

# Potensi Aliran Lahar Erupsi Gunung Marapi di Batang Aia Kalek, Kecamatan X Koto, Kabupaten Tanah Datar Menggunakan Perangkat Lunak LAHARZ

Defi Afriyanti<sup>1</sup>, Endah Purwaningsih<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Geografi, Departemen Geografi, Universitas Negeri Padang, Indonesia dan [afriyantidefi2@gmail.com](mailto:afriyantidefi2@gmail.com)

<sup>2</sup> Departemen Geografi, Universitas Negeri Padang, Indonesia dan [endahgeo@fis.unp.ac.id](mailto:endahgeo@fis.unp.ac.id)

## Article Info

### Article history:

Received Oktober, 2025

Revised Oktober, 2025

Accepted Oktober, 2025

### Kata Kunci:

Erupsi, Potensi Aliran Lahar, Gunung Marapi, LAHARZ, ArcGIS,

### Keywords:

Eruption, Lahar Flow Potentials, Marapi Mount, LAHARZ, ArcGIS

## ABSTRAK

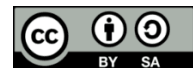
Gunung Marapi adalah gunung api aktif di Sumatera Barat, kembali aktif di tahun 2023 dan masih mengalami erupsi di tahun 2025, menyebabkan peningkatan akumulasi endapan material vulkanik di sekitar kawah dan lereng, memicu potensi bahaya sekunder berupa banjir lahar. Distribusi aliran lahar dapat meluas ke dataran kaki gunung yang mencakup permukiman dan pertanian, tergantung pada intensitas hujan dan topografi. Maka dilakukan penelitian ini dengan tujuan mengetahui jangkauan potensi aliran lahar terhadap penggunaan lahan di sekitar sungai, serta variasi jangkauan potensi aliran lahar berdasarkan beberapa skenario estimasi volume. Populasi penelitian ialah wilayah Kecamatan X Koto, dan sampel yaitu aliran sungai Batang Aia Kalek. Analisis data menggunakan perangkat lunak LAHARZ, dengan data masukan *Digital Elevation Model* (DEM) dan volume yang disimulasikan dalam beberapa skenario berdasarkan rumus empiris Mizuyama dalam SNI Pd T-18-2004-A, menghasilkan pemodelan aliran lahar yang kemudian dianalisis dengan penggunaan lahan melalui *overlay*. Serta analisis perbandingan antar skenario volume. Pada perhitungan volume memerlukan parameter sedimen dan data geometri sungai, dengan begitu pengambilan sampel material sedimen menggunakan teknik *sediment core sampling* sederhana dengan tabung dan diujikan laboratorium. Parameter data geometri sungai berupa *river slope* dan *catchment area* menggunakan ekstensi ArcGIS yaitu HEC-GeoHMS. Hasil temuan menunjukkan jangkauan potensi aliran lahar umumnya di lokasi penelitian mengikuti aliran sungai yang dominan ke arah hilir, melintasi area hutan, semak belukar di banataran sungai, pertanian, permukiman, dan bangunan. Sedangkan untuk variasi skenario, peningkatan volume berbanding lurus dengan perluasan area terdampak dan panjang jangkauan aliran, semakin besar volume sebaran mencakup aliran yang luas dan penggunaan lahan yang beragam.

## ABSTRACT

Mount Marapi is an active volcano in West Sumatra, reactivated in 2023 and still erupting in 2025, causing an increase in the accumulation of volcanic material deposits around the crater and slopes, triggering a potential secondary hazard in the form of lahar floods. The distribution of lahar flows can extend to the foothills including settlements and agriculture, depending on rainfall intensity and topography. Therefore, this study aims to determine the potential reach of lahar flows on land use around the river, and variations in the potential reach of lahar flows based on several volume estimation scenarios. The

research area covers the X Koto District, with the Batang Aia Kalek river flow as the sample. Data analysis used LAHARZ software, with input data of Digital Elevation Model (DEM) and simulated volumes in several scenarios based on the Mizuyama empirical formula in SNI Pd T-18-2004-A, the modelling result were overlay with land use maps for spatial analysis. Then, comparative analysis between volume scenarios. Volume estimation required sediment and river geometry parameters, with sediment samples obtained through a simple core sampling technique using tubes and tested in the laboratory. River geometry parameters, including river slope and catchment area, were analyzed using the ArcGIS extension HEC-GeoHMS. The result show that lahar flows generally follows the dominant river flow downstream, crossing forests, riverbank scrubs, agricultural, settlements, and buildings. Meanwhile, for various scenarios, the increase in volume is directly proportional to the expansion of the affected area and the length of the flow.

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



---

**Corresponding Author:**

Name: Endah Purwaningsih

Institution: Departemen Geografi, Universitas Negeri Padang, Indonesia

Email: [endahgeo@fis.unp.ac.id](mailto:endahgeo@fis.unp.ac.id)

---

## 1. PENDAHULUAN

Gunung Marapi ialah gunung api aktif yang terletak di Sumatera Barat, lebih tepatnya berada di dua wilayah yakni Kabupaten Tanah Datar dan Kabupaten Agam pada koordinat 0°22'47.72"LS dan 100°28'16.71" BT. Berdasarkan laporan aktivitas gunung api oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) Gunung Marapi kembali aktif pada tahun 2023, dimana sebelumnya berada pada masa istirahat dari erupsi tahun 2018 (Rifandi et al., 2024). Pasca erupsi eksplosif pada Desember tahun 2023 dan serangkaian aktivitas gunung api aktif, telah terjadi banjir lahar dingin beberapa kali dan terparah terjadi pada 11 Mei 2024 yang berdampak di wilayah Kabupaten Agam, Kabupaten Tanah Datar, Kota Padang Panjang, dan Kabupaten Padang Pariaman (Jemari Sakato, 2024). Kondisi pasca erupsi ditandai adanya peningkatan limpahan material piroklastik vulkanik yang menumpuk di sekitar lubang kawah, akumulasi tumpukan material tersebut berpotensi terbawa aliran air apabila hujan dengan intensitas  $\pm 40$  mm/jam terjadi di wilayah tersebut, sehingga menjadi ancaman banjir lahar (Hadmoko et al., 2024). Sesuai laporan aktivitas gunung api oleh PVMBG bahwa Gunung Marapi masih tergolong aktif dan berada di level II (waspada), menjelaskan bahwa produksi material piroklastik terus bertambah, dengan begitu risiko terjadinya bencana banjir lahar di masa mendatang semakin tinggi.

Batang Aia Kalek merupakan salah satu sungai yang berhulu Gunung Marapi, hulunya berada dekat dengan kawah yang aktif yaitu pada sisi barat daya. Pola aliran sungai mengikuti morfologi lembah gunung memotong beberapa penggunaan lahan ladang, sawah, serta infrastruktur sarana Jalan Nasional yang menjadi akses untuk kemudahan kegiatan ekonomi-sosial wilayah, dan beberapa titik permukiman yang cukup dekat dengan sungai, dengan begitu didapati adanya potensi risiko terhadap aset dan jiwa apabila terjadi banjir lahar.

Mengatasi risiko bencana gunung api dimana salah satunya ialah bencana banjir lahar dibutuhkan serangkaian upaya yang dilakukan untuk mengurangi risiko atau dampak bencana, hal ini disebut mitigasi yang terdefinisi dalam Undang-undang No. 7 Tahun 2004. Pada PP No.33 Tahun 2011 tentang Kebijakan Nasional Pengelolaan Sumber Daya Air dijelaskan strategi dalam upaya pengendalian daya rusak air dan pengurangan dampak yaitu salah satunya memetakan dan menetapkan kawasan rawan bencana yang terkait dalam hal ini banjir lahar sebagai acuan penyusunan rencana tata ruang wilayah dan pengendalian pemanfaatan ruang pada setiap wilayah sungai. Maka dari hal tersebut pembuatan potensi aliran lahar menggunakan perangkat lunak LAHARZ dapat mendukung upaya tersebut yaitu membantu memetakan peta bahaya akibat aliran lahar yang seterusnya membantu penyusunan peta kawasan rawan bencana. LAHARZ tersebut ialah perangkat lunak yang berjalan dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) yang didesain untuk mendeteksi luapan dari sumber aliran sungai menggunakan nilai *cell* dalam data *Digital Elevation Model* (DEM) dan nilai volume, yang secara automasi akan menghasilkan potensi aliran lahar dengan pengaturan terstruktur di tiap menu perintahnya (Schilling, 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jangkauan potensi aliran lahar yang ada di sekitar sungai Batang Aia Kalek terhadap penggunaan lahan, serta mengetahui variasi jangkauan potensi aliran lahar berdasarkan beberapa skenario estimasi volume dengan memanfaatkan perangkat lunak LAHARZ.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan pemodelan lahar dengan pendekatan model empiris maupun pendekatan SIG. Seperti, penelitian oleh Aisy, R *et al.*, 2025 menggunakan metode skoring dan overlay untuk tingkat bahaya dan risiko bencana banjir lahar dingin Gunung Marapi berbasis Sistem Informasi Geografis, lalu Hadthya Reinhart *et al.*, 2014 dalam penelitiannya yaitu simulasi penanganan potensi aliran debris di Gunung Sago yang berstudi kasus di Batang Lakin, Kec. Lareh Sago Halaban, Kab. Lima Puluh Kota menggunakan rumus empiris Mizuyama untuk estimasi volume dan simulator Kanako 2D versi 2.051 untuk analisis simulasi aliran debris. Serta Masyitah *et al.*, 2024 yang berfokus pada simulasi potensi bahaya aliran lahar pada letusan gunung api Seulawah Agam-Aceh, menggunakan perangkat lunak LAHARZ dan masukan data untuk estimasi volume menggunakan data riwayat letusan gunung api yang pernah terjadi. Dari penelitian-penelitian tersebut kajian yang secara spesifik mengkaji pada kawasan sungai Batang Aia Kalek sangat terbatas, dimana juga mengintegrasikan pemetaan potensi aliran lahar menggunakan perangkat lunak LAHARZ dan estimasi volume berdasarkan perhitungan menggunakan rumus empiris Mizuyama (1988), sebab banyak ditemukan untuk estimasi volume menggunakan data riwayat terdahulu. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan bisa memberikan kontribusi dengan pembaruan kajian dimana estimasi volume didapat dengan rumus empiris dan analisis statistik, lalu diintegrasikan dengan analisis potensi aliran lahar dengan perangkat lunak LAHARZ. Hasil utama yang diharapkan ialah peta potensi aliran lahar dengan overlay penggunaan lahan yang didapati di kawasan Kecamatan X Koto sekitar sungai Batang Aia Kalek.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Lahar dan Pembentukannya

Lahar merupakan terminologi untuk mendefinisikan suatu aliran berkonsentrasi tinggi yang bercampur antara runtuh batuan, lumpur, pasir, dan air yang datang dari suatu gunung api. Menurut Schmidt, 1943 dan Van Bemmelen 1949 istilah lahar berasal dari Bahasa Jawa, yang telah dikenal sejak dahulu. Terminologi ini dikenal luas dalam

berbagai literatur di bidang vulkanologi maupun geologi sebagai sinonim dari *vulcanic mudflow* atau *debris flow* (Kusumosubroto, 2013).

Proses terjadinya pembentukan lahar dimulai saat terjadi erupsi gunung api mengeluarkan material berupa berbagai macam gas, abu, pasir, kerikil, dan batuan hingga bongkah lava melalui kawah. Sebagian dari material tersebut terendapkan di lereng sekitar kawah dengan kondisi terlepas dan tidak terikat satu sama lainnya, sehingga kestabilannya rendah. Berada di lereng miring, timbunan tersebut rentan terhadap gangguan luar, terutama curah hujan. Air hujan yang jatuh lalu meresap ke dalam timbunan bercampur dengan material abu, pasir, kerikil, serta lainnya membentuk bahan campuran yang kental dan licin menyerupai adonan beton. Saat kedudukan timbunan tersebut terganggu, maka akan bergerak meluncur melalui sungai yang berhulu di sekitar puncak gunung, membentuk aliran lahar (Kusumosubroto, 2013).

## 2.2 Perangkat Lunak LAHARZ

Merupakan perangkat lunak yang dibuat untuk membatasi area potensi genangan lahar dari satu atau beberapa variasi volume lahar yang telah ditentukan oleh pengguna. Serta menggunakan data *Digital Elevation Model* (DEM) untuk menentukan bentuk aliran lahar yang terbentuk. Berjalan dalam Sistem Informasi Geografis (GIS) serta menggunakan serangkaian persamaan untuk menyediakan mode otomatis dalam memperkirakan area genangan lahar potensial. Ditulis dalam bahasa pemrograman Python lalu dijalankan dalam ArcGIS versi 10 atau lebih baru sebagai sekumpulan alat yang dikelompokkan dalam *toolbox* ArcMAP (Schilling, 2014)

## 2.3 Hec-GeoHMS

Ekstensi SIG yang dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) dari *US Army Corps of Engineers*. Berfungsi sebagai *toolkit* geospasial guna membantu persiapan data SIG yang diperlukan untuk dimasukkan ke dalam model hidrologi (Fleming, 2013). Bekerja di dalam daerah aliran sungai (DAS). Dalam penelitian ini Hec-GeoHMS membantu dalam analisis hidrologi mengenai perhitungan kemiringan alur sungai atau *river slope* serta *catchment area* yang dibutuhkan dalam perhitungan estimasi volume.

## 2.4 Teori Mizuyama Dalam Estimasi Volume Lahar Akibat Hujan Rencana

Pemerintahan mengeluarkan pedoman pembuatan peta bahaya akibat aliran debris sebagai bentuk penanggulangan bencana alam akibat aliran lahar secara nonfisik yang tertuang dalam **SNI Pd T 18-2004-A**. Dalam pedoman tersebut guna menghitung estimasi jumlah volume debris / lahar yang terangkut oleh aliran air menggunakan rumus empiris Mizuyama (1988). Berikut rincian rumus yang digunakan:

### 1) Tipe Aliran

Dalam mengetahui tipe aliran adalah aliran debris atau aliran hiperkonsentrasi yang ada pada alur sungai, dapat dibedakan menurut kemiringan dasar sungai dan tinggi aliran relatif.

Aliran debris dengan ketentuan terjadi apabila besaran kemiringan dasar sungai lebih besar atau sama dengan kemiringan dasar kritis ( $\text{tg}\theta \geq \text{tg}\theta_a$ ) yang dapat dihitung dengan rumus Takahashi (1988) dalam **SNI Pd T 18-2004-A** berikut:

$$\operatorname{tg} \theta_d = \frac{C^*(\rho_s - \rho_w)}{C^*(\rho_s - \rho_w) + \rho_w \left(1 + \frac{1}{k}\right)} \times \operatorname{tg} \varphi$$

Keterangan:

$C^*$  = Konsentrasi sedimen pada dasar sungai (= 0,6)

$\rho_s$  = Rapat massa material ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$\rho_w$  = Rapat massa air ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$k$  = Nilai koefisien eksperimen (= 0,85)

$\varphi$  = Sudut geser dalam statis ( $^\circ$ )

Untuk aliran hiperkonsentrasi, terjadi apabila pada kondisi dimana  $\operatorname{tg} \theta_h < \operatorname{tg} \theta < \operatorname{tg} \theta_d$ , yaitu kemiringan dasar sungai lebih landai daripada kemiringan kritis terjadinya aliran debris akan tetapi lebih besar atau sama dengan kemiringan dasar kritis untuk aliran hiperkonsentrasi.

$$\operatorname{tg} \theta_h = \frac{C^*(\rho_s - \rho_w)}{C^*(\rho_s - \rho_w) + \rho_w \left(1 + \frac{h_0}{k}\right)} \times \operatorname{tg} \varphi$$

Keterangan:

$h_0$  = Tinggi aliran (m)

$d$  = diameter material dasar (m)

$C^*$  = Konsentrasi sedimen pada dasar sungai (= 0,6)

## 2) Konsentrasi Sedimen

Untuk aliran debris, gerakan kolektif partikel dianggap mengisi semua bagian kedalaman aliran, maka dari itu konsentrasi sedimen ( $C_d$ ) dianggap serupa untuk seluruh kedalaman. Berikut rumus perhitungannya:

$$C_d = \frac{\rho_w \times \operatorname{tg} \theta}{(\rho_s - \rho_w) (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \theta)}$$

Keterangan:

$C_d$  = Konsentrasi sedimen aliran debris

$\operatorname{tg} \theta$  = kemiringan alur ( $^\circ$ )

$C^*$  = Konsentrasi sedimen pada dasar sungai (= 0,6)

Jika hasil  $C_d$  lebih besar dari 0,9  $C^*$  diambil nilai 0,9  $C^*$ , lalu jika  $C_d$  lebih kecil dari 0,3 maka nilai yang diambil 0,3.

Untuk aliran hiperkonsentrasi gerakan kolektif partikel tidak terjadi pada semua bagian kedalaman aliran, tetapi terjadi hanya pada sebagian kedalaman aliran maka dari itu  $C_d$  akan memiliki nilai berbeda tiap kedalaman aliran. Berikut rumus perhitungannya:

$$C_d = \frac{11,85 \times \operatorname{tg}^2 \theta}{1 + 11,85 \times \operatorname{tg}^2 \theta}$$

### 3) Koefisien Koreksi Aliran debris

Apabila  $A < 0,1 \text{ km}^2$  maka  $Fr$  adalah 0,5, apabila  $A > 10 \text{ km}^2$  maka  $Fr$  adalah 0,1. Dan apabila  $0,1 < A < 10$  maka  $Fr = 0,05 (\log A - 2)^2 + 0,05$ , yang berarti nilai terendah  $Fr = 0,1$  dan tertinggi  $Fr = 0,5$ , dengan rumus perhitungan berikut:

$$Fr = 0,05 (\log A - 2)^2 + 0,05$$

Keterangan:

$Fr$  = Koefisien koreksi aliran debris

$A$  = *Catchment area*

### 4) Estimasi Volume Aliran Sedimen Sekali Banjir

Parameter sebelumnya yang telah dihitung sesuai rumusnya masing-masing dapat disatukan untuk perhitungan estimasi volume ini, kemudian  $R_{24}$  diperoleh dengan analisis hujan rencana. Volume sedimen yang mampu diangkut dalam satu kali banjir debris atau juga aliran hiperkonsentrasi bisa diprediksi dengan menggunakan rumus empiris Mizuyama (1988).

$$V_{ec} = \frac{R_{24} \times A \times 10^3}{1 - \lambda} \times \frac{C_d}{1 - C_d} \times F_r$$

Keterangan :

$V_{ec}$  = Volume sedimen yang diangkut sekali banjir debris

$R_{24}$  = Curah hujan harian maksimum (mm)

$A$  = *Catchment Area* ( $\text{km}^2$ )

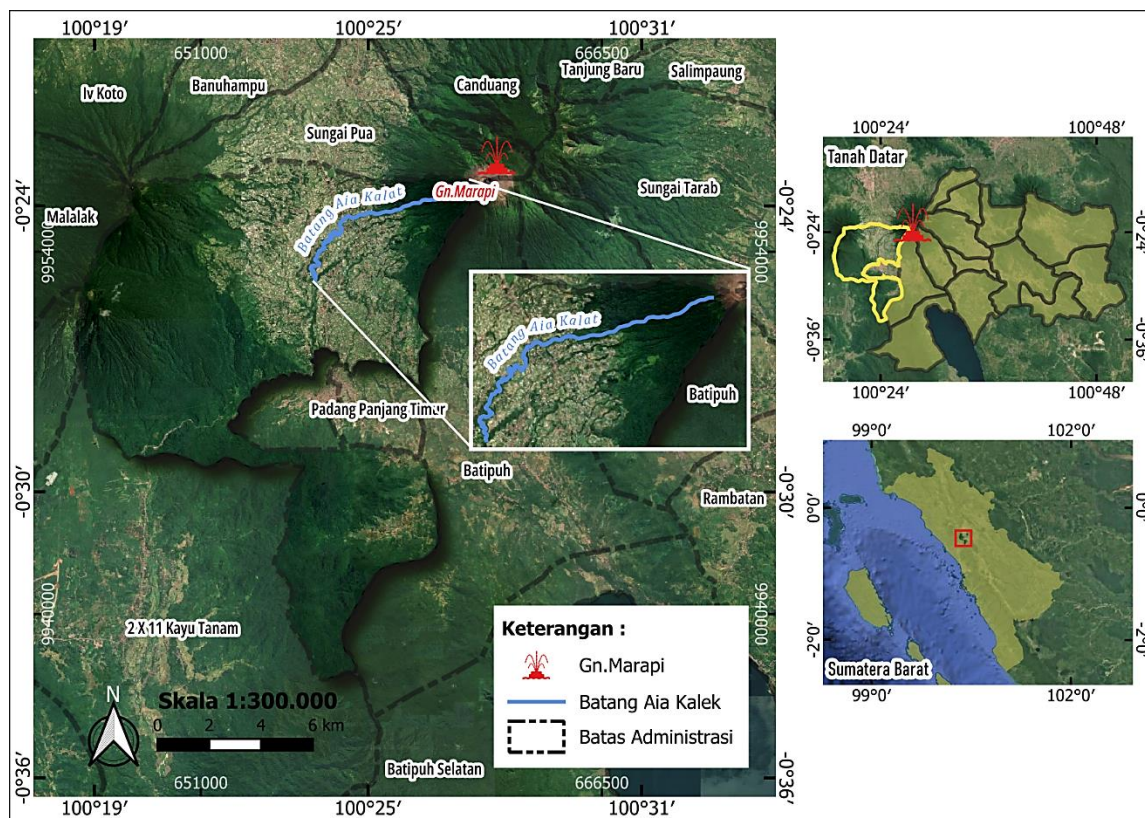
$\lambda$  = Void Ratio ( $\pm 0,40$ )

$C_d$  = Konsentrasi sedimen aliran debris

$Fr$  = Koefisien koreksi aliran, apabila tidak ada data maka nilai  $Fr$  dianggap = 1

## 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini berfokus pada analisis potensi aliran lahar sungai Batang Aia Kalek yang berhulu dekat dengan kawah aktif bagian barat daya, memiliki jarak yang cukup dekat dengan penggunaan lahan aktif yaitu ladang dibanding sungai lainnya, berkisar  $\pm 2.85 \text{ km}$ . Aliran sungainya melewati kawasan Kecamatan X Koto (Gambar 1).



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data penelitian berupa primer dan sekunder, data primer tersebut yaitu sampel material sedimentasi yang berada di hilir sungai, sebab pengendapan sedimen terbesar berada di hilir serta bagian pertengahan aliran sungai sulit dicapai dikarenakan kondisi lokasi berupa cekungan lembah dan dikelilingi pohon serta semak lebat, proses perolehan sampel ialah dengan teknik *sediment core sampling* sederhana menggunakan tabung pvc (*polyvinyl chloride*) berukuran diameter 3 inch dan panjang 60 cm, yang selanjutnya dilakukan uji laboratorium guna mendapatkan parameter sudut geser dalam statis ( $\varphi$ ) dan rapat massa material sedimen ( $\rho_s$ ) yang selanjutnya menjadi parameter penunjang perhitungan estimasi volume dengan rumus empiris teori Mizuyama (1988).

Sedangkan data sekunder berupa data DEM dari Data DEMNAS Badan Informasi Geospasial, data curah hujan dari tahun 2014-2024 dari Dinas SDA-BK Sumatera Barat, data penggunaan lahan dari Peta Rupa Bumi Badan Informasi Geospasial, *basemap* penunjang dari sumber terbuka *Openstreetmap* dan *Google Satellite*, lalu data untuk parameter geometri sungai berupa luasan *catchment area* juga *river slope* sungai didapat dengan analisis data hidrologi menggunakan ekstensi Hec-GeoHMS. Selanjutnya, populasi yang digunakan ialah kawasan Kecamatan X Koto yang berada di sekitar aliran sungai Batang Aia Kalek yang telah terbagi menjadi beberapa bentuk penggunaan lahan.



Teknik analisis data dibagi menjadi beberapa tahap yaitu sebagai berikut:

### 3.1 Analisis Jangkauan Potensi Aliran Lahar terhadap Penggunaan Lahan

#### 1. Pemodelan Aliran Lahar dengan Perangkat Lunak LAHARZ

Dimulai dengan persiapan data DEM yaitu pengaturan sistem referensi koordinat dan menyesuaikan besaran kawasan DEM yang mana mencakup gunung dan luas aliran utama sungai. Dilanjutkan dengan lima proses berikut:

- a. *Create Surface Hydrology Rasters*, LAHARZ terlebih dahulu membuat aliran hidrologi permukaan yang berpotensi terkena genangan lahar dengan masukan data yaitu DEM dan nilai *threshold* yakni nilai ambang batas sebagai batas kapan sel DEM tersebut cukup membangun grid aliran. Menghasilkan beberapa data *raster* yaitu *fill sink*, *flow direction*, *flow accumulation*, dan data *stream delineation*.
- b. *Proximal-Hazard Zone Boundary*, proses membangun batas zona bahaya proksimal yaitu area yang rentan terhadap longsoran yang bergerak cepat, dalam waktu kurang dari 30 menit. Maka LAHARZ beroperasi dengan asumsi genangan lahar dimulai di zona batas bahaya proksimal. Data masukan berupa *fill sink (fill) raster*, *stream delineation (str) raster*, koordinat X dan Y puncak gunung, lalu nilai *slope of the cone* didapat melalui pengukuran pada *Google Earth* dengan rumus berikut dalam Armijon 2018:

$$S = H_1 - H_2 / L$$

Keterangan:

S = Nilai kemiringan lereng

H<sub>1</sub> = Elevasi titik awal aliran

H<sub>2</sub> = Elevasi titik dasar aliran

L = Jarak landaan terjauh

Proses ini menghasilkan data raster dan shapefile dari zona proksimal, data shapefile *starting points*, serta data *textfile* yang merekap koordinat titik yang teridentifikasi sebagai *starting points*.

- c. *Create Lahar Inundation Zones*, membangun zona genangan lahar yang mengalir sesuai volume yang ditentukan. Menggunakan data DEM yang telah *fill sink*, angka volume hasil perhitungan dibuat dalam bentuk *textfile*, data koordinat X, Y aliran dalam bentuk *textfile*. Menghasilkan raster area genangan lahar untuk setiap aliran serta volume. Besaran volume yang digunakan dari perhitungan rumus empiris Mizuyama, dengan ketentuan empat skenario yaitu T<sub>2,5</sub>, T<sub>5</sub>, T<sub>100</sub>, T<sub>200</sub> yang dirunut dari hasil analisis hujan rencana empat periode ulang tahun (T) sebagai nilai parameter hujan harian maksimum (R<sub>24</sub>) yang digunakan dalam perhitungan volume.
- d. *Merge Rasters by Volume*, proses membantu menggabungkan keseluruhan data raster berdasarkan volume, masukan data yaitu DEM yang telah *fill sink*, *textfile* berisi volume, dan *textfile* yang berisi daftar raster yang ingin digabung.
- e. *Raster to Shapefile*, mengkonversi data raster menjadi *shapefile vector*.



## 2. Analisis Overlay

Hasil pemodelan aliran lahar dari proses LAHARZ dilakukan analisis *overlay* atau tumpang susun dengan data *shapefile* penggunaan lahan, proses dilakukan dalam ArcMap dan dianalisis secara spasial. Hasil aliran lahar dibagi per-segmen sesuai penggunaan lahan agar memfokuskan analisis pada tiap bagian aliran, sehingga dapat diketahui jenis penggunaan lahan yang terdampak lebih detail pada setiap segmennya.

## 3. Perhitungan Jangkauan Luas dan Panjang Aliran

Melalui olahan data sebelumnya di dalam ArcMap, perhitungan luas dan panjang jangkauan aliran lahar dapat dilangsungkan dengan bantuan *calculate geometry tools*.

### 3.2 Analisis Variasi Jangkauan Potensi Aliran Lahar Berdasarkan Beberapa Skenario Estimasi Volume

Semua hasil pemodelan aliran lahar dari proses LAHARZ dari empat skenario estimasi volume dilakukan analisis *overlay* guna mengetahui perbandingan tiap skenario dalam dampak pada peningkatan volume terhadap panjang jangkauan, luas area yang terdampak, serta pola sebaran aliran yang dibantu dengan *calculate geometry tools* untuk perubahan kuantitatifnya.

Dengan demikian, penelitian dilakukan dalam bentuk penelitian kuantitatif dikarenakan adanya perhitungan-perhitungan menggunakan rumus empiris pada analisis, menekankan pada fenomena-fenomena objektif dan dikaji secara kuantitatif (Siyoto, et al., 2015).

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Jangkauan Potensi Aliran Lahar terhadap Penggunaan Lahan

#### 1. Pemodelan Aliran Lahar dari proses LAHARZ

Pada pemodelan aliran lahar menggunakan LAHARZ pada setiap tahapnya memiliki parameter masukan berupa raster dan parameter yang memiliki nilai, berikut adalah hasil temuan dan perhitungan untuk parameter tersebut:

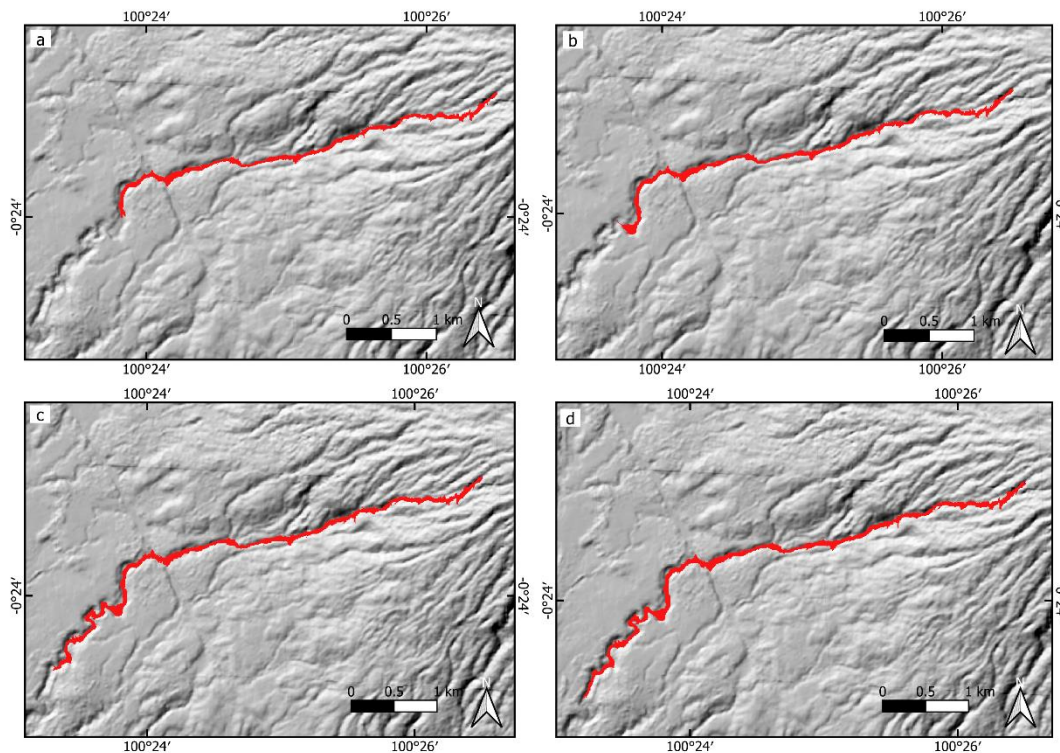
Tabel 1. Hasil Perhitungan Parameter Masukan untuk Pemodelan Aliran Lahar dalam LAHARZ

| Tahap                           | Parameter Pemodelan                                                                                                            | Nilai                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Create Surface Hydrology Raster | Stream Threshold                                                                                                               | 500                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Proximal Hazard Zone Boundary   | - Slope Value (H/L ratio)<br>- Mount Peak Coordinate (UTM)                                                                     | 0.4<br>47S 662012 mE , 9956710 mN                                                                                                                                                                                                                    |
| Create Laharz Inundation Zone   | - Starting Coordinate (result from proximal hazard zone processing)<br><br>- Volume (hasil perhitungan rumus empiris Mizuyama) | 47S 660591 mE ,9956270 mN<br><br>- $V_{ec} I (R_{24} \text{ dengan } T_{2,5}) = 35853.94 \text{ m}^3$<br>- $V_{ec} II (R_{24} \text{ dengan } T_5) = 43650.63 \text{ m}^3$<br>- $V_{ec} III (R_{24} \text{ dengan } T_{100}) = 70881.08 \text{ m}^3$ |

|  |  |                                                                             |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------|
|  |  | - $V_{ec\ IV} (R_{24} \text{ dengan } T_{200})$<br>$= 76583.71 \text{ m}^3$ |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------|

Sumber: Peneliti (2025)

Berikut adalah hasil pemodelan aliran lahar dari *processing* LAHARZ dengan empat scenario estimasi volume.



Gambar 2. Hasil Pemodelan aliran Lahar dari perangkat lunak LAHARZ, dimana a) hasil pemodelan volume I, b) hasil pemodelan volume II, c) hasil pemodelan volume III, d) hasil pemodelan volume IV

## 4.2 Hasil Overlay terhadap Penggunaan Lahan

### 1. Skenario Estimasi Volume 1

Menggunakan luasan volume sebesar 35853.94 m<sup>3</sup> menghasilkan aliran lahar dengan luas jangkauan berkisar 21.8503 ha, dan panjang aliran mengalir sejauh 14.114 km dengan jarak titik awal aliran lahar dari puncak gunung yaitu 1.635 km. Hasil aliran lahar yang telah dilakukan overlay atau tumpang susun dengan penggunaan lahan pada skenario ini sebagai berikut:

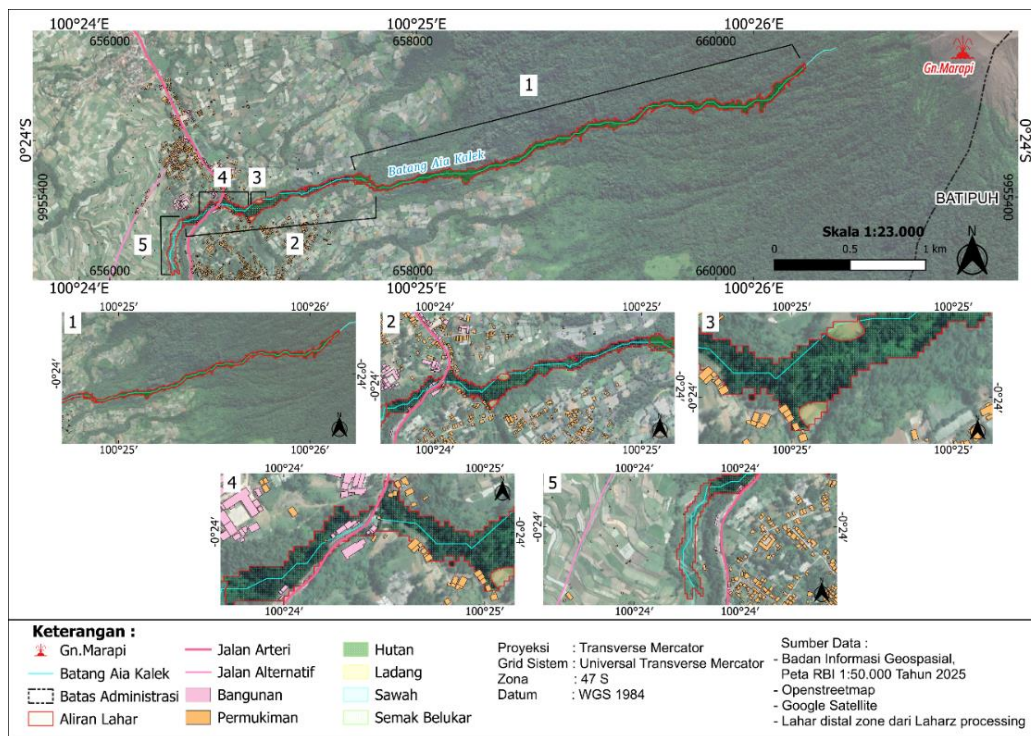
Tabel 2. Dampak Aliran Lahar Terhadap Penggunaan Lahan Skenario Estimasi Volume I

| No | Jenis Penggunaan Lahan | Terdampak           |
|----|------------------------|---------------------|
| 1  | Permukiman             | 12 bangunan         |
| 2  | Bangunan (toko/kedai)  | 11 bangunan         |
| 3  | Sawah                  | 1.575 ha            |
| 4  | Ladang                 | 1986 m <sup>2</sup> |

|   |               |            |
|---|---------------|------------|
| 5 | Hutan         | 13.7549 ha |
| 6 | Semak Belukar | 6.0523 ha  |

Sumber: Peneliti (2025)

Pada peta di bawah berikut, aliran lahar dibagi menjadi lima segmen guna memfokuskan analisis pada tiap bagian aliran, sehingga dapat diketahui jenis penggunaan lahan yang terdampak lebih detail pada setiap segmennya.



Gambar 3. Peta Potensi Aliran Lahar Terhadap Penggunaan Lahan Estimasi Volume I

Hasil overlay layer aliran lahar dengan penggunaan lahan menunjukkan bahwa:

- 1) Segmen 1 (bagian hulu), aliran lahar melintasi kawasan hutan.
- 2) Segmen 2, aliran lahar memasuki kawasan ladang atau pertanian lahan kering, semak belukar, serta permukiman.
- 3) Segmen 3, masih bagian segmen 2 namun lebih difokuskan pada aliran lahar yang mengenai ladang dengan spesifikasi polygon berwarna kuning.
- 4) Segmen 4, masih bagian segmen 2 namun lebih difokuskan pada aliran lahar yang mengenai permukiman dan bangunan berjenis toko atau kedai, serta aliran lahar pada segmen ini melewati jalan arteri yaitu Jalan Raya Padang Panjang – Bukittinggi.
- 5) Segmen 5, aliran lahar memasuki kawasan sawah.

Dengan pembagian ini tampak bahwa kerugian terbesar terjadi pada segmen 3, segmen 4, dan segmen 5 dikarenakan melewati ladang, permukiman, bangunan basis ekonomi, sarana perhubungan jalan arteri, dan persawahan.

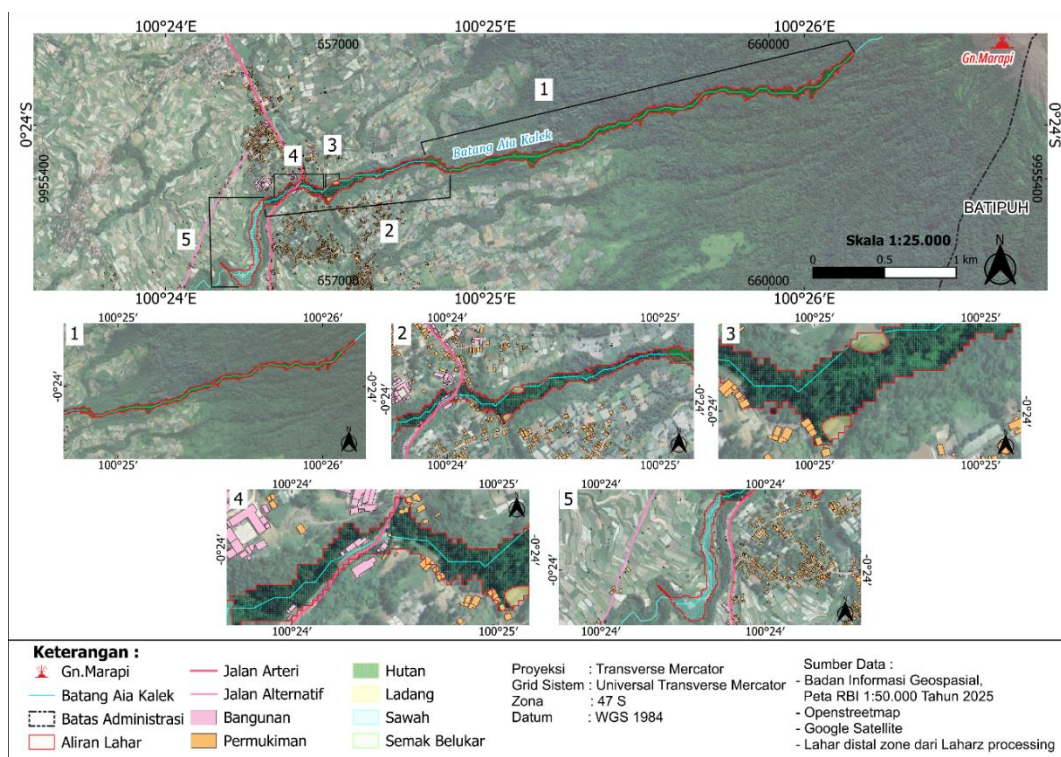
## 2. Skenario Estimasi Volume II

Menggunakan luasan volume sebesar 43650.63 m<sup>3</sup>, aliran lahar terbentuk dengan luas berkisar 24.8286 ha, panjang aliran mengalir sejauh 15.146 km dengan jarak titik awal aliran lahar dari puncak gunung yaitu 1.635 km. Hal ini memperlihatkan peningkatan luasan dan persebaran aliran lahar. Hasil aliran lahar yang telah dilakukan overlay atau tumpang susun dengan penggunaan lahan pada skenario ini sebagai berikut berupa tabel dan peta:

Tabel 3. Dampak Aliran Lahar Terhadap Penggunaan Lahan Skenario Estimasi Volume II

| No | Jenis Penggunaan Lahan | Terdampak           |
|----|------------------------|---------------------|
| 1  | Permukiman             | 12 bangunan         |
| 2  | Bangunan (toko/kedai)  | 11 bangunan         |
| 3  | Sawah                  | 3.675 ha            |
| 4  | Ladang                 | 1986 m <sup>2</sup> |
| 5  | Hutan                  | 14.4408 ha          |
| 6  | Semak Belukar          | 6.2324 ha           |

Sumber: Peneliti (2025)



Gambar 4. Peta Potensi Aliran Lahar Terhadap Penggunaan Lahan Estimasi Volume II

Pada peta di atas juga dibagi menjadi lima segmen seperti pada skenario estimasi volume I, namun yang membedakan yaitu perubahan pada segmen 5 yang berfokus pada kawasan sawah dengan sebaran aliran lahar yang melewati terbentuk lebih melebar pada akhir aliran.

## 3. Skenario Estimasi Volume III

Menggunakan luasan volume sebesar 70881.08 m<sup>3</sup>, membentuk aliran lahar dengan luas berkisar 34.3166 ha, aliran mengalir sejauh 19.207 km dengan jarak titik awal aliran lahar dari puncak

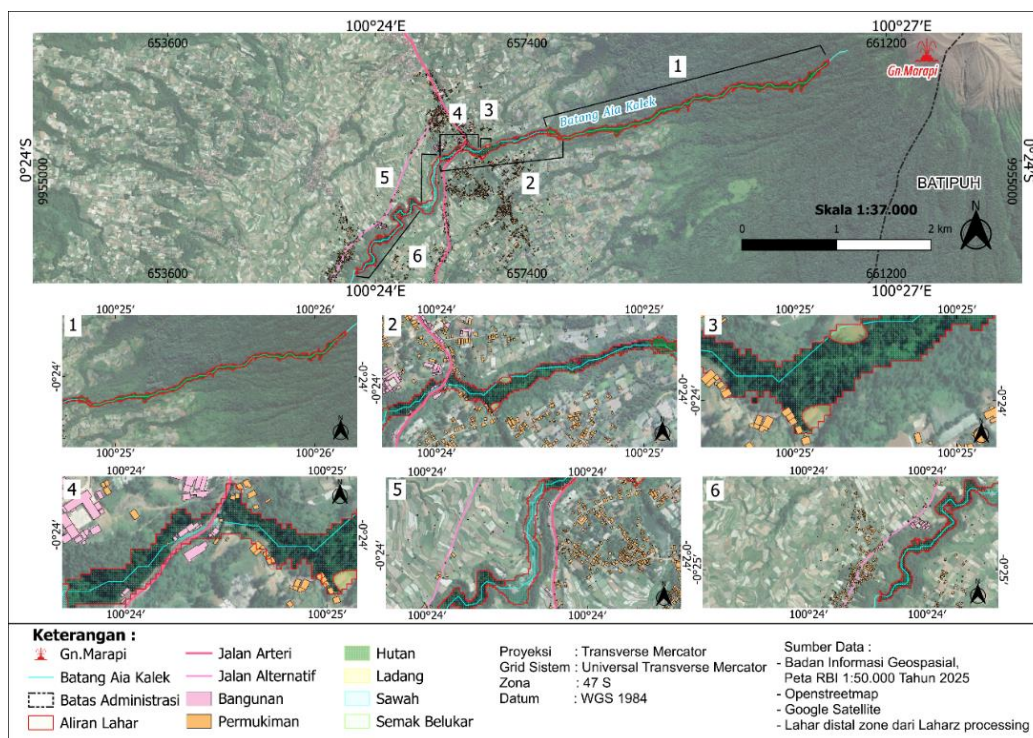


gunung yaitu 1.635 km. Berikut tabel serta hasil aliran lahar yang telah dilakukan *overlay* atau tumpang susun dengan penggunaan lahan:

Tabel 4. Dampak Aliran Lahar Terhadap Penggunaan Lahan Skenario Estimasi Volume III

| No | Jenis Penggunaan Lahan | Terdampak           |
|----|------------------------|---------------------|
| 1  | Permukiman             | 12 bangunan         |
| 2  | Bangunan (toko/kedai)  | 11 bangunan         |
| 3  | Sawah                  | 4.0367 ha           |
| 4  | Ladang                 | 1986 m <sup>2</sup> |
| 5  | Hutan                  | 16.2566 ha          |
| 6  | Semak Belukar          | 13.5424 ha          |

Sumber: Peneliti (2025)



Gambar 5. Peta Potensi Aliran Lahar Terhadap Penggunaan Lahan Estimasi Volume III

Pada peta di atas tersebut ini aliran lahar dibagi menjadi enam segmen dengan hasil overlay yang tampak bahwa segmen 1 hingga segmen 5 masih pada penggunaan lahan yang sama seperti skenario estimasi volume sebelumnya, yang membedakannya ialah adanya pelebaran jangkauan aliran lahar sehingga berdampak pada bertambahnya luasan. Setelah segmen 5, aliran lahar terbentuk berlanjut melewati penggunaan lahan semak belukar yang mana ini dijadikan pada segmen 6.

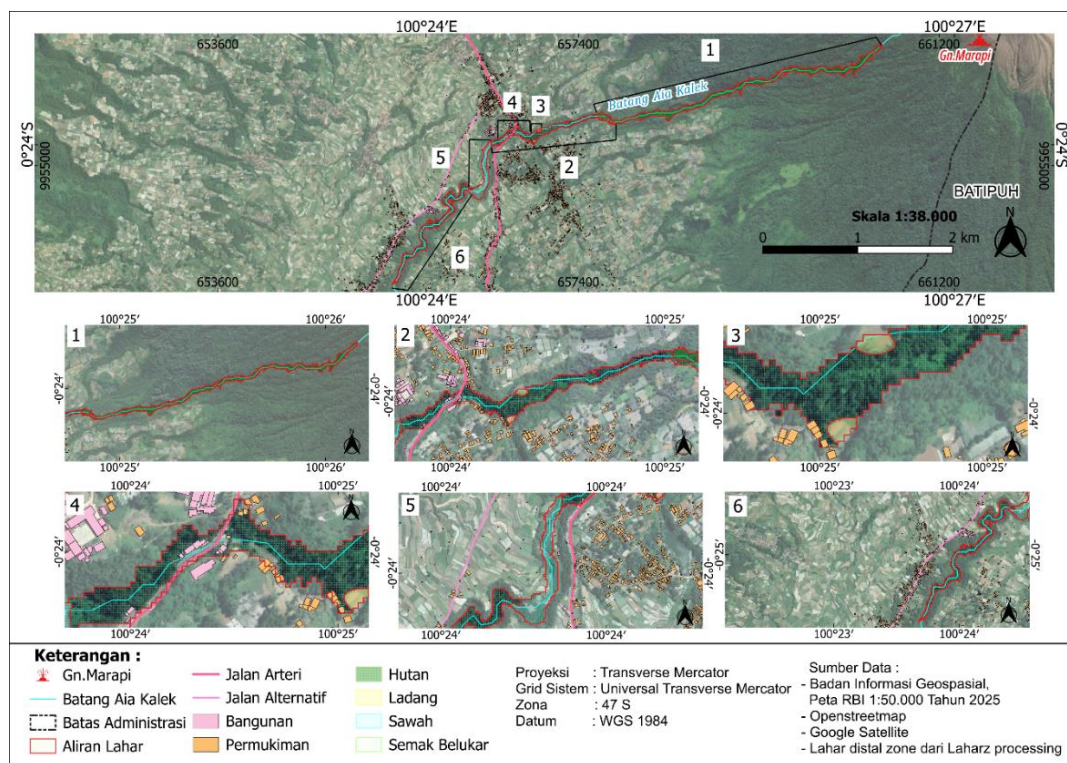
#### 4. Skenario Estimasi Volume IV

Menggunakan luasan volume sebesar 76583.71 m<sup>3</sup>, membentuk aliran lahar dengan luas berkisar 36.1386 ha, aliran mengalir sejauh 19.923 km dimana jarak titik awal aliran lahar dari puncak gunung yaitu 1.635 km. Berikut hasil aliran lahar yang telah dilakukan overlay atau tumpang susun dengan penggunaan lahan pada skenario ini:

Tabel 5. Dampak Aliran Lahar Terhadap Penggunaan Lahan Skenario Estimasi Volume IV

| No | Jenis Penggunaan Lahan | Terdampak           |
|----|------------------------|---------------------|
| 1  | Permukiman             | 12 bangunan         |
| 2  | Bangunan (toko/kedai)  | 11 bangunan         |
| 3  | Sawah                  | 4.1129 ha           |
| 4  | Ladang                 | 1986 m <sup>2</sup> |
| 5  | Hutan                  | 16.6149 ha          |
| 6  | Semak Belukar          | 15.1013 ha          |

Sumber: Peneliti (2025)



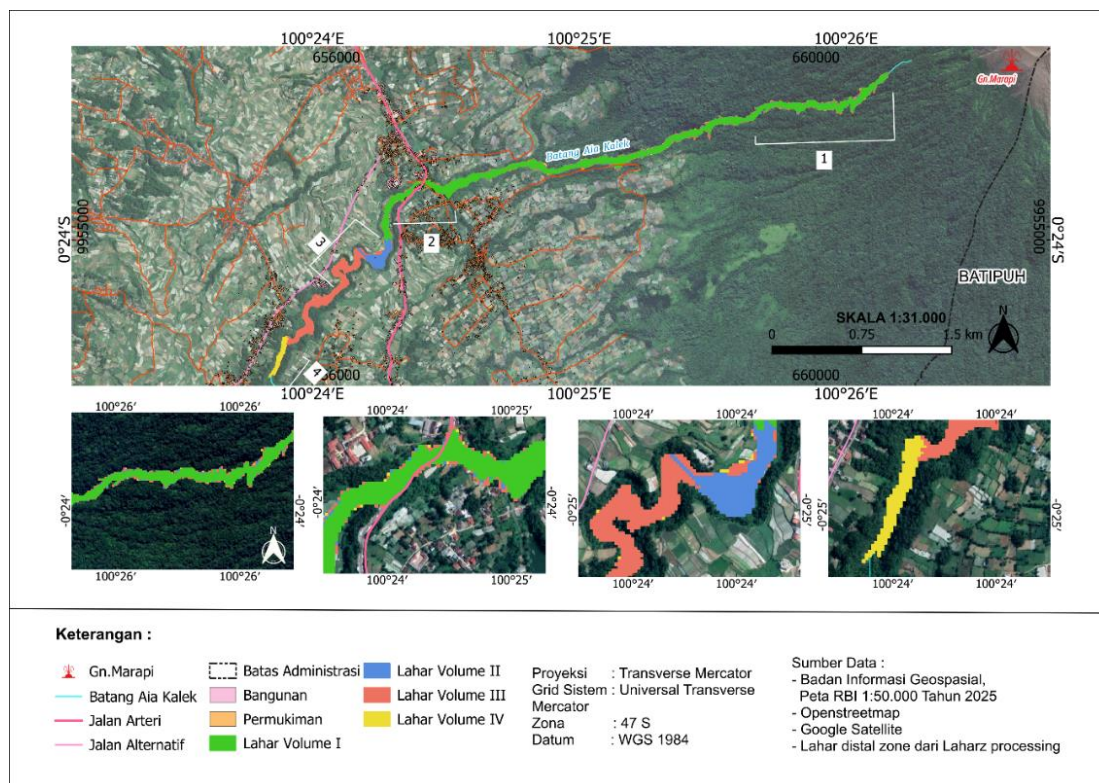
Gambar 6. Peta Potensi Aliran Lahar Terhadap Penggunaan Lahan Estimasi Volume IV

Pada skenario ini, di peta untuk layer aliran lahar dibagi menjadi enam segmen sama seperti skenario estimasi volume III sebelumnya, untuk segmen 1 hingga segmen 5 masih tampak aliran lahar melewati penggunaan lahan yang sama pula, dan segmen 6 aliran lahar melewati penggunaan lahan semak belukar juga tetapi tampak ada perubahan bahwa aliran lahar memanjang hingga hampir kehilir.

#### 4.3 Variasi Jangkauan Berdasarkan Skenario Estimasi Volume

Seluruh dari skenario aliran lahar dengan empat estimasi volume yang telah di overlay menghasilkan variasi jangkauan aliran lahar serta menampakkan bagaimana perbedaan sebaran aliran lahar di tiap skenario. Perbandingan hasil antar skenario menunjukkan peningkatan volume yang menyebabkan bertambahnya panjang lintasan jangkauan aliran lahar. Namun, perubahan dan penyebaran ke arah kanan dan kiri sungai tidak memperlihatkan begitu signifikan, menandakan karakteristik topografi memiliki kontrol pada arah pergerakan aliran lahar. Hasil observasi pada tabel 7, juga mendukung bahwa topografi Batang Aia Kalek berada pada cekung lembah. Yang dikelilingi vegetasi semak yang lebat.





Gambar 7. Peta Variasi Jangkauan Aliran Lahar

Tabel 6. Variasi Dampak Aliran Lahar Berdasarkan Skenario Estimasi Volume

| No | Jenis Penggunaan Lahan | Estimasi Volume I                  |                            | Estimasi Volume II                 |                            | Estimasi Volume III                |                            | Estimasi Volume IV                 |                            |
|----|------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------|
|    |                        | V = 35853.94 m <sup>3</sup>        | Panjang Aliran = 14.114 km | V = 43650.63 m <sup>3</sup>        | Panjang Aliran = 15.146 km | V = 70881.08 m <sup>3</sup>        | Panjang Aliran = 19.207 km | V = 76583.71 m <sup>3</sup>        | Panjang Aliran = 19.923 km |
| 1  | Permukiman             | 12 bangunan (1575 m <sup>2</sup> ) |                            | 12 bangunan (1575 m <sup>2</sup> ) |                            | 12 bangunan (1575 m <sup>2</sup> ) |                            | 12 bangunan (1575 m <sup>2</sup> ) |                            |
| 2  | Bangunan (Toko/Kedai)  | 11 bangunan (1248 m <sup>2</sup> ) |                            | 11 bangunan (1248 m <sup>2</sup> ) |                            | 11 bangunan (1248 m <sup>2</sup> ) |                            | 11 bangunan (1248 m <sup>2</sup> ) |                            |
| 3  | Sawah                  | 1.5622 ha                          |                            | 3.6745 ha                          |                            | 4.0367 ha                          |                            | 4.1129 ha                          |                            |
| 4  | Ladang                 | 1986 m <sup>2</sup>                |                            | 1986 m <sup>2</sup>                |                            | 1986 m <sup>2</sup>                |                            | 1986 m <sup>2</sup>                |                            |
| 5  | Hutan                  | 13.7549 ha                         |                            | 14.4408 ha                         |                            | 16.2566 ha                         |                            | 16.6772 ha                         |                            |
| 6  | Semak Belukar          | 6.0523 ha                          |                            | 6.2324 ha                          |                            | 13.5424 ha                         |                            | 14.8673 ha                         |                            |
| 7  | Luas Area              | 21.8503 ha                         |                            | 24.8286 ha                         |                            | 34.3166 ha                         |                            | 36.1383 ha                         |                            |

Sumber: Peneliti (2025)

Perbandingan dari empat skenario ini memperlihatkan bahwa peningkatan panjang jangkauan dan luas terdampak aliran lahar sejalan dengan bertambahnya volume. Estimasi volume diatur dengan penyesuaian curah hujan harian maksimum ( $R_{24}$ ) dengan periode ulang tahun ( $T$ ), volume I dan volume II menunjukkan kondisi intensitas hujan ringan, dan volume III dan volume IV adalah kondisi intensitas hujan ekstrem, sehingga selisih volume I dengan II tidak begitu besar bedanya dibanding ke volume III dan IV. Maka pada skenario dengan periode ulang hujan besar yaitu pada volume III dan volume IV menunjukkan potensi bahaya aliran lahar terhadap penggunaan lahan pertanian yang lebih luas karena adanya penambahan panjang jangkauan ke arah hilir atau dataran yang lebih landai. Dengan begitu dari pola arah aliran yang



terjadi di tiap peningkatan volume yang membuat aliran semakin memanjang menandakan kondisi topografi lebih menentukan pola aliran dibanding besaran volume.

4.4 Validasi Pemodelan Aliran Lahar Menggunakan Perangkat Lunak LAHARZ

Aliran lahar yang terbentuk dari proses pengolahan data menggunakan perangkat lunak LAHARZ yang berjalan dalam ArcMap perlu dilakukan cek lapangan untuk melihat kondisi aliran sungai yang dialiri lahar, sisa material vulkanik, dan infrastruktur

Tabel 7. Dokumentasi Validasi Kondisi Lapangan

| Titik Kordinat                              | Foto                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lat/Long :<br>-0.40375662 /<br>100.40902052 | <div></div> <div>Didapati banyak bongkah batu besar, serta bongkahan tanah padat dengan ukuran besar yang terletak ditengah aliran sungai yang tertanda dengan kotak merah.</div> |
| Lat/Long :<br>-40371337 /<br>100.40867686   | <div></div> <div>Bangunan infrastruktur berupa jembatan saluran, yang berfungsi menahan erosi dan mengarahkan aliran air stabil</div>                                            |

|                                                    |                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Lat/Long :<br/>-0.4198934 /<br/>100.3969130</p> |  <p>Jalanan terputus dikarenakan aliran lahar, ditandai pada kotak merah</p> |
| <p>Lat/Long :<br/>-0.4248027 /<br/>100.3963806</p> |                                                                            |

Sumber: Dokumentasi Lapangan Peneliti (2025)

## 5 KESIMPULAN

Hasil pemodelan aliran lahar di Batang Aia Kalek menunjukkan pola sebaran aliran lahar mengikuti alur utama dari aliran sungai yang didominasi daerah terdampak pada hutan berkisar 13 – 16 ha dan semak belukar yang berada di sekitar bantaran sungai berkisar 6-14 ha. Namun juga terdampak pada wilayah penggunaan lahan aktif seperti permukiman berkisar 1575 m<sup>2</sup>, bangunan berbasis ekonomi (toko/kedai) berkisar 1248 m<sup>2</sup>, dan sawah berkisar 1-4 ha, serta ladang 1986 m<sup>2</sup>.

Hasil dari perbandingan variasi skenario estimasi volume dengan estimasi volume yang telah ditentukan dengan curah hujan harian maksimum yang diatur dengan dua periode ulang tahun kecil (2,5 tahun dan 5 tahun), lalu dua periode ulang tahun besar (100 tahun dan 200 tahun) yaitu pada periode tahun kecil di volume I dan II selisih luasan tidak begitu besar bedanya dibanding ke volume III dan IV. Kemudian adanya peningkatan jangkauan lahar sejalan tiap

peningkatan volume, peningkatan terjadi pada panjang aliran lahar menuju ke hilir, tidak begitu tampak signifikan ke arah kiri dan kanan atau luasan aliran lahar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aisy, R., & Hermon D. (2025). Tingkat Bahaya dan Risiko Bencana Banjir Lahar Dingin Gunung Marapi Berbasis Sistem Informasi Geografis (Sig) Menggunakan Metode Skoring dan Overlay Di Kabupaten Tanah Datar. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 8 (2), 18859-18873.
- Anonim. 2004. Pd T-18-2004-A. Pembuatan Peta Bahaya Akibat Aliran Debris. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah
- Armijon, A., Widy, I., Setyanto, S., Geleng, P. A., Eko, R., & Aleksander, P. (2018). Pemodelan Analisis Spasial Aliran Lahar Dingin Untuk Mitigasi Bencana Gunung Api Merapi.
- Dewata, Indang., & Umar, Iswandi. (2018). Evaluation of landside hazardlevel on spatial pattern of TanahDatar Regency. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 229, p. 03006). EDP Sciences.
- Fleming, Matthew J., Doan, James H. (2013). Hec-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension. User's Manual. *US Army Corps of Engineers Institute for Water Resource Hydrologic Engineering Center (HEC)*.
- Hermon, D., Barlian, E., Dewata, I., & Umar, I. (2020). Disaster management ofdempo volcano eruption, pagar alam city-Indonesia based on local wisdom. *International Journal ofManagement and Humanities*, 4(9), 49-53.
- Hermon, D. (2015). *Geografi bencana alam*. PT. RajaGrafindo Persada-Rajawali Pers.
- Hadmoko, D. S., & Dibyosaputro, S. (2024). *Banjir Lahar Pembentukan Proses Dampak dan Mitigasinya*. UGM PRESS.
- Hadthya, Reinhart., et al. (2014). Simulasi Penanganan Potensi Aliran Debris di Gunung Sago (Studi Kasus di Batang Lakin, Kecamatan Lareh Sago Halaban, Kabupaten Lima Puluh Kota). *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, vol. 1, no. 2, pp. 1-14.
- Jemari Sakato. (2024). SiTrep #8 Situation Report Bencana Banjir Lahar Dingin Sumatera Barat. *JEMARI Sakato*. Diakses di <https://jemarisakato.org/sitrep-8-banjir-lahar-dingin-sumatera-barat>
- Kusumosubroto, H. (2013). Aliran debris dan lahar, pembentukan, pengaliran dan pengendaliannya. *Graha Ilmu. Yogyakarta*.
- Masyithah, et al., (2024) Simulation of lahar flow potensial hazards in seulawah agam volcano eruption-aceh. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1356, No. 1, p. 012112). IOP Publishing.
- Mizuyama, T., Y. Ishikawa. (1988). Technical standard for the measures against debris flow (draft). Technical Memorandum of PWRI, No. 2632.
- Purwaningsih, E., Liusti, S. A., Purnamasari, E., Ramadhan, R., & Nasution A. F. R. (2024). The Mount Marapi eruption disaster evacuation path model using a local wisdom approach. *GEOMATE Journal*, 26(116), 64-71
- Rifandi, Ahmad., Teguh Purnomo. (2024). Laporan Aktivitas Gunung Api. *MAGMA Indonesia*. Diakses di <https://magma.esdm.go.id/v1/gunung-api/laporan>
- Schilling, S. P. (2014). *Laharz\_py: GIS tools for automated mapping of lahar inundation hazard zones* (No. 2014-1073). US Geological Survey.
- Siyoto, S., & Sodik, M. A. (2015). *Dasar metodologi penelitian*. literasi media publishing.
- Suripin (watervoorziening.). (2004). Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan. Andi
- Triatmodjo, B. (2019). Hidrologi Terapan (Cetakan Ketujuh). Yogyakarta, Indonesia: Beta Offset.