



PERAN MATERIAL VULKANIK PASCA ERUPSI GUNUNG MARAPI TERHADAP PENINGKATAN RISIKO BANJIR BANDANG DI KABUPATEN AGAM DAN TANAH DATAR, SUMATERA BARAT

Gustia Nurul'Ain¹, Julia Emilda Pasaribu², Vania Azalia³, Ghina Asnah Aulia⁴, Adhi Munajar⁵

^{1,2,3,4,5} Program Studi Pendidikan Geografi, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

gustiata@gmail.com¹, juliaemilda14@gmail.com², vaniaazalia0606@gmail.com³,
ghinaasnahaulia@gmail.com⁴, adhi.munajar@uin-suska.ac.id⁵

ARTICLE INFO

Article History

Published: 30 Aug 2026

Keywords:

material vulkanik, banjir bandang, lahar dingin, Gunung Marapi, risiko bencana, DAS.

Volcanic debris, Torrential flash floods, Debris flow, Marapi volcano, Hazard vulnerability, Drainage basin.



© Author(s) 2026
This work is licensed under a [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ABSTRACT

Erupsi Gunung Marapi pada tanggal 3 Desember 2023 menghasilkan endapan material vulkanik dalam jumlah masif di lereng gunung yang secara signifikan meningkatkan potensi risiko banjir bandang (galodo) di Kabupaten Agam dan Kabupaten Tanah Datar, Sumatera Barat. Peristiwa banjir bandang lahar dingin yang terjadi pada 11–12 Mei 2024 mengakibatkan 62 korban jiwa, 6.523 jiwa terdampak, dan kerusakan infrastruktur serta lahan pertanian yang masif. Penelitian ini bertujuan mengkaji peran material vulkanik pasca erupsi sebagai faktor pemicu utama peningkatan risiko banjir bandang dengan menggunakan pendekatan data sekunder dari laporan BNPB, PVMBG, BPS, dan berbagai jurnal ilmiah terindeks. Kajian ini mengadopsi desain eksploratif melalui penerapan metode Systematic Literature Review (SLR) yang disintesis secara deskriptif-kualitatif sebagai landasan metodologisnya. Melalui kerangka kerja tersebut, jalinan interaksi antara parameter hidrologis, aspek vulkanologi, serta dinamika kebencanaan dapat dibedah dan diuraikan secara komprehensif. Hasil kajian menunjukkan bahwa akumulasi material vulkanik berupa abu, lapili, pasir vulkanik, dan batu besar di sepanjang daerah aliran sungai (DAS) yang berhulu di Gunung Marapi meningkatkan sediment yield dan menurunkan kapasitas tampung sungai secara drastis. Kombinasi antara ketersediaan material vulkanik yang melimpah, kemiringan lereng yang curam (>40%), dan curah hujan ekstrem (>100 mm/hari) menjadi triad faktor yang mendorong terjadinya lahar dingin destruktif. Kajian ini menyimpulkan perlunya sistem peringatan dini terintegrasi, pembangunan sabo dam, dan pengelolaan DAS berbasis risiko vulkanik sebagai langkah mitigasi.

The eruption of Mount Marapi on December 3, 2023, deposited massive volcanic materials on its slopes, significantly increasing flash flood (galodo) risk in Agam and Tanah Datar Regencies, West Sumatra. The cold lahar flash flood that struck on May 11–12, 2024, exacted a catastrophic toll, claiming 62 lives and impacting 6,523 local residents. In addition to human fatalities, the catastrophe triggered catastrophic and widespread degradation, severely paralyzing regional infrastructure and the agrarian sector. This study examines post-eruption volcanic material as the primary trigger for flash flood risk using secondary data from BNPB, PVMBG, BPS, and indexed journals, employing a systematic literature review with a descriptive-qualitative approach. The findings indicate that the accumulation of volcanic

material including ash, lapilli, volcanic sand, and boulders along river catchments originating from Mount Marapi dramatically increased sediment yield and reduced river carrying capacity. The initiation of a destructive cold lahar is governed by a critical threefold condition: high volumes of loose volcanic debris, a steep landscape with a gradient above 40%, and a minimum daily rainfall intensity of 100 mm. To address this heightened disaster risk, this paper underlines the urgency of multi-faceted mitigation frameworks, specifically the deployment of integrated early warning networks, structural reinforcement via sabo dams, and risk-sensitive watershed management to prevent catastrophic flash flood events around Mount Marapi.

PENDAHULUAN

Dalam konseptualisasi global, Indonesia tercatat sebagai wilayah dengan konsentrasi gunung api aktif paling padat di dunia.¹ Tingginya densitas tersebut divalidasi oleh sebaran lebih dari 127 sistem vulkanik aktif yang berjejer melintasi ruang geografis Nusantara dari Sabang sampai Merauke. Kondisi ini menjadikan Indonesia sangat rentan terhadap berbagai bencana vulkanik, termasuk lahar dingin atau banjir bandang yang sering kali menimbulkan dampak lebih besar dibandingkan erupsi itu sendiri.² Provinsi Sumatera Barat memiliki salah satu pusat vulkanisme paling aktif di daratan Sumatera, yaitu Gunung Marapi, sebuah stratovolcano yang wilayahnya mencakup area Kabupaten Tanah Datar dan Kabupaten Agam. Berdasarkan pencatatan PVMBG³, bentang alam vulkanik ini menjulang dengan ketinggian fisik berkisar pada 2.891 mdpl.

Aktivitas vulkanik Gunung Marapi telah tercatat sejak tahun 1807, dengan frekuensi erupsi yang tinggi dan masa istirahat rata-rata hanya 3,5 tahun.⁴ Erupsi eksplosif yang terjadi pada 3 Desember 2023 menghasilkan kolom abu vulkanik setinggi 3.000 meter dari puncak dan memuntahkan jutaan ton material vulkanik ke seluruh lereng gunung.⁵ Material vulkanik yang terakumulasi di lereng gunung menjadi sumber bahaya sekunder yang sangat signifikan karena dapat terbawa oleh air hujan dan membentuk aliran lahar dingin yang destruktif ke arah hilir.⁶

Peristiwa banjir bandang yang melanda Sumatera Barat pada Mei 2024 tercatat sebagai salah satu katastrofe dengan tingkat fatalitas tertinggi dalam sejarah kebencanaan modern di wilayah tersebut.

¹ D. K. Syahbana dkk., "Volcano Disaster Risk Management during Crisis: Implementation of Risk Communication in Indonesia," *Journal of Applied Volcanology* 12, no. 1 (2023): 3, <https://doi.org/10.1186/s13617-023-00129-2>.

² A. Andriani dkk., "Post-Disaster Engineering Strategy for Anai River Debris Flow Management on Anai Valley National Road West Sumatra Indonesia," *Journal of Applied Engineering Technology and Science (JAETS)* 6, no. 1 (2024): 365–79, <https://doi.org/10.37385/jaets.v6i1.5845>.

³ PVMBG (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi), *Update Aktivitas Terkini Gunung Marapi, Sumatera Barat* (Badan Geologi, Kementerian ESDM, 2024), <https://geologi.esdm.go.id>.

⁴ PVMBG (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi), *Update Aktivitas Terkini Gunung Marapi, Sumatera Barat*.

⁵ BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana), *Laporan Situasi Bencana Banjir Bandang Sumatera Barat Periode Mei–Juni 2024* (BNPB, 2024).

⁶ R. Hidayat dkk., "Influence of Rainfall Intensity to Lahar Flood Velocity and Height Based on SIMLAR 2.1 Modelling," *Jurnal Teknik Hidraulik* 8, no. 2 (2018): 125–34, <https://doi.org/10.32679/jth.v8i2.482>.

Skala mortalitas yang dihasilkan dari insiden ini melampaui rekor berbagai kejadian serupa selama beberapa puluh tahun ke belakang. Hujan dengan intensitas sangat tinggi yang mengguyur kawasan sekitar Gunung Marapi memicu pergerakan material vulkanik secara masif melalui jaringan sungai yang berhulu di gunung tersebut. Secara geomorfologis, Kabupaten Agam dan Tanah Datar tersusun oleh sistem lembah fluvial yang berkembang mengikuti pola aliran sungai yang berhulu langsung dari lereng Gunung Marapi. Keberadaan lembah-lembah sempit, jalur sungai purba, serta topografi yang relatif curam pada bagian hulu menyebabkan wilayah ini berfungsi sebagai koridor utama pergerakan dan akumulasi material lahar dingin menuju kawasan permukiman dan lahan produktif di bagian hilir. Data BNPB⁷ mencatat korban jiwa sebanyak 62 orang yang terdiri dari 34 jiwa di Tanah Datar, 24 jiwa di Agam, dan 2 jiwa di Padang Panjang, dengan total 6.523 jiwa terdampak dan 3.392 jiwa harus diungsikan.

Fenomena galodo istilah lokal untuk banjir bandang lahar di kawasan Gunung Marapi sebenarnya bukan fenomena baru. Catatan sejarah menunjukkan bahwa kejadian serupa pada akhir April 1979 menghancurkan lima nagari di Tanah Datar dan Agam dengan korban jiwa 60 orang dan 19 orang hilang.⁸ Namun, peningkatan stok material vulkanik akibat erupsi 2023, dikombinasikan dengan perubahan penggunaan lahan dan anomali curah hujan, menyebabkan kejadian 2024 memiliki intensitas dan cakupan kerusakan yang jauh lebih besar.⁹

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik material vulkanik hasil erupsi Gunung Marapi tahun 2023 serta pengaruhnya terhadap peningkatan risiko banjir bandang di Kabupaten Agam dan Tanah Datar. Analisis dilakukan untuk mengidentifikasi mekanisme transformasi material vulkanik menjadi aliran lahar dingin, mengevaluasi faktor-faktor yang memengaruhi peningkatan risiko bencana, serta mengkaji dampaknya terhadap permukiman dan infrastruktur. Hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam penyusunan rekomendasi mitigasi bencana yang lebih efektif pada kawasan rawan lahar di sekitar Gunung Marapi.

METODE PENELITIAN

Secara metodologis, studi ini menerapkan peninjauan kepustakaan yang sistematis, di mana data sekunder yang terkumpul dianalisis lebih lanjut menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif. Data sekunder dikumpulkan dari berbagai sumber yang terindeks dan terpercaya, meliputi: (1) laporan resmi BNPB, PVMBG/BPPTKG, dan Kementerian PUPR; (2) data statistik BPS Kabupaten Agam dan Tanah

⁷ BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana), *Laporan Situasi Bencana Banjir Bandang Sumatera Barat Periode Mei–Juni 2024*.

⁸ H. Narny dkk., "Lahar Floods in West Sumatra during the Dutch Colonial Era: Historical Records and Societal Impact," 604 (2025): 11002, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202560411002>.

⁹ D. Nurcahyaningtyas dkk., "The Impact of Lahar Disasters on Students' Self-Awareness," *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA (JPPIPA)* 10, no. 3 (2024): 1200–1215, <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i3.12996>.

Datar; (3) jurnal ilmiah nasional terindeks SINTA dan internasional terindeks Scopus/Web of Science; serta (4) peta kawasan rawan bencana (KRB) Gunung Marapi yang diterbitkan oleh Badan Geologi.

Sumber Data

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini diidentifikasi dan dikelompokkan menjadi dua kategori utama, yaitu data hidro-meteorologis dan data kebencanaan/vulkanologi. Data hidro-meteorologis diperoleh dari publikasi BMKG, Badan Informasi Geospasial (BIG), serta berbagai artikel ilmiah yang membahas karakteristik curah hujan, kondisi DAS, dan morfologi wilayah penelitian. Sementara itu, data kebencanaan dan vulkanologi diperoleh dari BNPB, PVMBG, Badan Geologi, serta laporan resmi pemerintah yang berkaitan dengan aktivitas Gunung Marapi, kejadian banjir bandang, dan dampak pascaerupsi. Seluruh data dianalisis menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) untuk mengidentifikasi hubungan antara aktivitas vulkanik, proses lahar dingin, dan peningkatan risiko banjir bandang.

Analisis Data

Analisis dilakukan secara deskriptif-kualitatif melalui tahapan: (1) identifikasi dan inventarisasi material vulkanik; (2) analisis keterkaitan antara distribusi material vulkanik dengan jaringan DAS; (3) analisis faktor-faktor pemicu lahar dingin (curah hujan, kemiringan lereng, tutupan lahan); dan (4) penilaian tingkat risiko berdasarkan model multi-parameter mengacu pada pendekatan yang digunakan oleh Sjah *et al.*¹⁰ dan Taufik *et al.*¹¹ untuk pemetaan zona bahaya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Erupsi Gunung Marapi dan Distribusi Material Vulkanik

Gunung Marapi merupakan gunungapi kompleks bertipe strato yang sangat aktif. Berdasarkan data PVMBG¹², erupsi pada 3 Desember 2023 merupakan erupsi eksplosif yang berpusat di Kawah Verbeek dengan indeks eksplosivitas vulkanik (VEI) diperkirakan mencapai 2–3. Erupsi ini menghasilkan kolom abu setinggi 3.000 meter dan menyebarkan material piroklastik berupa abu halus, lapili, pasir vulkanik, dan lontaran bom vulkanik ke seluruh sektor lereng gunung.¹³

¹⁰ Z. Sjah dkk., "Hazard Level and Risk of Mount Marapi Cold Lava Flood in Tanah Datar Regency," *Sumatra Journal of Disaster, Geography and Geography Education* 9, no. 2 (2025): 120–35.

¹¹ S. R. Taufik dkk., "Assessment of Flood Hazard Reduction in DKI Jakarta: Bendungan Hilir Village," 989, no. 1 (2022): 012018, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/989/1/012018>.

¹² PVMBG (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi), *Update Aktivitas Terkini Gunung Marapi, Sumatera Barat*.

¹³ PVMBG (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi), *Update Aktivitas Terkini Gunung Marapi, Sumatera Barat*.

Endapan material vulkanik pasca-erupsi yang tersebar di kawasan lereng Gunung Marapi menunjukkan karakteristik fisik serta diversifikasi jenis yang sangat heterogen. Tefras atau abu vulkanik berukuran di bawah 2 milimeter tersebar sampai radius 10 hingga 15 kilometer, lalu menyelimuti vegetasi dan permukaan tanah. Lapili dengan diameter 2–64 mm terendapkan terutama pada radius 3–8 km, sementara bom vulkanik dan blok berukuran >64 mm terkonsentrasi pada radius <3 km dari kawah. Studi dari Mahli *et al.*¹⁴ menunjukkan bahwa total volume material yang terendapkan diperkirakan mencapai puluhan juta meter kubik, menciptakan cadangan sedimen yang sangat besar di hulu DAS.

Pola spasial penyebaran endapan vulkanik di sekitar area gunung tersebut secara signifikan dikendalikan oleh konfigurasi geometri lereng serta arah pergerakan angin regional yang dominan. Lereng selatan-timur dan barat-daya Gunung Marapi, yang merupakan hulu DAS Batang Anai, Batang Agam, dan beberapa anak sungai di Kabupaten Tanah Datar dan Agam, menerima akumulasi material vulkanik terbesar.¹⁵ Kondisi ini secara langsung meningkatkan *sediment availability* di zona hulu DAS dan menjadi faktor utama peningkatan risiko lahar dingin pasca erupsi.

Mekanisme Transformasi Material Vulkanik Menjadi Lahar Dingin

Lahar dingin (*cold lahar*) terbentuk melalui proses mobilisasi material vulkanik lepas oleh air, baik dari curah hujan maupun limpasan permukaan. Sebagaimana yang diuraikan oleh Lavigne dan Thouret dalam kompilasi studi Narny *et al.*,¹⁶ lahar didefinisikan sebagai suatu fenomena aliran gravitasi yang memuat kombinasi antara air dan runtuhan material vulkanik, di mana fraksi volume sedimennya tercatat melampaui 60%. Sifat mekanis tersebut menjadi parameter esensial yang memisahkan karakteristik aliran lahar dari tipologi banjir konvensional. Tingginya tingkat kekentalan (*viskositas*) serta kerapatan massa (*densitas*) yang dimiliki aliran lahar menghasilkan energi kinetik destruktif yang jauh lebih masif dibandingkan limpahan air konvensional.

Di Gunung Marapi, mekanisme pembentukan lahar dingin pasca erupsi 2023 berlangsung melalui tiga fase: (1) *fase akumulasi*, di mana material vulkanik terendapkan di lereng dan lembah sungai; (2) *fase saturasi*, di mana curah hujan tinggi menjenuhkan dan mendestabilisasi endapan material; dan (3) *fase mobilisasi*, di mana gaya geser aliran air melampaui tahanan geser massa sedimen sehingga terjadi aliran debris masif menuju hilir.

Kondisi geomorfologi lereng Gunung Marapi menjadi faktor pemicu utama mekanisme tersebut, di mana hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) yang memiliki kemiringan antara 30% sampai 60%

¹⁴ R. A. K. Mahli dkk., “Studi Kawasan Rawan Bencana Sekitar Gunung Marapi,” *Jurnal Teknologi dan Rekayasa* 9, no. 2 (2024): 45–58.

¹⁵ Badan Geologi – PVMBG, *Siaran Pers No. 6/KM.05/BGL/2024: Update Aktivitas Terkini Gunung Marapi, Sumatera Barat* (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2024), <https://geologi.esdm.go.id/media-center/update-aktivitas-terkini-g-marapi-sumatera-barat-28-maret-2024>.

¹⁶ Narny dkk., “Lahar Floods in West Sumatra during the Dutch Colonial Era: Historical Records and Societal Impact.”

menghasilkan akumulasi energi potensial gravitasi yang sangat besar. Kondisi labil tersebut pada gilirannya meningkatkan kerentanan material vulkanik untuk mengalami mobilisasi massa menuju kawasan dengan elevasi yang lebih rendah. Studi *Sjah et al.*¹⁷ yang mengkaji bahaya lahar dingin di Kabupaten Tanah Datar menemukan bahwa area dengan risiko tinggi teridentifikasi dalam radius 300 meter dari tepi sungai, mencakup luas 27.480 hektare. Hasil ini konsisten dengan temuan *Wijaya*¹⁸ yang menghitung debit puncak banjir bandang mencapai sekitar 1.017,3 m³/s di kawasan Sumatera Barat dengan kondisi topografi dan meteorologi serupa.

Curah hujan ekstrem yang melanda wilayah puncak serta lereng Gunung Marapi selama beberapa jam menjadi faktor utama di balik terjadinya banjir bandang pada 11 Mei 2024. . Curah hujan yang sangat tinggi dalam waktu singkat langsung memicu pergerakan air secara mendadak. Data BMKG menunjukkan bahwa curah hujan harian pada tanggal tersebut di stasiun terdekat mencapai lebih dari 100 mm, jauh melampaui ambang batas kritis. Menurut laporan BNPB¹⁹, hujan di sekitar puncak membawa turun material vulkanis dan menjadi lahar dingin di Agam dan Tanah Datar, yang mengakibatkan banjir bandang menghantam permukiman, sawah, dan infrastruktur di sepanjang alur sungai.

Dampak Akumulasi Material Vulkanik terhadap Kapasitas DAS

Akumulasi material vulkanik secara masif di hulu DAS yang berhulu di Gunung Marapi berdampak langsung pada penurunan kapasitas hidrologis sistem sungai. Berdasarkan data sekunder dari Kementerian PUPR, pendangkalan sungai akibat endapan material vulkanik terjadi di hampir seluruh DAS yang berhulu di Gunung Marapi, termasuk Sungai Batang Agam, Sungai Batang Anai, dan beberapa sungai kecil di Tanah Datar. Di sejumlah titik pengamatan, akumulasi endapan sedimen vulkanik pada dasar saluran sungai mencatatkan variasi ketebalan yang berkisar antara 70 sentimeter hingga satu meter.

Pendangkalan sungai secara drastis menurunkan kapasitas tampung (*carrying capacity*) saluran sungai, sehingga debit banjir yang jauh lebih kecil pun dapat mengakibatkan luapan. Fenomena ini dikenal sebagai *channel infilling* dalam geomorfologi fluvial, di mana sedimen mengisi ruang tampung sungai dan memperparah genangan.²⁰ Studi *Flood Hazard Assessment* oleh *Taufik et al.*²¹

¹⁷ Sjah dkk., "Hazard Level and Risk of Mount Marapi Cold Lava Flood in Tanah Datar Regency."

¹⁸ R. C. Wijaya, "Evaluating Flash Flood Hazards in West Sumatra: Insights from Topographic and Meteorological Data," *Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil* 18, no. 1 (2025): 45–62, <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v18i1.27878>.

¹⁹ BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana), *Laporan Situasi Bencana Banjir Bandang Sumatera Barat Periode Mei–Juni 2024*.

²⁰ Andriani dkk., "Post-Disaster Engineering Strategy for Anai River Debris Flow Management on Anai Valley National Road West Sumatra Indonesia."

²¹ Taufik dkk., "Assessment of Flood Hazard Reduction in DKI Jakarta: Bendungan Hilir Village."

mengkonfirmasi bahwa perubahan kondisi penampang sungai akibat akumulasi sedimen merupakan faktor dominan peningkatan indeks bahaya banjir.

Dampak material vulkanik tidak cuma menyumbat badan air lewat sedimentasi. Konsekuensi sekunder dari fenomena ini adalah terjadinya penurunan drastis pada kapasitas peresapan tanah, yang pada gilirannya memperlemah daya serapnya terhadap laju air limpasan permukaan. Lapisan abu vulkanik yang mengendap di atas permukaan tanah bertindak sebagai penghalang yang bersifat semikedap air, sehingga secara drastis mendongkrak nilai koefisien limpasan permukaan (*runoff coefficient*). Li *et al.*²² dalam kajian komprehensif risiko banjir bandang menyatakan bahwa tutupan lahan dan jenis tanah merupakan parameter penting dalam penentuan indeks bahaya, di mana penutupan permukaan tanah oleh material vulkanik setara dengan konversi lahan menjadi area kedap air. Ketidakmampuan tanah tersebut berimplikasi langsung terhadap eskalasi debit serta laju kecepatan limpasan permukaan (*surface run-off*) yang mengalir ke dalam sistem jaringan sungai. Data Kementerian Pertanian mencatat kerusakan 439 hektare sawah di Kabupaten Agam dan Tanah Datar akibat terkubur material vulkanik setinggi 70 cm–1 m. Kerusakan lahan pertanian ini mengindikasikan luasnya area yang tertutup material vulkanik, yang secara tidak langsung juga mengurangi area resapan air di catchment area Gunung Marapi. Studi Banjara *et al.*²³ membuktikan bahwa berkurangnya wilayah resapan alami berhubungan langsung dengan peningkatan risiko banjir akibat melonjaknya debit puncak aliran.

Faktor-Faktor Pemicu dan Analisis Risiko Multivariat

Risiko banjir bandang di kawasan Gunung Marapi merupakan fungsi interaksi antara beberapa faktor vulkanik dan meteorologis. Sjah *et al.*²⁴ Evaluasi tingkat kerawanan lahar dingin bertumpu pada matriks empat parameter esensial. Analisis kebencanaan ini mengombinasikan faktor kelandaian medan, sifat fisik tanah, serta variabilitas hujan lokal, yang mana seluruh parameter tersebut saling bertautan dengan perubahan kondisi vegetasi serta dinamika pemanfaatan ruang di kawasan setempat. Penelitian ini menemukan bahwa kombinasi keempat faktor tersebut dalam kondisi pasca erupsi menciptakan kondisi ekstrem yang jauh melampaui ambang bahaya normal.

Faktor topografi lereng Gunung Marapi yang curam memberikan kontribusi signifikan terhadap kecepatan dan energi kinetik aliran lahar. Kajian historis Narny *et al.*²⁵ tentang banjir lahar di Sumatera

²² Q. Li dkk., “Comprehensive Risk Assessment Framework for Flash Floods in China,” *Water (Switzerland)* 16, no. 4 (2024): 616, <https://doi.org/10.3390/w16040616>.

²³ M. Banjara dkk., “Impact of Land Use and Land Cover Change on Hydrological Processes in Urban Watersheds: Analysis and Forecasting for Flood Risk Management,” *Geosciences (Switzerland)* 14, no. 2 (2024): 40, <https://doi.org/10.3390/geosciences14020040>.

²⁴ Sjah dkk., “Hazard Level and Risk of Mount Marapi Cold Lava Flood in Tanah Datar Regency.”

²⁵ Narny dkk., “Lahar Floods in West Sumatra during the Dutch Colonial Era: Historical Records and Societal Impact.”

Barat pada era kolonial Belanda menegaskan bahwa kombinasi antara kecuraman lereng gunung, besarnya cadangan material vulkanik, dan intensitas hujan tinggi telah berulang kali memicu bencana galodo yang destruktif sejak abad ke-19. Pola risiko historis ini menunjukkan bahwa kejadian 2024 bukan anomali, melainkan manifestasi dari bahaya yang bersifat siklikal dan struktural.

Tabel berikut menyajikan ringkasan faktor-faktor risiko utama dan tingkat kontribusinya terhadap kejadian banjir bandang 2024:

Faktor Risiko	Kondisi Pasca Erupsi 2023	Tingkat Kontribusi
Ketersediaan Material Vulkanik	Volume sangat besar (jutaan m ³) di hulu DAS	Sangat Tinggi
Intensitas Curah Hujan	>100 mm/hari (11 Mei 2024)	Sangat Tinggi
Kemiringan Lereng	30–60% di zona hulu	Tinggi
Kapasitas Tampung Sungai	Berkurang 60–80% akibat pendangkalan	Tinggi
Tutupan Lahan Hulu	Berkurang akibat abu vulkanik	Sedang–Tinggi
Kepadatan Permukiman di DAS	Tinggi di Agam dan Tanah Datar	Sedang

Tabel 1. Faktor Risiko Banjir Bandang di Kawasan Gunung Marapi Pasca Erupsi 2023

Sumber: Analisis dari data BNPB (2024), PVMBG (2024), dan Sjah *et al.* (2025)

Perbandingan Risiko: Kondisi Sebelum dan Sesudah Erupsi 2023

Untuk memahami peran spesifik material vulkanik erupsi 2023, penting untuk membandingkan kondisi risiko banjir bandang sebelum dan sesudah erupsi. Sebelum erupsi Desember 2023, kawasan Gunung Marapi memang telah diidentifikasi sebagai zona rawan lahar, namun frekuensi kejadian banjir bandang berskala besar relatif rendah. Sesudah erupsi, volume material di hulu DAS meningkat secara drastis, yang tercermin dari meningkatnya frekuensi kejadian lahar pada musim hujan 2023/2024.²⁶

²⁶ Indonesia.go.id, “Bangkitnya Sumbar Pascabencana Banjir Bandang,” Portal Resmi Pemerintah Republik Indonesia, 2024, <https://indonesia.go.id/kategori/editorial/8264/bangkitnya-sumbar-pascabencana-banjir-bandang>.

Peninjauan berbasis data historis sejak zaman kolonial yang dirangkum dalam studi komparatif Narny et al.²⁷ memperkuat bukti bahwa frekuensi serta intensitas bencana galodo (lahar hujan) di Gunung Marapi memiliki hubungan kausalitas yang erat dengan siklus aktivitas magmatis gunung api tersebut. Setiap periode aktif erupsi, seperti yang terjadi pada 2023, selalu diikuti oleh peningkatan frekuensi dan intensitas galodo dalam 1–3 tahun berikutnya. Hasil tersebut sejalan dengan pola yang ditemukan pada gunungapi lain di Indonesia, termasuk Gunung Merapi dan Gunung Semeru.²⁸

Implikasi terhadap Permukiman dan Infrastruktur di Kabupaten Agam dan Tanah Datar

Kejadian banjir bandang 2024 mengungkap kerentanan permukiman yang berada di sepanjang alur sungai yang berhulu di Gunung Marapi. Tingginya risiko pada kawasan permukiman juga diperkuat oleh karakteristik kependudukan di wilayah terdampak. Berdasarkan Badan Pusat Statistik Kabupaten Agam, jumlah penduduk Kabupaten Agam mencapai 537.672 jiwa, sedangkan Kabupaten Tanah Datar memiliki 378.691 jiwa (BPS Kabupaten Tanah Datar, 2024). Sebagian besar permukiman berkembang pada kawasan dataran lembah dan sepanjang koridor sungai yang berhulu di Gunung Marapi. Kondisi ini menyebabkan tingkat keterpaparan penduduk terhadap bahaya banjir bandang dan aliran lahar dingin menjadi semakin tinggi ketika terjadi hujan ekstrem pascaerupsi. Data BNPB²⁹ menunjukkan bahwa sebagian besar korban jiwa dan kerusakan terkonsentrasi di nagari-nagari yang berada di zona merah lahar, yaitu dalam radius 5 km dari alur sungai utama. Kawasan yang terdampak terparah meliputi Nagari Andaleh, Pandai Sikek, dan Limo Kaum di Tanah Datar, serta beberapa wilayah di Agam.

Selain karakteristik kependudukan yang meningkatkan tingkat keterpaparan bencana, perkembangan kawasan permukiman di Kabupaten Agam dan Tanah Datar turut memperbesar potensi kerugian yang dapat ditimbulkan oleh banjir bandang dan aliran lahar dingin. Data BPS menunjukkan bahwa pertumbuhan penduduk di kedua wilayah tersebut diikuti dengan peningkatan jumlah rumah dan fasilitas sosial yang sebagian berada di sekitar daerah aliran sungai. Keberadaan bangunan pada zona rawan banjir bandang menyebabkan risiko kerusakan fisik dan kerugian ekonomi menjadi lebih besar ketika aliran lahar dingin melanda kawasan permukiman. Oleh karena itu, risiko bencana pascaerupsi tidak hanya dipengaruhi oleh faktor geomorfologi dan vulkanologi, tetapi juga oleh tingginya eksposur penduduk serta aset permukiman terhadap ancaman bencana.

²⁷ Narny dkk., “Lahar Floods in West Sumatra during the Dutch Colonial Era: Historical Records and Societal Impact.”

²⁸ A. P. Rahardjo, “Flash Flood Study on Mt. Merapi Slope for Improvement of the Monitoring Method,” *International Journal of GEOMATE* 25, no. 107 (2023), <https://doi.org/10.21660/2023.107.3713>; M. López-Saavedra dan J. Martí, “Reviewing the Multi-Hazard Concept: Application to Volcanic Islands,” *Earth-Science Reviews* 236 (2023): 104286, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104286>.

²⁹ BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana), *Laporan Situasi Bencana Banjir Bandang Sumatera Barat Periode Mei–Juni 2024*.

Dampak bencana ini memicu kerusakan masif pada sejumlah aset vital, yang mencakup sarana irigasi, jembatan penyeberangan, serta akses jalan nasional. Kerusakan struktural dalam skala besar melanda berbagai infrastruktur umum di zona bencana, menegaskan bahwa dampak destruktif yang ditimbulkan tidak hanya mengorbankan sektor perumahan warga. Kementerian PUPR segera melakukan normalisasi sungai di nagari Bukik Batabuah, Agam, sebagai respons darurat pasca bencana. Sebagai bagian dari skenario mitigasi struktural jangka panjang, pihak otoritas menjadwalkan pendirian 6 unit bangunan sabo dam pada jalur sungai yang berhulu di Gunung Marapi. Kebijakan ini sejalan dengan langkah pengurangan risiko lahar dari Pierson dkk.,³⁰ yang menekankan pentingnya optimalisasi infrastruktur pengendali sedimen dalam mengurangi dampak aliran lahar terhadap kawasan permukiman dan infrastruktur.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa erupsi Gunung Marapi tahun 2023 memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan risiko banjir bandang di Kabupaten Agam dan Tanah Datar melalui akumulasi material vulkanik yang besar pada kawasan hulu DAS. Material hasil erupsi berupa abu vulkanik, lapili, pasir vulkanik, dan fragmen batuan membentuk cadangan sedimen yang tinggi sehingga meningkatkan potensi mobilisasi ketika terjadi hujan ekstrem.

Transformasi material vulkanik menjadi aliran lahar dingin berlangsung melalui tiga mekanisme utama, yaitu akumulasi material pada lereng dan lembah sungai, proses saturasi akibat curah hujan tinggi, serta mobilisasi ketika gaya aliran air mampu menggerakkan massa sedimen. Kondisi geomorfologi Gunung Marapi dengan kemiringan lereng 30–60% memperbesar energi aliran sehingga menghasilkan daya rusak yang tinggi terhadap kawasan hilir.

Hasil kajian menunjukkan bahwa kejadian banjir bandang tahun 2024 tidak hanya dipengaruhi oleh faktor curah hujan ekstrem, tetapi merupakan hasil interaksi kompleks antara ketersediaan material vulkanik, perubahan kapasitas DAS akibat sedimentasi, penurunan kemampuan infiltrasi tanah, perubahan tutupan lahan, serta tingginya keterpaparan permukiman di sepanjang jalur sungai. Akumulasi material vulkanik menyebabkan pendangkalan sungai dan menurunkan kapasitas tampung aliran, sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya luapan saat debit meningkat.

Dengan demikian, erupsi Gunung Marapi 2023 dapat dipahami sebagai pemicu perubahan sistem risiko bencana kawasan, bukan hanya sebagai peristiwa vulkanik sesaat. Mitigasi ke depan harus dilakukan melalui pendekatan terpadu yang menggabungkan pemantauan aktivitas gunung api, pengendalian sedimen, penguatan infrastruktur mitigasi, serta penataan ruang berbasis risiko.

³⁰ T. C. Pierson dkk., "Reducing Risk from Lahar Hazards: Concepts, Case Studies, and Roles for Scientists," *Journal of Applied Volcanology* 3, no. 1 (2014): 16, <https://doi.org/10.1186/s13617-014-0016-4>.

Pendekatan tersebut diperlukan untuk mengurangi dampak banjir bandang lahar dingin dan meningkatkan ketahanan masyarakat di kawasan sekitar Gunung Marapi.

Kebaruan Penelitian

Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan integratif dalam menganalisis hubungan antara karakteristik material vulkanik pascaerupsi dan peningkatan risiko banjir bandang pada kawasan Gunung Marapi. Penelitian sebelumnya banyak membahas aktivitas erupsi, bahaya lahar, atau dampak banjir secara terpisah, sedangkan penelitian ini menghubungkan proses vulkanologi, geomorfologi, hidrologi DAS, dan faktor meteorologi dalam satu kerangka analisis risiko bencana. Pendekatan tersebut memberikan pemahaman bahwa material vulkanik bukan hanya produk erupsi, tetapi menjadi faktor pengendali utama perubahan dinamika hidrologi kawasan setelah erupsi.

Selain itu, penelitian ini menawarkan perspektif baru melalui identifikasi mekanisme transformasi material vulkanik menjadi aliran lahar dingin melalui tiga fase utama, yaitu akumulasi, saturasi, dan mobilisasi. Kajian ini juga memperlihatkan bahwa peningkatan risiko banjir bandang tidak hanya disebabkan oleh faktor alam seperti curah hujan dan kemiringan lereng, tetapi merupakan hasil interaksi kompleks antara ketersediaan sedimen, perubahan kapasitas DAS, kondisi tutupan lahan, dan tingkat keterpaparan permukiman. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan model mitigasi bencana gunung api berbasis pendekatan multi-parameter.

Implikasi Penelitian

Secara teoritis, penelitian ini memberikan implikasi terhadap pengembangan kajian kebencanaan dengan memperkuat pemahaman bahwa erupsi gunung api harus dipandang sebagai rangkaian bahaya yang berkelanjutan, bukan hanya kejadian tunggal pada saat erupsi berlangsung. Material vulkanik yang terendapkan setelah erupsi memiliki peran penting dalam mengubah karakteristik DAS dan meningkatkan potensi bencana sekunder seperti banjir bandang dan aliran lahar dingin. Oleh karena itu, kajian risiko pascaerupsi perlu mengintegrasikan aspek vulkanologi, hidrologi, geomorfologi, dan sosial wilayah terdampak.

Secara praktis, penelitian ini memberikan implikasi bagi pemerintah daerah, lembaga kebencanaan, dan masyarakat dalam merancang strategi mitigasi pascaerupsi Gunung Marapi. Pengelolaan kawasan rawan bencana perlu diarahkan pada pengendalian material sedimen melalui pembangunan infrastruktur pengendali lahar seperti sabo dam, normalisasi sungai, pemantauan endapan vulkanik, serta penguatan sistem peringatan dini. Selain itu, pengaturan tata ruang berbasis risiko perlu diperkuat untuk mengurangi paparan masyarakat yang tinggal di sepanjang jalur aliran lahar.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, A., D. P. E. Putra, M. Fauzi, dan I. Syafri. "Post-Disaster Engineering Strategy for Anai River Debris Flow Management on Anai Valley National Road West Sumatra Indonesia." *Journal of Applied Engineering Technology and Science (JAETS)* 6, no. 1 (2024): 365–79. <https://doi.org/10.37385/jaets.v6i1.5845>.
- Badan Geologi – PVMBG. *Siaran Pers No. 6/KM.05/BGL/2024: Update Aktivitas Terkini Gunung Marapi, Sumatera Barat*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2024. <https://geologi.esdm.go.id/media-center/update-aktivitas-terkini-g-marapi-sumatera-barat-28-maret-2024>.
- Banjara, M., A. Bhusal, A. B. Ghimire, dan A. Kalra. "Impact of Land Use and Land Cover Change on Hydrological Processes in Urban Watersheds: Analysis and Forecasting for Flood Risk Management." *Geosciences (Switzerland)* 14, no. 2 (2024): 40. <https://doi.org/10.3390/geosciences14020040>.
- BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana). *Laporan Situasi Bencana Banjir Bandang Sumatera Barat Periode Mei–Juni 2024*. BNPB, 2024.
- Hidayat, R., A. Musthofa, dan P. Bahri. "Influence of Rainfall Intensity to Lahar Flood Velocity and Height Based on SIMLAR 2.1 Modelling." *Jurnal Teknik Hidraulik* 8, no. 2 (2018): 125–34. <https://doi.org/10.32679/jth.v8i2.482>.
- Indonesia.go.id. "Bangkitnya Sumbar Pascabencana Banjir Bandang." Portal Resmi Pemerintah Republik Indonesia, 2024. <https://indonesia.go.id/kategori/editorial/8264/bangkitnya-sumbar-pascabencana-banjir-bandang>.
- Li, Q., Y. Li, L. Zhao, Z. Zhang, Y. Wang, dan M. Ma. "Comprehensive Risk Assessment Framework for Flash Floods in China." *Water (Switzerland)* 16, no. 4 (2024): 616. <https://doi.org/10.3390/w16040616>.
- López-Saavedra, M., dan J. Martí. "Reviewing the Multi-Hazard Concept: Application to Volcanic Islands." *Earth-Science Reviews* 236 (2023): 104286. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104286>.
- Mahli, R. A. K., M. Maharani, dan S. Erfani. "Studi Kawasan Rawan Bencana Sekitar Gunung Marapi." *Jurnal Teknologi dan Rekayasa* 9, no. 2 (2024): 45–58.
- Narny, H., F. Fauzan, dan A. Putra. "Lahar Floods in West Sumatra during the Dutch Colonial Era: Historical Records and Societal Impact." 604 (2025): 11002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202560411002>.
- Nurchayaningtyas, D., E. Priyatno, dan B. Susilo. "The Impact of Lahar Disasters on Students' Self-Awareness." *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA (JPPIPA)* 10, no. 3 (2024): 1200–1215. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i3.12996>.
- Pierson, T. C., A. S. Daag, P. J. Delos Reyes, M. T. M. Regalado, R. U. Solidum, dan B. S. Tubianosa. "Reducing Risk from Lahar Hazards: Concepts, Case Studies, and Roles for Scientists." *Journal of Applied Volcanology* 3, no. 1 (2014): 16. <https://doi.org/10.1186/s13617-014-0016-4>.
- PVMBG (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi). *Update Aktivitas Terkini Gunung Marapi, Sumatera Barat*. Badan Geologi, Kementerian ESDM, 2024. <https://geologi.esdm.go.id>.
- Rahardjo, A. P. "Flash Flood Study on Mt. Merapi Slope for Improvement of the Monitoring Method." *International Journal of GEOMATE* 25, no. 107 (2023). <https://doi.org/10.21660/2023.107.3713>.

Gustia Nurul'Ain, Julia Emilda Pasaribu, Vania Azalia, Ghina Asnah Aulia, Adhi Munajar: Peran Material Vulkanik Pasca Erupsi Gunung Marapi Terhadap Peningkatan Risiko Banjir Bandang di Kabupaten Agam dan Tanah Datar, Sumatera Barat

Sjah, Z., R. Putra, dan T. Mardiyono. "Hazard Level and Risk of Mount Marapi Cold Lava Flood in Tanah Datar Regency." *Sumatra Journal of Disaster, Geography and Geography Education* 9, no. 2 (2025): 120–35.

Syabhana, D. K., K. Kasbani, G. Suantika, dkk. "Volcano Disaster Risk Management during Crisis: Implementation of Risk Communication in Indonesia." *Journal of Applied Volcanology* 12, no. 1 (2023): 3. <https://doi.org/10.1186/s13617-023-00129-2>.

Taufik, S. R., M. Yatrib, A. N. Harman, T. N. A. Kesuma, D. Saputra, dan M. S. B. Kusuma. "Assessment of Flood Hazard Reduction in DKI Jakarta: Bendungan Hilir Village." 989, no. 1 (2022): 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/989/1/012018>.

Wijaya, R. C. "Evaluating Flash Flood Hazards in West Sumatra: Insights from Topographic and Meteorological Data." *Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil* 18, no. 1 (2025): 45–62. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v18i1.27878>.