Google Earth Engine*. Guna menyesuaikan dengan karakteristik morfologi perbukitan kaldera, data kemiringan lereng kemudian dikelompokkan ke

dalam dua kelas utama, yaitu kategori kemiringan lereng landai ($<15\%$) dan kategori kemiringan lereng curam ($\geq 15\%$). Dapat di liat berdasarkan peta lereng di bawah.



Gambar 1 Peta Lereng Nagari Maninjau

Berdasarkan hasil klasifikasi spasial tersebut, diperoleh sebaran luasan area terdampak banjir bandang berdasarkan parameter lereng seperti ditampilkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Luas Sebaran Banjir Bandang berdasarkan Lereng

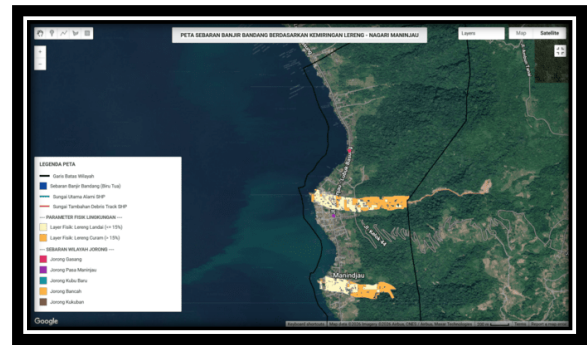
No .	Klasifikasi Kemiringan Lereng	Luas Terdampak (Hektar)	Persentase (%)
1	Lereng Landai ($<15\%$)	44,11	87,47%
2	Lereng Curam/Terjal ($\geq 15\%$)	6,31	12,53%
	Total	50,42	100,00%

Sumber: Hasil Olah Penelitian, 2026

Berdasarkan hasil klasifikasi menunjukkan bahwa luasan dampak wilayah yang diterjang banjir bandang

secara masif berada pada kondisi lereng landai ($<15\%$) dengan cakupan luas mencapai 44,11 hektar atau 87,47% dari total keseluruhan area bencana. Sebaliknya, wilayah yang berada pada lereng curam ($\geq 15\%$) hanya memiliki luas terdampak 6,31 hektar atau 12,53%.

Tingginya selisih luasan antara kedua zona lereng ini melihatkan karakteristik mekanisme pergerakan aliran banjir bandang di lapangan. Wilayah lereng curam bertindak sebagai alat peluncur pekat yang membawa material seperti bebatuan dan kayu berkecepatan tinggi dari hulu tanpa sempat mengendap banyak. Namun, ketika material tersebut menghantam zona transisi lereng landai di dataran bawah dekat jalan utama dan perumahan, hilangnya tenaga dorong secara mendadak memaksa tumpukan lumpur tebal melebar keluar dari tanggul sungai, sehingga wilayah lereng landai mencatat akumulasi kerusakan yang paling dominan.

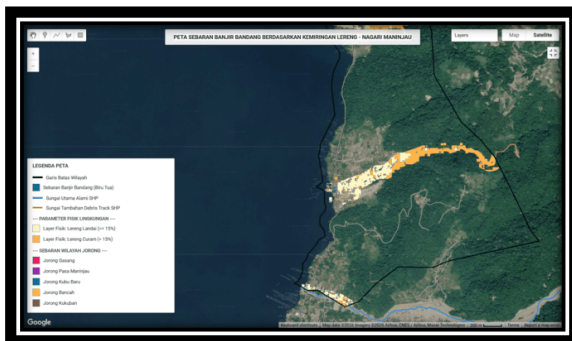


Gambar 2 Peta Sebaran Banjir Bandang Berdasarkan Lereng Wilayah Bagian Utara (Jorong Gasang, Jorong Pasa Maninjau dan Jorong Kubu Baru)

Berdasarkan hasil analisis spasial, sebaran banjir bandang berdasarkan lereng yang meliputi Jorong Gasang yang berada pada wilayah paling utara dari Nagari Maninjau ini terpantau tidak terdampak oleh bencana banjir bandang. Hal ini terlihat dari bersihnya rona permukaan jorong tersebut dari piksel klasifikasi banjir. Meskipun memiliki area perbukitan atas yang berlereng curam, tidak adanya aliran sungai yang membuat kondisi ini terlihat bahwa alur pelepasan zona pengendapan material hulu perbukitan tidak mengarah ke sektor pemukiman atau lahan pertanian di jorong ini, sehingga menjadikannya sebagai zona aman sektoral selama periode bencana berlangsung. Sedangkan Jorong Pasa Maninjau dan Jorong Kubu Baru kondisi yang

bertolak belakang terekam karena memiliki aliran jaringan sungai pada kawasan tersebut.

Kedua wilayah jorong ini merupakan titik lewat utama dari terjangan banjir bandang yang membawa material seperti lumpur, bebatuan, serta kayu-kayu, Terlihat penumpukan poligon serta sebaran banjir yang memotong linear di sepanjang kaki bukit dan koridor hidrologi kedua jorong ini. Energi luapan air dan lumpur pekat dari hulu menerjang masuk langsung ke area padat pemukiman di Jorong Pasa Maninjau serta merusak sektor pertanian sawah di lereng bawah Jorong Kubu Baru. kerusakan utama pada pemetaan wilayah sektor utara Nagari Maninjau.



Gambar 3 Peta Sebaran Banjir Bandang Berdasarkan Lereng Wilayah Bagian Selatan (Jorong Bancah dan Jorong Kukuban)

Berdasarkan hasil analisis spasial, sebaran banjir bandang berdasarkan lereng wilayah bagian

selatan Nagari Maninjau. Di wilayah Jorong Bancah aliran banjir bandang terlihat meluap keluar sungai, hal ini terjadi karena adanya perubahan bentuk permukaan yang berbeda. Ketika air lumpur dan bebatuan meluncur dari perbukitan yang terjal dan curam, aliran tersebut langsung menghantam dataran yang landai tempat infrastruktur rumah beserta jalan berada akibatnya kecepatan air langsung tersendat dan kehilangan tenaga secara tiba-tiba. Karena jalurnya mendatar, tumpukan lumpur tebal dan batu tidak bisa meluncur lagi, sehingga mereka meluap keluar dari tanggul sungai dan menyebar luas merusak kawasan pemukiman serta sawah warga di Jorong Bancah. Pemandangan yang berbeda justru terlihat saat melihat wilayah Jorong Kukuban yang berada di ujung paling selatan. Di jorong ini, aliran banjir tidak lagi meluber lebar ke pemukiman, melainkan menyusut menjadi garis lurus yang sangat tipis dan mengecil mengikuti lekukan sisa aliran sungai terbawah.

b. Distribusi Sebaran Banjir Bandang berdasarkan Elevasi

Analisis karakteristik sebaran banjir bandang berdasarkan faktor ketinggian tempat di Nagari Maninjau

dilakukan dengan menggunakan data *topografi Digital Elevation Model* (DEM) SRTM dengan resolusi spasial 30 meter yang diperoleh dari *United States Geological Survey* (USGS). Proses ekstraksi data dilakukan melalui platform *Google Earth Engine* (GEE) dengan cara memotong (*clipping*) data ketinggian sesuai wilayah administratif area penelitian. Selanjutnya, dilakukan pembagian zona wilayah terdampak menjadi dua kelas utama, yaitu zona elevasi rendah dengan tingkat ketinggian kurang dari atau sama dengan 550 mdpl, serta zona elevasi tinggi dengan tingkat ketinggian di atas 550 mdpl. Berdasarkan hasil klasifikasi dan pemodelan fisik tersebut, diperoleh tingkat sebaran luasan banjir bandang berdasarkan parameter elevasi seperti ditampilkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2 Luas Sebaran Banjir Bandang Berdasarkan Elevasi

Sumber: Hasil Olah Penelitian, 2026

Berdasarkan hasil klasifikasi menunjukkan bahwa wilayah sebaran banjir bandang di Nagari Maninjau didominasi oleh kawasan elevasi rendah (<550 mdpl) dengan luas 38,36 hektar atau sebesar 76,08% dari beban kerusakan total. Hal ini

melihatkan bahwa pada saat bencana melanda, bebatuan batang kayu, cabang pohon, dan air pekat bergerak mencari zona tampungan akhir yang berada di kawasan paling rendah. Wilayah terpusat luasan genangan lumpur yang meluas di area dataran bawah ini menunjukkan tingginya tingkat akumulasi pengendapan sedimen pasca-bencana, terutama pada wilayah hunian penduduk yang berada dekat dengan garis pesisir danau.



Gambar 4 Peta Sebaran Banjir Bandang Berdasarkan Elevasi Wilayah Bagian Utara (Jorong Gasang, Jorong Pasa Maninjau dan Jorong Kubu Baru)

No.	Klasifikasi Ketinggian (Elevasi)	Luas Terdampak (Hektar)	Persentase (%)
1	Dataran Rendah (<550 mdpl)	38,36	76,08%
2	Lereng Hulu / Perbukitan (≥550 mdpl)	12,06	23,92%
	Total	50,42	100,00%



Gambar 5 Peta Sebaran Banjir Bandang Berdasarkan Elevasi Wilayah Bagian Selatan (Jorong Bancah dan Jorong Kukuban)

Berdasarkan hasil analisis spasial pada kedua peta sebaran banjir bandang berdasarkan elevasi di Nagari Maninjau, terlihat bahwa bagaimana faktor ketinggian tempat mengontrol pergerakan alur banjir bandang mulai dari tempat meluncurnya lumpur di hulu bukit hingga lokasi titik berhentinya tumpukan material di daratan bawah dekat tepi Danau Maninjau. Jalur sebaran banjir ini terpantau memanjang dari area perbukitan tinggi menuju area landai dengan karakteristik dampak yang bervariasi di setiap jorongnya.

Pada peta bagian utara, Jorong Gasang yang berada di ujung paling atas terpantau sepenuhnya berada di luar jalur bencana, baik pada zona elevasi tinggi maupun rendah, karena tidak memiliki aliran jaringan sungai sehingga jorong ini murni menjadi

zona aman. Kondisi yang sangat kontras terjadi di Jorong Pasa Maninjau dan Jorong Baru, di mana pada bagian hulu atau perbukitan atas kedua jorong ini yang ditunjukkan oleh warna abu-abu atau wilayah di atas ketinggian 550 mdpl, aliran banjir terlihat membentuk pola garis yang lebih sempit dan memanjang lurus meliuk-liuk mengikuti lembah bukit. Hal ini terjadi karena wilayah elevasi tinggi memiliki tebing bukit yang sangat curam, sehingga air lumpur dan batu meluncur sangat cepat akibat gaya gravitasi bumi tanpa sempat melebar ke samping. Namun, begitu aliran banjir tersebut turun masuk ke area hilir pemukiman padat Jorong Pasa Maninjau serta area persawahan kaki bukit Jorong Kubu Baru yang ditunjukkan oleh warna hijau muda atau wilayah di bawah ketinggian 550 mdpl, bentuk alirannya mendadak melebar sangat luas, menggemuk, dan menumpuk tebal hingga memotong jalur jalan. Hal ini terjadi karena wilayah hilir kedua jorong tersebut memiliki permukaan tanah yang mendatar, sehingga tenaga dorong air dari atas bukit langsung tersendat dan melambat secara drastis, yang menyebabkan banyak lumpur pekat meluap keluar

dari sungai dan mengendap masif merusak bangunan serta sawah warga

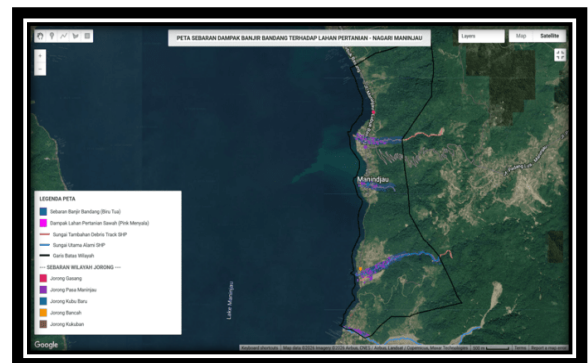
Bergeser ke arah peta bagian selatan, pola kendali elevasi ketinggian ini terekam kembali secara konsisten di wilayah Jorong Bancah dan Jorong Kukuban. Di kawasan hulu atas perbukitan yang masuk ke dalam wilayah Jorong Bancah, aliran banjir bandang bermula pada zona elevasi tinggi berwarna abu-abu dengan bentuk jalur yang memanjang linear mengikuti ceruk lembah sungai. Begitu aliran pekat ini turun melewati batas kaki bukit menuju zona elevasi rendah berwarna hijau muda di pusat aktivitas sosial Jorong Bancah, luasan banjir langsung meluber melebar sangat parah ke arah kanan dan kiri. Hilangnya elevasi ketinggian secara mendadak membuat material batu-batu besar dan puing kayu kehilangan daya dorongnya dan tertumpuk masif menjadi satu di kawasan hilir landai jorong ini. Sementara itu, bergerak menuju Jorong Kukuban yang berada di ujung paling selatan, jalur banjir pada zona elevasi rendah berwarna hijau muda terlihat mulai menyempit kembali menjadi garis tunggal yang menipis. Pola penyempitan di elevasi rendah Jorong Kukuban ini

menandakan bahwa pasokan volume material lumpur dan puing kayu serta bebatuan dari hulu sebenarnya sudah habis terendapkan di dataran sebelumnya, sehingga wilayah paling selatan ini menjadi titik kunci akhir berhentinya seluruh rangkaian aliran banjir bandang di Nagari Maninjau.

2. Dampak Banjir Bandang terhadap Lahan Pertanian dan Infrastruktur

a. Dampak Aspek Fisik (Lahan Pertanian)

Dampak Aspek Fisik (Lahan Pertanian): Teridentifikasi total luas hamparan lahan pertanian (klorofil radar < -4 dB) yang hancur dan tertimbun material endapan pasir batu gersang adalah seluas 9.58 Hektar.



Gambar 6 Peta Dampak Banjir Bandang terhadap Lahan Pertanian

Berdasarkan hasil analisis spasial dampak sebaran material banjir bandang terhadap sektor lahan pertanian memperlihatkan pola kerusakan vegetasi yang sangat masif

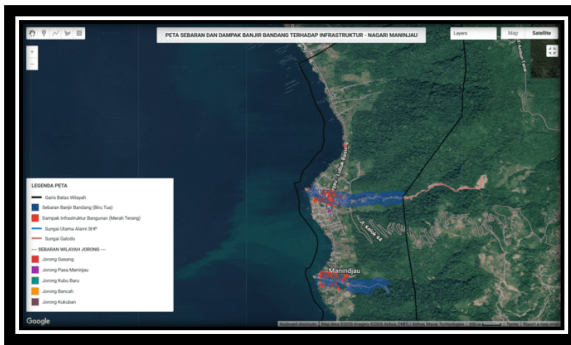
di sepanjang kaki perbukitan bagian hulu kaldera menuju hilir dataran rendah. Pada wilayah Jorong Bancah, peta dampak merekam kerusakan lahan pertanian produktif yang paling parah, padat, dan menghampar sangat luas menggemuk ke samping di sepanjang kaki bukit bawah. Secara fisik lingkungan, hamparan sawah di Jorong Bancah ini berada tepat di zona datar atau landai ($< 15\%$) yang letaknya persis di bawah curahan lereng terjal perbukitan aktif. Ketika air banjir pekat bermuatan sedimen padat meluncur bebas dari atas bukit, kecepatannya langsung drop secara mendadak begitu menyentuh dataran rendah ini. Akibatnya, jutaan kubik material pasir tersebut meluap keluar merusak tanggul sungai alami dan menimbun total lahan persawahan warga hingga memicu gagal panen total skala besar di jorong tersebut.

Kondisi yang bertolak belakang terlihat secara konsisten saat mengamati wilayah Jorong Kukuban yang berada di ujung paling selatan administrasi Nagari Maninjau. Pada kawasan jorong paling bawah ini, poligon dampak kerusakan lahan pertanian terpantau mengalami penyempitan yang sangat drastis, menipis memanjang linear, bahkan

areanya berangsur bersih mereda di perbatasan selatan. Pola visual yang menyusut kecil ini menjadi bukti empiris yang kuat di lapangan bahwa seluruh pasokan muatan sedimen berat berupa batu-batu besar, bongkahan tanah, dan puing kayu dari hulu bukit sebenarnya sudah habis terjebak dan tertimbun sebelumnya. Meskipun sisa-sisa aliran air banjir berlumpur masih sempat mengalir menyentuh sedikit area pertanian di bagian tepi jalan bawah Jorong Kukuban, daya hantam materialnya sudah tidak korosif lagi, sehingga sebagian besar hamparan lahan pertanian warga di jorong paling selatan ini berhasil selamat dan aman dari terjangan banjir bandang.

b. Dampak Aspek Fisik (Lahan Pertanian

Dampak Aspek Sosial (Infrastruktur Bangunan): Berdasarkan hasil pemotongan (clipping) poligon terhadap dataset Openstreetmap, ada sebanyak 205 Unit Bangunan mengalami dampak struktural akibat diterjang massa banjir bandang pekat.

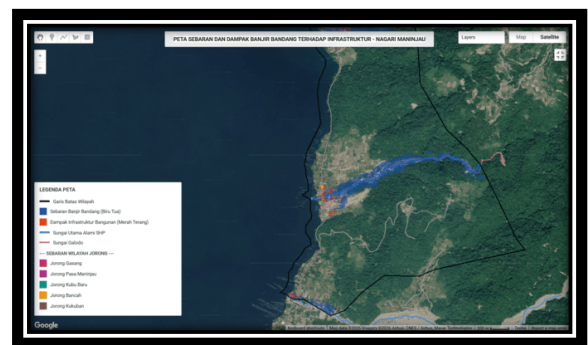


Gambar 7 Peta Dampak Banjir Bandang Terhadap Infrastruktur Wilayah Bagian Utara (Jorong Gasang, Jorong Pasa Maninjau dan Jorong Kubu Baru)

Berdasarkan analisis spasial pada bagian paling utara, wilayah Jorong Gasang terpantau sepenuhnya bersih dari poligon berwarna merah. Hal ini terlihat bahwa sektor infrastruktur bangunan di Jorong Gasang sama sekali tidak mengalami dampak kerusakan fisik karena luput dari jalur pelepasan zona pengendapan material hulu perbukitan. Kondisi yang berbanding terbalik terekam secara masif di Jorong Pasa Maninjau.

Kawasan Jorong Pasa Maninjau memiliki poligon infrastruktur berwarna merah terlihat paling padat, menumpuk tebal, dan terpusat sangat rapat di sepanjang koridor sempadan sungai bawah dan tepi jalan raya utama Maninjau-Lubuk Basung. Banyaknya bangunan yang terdampak di Jorong Pasa Maninjau

dikarenakan fungsinya sebagai pusat pertumbuhan sosial dan ekonomi nagari yang memiliki kerapatan bangunan sangat tinggi. Begitu luapan air dan lumpur pekat keluar dari tanggul sungai di dataran rendah, elemen bangunan yang berdiri di zona bahaya hidrologi ini langsung menerima hantaman keras material galodo. Sementara bergerak sedikit ke bawah menuju Jorong Kubu Baru, poligon infrastruktur merah masih terlihat berjejer memanjang mengikuti alur aliran debris, menandakan adanya jajaran perumahan warga dan fasilitas penunjang pertanian di kaki bukit.



Gambar 8 Peta Dampak Banjir Bandang Terhadap Infrastruktur Wilayah Bagian Selatan (Jorong Bancah dan Jorong Kukuban)

Berdasarkan analisis spasial pada peta wilayah bagian selatan, dampak kerusakan infrastruktur bangunan kembali terekam cukup padat di kawasan Jorong Bancah. Di jorong ini, infrastruktur fisik warga

mengalami tingkat paparan risiko yang tinggi karena lokasinya berada pada zona transisi lereng landai, tempat di mana material lumpur tebal dan bebatuan besar dari tebing atas meluap dan mengendap menghantam hunian. Terakhir, bergerak menuju jorong paling selatan yaitu Jorong Kukuban, sebaran poligon merah infrastruktur terdampak terpantau mengalami penyusutan yang sangat drastis dan menipis signifikan. Pola yang mengecil di ujung selatan ini membuktikan secara empiris bahwa daya rusak dan volume material banjir bandang posisinya sudah melandai dan sebagian besar muatannya telah habis tertahan di wilayah Jorong Bancah, sehingga infrastruktur bangunan warga di Jorong Kukuban terekam jauh lebih aman dan minimal dari dampak kerusakan bencana.

Pembahasan

Pertama, Hasil analisis spasial sebaran banjir bandang di Nagari Maninjau menunjukkan bahwa fenomena banjir bandang ini merupakan bencana geomorfologis yang pergerakannya di pengaruhi secara dominan oleh konfigurasi topografi, khususnya lereng dan elevasi. Hasil penelitian memperkuat

teori yang dikemukakan oleh Du et al., (2021) bahwa pembentukan dan pergerakan aliran material banjir bandang dipengaruhi oleh interaksi antara curah hujan berintensitas tinggi, kondisi geomorfologi, serta lereng yang mengontrol arah kecepatan, dan energi aliran material. Pada daerah pegunungan lereng yang curam menyebabkan gravitasi bekerja lebih besar sehingga material hasil longsoran lebih mudah berubah menjadi aliran material banjir bandang yang bergerak mengikuti koridor sungai.

Hasil analisis spasial menunjukkan bahwa wilayah dengan lereng curam ($\geq 15\%$) memiliki luas 6,31 Ha dan elevasi tinggi mencapai 12,06 Ha. Kedua parameter tersebut merepresentasikan kawasan hulu dinding kaldera berfungsi sebagai zona pelepasan, transportasi, dan pengikisan material. Pola aliran banjir yang memanjang dari kawasan hulu menuju dataran rendah memperlihatkan kesesuaian dengan morfologi Kaldera Maninjau yang didominasi oleh lembah sempit dan lereng curam. Kondisi ini menunjukkan bahwa topografi berperan penting dalam mengendalikan arah pergerakan

banjir bandang sehingga aliran tetap terpusat mengikuti jaringan sungai bagian hulu.

Pada kawasan hulu tersebut, curah hujan berintensitas tinggi menyebabkan tanah menjadi jenuh sehingga menurunkan kestabilan lereng. Kondisi ini memicu longsor batuan, tanah, dan vegetasi yang kemudian bergerak menuruni lereng akibat pengaruh gaya gravitasi menuju bagian hilir dengan energi yang tinggi. Kondisi ini sesuai dengan hasil penelitian Du et al., (2021) yang menjelaskan bahwa pada lereng curam menyebabkan gaya gravitasi bekerja secara maksimal sehingga mempercepat pergerakan material sehingga menghasilkan aliran material banjir bandang dengan daya angkut yang besar. Akibat keterbatasan ruang pada lembah yang sempit, aliran banjir di bagian hulu membentuk pola memanjang mengikuti jaringan sungai tanpa mengalami penyebaran yang signifikan. Dengan demikian, lereng yang curam berfungsi sebagai jalur transportasi material (*transport zone*) yang memungkinkan lumpur, batuan, dan vegetasi berpindah secara cepat menuju kawasan hilir.

Perubahan karakteristik geomorfologi mulai terlihat ketika aliran banjir bandang memasuki kawasan kaki bukit dengan elevasi di bawah 550 mdpl yang didominasi topografi landai hingga datar. Hasil analisis menunjukkan bahwa wilayah dengan kemiringan lereng landai (<15%) memiliki luas 44,11 Ha, sedangkan zona elevasi rendah mencapai 38,36 Ha. Kawasan tersebut berfungsi sebagai zona pengendapan (*deposition zone*), yaitu tempat berhentinya proses transportasi material yang berasal dari daerah hulu. Hasil penelitian ini sejalan dengan de Haas et al., (2024) ketika aliran banjir bandang yang membawa lumpur pekat, kerikil, bongkahan batu, dan batang pohon memasuki permukaan dataran yang relatif datar di sekitar sempadan Danau Maninjau, hambatan gesekan permukaan meningkat secara signifikan sehingga kecepatan aliran menurun secara drastis. Penurunan energi transportasi tersebut menyebabkan material banjir kehilangan daya angkut, kemudian mengendap dan membentuk hamparan sedimen yang menyebar secara lateral di kawasan permukiman dan lahan terbuka.

Hasil pemetaan spasial menggunakan Citra Sentinel-1 SAR berbasis *Google Earth Engine* juga mampu menggambar pola distribusi banjir sesuai dengan karakteristik geomorfologi wilayah. Hasil ini sama seperti penelitian Bioresita et al., (2021) yang menyatakan bahwa integrasi citra Sentinel-1 SAR dengan *Google Earth Engine* efektif digunakan untuk mendeteksi perubahan wilayah terdampak banjir melalui metode change detection. Kemampuan sensor radar dalam merekam kondisi permukaan tanpa dipengaruhi tutupan awan memungkinkan identifikasi wilayah banjir menjadi lebih akurat. Oleh karena itu, hasil penelitian ini menegaskan bahwa karakteristik topografi, khususnya lereng dan elevasi, merupakan faktor utama yang menentukan arah pergerakan, pola sebaran, dan lokasi pengendapan material banjir bandang di Nagari Maninjau.

Hasil analisis spasial menunjukkan dampak kerusakan banjir bandang di Nagari Maninjau terpusat pada kawasan hilir ini menunjukkan bahwa wilayah dataran kaki bukit menjadi lokasi utama pengendapan material sehingga

kerusakan pada sektor pertanian maupun permukiman terjadi dengan intensitas yang lebih tinggi dibandingkan daerah hulu. Sebaran kerusakan yang berhasil diidentifikasi secara rinci pada setiap jorong merupakan hasil penerapan metode Sistem Informasi Geografi (SIG) dan Penginderaan Jauh yang mampu memetakan perubahan kondisi permukaan secara spasial

Pada aspek menunjukkan bahwa luas lahan pertanian sawah yang mengalami kerusakan mencapai 9,58 Ha. Kerusakan tersebut menunjukkan bahwa banjir bandang tidak hanya menimbulkan dampak sesaat, tetapi juga berpotensi menyebabkan kerugian jangka panjang terhadap sektor pertanian. Sawah yang umumnya berada pada dataran aluvial di kanan dan kiri alur sungai tertimbun oleh endapan pasir, kerikil, dan batuan yang berasal dari daerah hulu. Material sedimen tersebut menutupi lapisan tanah yang sebelumnya subur, serta memutus jaringan irigasi sehingga produktivitas lahan diperkirakan akan menurun apabila tidak dilakukan upaya reklamasi dan rehabilitasi lahan.

Hasil analisis pemetaan menunjukkan sebanyak 205 unit

bangunan mengalami kerusakan fisik akibat banjir bandang. Sebaran kerusakan paling dominan berada di sepanjang koridor Jalan Maninjau–Lubuk Basung dan kawasan Jorong Pasar Maninjau yang terletak pada zona pengendapan utama. Aliran zona pengendapan material yang membawa lumpur pekat, batuan, dan batang pohon memberikan tekanan hidrodinamik yang sangat besar sehingga mampu merusak bangunan semi permanen maupun permanen. Selain menyebabkan keruntuhan sebagian dinding bangunan, material banjir juga mengendap di sekitar permukiman dengan ketebalan sekitar 0,5 hingga 1 meter sehingga banyak bangunan tertutup timbunan sedimen dan tidak dapat langsung difungsikan kembali. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa permukiman yang berkembang pada dataran banjir memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terhadap kejadian banjir bandang

Keberhasilan dalam mengidentifikasi sebaran kerusakan pertanian dan permukiman secara rinci juga didukung oleh pemanfaatan teknologi *Geo-Artificial Intelligence* (Geo-AI) berbasis *Google Earth Engine* (GEE). Platform komputasi

awan tersebut memungkinkan pemrosesan deret waktu citra satelit sebelum dan sesudah bencana secara otomatis sehingga perubahan tutupan lahan dapat dideteksi dengan lebih cepat dan efisien. Melalui algoritma pemrosesan citra, sistem mampu mengurangi kesalahan deteksi pada area permukaan Danau Maninjau dan vegetasi rapat, sekaligus meningkatkan sensitivitas dalam mengenali endapan pasir dan lumpur yang sebelumnya sulit dibedakan dari daratan normal. Integrasi teknologi Geo-AI, Penginderaan Jauh, dan Sistem Informasi Geografi menghasilkan informasi spasial yang lebih akurat mengenai distribusi kerusakan.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemrosesan data spasial dan analisis deteksi perubahan (change detection) berbasis Google Earth Engine, bahwa Sebaran wilayah banjir bandang di Nagari Maninjau memiliki luas total 50,42 Hektar dengan tingkat akurasi pemodelan yang kuat (Kappa Index = 0,8717). Karakteristik sebaran didominasi di wilayah kemiringan lereng landai < 15% luas 44,11 dan wilayah dataran rendah <550 mdpl

luas 38,36 Ha karena bertindak sebagai zona titik akhir (deposition zone) material bahan rombakan vulkanik. Akibat penyumbatan palung aliran di wilayah hulu perbukitan kaldera.

Terjangan banjir bandang memicu dampak kerusakan sektoral yang sangat masif, yaitu menyebabkan kerusakan aspek fisik berupa 9,58 Hektar lahan pertanian sawah rusak total akibat tertimbun endapan pasir batu gersang, serta mengakibatkan kerusakan aspek sosial berupa 205 unit infrastruktur bangunan mengalami kerusakan struktural akibat hantaman material banjir bandang. Sebaran kerusakan paling dominan berada di Jorong Pasa Maninjau, Jorong Kubu Baru, dan Jorong Bancah yang berada pada zona pengendapan utama, sedangkan Jorong Gasang tidak mengalami dampak kerusakan dan Jorong Kukuban menunjukkan tingkat kerusakan yang relatif rendah karena dipengaruhi oleh tutupan vegetasi hutan yang masih baik serta berkurangnya muatan sedimen yang telah mengendap di wilayah jorong sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bioresita, F., Ngurawan, M. G. R., & Hayati, N. (2021). *Identifikasi Sebaran Spasial Genangan Banjir Memanfaatkan Citra Sentinel-1 dan Google Earth Engine (Studi Kasus : Banjir Kalimantan Selatan)*. 17(1), 108–118.
- Budiarto, F. A., & Bioresita, F. (2023). Pemanfaatan Citra Sentinel-1 SAR dan Metode Change Detection Approach Untuk Analisis Sebaran Spasial Wilayah Banjir dan Area Terdampak (Studi Kasus: Banjir Kabupaten Aceh Utara 2022). *Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 6(2), 153–162. <https://doi.org/10.22146/jgise.87585>
- de Haas, T., Lau, C.-A., & Ventra, D. (2024). Debris-Flow Watersheds and Fans: Morphology, Sedimentology and Dynamics. In *Advances in Debris-flow Science and Practice* (hal. 9–73). https://doi.org/10.1007/978-3-031-48691-3_2
- Du, J., Fan, Z., Xu, W., & Dong, L. (2021). *Research Progress of Initial Mechanism on Debris Flow and Related Discrimination Methods: A Review*. 9(May), 1–13. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.629567>
- 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>
- Pradana, I. H., Irawan, L. Y., Setiawan, D., Yuliano, F. S., & Mufid, H. A. (2020). Analisis Daerah Tergenang Banjir Di Desa Sitiarjo, Kabupaten Malang Menggunakan Data SAR (Synthetic Aperture Radar) Sentinel-1. *Jurnal Georafflesia: Artikel Ilmiah Pendidikan Geografi*, 5(1), 58. <https://doi.org/10.32663/georaf.v5i1.1347>