

IMPLEMENTASI HEC RAS DAN LIDAR UNTUK PEMETAAN GENANGAN BANJIR DI LEMBAH ANAI, SUMATERA BARAT, INDONESIA

Firdaus¹, Riski Ramadhan²

¹²Departemen Geografi Fakultas Ilmu Sosial dan daus95759@gmail.com

Article Info

Article history:

Received Jan, 2026

Revised Jan, 2026

Accepted Jan, 2026

Kata Kunci:

LiDAR, *Digital Elevation Model* (DEM), HEC-RAS 2D, Genangan Banjir, Lembah Anai

Keywords:

LiDAR, Digital Elevation Model (DEM), HEC-RAS 2D, Flooding, Anai Valley

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi parameter yang mempengaruhi pemetaan genangan banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Lembah Anai guna memastikan keakuratan model, serta menyusun pola genangan aliran banjir menggunakan metode pemodelan hidrodinamika HEC-RAS 2D. Metode penelitian bersifat kuantitatif dengan pendekatan spasial-hidraulik yang memadukan analisis data geospasial berbasis LiDAR dan simulasi aliran banjir dengan konsep *unsteady flow*. Data LiDAR digunakan untuk menghasilkan *Digital Elevation Model* (DEM) resolusi 0,5 m dengan kepadatan point cloud 377 titik/m² dan akurasi posisi sangat tinggi (RMSE 0,005–0,006 m). Hasil analisis hidrologi menunjukkan koefisien limpasan sebesar 0,028, intensitas hujan 39,104 mm/jam, dan debit puncak 232,900 m³/detik dengan waktu menuju puncak 8,99 jam. Simulasi HEC-RAS 2D memperlihatkan distribusi genangan banjir dengan tiga kategori kedalaman, yaitu rendah (0–0,75 m), sedang (0,76–1,50 m), dan tinggi (>1,50 m). Area genangan dominan berada di sepanjang alur sungai utama dengan luas genangan maksimum 1,341 ha saat debit menurun. Hasil ini menunjukkan integrasi data LiDAR beresolusi tinggi dengan HEC-RAS mampu memberikan representasi spasial genangan yang presisi dan bermanfaat untuk perencanaan mitigasi banjir di Lembah Anai.

ABSTRACT

This study aims to identify parameters that influence flood inundation mapping in the Anai Valley Watershed to ensure model accuracy, as well as to develop flood flow inundation patterns using the HEC-RAS 2D hydrodynamic modelling method. The research method is quantitative with a spatial-hydraulic approach that combines LiDAR-based geospatial data analysis and flood flow simulation with the concept of unsteady flow. LiDAR data was used to produce a 0.5 m resolution Digital Elevation Model (DEM) with a point cloud density of 377 points/m² and very high positional accuracy (RMSE 0.005–0.006 m). The results of the hydrological analysis showed a runoff coefficient of 0.028, rainfall intensity of 39.104 mm/hour, and peak discharge of 232.900 m³/second with a peak time of 8.99 hours. The 2D HEC-RAS simulation shows the distribution of flood inundation with three depth categories, namely low (0–0.75 m), medium (0.76–1.50 m), and high (>1.50 m). The dominant inundation area was along the main river channel with a maximum inundation area of 1.341 ha when the discharge decreased. These results indicate that the integration of high-resolution LiDAR data with HEC-RAS can provide a precise spatial representation of inundation, which is useful for flood mitigation planning in the Anai Valley.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Corresponding Author:

Name: Firdaus

Institution: Departemen Geografi Fakultas Ilmu Sosial Universitas Negeri Padang

Email: daus95759@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara kepulauan yang kaya akan sumber daya alam, terletak strategis di antara Samudra. Posisi ini membuat Indonesia rentan terhadap berbagai tantangan geologis dan hidrometeorologis. Curah hujan yang tinggi sering memicu banjir, yang tidak hanya menyebabkan kerugian materi tetapi juga berdampak signifikan terhadap kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat (Reed, 2020).

Wilayah Lembah Anai terletak di Provinsi Sumatera Barat, Indonesia, tepatnya di perbatasan antara Kota Padang Panjang dan Kabupaten Padang Pariaman. Secara geografis, wilayah ini terletak pada koordinat 00°28'47" Lintang Selatan (LS) dan 00°19'22" Bujur Timur (BT), menjadikannya bagian dari Pegunungan Bukit Barisan yang membentang sepanjang Pulau Sumatera (West Sumatra Central Statistics Agency (BPS), 2023). Topografi wilayah ini didominasi oleh perbukitan terjal, lembah curam, dan sungai berkelok-kelok, menjadikannya wilayah dengan tingkat kerentanan bencana yang cukup tinggi, terutama terhadap tanah longsor dan banjir bandang. Curah hujan yang tinggi sepanjang tahun semakin meningkatkan potensi bencana alam di wilayah ini (BPBD Sumbar, 2024).

Pada tanggal 11 Mei 2024, banjir melanda wilayah Lembah Anai, menyebabkan kerusakan parah pada infrastruktur dan menelan korban jiwa. Jalan nasional di Silaiang (Lembah Anai) terputus total karena erosi yang disebabkan oleh meluapnya Sungai Batang Anai, yang mengakibatkan gangguan lalu lintas utama antara Padang dan Bukittinggi (BPBD Sumbar, 2024). Pembangunan infrastruktur tanpa perencanaan yang baik di wilayah Lembah Anai juga meningkatkan risiko banjir. Banyak bangunan dibangun di bantaran sungai dan daerah dataran rendah yang seharusnya menjadi daerah resapan air (Gomez & Liu, 2018). Banyak usaha pariwisata di sekitar air terjun Lembah Anai tidak memperhitungkan kapasitas drainase alami, sehingga ketika hujan deras turun, air sering meluap ke jalan nasional Padang–Bukittinggi, yang menyebabkan kemacetan lalu lintas yang panjang dan kerusakan pada properti warga (Tribun Sumbar, 2023).

Mitigasi risiko banjir di Lembah Anai harus mencakup perencanaan tata ruang, perbaikan sistem drainase, penghijauan di daerah hulu, dan pengelolaan sumber daya air berkelanjutan agar dapat meminimalkan dampak banjir. Penelitian oleh (Sandy, 2022) menggunakan model HEC-RAS 2D untuk menaksir sebaran banjir di wilayah Lembah Anai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah terdampak banjir meliputi lima desa, dengan genangan terluas dan terdalam terjadi di Desa Sungai Buluah, yaitu mencapai 547,44 jam. Desa Buayan memiliki persentase wilayah terdampak tertinggi, yaitu 20,8% dari total wilayahnya. Dari segi lingkungan, banjir dapat menyebabkan degradasi Lembah Anai, terutama pada ekosistem sungai dan lahan basah, akibat sedimentasi yang berlebihan. Selain itu, pencemaran lingkungan juga meningkat karena banjir membawa limbah industri dan rumah tangga, yang mencemari tanah dan sumber air (Patel, 2019).

Kemajuan teknologi penginderaan jauh telah membuka peluang baru dalam upaya mitigasi bencana hidrometeorologi, terutama banjir. Salah satu teknologi yang semakin banyak digunakan adalah Light Detection and Ranging (LiDAR), yang mampu menghasilkan data topografi permukaan bumi secara detail melalui pantulan cahaya laser. Penggunaan data LiDAR dalam aplikasi perangkat lunak hidrolik seperti HEC-RAS telah terbukti meningkatkan akurasi pemodelan

banjir secara signifikan, karena menghasilkan Model Elevasi Digital (DEM) beresolusi tinggi yang menggambarkan kondisi medan secara lebih detail (Anderson, 2022).

Perbandingan model aliran tak tetap dan banjir aliran tetap di sungai menunjukkan bahwa model aliran tetap cenderung menghasilkan profil elevasi air yang lebih tinggi dari pada model aliran tak tetap (Taylor & Brown, 2020). Selain itu, model aliran tak tetap memerlukan waktu simulasi lebih lama daripada model aliran tetap (Huang et al., 2019). Berdasarkan penelitian ini, integrasi data LiDAR dalam aplikasi HEC-RAS memberikan kontribusi yang signifikan terhadap peningkatan akurasi dan efektivitas pemodelan banjir, yang sangat penting untuk perencanaan mitigasi banjir dan manajemen risiko (Chen et al., 2021).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kerentanan Banjir di Daerah Aliran Sungai (DAS) Literatur Pertama

Pemodelan hidraulik merupakan metode yang umum digunakan untuk menganalisis karakteristik aliran sungai dan sebaran genangan banjir. Perangkat lunak HEC-RAS banyak dimanfaatkan karena mampu mensimulasikan aliran satu dimensi (1D) maupun dua dimensi (2D). Model HEC-RAS 2D dinilai lebih representatif dalam menggambarkan distribusi spasial genangan banjir karena mempertimbangkan variasi arah aliran, kedalaman, dan kecepatan air secara lateral. Beberapa studi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan hasil elevasi muka air antara model aliran tetap dan aliran tak tetap, di mana aliran tak tetap lebih mampu merepresentasikan dinamika banjir meskipun memerlukan waktu komputasi yang lebih besar (Taylor & Brown, 2020; Huang et al., 2019). Oleh karena itu, pemodelan HEC-RAS 2D menjadi alat penting dalam pemetaan daerah rawan banjir dan perencanaan mitigasi bencana.

2.2 Pemanfaatan Data LiDAR dalam Pemetaan Genangan Banjir

Pemodelan hidraulik merupakan metode yang umum digunakan untuk menganalisis karakteristik aliran sungai dan sebaran genangan banjir. Perangkat lunak HEC-RAS banyak dimanfaatkan karena mampu mensimulasikan aliran satu dimensi (1D) maupun dua dimensi (2D). Model HEC-RAS 2D dinilai lebih representatif dalam menggambarkan distribusi spasial genangan banjir karena mempertimbangkan variasi arah aliran, kedalaman, dan kecepatan air secara lateral. Beberapa studi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan hasil elevasi muka air antara model aliran tetap dan aliran tak tetap, di mana aliran tak tetap lebih mampu merepresentasikan dinamika banjir meskipun memerlukan waktu komputasi yang lebih besar (Taylor & Brown, 2020; Huang et al., 2019). Oleh karena itu, pemodelan HEC-RAS 2D menjadi alat penting dalam pemetaan daerah rawan banjir dan perencanaan mitigasi bencana.

2.3 Pemanfaatan Data LiDAR dalam Pemetaan Genangan Banji

Kemajuan teknologi penginderaan jauh, khususnya Light Detection and Ranging (LiDAR), telah meningkatkan kualitas pemodelan banjir secara signifikan. Data LiDAR mampu menghasilkan Digital Elevation Model (DEM) beresolusi tinggi dengan akurasi vertikal yang sangat baik, sehingga mampu merepresentasikan detail topografi seperti bentuk alur sungai, bantaran, dan dataran banjir. Beberapa penelitian menyatakan bahwa kesalahan kecil pada data elevasi dapat menyebabkan perbedaan yang signifikan terhadap hasil luas dan kedalaman genangan banjir. Integrasi DEM berbasis LiDAR dengan pemodelan hidraulik HEC-RAS terbukti meningkatkan akurasi simulasi banjir dibandingkan penggunaan DEM resolusi menengah seperti SRTM atau ASTER (Anderson, 2022; Chen et al., 2021; Aristizabal et al., 2023).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bersifat kuantitatif dengan pendekatan spasial-hidrolik menggunakan pemodelan berbasis data geospasial (LiDAR) dan simulasi aliran menggunakan HEC-RAS 2D berbasis aliran tak tetap. Penelitian ini dilakukan di Lembah Anai, Kecamatan X Koto, Kabupaten Tanah Datar. Berdasarkan koordinat, lembah ini terletak pada 00 28 47 LS – 00 19 22 LS hingga 100° 19 42 BT – 100° 22 03 BT dan berada pada ketinggian antara 400 m – 1200 m di atas permukaan laut dengan tingkat kelembapan udara berkisar antara 60% hingga 100%. Penelitian ini dilakukan mulai Januari 2025 hingga selesai.

3.1 Jenis Data Dan Sumber Data

a. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh langsung ke lapangan, dalam penelitian ini beberapa survei perlu dilakukan untuk memperoleh data primer, yaitu menggunakan LiDAR pengambilan untuk data pengolahan DEM.

b. Data Sekunder

- a. Peta Administrasi Kabupaten Tanah Datar
- b. Data LiDAR pendukung untuk pengolahan DEM
- c. Peta penggunaan lahan
- d. Data Curah hujan

3.2 Teknik Analisis Data

3.2.1 Model Banjir Menggunakan Hec-Ras

Dalam HEC-RAS, terutama untuk aliran tidak tetap, bentuk konservatif persamaan Saint-Venant digunakan:

Persamaan Kontinuitas (Kekekalan Massa):

$$\partial(uh)/\partial t + \partial(u^2h)/\partial x + \partial(uvh)/\partial y = -gh \partial z/\partial x - gh Sfx$$

$$\partial(vh)/\partial t + \partial(uvh)/\partial x + \partial(v^2h)/\partial y = -gh \partial z/\partial y - gh Sfy$$

Rumus Koefisien Kekasaran Manning:

$$v = \left(\frac{1}{n}\right) * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Di mana:

h = kedalaman air

u, v = kecepatan aliran (komponen x dan y)

z = elevasi dasar sungai

Sfx, Sfy = aliran lereng gesekan

g = gravitasi (9,81 m/s²)

n = Koefisien kekasaran Manning

R = radius hidrolik

S = kemiringan dasar saluran

3.2.2 Analisis Intensitas Curah Hujan

Metode yang digunakan untuk menganalisis curah hujan adalah metode Mononobe, sebuah metode empiris yang banyak digunakan di Indonesia untuk menentukan hubungan antara intensitas curah hujan (I), durasi curah hujan (t), dan periode ulang (T). Rumus dasar metode Mononobe adalah sebagai berikut:

$$I = \left(\frac{R_{24}}{24}\right) \frac{(24)^{2/3}}{t}$$

Di mana:

I = intensitas hujan

R 24 = curah hujan harian maksimum (mm)
t = waktu hujan (h)

Dalam penerapannya, metode ini membutuhkan data curah hujan maksimum harian untuk periode tertentu, yang kemudian dikelompokkan berdasarkan durasi dan dianalisis untuk mendapatkan data curah hujan. Hasil perhitungan intensitas curah hujan terencana ini kemudian menjadi dasar perhitungan debit banjir terencana, yang sangat penting dalam proses simulasi menggunakan HEC-RAS.

3.2.3 Analisis Debit

Analisis hidrologi dalam penelitian ini dilakukan untuk menghitung debit banjir rencana yang digunakan sebagai input dalam pemodelan hidrolika menggunakan HEC-RAS 2D. Metode yang digunakan adalah Metode Rasional yang umum digunakan untuk daerah dengan daerah aliran sungai (DAS) kecil hingga sedang. Metode ini digunakan untuk daerah dengan luas daerah aliran sungai kurang dari 300 ha (goldman et.al., 1986). Metode rasional dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa curah hujan memiliki intensitas yang seragam dan merata di seluruh daerah aliran sungai paling sedikit selama waktu yang sama dengan waktu konsentrasi (tc). Persamaan matematika untuk metode rasional adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,00278 C I A$$

Keterangan:

Q = Debit Limpasan (m³/detik)

C = Koefisien Limpasan Air Permukaan
(0 ≤ C ≤ 1)

I = Intensitas Curah Hujan (mm/jam)

A = Luas Sub-DAS (Hektar)

3.2.4 Analisis HSS Nakayasu

Analisis Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu digunakan untuk memperkirakan hidrograf aliran banjir berdasarkan data curah hujan dan karakteristik DAS. Metode Nakayasu banyak digunakan di Indonesia karena cocok untuk kondisi hidrologi tropis dan relatif sederhana dalam perhitungannya (Asdak, 2018). Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu dibangun berdasarkan hubungan antara curah hujan efektif dan debit limpasan melalui persamaan matematika. Persamaan dasar metode Nakayasu adalah sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \times \frac{A \cdot R_0}{(0,3 T_p + T_{0,3})}$$

Persamaan distribusi hidrograf satuan:

1. Pada kurva ke atas (*Rising Limb*)

$$0 < t < T_p \text{ maka } Q_t = Q_p (t/T_p)^{2,4}$$

2. Pada Kurva Menurun (*Decreasing Limb*)

a. $T_p < t < (T_p + T_{0,3})$

$$\text{maka } Q_t = Q_p \cdot 0,3 [(t - T_p)/T_{0,3}]$$

b. $(T_p + T_{0,3}) < t < (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$\text{maka } Q_t = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t - T_p - 0,5 T_{0,3})}{1,5 T_{0,3}}}$$

c. $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 \cdot T_{0,3})$

$$\text{maka } Q_t = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t - T_p - 1,5 T_{0,3})}{2 T_{0,3}}}$$

Dimana:

Q_p = Debit banjir puncak (m³/detik)

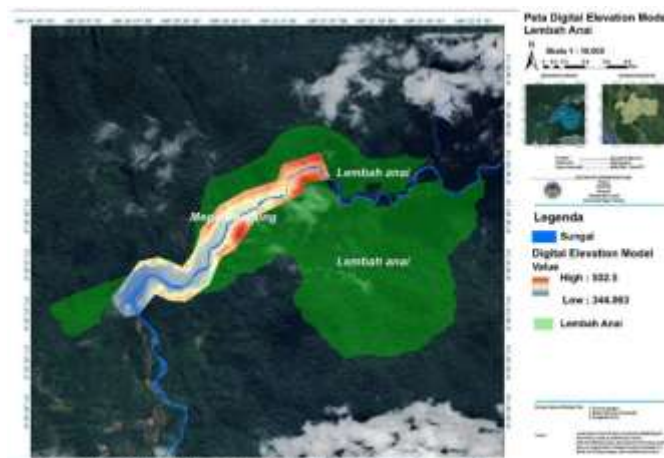
- C = Koefisien limpasan (0,2 – 0,9)
 A = Luas Daerah Aliran Sungai (km²)
 R_0 = Hujan satuan (mm)
 T_p = Waktu puncak banjir (jam)
 T_r = Lama hujan, koefisien limpasan air hujan
 $T_{0,3}$ = Waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan debit banjir dari Q_p menjadi 0,3 Q_p
 $T_p = T_g + 0,8 T_r$
 $L < 15 \text{ km}$ $t_g = 0,21 \cdot L^{0,7}$
 $L > 15 \text{ km}$ $t_g = 0,4 + 0,058 \cdot L$
 L = Panjang sungai utama
 T_g = Waktu konsentrasi (jam)
 $T_r = 0,5 \cdot t_g$ ke t_g (jam)
 $T_{0,3} = t_g$ (jam)
 $= 0,47 \cdot A \cdot L^{0,25} / t_g$
 $= 2$ untuk daerah aliran sungai biasa
 $= 1,5$ untuk hidrograf menaik lambat

Hidrograf debit aliran kemudian disusun berdasarkan nilai debit puncak, waktu puncak, dan waktu dasar, sehingga dapat menggambarkan respons aliran banjir terhadap curah hujan. HSS Nakayasu dipilih dalam studi ini karena kemampuannya memberikan hasil yang cukup baik di Daerah Aliran Sungai (DAS) dengan ketersediaan data terbatas, dan telah terbukti dapat diterapkan secara luas dalam studi hidrologi dan perencanaan struktur air di Indonesia (Suharyanto & Hendri, 2020).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Mengidentifikasi Parameter yang Mempengaruhi Pemetaan Genangan Banjir di Lembah Anai

Pengolahan data LiDAR di wilayah Lembah Anai menghasilkan Model Elevasi Digital (DEM) berkualitas tinggi. Akuisisi data dilakukan menggunakan sensor DJI Zenmuse L2. DEM yang dihasilkan juga mampu menggambarkan kondisi topografi yang detail, termasuk variasi elevasi yang signifikan di sepanjang alur sungai, dilengkapi dengan data kontur interval 10 m yang semakin memperjelas relief wilayah tersebut. Dengan kualitas data ini, hasil LiDAR ideal untuk pemodelan banjir menggunakan HEC-RAS, penentuan zona rawan banjir, dan studi terkait degradasi lingkungan dan potensi bencana di Lembah Anai. Akurasi yang tinggi, kepadatan titik yang tinggi, dan klasifikasi awan titik yang valid menjadikan DEM ini sebagai dasar penting untuk pemetaan banjir.



Gambar 1. Peta Digital Elevation Model Lembah Anai

Dalam studi ini, wilayah studi difokuskan hanya pada alur sungai di Lembah Anai, yang panjangnya kurang lebih 2,5 km dan terdampak langsung banjir tahun 2024. *Model Elevasi Digital* (DEM). Data digunakan untuk menggambarkan variasi ketinggian

4.2 Analisis Pola Genangan Banjir Menggunakan HEC-RAS



Gambar 2 Peta Genangan Banjir Lembah Anai

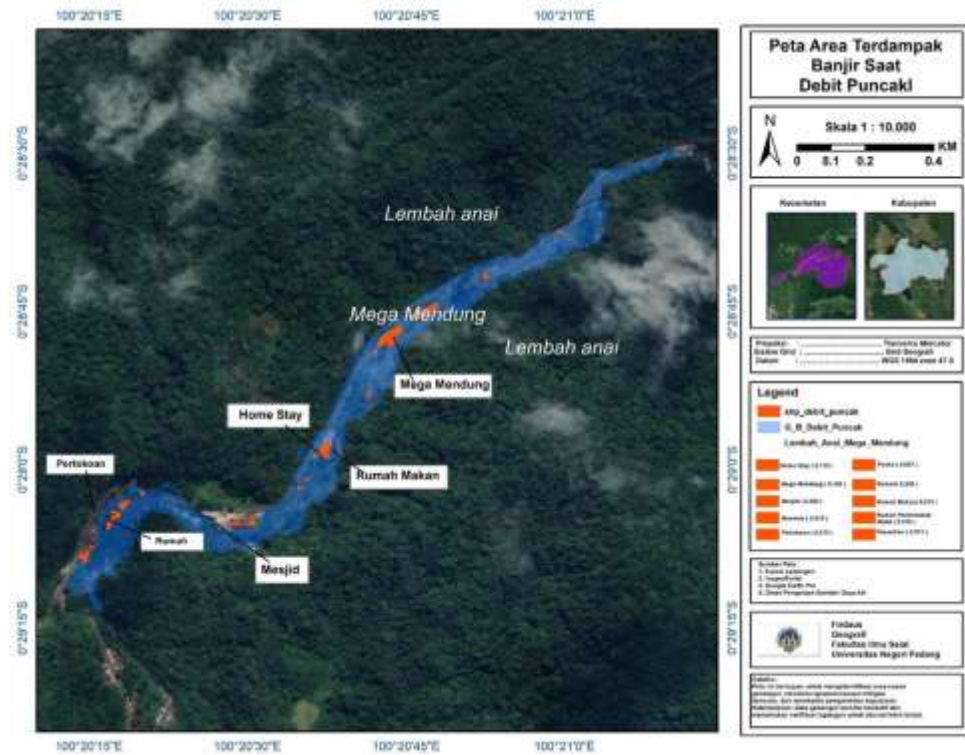
Hasil pemodelan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS 2D dengan masukan debit puncak sebesar 232.479 m³/s menunjukkan pola genangan banjir di wilayah Lembah Anai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Peta genangan ini diklasifikasikan menjadi tiga kategori bahaya berdasarkan kedalaman genangan, yaitu rendah (0–0,75 m), sedang (0,76–1,50 m), dan tinggi (>1,50 m). Berdasarkan peta ini, wilayah genangan dominan berada di sepanjang alur sungai utama yang melewati Nagari Singgalang hingga wilayah Guguk. Zona dengan tingkat genangan tinggi (merah) terutama berada di wilayah bantaran sungai dengan morfologi datar hingga cekung, sehingga menjadi wilayah yang paling rawan banjir. Sementara itu, wilayah dengan tingkat genangan sedang (oranye) tersebar di sekitar bantaran sungai yang berdekatan dengan permukiman penduduk dan fasilitas umum. Zona rendah (kuning) umumnya berada di wilayah dengan elevasi lebih tinggi dari bantaran sungai, yang berfungsi sebagai wilayah transisi genangan.

Tabel 1. Klasifikasi Area Genangan

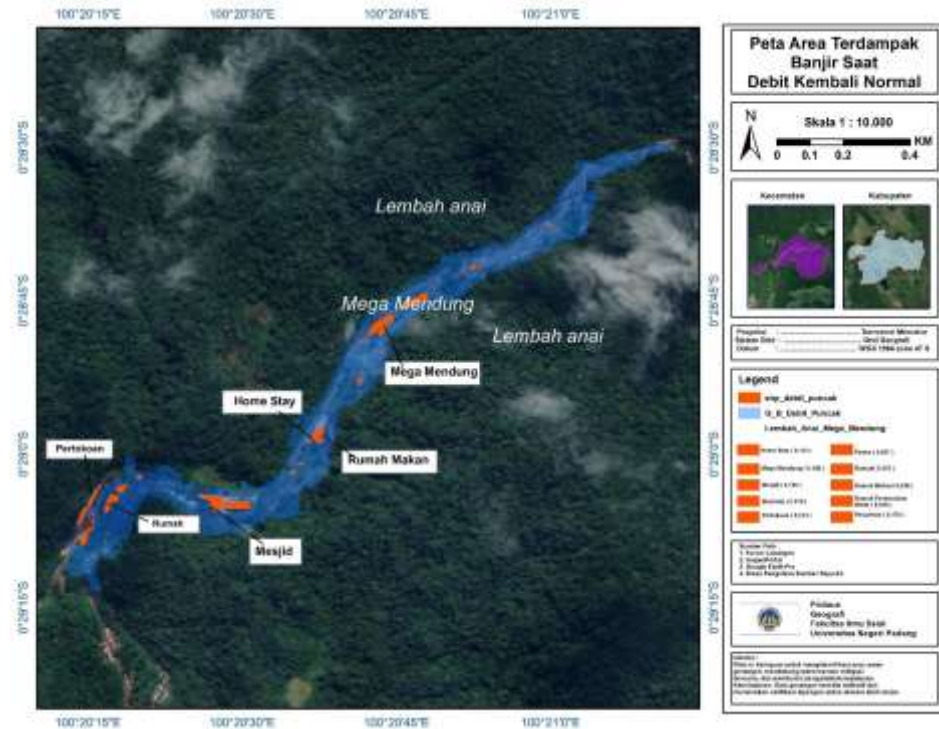
No	Q (m ³ detik)	Luas (ha)	Keterangan
1	232,900	1.025	0 - 0,75 (Rendah)
2		1.260	0,76 – 1,50 (Sedang)
3		24.220	> 1,50 (Tinggi)
Total Wilayah Terdampak (ha)		26.505	

Sumber : Analisis data, 2025

Dari tabel 1 tersebut dapat diketahui bahwa area dengan klasifikasi genangan bahwa genangan dengan kategori tinggi banyak ditemukan di sepanjang alur sungai utama yang memiliki morfologi relatif datar, sehingga air cenderung meluap dan menutupi area sekitar bantaran. Sementara itu, kategori sedang berada di area transisi dengan elevasi sedikit lebih tinggi, dan kategori rendah mendominasi wilayah yang relatif jauh dari badan Sungai.



Gambar 3 Perbedaan Area Genangan Banjir Lembah Anai



Gambar 4 Perbedaan Genangan Banjir Lembah Anai

Hasil perbedaan luas genangan banjir di Lembah Anai berdasarkan simulasi debit puncak dan debit resesi menggunakan perangkat lunak HEC-RAS 2D. Peta ini memberikan gambaran spasial dinamika perubahan luas dan distribusi banjir pada dua kondisi hidrologi yang berbeda, yaitu saat debit banjir mencapai puncaknya ($232.900 \text{ m}^3/\text{detik}$) dan saat debit menurun ke kondisi normal ($230\text{--}0,3 \text{ m}^3/\text{detik}$). Perbedaan pola genangan yang ditunjukkan pada peta ini menegaskan bahwa intensitas aliran dan kapasitas sungai memiliki pengaruh langsung terhadap luas area yang terdampak banjir. Dengan demikian, peta ini berfungsi sebagai alat analisis visual untuk

mengidentifikasi area yang paling rentan terhadap genangan selama fase puncak dan pasca puncak banjir, serta sebagai dasar pertimbangan dalam pengembangan strategi mitigasi bencana di Lembah Anai.

4.3 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter topografi yang diperoleh dari data LiDAR berperan sangat signifikan dalam membangun model banjir yang akurat. Dengan kerapatan titik sebesar 377 titik/m², resolusi DEM yang dihasilkan mampu menggambarkan detail morfologi sungai hingga skala kecil, meliputi bentuk tebing sungai, tanggul alami, dan variasi lereng. Nilai RMSE yang sangat rendah (0,005–0,006 m) menunjukkan bahwa kesalahan posisi vertikal dan horizontal relatif kecil, sehingga elevasi yang digunakan untuk simulasi hidrolis mendekati kondisi sebenarnya di lapangan. Kondisi ini sangat berbeda jika dibandingkan dengan penggunaan DEM dari SRTM atau ASTER yang seringkali mengakibatkan generalisasi berlebihan akibat resolusi spasial yang lebih kasar. (Aristizabal et al., 2023) menegaskan bahwa kesalahan kecil pada data elevasi dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap luas banjir yang diprediksi. Oleh karena itu, penggunaan LiDAR resolusi tinggi dalam penelitian ini terbukti menjadi faktor utama dalam meningkatkan akurasi model banjir.

Selain topografi, parameter hidrologi seperti koefisien limpasan, intensitas curah hujan, dan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) juga berpengaruh signifikan. Koefisien limpasan sebesar 0,028 menunjukkan bahwa DAS tersebut masih memiliki kapasitas infiltrasi yang relatif baik. Angka ini menunjukkan dominasi tutupan lahan berupa vegetasi alami dan tanah porous, yang mampu menyerap air hujan dalam jumlah besar. Namun demikian, meskipun koefisien limpasan rendah, intensitas curah hujan yang tinggi yaitu 39.104 mm/jam tetap mengakibatkan potensi debit puncak yang signifikan. (Yan, 2023) menyatakan bahwa curah hujan ekstrem dengan durasi pendek di wilayah tropis dapat menyebabkan banjir meskipun DAS tersebut masih didominasi oleh vegetasi.

Hasil perhitungan debit banjir dengan menggunakan Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu menunjukkan debit puncak sebesar 232.900 m³/s dengan waktu menuju puncak (Tp) sekitar 8,99 jam. Parameter ini menggambarkan respon hidrologi suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) yang cukup cepat, dipengaruhi oleh panjang sungai, kemiringan lahan, dan luas DAS sebesar 76.521 ha. (Lestari & Nugroho, 2024) juga menemukan bahwa karakteristik hidrograf sangat dipengaruhi oleh kombinasi morfologi DAS dan intensitas curah hujan, sehingga hasil penelitian ini sesuai dengan temuannya.

Pemodelan hidrodinamik dengan HEC-RAS 2D menunjukkan bahwa distribusi banjir tidak seragam, tetapi terkonsentrasi pada wilayah-wilayah tertentu dengan karakteristik morfologi dan tata guna lahan tertentu. Simulasi menghasilkan tiga kategori tingkat bahaya genangan, yaitu genangan rendah (0–0,75 m), genangan sedang (0,76–1,50 m), dan genangan tinggi (>1,50 m). Pemetaan spasial menunjukkan bahwa wilayah genangan rendah sebagian besar terdapat di persawahan dan semak belukar, yang umumnya berada di wilayah dengan topografi relatif landai dan berfungsi sebagai daerah tangkapan air alami. Sementara itu, banjir sedang lebih terkonsentrasi di wilayah permukiman dan infrastruktur publik, sehingga berdampak langsung pada masyarakat. Banjir tinggi terkonsentrasi di bantaran sungai besar, terutama di wilayah dengan morfologi datar dan tanpa tanggul buatan yang memadai.

Pada debit mulai meningkat, luas area banjir tercatat sebesar 0,88 ha. Namun, ketika debit mencapai puncaknya, luas area banjir meluas menjadi 1.341 ha. Pola ini menunjukkan bahwa banjir tidak hanya bersifat sementara tetapi juga mengalami perkembangan spasial dari waktu ke waktu sesuai dengan fase debit. (Sahid, 2023) yang menjelaskan bahwa HEC-RAS 2D mampu memodelkan dinamika temporal dan spasial genangan banjir dengan tingkat akurasi yang baik.

Pola genangan banjir sering terkonsentrasi di sekitar kawasan permukiman yang terletak berdekatan dengan alur sungai, karena zona-zona ini mengalami akumulasi limpasan permukaan yang lebih tinggi akibat berkurangnya kapasitas infiltrasi dan perubahan tutupan lahan akibat manusia. Temuan dari studi ini menunjukkan distribusi spasial yang serupa, di mana genangan

sebagian besar terjadi di permukiman dekat alur sungai utama. Namun, area genangan yang diamati di Daerah Aliran Sungai Lembah Anai (maksimum 1.341 ha) relatif kecil, yang menunjukkan bahwa banjir lebih terlokalisasi. Pola ini dapat dikaitkan dengan ukuran DAS yang kecil, tutupan vegetasi yang baik, dan keberadaan zona infiltrasi yang efektif mengurangi volume limpasan permukaan. Hasil ini konsisten dengan temuan Yulfa, yang menekankan bahwa morfologi DAS, kerapatan vegetasi, dan karakteristik infiltrasi merupakan faktor-faktor kunci yang memengaruhi luas dan distribusi genangan banjir.

Dari perspektif praktis, pola genangan yang diperoleh penting bagi upaya mitigasi bencana. Peta bahaya banjir yang dihasilkan dapat digunakan oleh pemerintah daerah sebagai acuan dalam perencanaan tata ruang, terutama untuk menentukan zona permukiman aman dan zona pembatasan pembangunan. Misalnya, wilayah dengan genangan tinggi ($>1,50$ m) perlu ditetapkan sebagai zona larangan pembangunan baru, sementara wilayah dengan genangan sedang perlu dilengkapi dengan infrastruktur adaptif seperti tanggul kecil, kolam retensi, atau jalur evakuasi. Selain itu, keberadaan genangan di sekitar fasilitas umum juga menunjukkan perlunya rencana evakuasi darurat agar masyarakat dapat segera menghindari risiko.

Dengan demikian, hasil pemodelan HEC-RAS 2D tidak hanya memberikan gambaran spasial tingkat bahaya banjir tetapi juga berfungsi sebagai dasar ilmiah bagi kebijakan mitigasi dan adaptasi terhadap banjir. (Aristizabal et al., 2023) bahwa pemodelan hidrodinamik berbasis data resolusi tinggi memiliki peran strategis dalam mendukung manajemen risiko bencana banjir di tingkat lokal

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa data topografi hasil LiDAR dengan kepadatan point cloud tinggi (377 titik/m²) dan akurasi RMSE sangat kecil (0,005–0,006 m) memberikan kontribusi besar terhadap ketepatan pemodelan banjir HEC-RAS 2D di Kawasan Lembah Anai. Analisis debit menggunakan Metode Rasional menghasilkan debit puncak 232,479 m³/detik dengan koefisien aliran 0,028 dan intensitas hujan 39,104 mm/jam, mencerminkan kondisi infiltrasi lahan yang masih baik. Perhitungan HSS Nakayasu menunjukkan waktu menuju debit puncak 8,99 jam dengan debit maksimum 232,900 m³/detik, serta fase resesi hingga pukul 11.52 WIB, mengindikasikan respons hidrologi yang cepat terhadap hujan. Pemodelan HEC-RAS 2D menghasilkan peta genangan dengan tiga tingkat bahaya (rendah, sedang, tinggi) dan menunjukkan bahwa meskipun debit menurun, luas genangan dapat bertambah dari 0,88 ha menjadi 1,341 ha karena penyebaran aliran pada dataran banjir. Secara keseluruhan, integrasi LiDAR resolusi tinggi, metode Rasional, HSS Nakayasu, dan HEC-RAS 2D memberikan gambaran komprehensif mengenai potensi.

Kesimpulan menyajikan uraian singkat dari temuan penelitian yang paling penting memberikan kontribusi signifikan untuk memajukan bidang yang diteliti. Penilaian akhir tentang pentingnya temuan-temuan penelitian yang dilakukan dalam kaitannya dengan implikasinya. Indikasi keterbatasan penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, P. (2022). The Role of LiDAR Data in Flood Modeling and Disaster Mitigation. *Remote Sensing Applications*, 9(2), 210–225. <https://doi.org/10.3390/rsapp.2022.9.2.210>
- Aristizabal, E., Gomez, J., & Restrepo, J. (2023). Influence of Elevation Data Accuracy on Flood Inundation Modeling. *Hydrology Research*, 54(4), 723–738. <https://doi.org/10.2166/nh.2023.083>
- Asdak, C. (2018). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press.
- BPBD Sumbar. (2024). *Laporan Banjir Bandang Lembah Anai 11 Mei 2024*. Badan Penanggulangan Bencana Daerah Sumatera Barat.
- Chen, X., Zhang, H., & Li, Y. (2021). Integration of LiDAR Data in HEC-RAS for Flood Risk Mapping and Mitigation. *Journal of Flood Risk Management*, 14(3), e12738. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12738>
- Gomez, A., & Liu, X. (2018). Urbanization and Flood Risk: The Case of Indonesia's River Basins. *Environmental Management Journal*, 22(4), 301–312. <https://doi.org/10.1007/emj.2018.22.4.301>

- Huang, L., Wang, T., & Zhao, Y. (2019). Simulation Efficiency and Accuracy in Unsteady and Steady Flow Models. *Journal of Hydraulic Engineering*, 145(7), 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001620](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001620)
- Lestari, D., & Nugroho, A. (2024). Effect of Watershed Morphology and Rainfall Intensity on Hydrograph Characteristics. *Indonesian Journal of Water Resources*, 10(1), 33–44. <https://doi.org/10.22146/ijwr.2024.10.1.33>
- Patel, K. (2019). Environmental Consequences of Flooding: A Global Perspective. *Journal of Environmental Pollution*, 11(3), 87–102. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.11.3.87>
- Reed, L. (2020). Socio-Economic Impacts of Flood Disasters in Southeast Asia. *Journal of Environmental Studies*, 15(2), 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.15.2.45>
- Sandy, R. (2022). *Pemodelan Sebaran Banjir Menggunakan HEC-RAS 2D di Kawasan Lembah Anai*. Universitas Negeri Padang.
- Smith, J. (2021). *The Geopolitical Significance of Indonesia as an Archipelagic State*. Pacific Rim Press.
- Suharyanto, B., & Hendri, Y. (2020). Application of Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph in Watershed Analysis. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 8(2), 121–130. <https://doi.org/10.14710/jtsl.8.2.121-130>
- Taylor, M., & Brown, S. (2020). Comparative Analysis of Steady and Unsteady Flow Models in River Flood Simulation. *Hydrological Modelling Review*, 6(1), 55–68. <https://doi.org/10.1080/hmr.2020.6.1.55>
- Tribun Sumbar. (2023). Banjir di Lembah Anai Sebabkan Kemacetan Panjang di Jalan Padang–Bukittinggi. *Tribun Sumbar Online*. <https://sumbar.tribunnews.com/>
- West Sumatra Central Statistics Agency (BPS). (2023). *West Sumatra in Figures 2023* [Dataset]. Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Barat. <https://sumbar.bps.go.id/>
- Yan, L. (2023). Short-Duration Extreme Rainfall and Flood Generation in Tropical Watersheds. *International Journal of Hydrometeorology*, 17(1), 55–67. <https://doi.org/10.1016/ijhm.2023.17.1.55>