

Karakteristik Material Tanah Galodo Gunung Marapi terhadap Potensi Bencana

Irvan Riadi¹, Abdul Hakam^{2*}, Andriani³

Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Sumatera Barat¹
Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Sumatera Barat^{2,3}

ARTICLE INFO

Kata Kunci:
tanah galodo, karakteristik tanah, gunung marapi, energi, potensi bencana, mitigasi bencana.

*Correspondence email:
ahakam@eng.unand.ac.id

Submitted: 05-03-2025
Revised: 13-04-2025
Accepted: 22-07-2025
Published: 01-08-2025

ABSTRAK

Gunung Marapi di Sumatera Barat adalah gunung aktif dengan sejarah bencana, termasuk galodo atau banjir bandang akibat erupsi dan curah hujan tinggi. Material tanah yang terbawa oleh galodo sangat memengaruhi potensi bencana yang ditimbulkan. Penelitian ini menganalisis klasifikasi dan karakteristik tanah material galodo serta hubungannya dengan potensi bencana, sekaligus menentukan upaya mitigasi yang dapat dilakukan. Metode penelitian ini menggunakan eksperimen laboratorium. Sampel tanah diambil dari 16 titik pada tujuh lokasi sungai, yaitu Batang Jambu, Batang Malanang, Batang Bangkahan, Batang Arau, Sungai Talang, dan Batang Anai, dengan jarak antar titik 50 meter. Sampel yang dikumpulkan berupa tanah terganggu, yang kemudian dianalisis untuk mengetahui sifat fisis dan mekanisnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material tanah galodo diklasifikasikan sebagai tanah pasir (SW), pasir berlanau (SM), dan pasir berlempung (SC). Sifat fisisnya meliputi berat jenis 2.65-2.67, berat isi 1.61-1.96 gr/cm³, serta indeks plastisitas 8.25-9.17%. Secara mekanis, tanah ini memiliki kohesi 0.029-0.071 Kg/cm² dan sudut geser dalam 26.57-37.77°. Karakteristik ini menunjukkan sifat non-kohesif, sehingga saat jenuh akibat hujan tinggi, tekanan air pori meningkat dan menyebabkan aliran debris berkecepatan tinggi. Energi kinetik dari aliran ini dapat merusak tebing sungai, permukiman, dan infrastruktur. Mitigasi yang dapat dilakukan meliputi tindakan struktural seperti pembangunan cek dam, *ground sill*, dan sabo dam, serta upaya non-struktural berupa peringatan dini, edukasi kebencanaan, dan pembatasan permukiman di sempadan sungai.

ABSTRACT

Keywords:
galodo soil, soil characteristics, marapi volcano, energy, disaster potential, disaster mitigation.

Mount Marapi in West Sumatra is an active mountain with a history of disasters, including galodo or flash floods due to eruptions and high rainfall. The soil material carried by the galodo greatly influences the potential for disaster. This research analyzes the classification and characteristics of galodo soil material and its relationship with disaster potential, as well as determining mitigation efforts that can be carried out. This research method uses laboratory experiments. Soil samples were taken from 16 points at seven river locations, namely Batang Jambu, Batang Malanang, Batang Bangkahan, Batang Arau, Sungai Talang, and Batang Anai, with a distance of 50 meters between points. Samples were collected in the form of disturbed soil, which was then analyzed to determine its physical and mechanical properties. The results showed that the galodo soil material was classified as sand (SW), silty sand (SM), and clayey sand (SC). Its physical properties include a specific gravity of 2.65-2.67, a bulk density of 1.61-1.96 gr/cm³, and a plasticity index of 8.25-9.17%. Mechanically, the soil has a cohesion of 0.029-0.071 kg/cm² and a deep shear angle of 26.57-37.77°. These characteristics indicate non-cohesive properties, so when saturated due to high rainfall, the pore water pressure increases and causes high-speed debris flow. The kinetic energy of these flows can damage riverbanks, settlements, and infrastructure. Mitigation measures include structural measures such as the construction of check dams, *ground sills*, and sabo dams, as well as non-structural measures such as early warning, disaster education, and limiting settlements on riverbanks.

PENDAHULUAN

Sebuah gunung dianggap sebagai gunung berapi aktif jika masih mengalami aktivitas gunung berapi, seperti letusan atau erupsi. Saat magma di dalam gunung naik ke permukaan bumi, ini dikenal sebagai aktivitas gunung berapi. Ada dua kategori aktivitas vulkanik: aktivitas vulkanik dan non-vulkanik.

Gunung Marapi merupakan gunung paling aktif di Provinsi Sumatera Barat. Gunung memiliki ketinggian mencapai 2.891 meter di atas permukaan laut (mdpl). Gunung Marapi termasuk tipe gunung api Strato Vulkanik. Srato Vulkanik ialah tipe pembentukan tubuh gunung oleh akumulasi perulangan hasil letusan yang terjadi. Karakter letusan Gunung Marapi berupa letusan eksplosif dan efusif dengan masa istirahat rata-rata 4 tahun. Aktivitas Gunung Marapi bergerak lurus dari Kawah Tuo ke Kawah termuda, yang terletak di arah timur ke barat danau, alih-alih selalu terjadi di kawah yang sama.

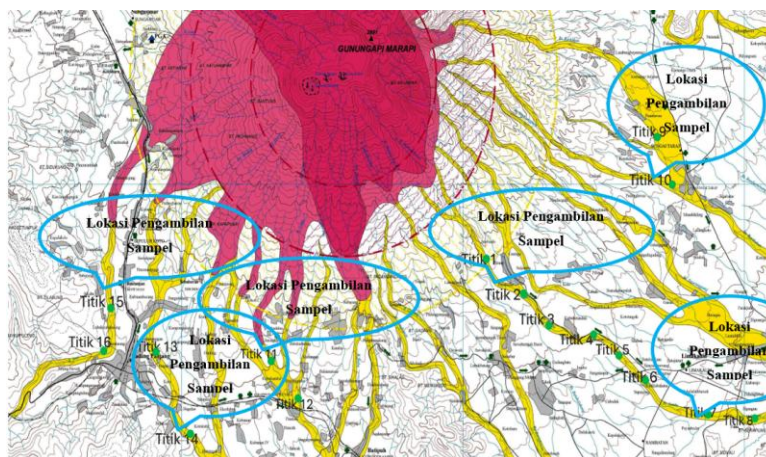
Gunung Marapi secara administratif terletak di antara kabupaten Tanah Datar dan Agam yang terletak di $0^{\circ}22'50''$ S dan $100^{\circ}28'24''$ E. Pengamatan gunung api (PGA) yang terletak di Prof. Hazairin No. 168 Bukittinggi menyediakan pemantauan visual dan instrumental terhadap Gunung Marapi. Ada banyak letusan di Gunung Marapi sepanjang sejarahnya. Erupsi terjadi pada Minggu, 3 Desember 2023, sekitar pukul 14.45 WIB. Itu ditandai dengan suara gemuruh dan muntahan kolom abu yang berisi puing-puing vulkanik hingga 3.000 meter dari puncak kawah. Rekaman seismogram Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (2023) menunjukkan bahwa erupsi Gunung Marapi berlangsung selama 4 menit 41 detik, dengan amplitudo maksimum 30 mm. Fenomena tersebut mengakibatkan hujan abu vulkanik yang lebat di dua kecamatan Sungai Pua dan Canduang kabupaten Agam.

Erupsi Gunung Marapi merugikan para pendaki karena kegiatan pendakian sedang berlangsung pada saat erupsi. Ada 74 korban jiwa terkait erupsi tersebut, termasuk 40 orang yang selamat, 12 luka-luka, dan 22 korban jiwa (BPBD Kabupaten Agam, 2023). Orang-orang di sekitar Gunung Marapi diminta untuk menahan diri dari aktivitas apa pun dalam jarak tiga kilometer dari puncaknya. Selain itu, pemakaian masker dan pengurangan kegiatan ekstrakurikuler disarankan untuk warga di empat kabupaten tetangga. Di puncak dan lereng Gunung Marapi, material vukanil dengan volume sekitar 500.000 m³ terakumulasi akibat letusan tersebut. Aliran lahar dingin dapat dihasilkan dari penumpukan material ini di puncak Gunung Marapi selama periode curah hujan yang tinggi.

Pada hari Minggu, 11 Mei 2024, semburan lahar yang sangat dingin dari Gunung Marapi melanda Kabupaten Agam dan daerah datar di sepanjang sungai yang membung di sana. Peristiwa tersebut berdampak signifikan terhadap Silaiang, menyebabkan Jalan Lintas Nasioanl roboh total, ratusan rumah rusak parah, 62 korban jiwa, dan 10 orang masih hilang (BPBD Provinsi Sumatera Barat, 2024). Semua puing-puing yang ada di aliran sungai di Gunung Marapi, yang juga dikenal sebagai Banjir Bandang atau Galodo, juga terbawa oleh banjir lahar yang dingin ini. Karena karakteristik fisik dan mekanik tanah, aktivitas galodo juga meningkatkan pergerakan tanah. Karena masalah ini, penulis berusaha meneliti nilai parameter tanah. Sungai Batang Jambu di kecamatan Nagari Sungai Jambu dan Lima Kaum yang mengalir di lereng Gunung Marapi Kabupaten Tanah Datar dipilih oleh penulis untuk penelitian ini. Kemudian sungai Batang Malanang pada daerah Panti kecamatan Rambatan, sungai Batang Bangkahan nagari Sungai Tarab. Sungai Batang Arau di nagari Andaleh, Sungai Talang di kota Padang Panjang yang hulunya di kabupaten Tanah Datar. Dan sungai Batang Anai di nagari Panyalaian kecamatan X Koto. Penelitian ini bertujuan untuk mengumpulkan karakteristik mekanik dan fisik tanah material galodo yang terdapat di lereng Gunung Marapi. Dari hasil nilai parameter tanah maka dapat menganalisis kemungkinan terjadinya bencana.

METODE

Pada Penelitian ini metode yang dipakai adalah eksperimen laboratorium yang masuk kedalam penelitian kuantitatif dimana angka sebagai alat menganalisis keterangan (Kasiram, 2008). Dimana pengujian eksperimen ini dapat mengetahui karateristik material tanah. Teknik pengumpulan data pada penelitian ini terdiri dari data primer yang di ambil dari lapangan dan data sekunder dari sumber lain yang berkaitan dengan topik (Hasan, 2002). Pengujian karateristik tanah berupa sifat fisis dan mekanis tanah yang diambil pada aliran Sungai yang berhulu di Gunung Marapi berupa tanah terganggu (*disturbed*). Jumlah variasi pengambilan sampel sebanyak 16 titik pada 7 lokasi, dengan jarak titik per 50 meter. Lokasi tersebut yaitu sungai Batang Jambu, Sungai Batang Malanang, sungai Batang Bangkahan, sungai Batang Arau, Sungai Talang dan Sungai Batang Anai. Hasil nilai parameter tanah tersebut dianalisis dengan potensi bencana yang akan terjadi. Lokasi pengambilan sampel disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel

Sumber: PVMBG (2006)

Pada pengujian sifat fisis tanah berupa pengujian berat jenis (SNI 1964, 2008) analisa saringan (SNI 3423, 2008), *atterberg limit* (SNI 1966, 2008) dan berat volume tanah (SNI 1970, 2008). Sedangkan untuk pengujian sifat mekanis tanah berupa pengujian kuat geser langsung (SNI 3420, 2016).

HASIL

Hasil Penelitian

Pengujian Sifat Fisis Tanah

Sifat fisis tanah yaitu sifat tanah yang berhubungan dengan bentuk, ukuran, warna dan bau tanah. Dibawah ini hasil pengujian berat jenis dan analisa saringan untuk seluruh lokasi penelitian serta klasifikasi tanah.

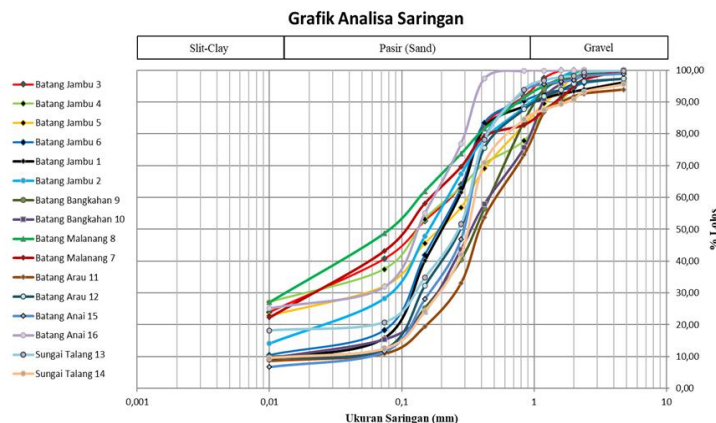
Tabel 1. Hasil Pengujian Sifat Fisis Tanah

No	Titik lokasi	Gs	Warna	Cu	Cc	Klasifikasi
1	Batang Jambu 1	2.67	Coklat Tua	14.21	3.30	SM
2	Batang Jambu 2	2.65	Coklat Tua	-	-	SC
3	Batang Jambu 3	2.67	Coklat Tua	27.00	6.26	SM
4	Batang Jambu 4	2.66	Coklat Tua	-	-	SC
5	Batang Jambu 5	2.66	Coklat Tua	-	-	SC
6	Batang Jambu 6	2.65	Coklat Tua	-	-	SM
7	Batang Malanang 7	2.66	Coklat Tua	-	-	SM
8	Batang Malanang 8	2.65	Coklat Tua	-	-	SC
9	Batang Bangkahan 9	2.67	Coklat Tua	18.80	2.91	SW
10	Batang Bangkahan 10	2.66	Coklat Tua	26.11	3.83	SW
11	Batang Arau 11	2.67	Abu-abu Muda	6.88	2.85	SW
12	Batang Arau 12	2.66	Abu-abu Muda	7.55	1.47	SW
13	Sungai Talang 13	2.66	Abu-abu Tua	10.29	3.01	SW
14	Sungai Talang 14	2.65	Abu-abu Tua	-	-	SM
15	Batang Anai 15	2.67	Abu-abu Tua	6.18	1.37	SW
16	Batang Anai 16	2.65	Abu-abu Tua	-	-	SM

Sumber: Data Olahan (2025)

Hasil klasifikasi tanah menurut berat jenis, warna, koefisien keseragaman (Cu), dan koefisien grading (Cc) ditunjukkan pada tabel 1. Kisaran nilai antara 2.65 dan 2.67 untuk berat jenis ditemukan, meliputi tanah pasir, lanau, dan lempung. Sungai Batang Jambu titik satu dan dua terletak di nagari Sungai Jambu kecamatan Pariangan. Untuk sungai Batang Jambu titik empat sampai dengan enam terletak di kecamatan Lima Kaum. Sungai Batang Malanang titik ketujuh dan kedelapan terletak di Panti kecamatan Rambatan. Batang Bangkahan titik sembilan dan sepuluh terletak di nagari Sungai Tarab. Sungai Batang Arau titik sebelas dan dua belas terletak di nagari Andaleh. Sungai Talang titik tiga belas dan empat belas terletak di kota Padang Panjang. Sedangkan sungai Batang Anai titik lima belas dan enam belas terletak di Nagari Panyalaian.

Diameter butir material halus (sedimen) akibat perpindahan sedimen inilah yang menyebabkan variasi nilai tersebut. Kemiringan, bentuk penampang sungai, dan kecepatan aliran puing-puing halus yang jenuh air di lereng gunung yang diangkut oleh air melawan gravitasi merupakan faktor-faktor dalam perpindahan sedimen ini. Karena sungai sudah landai dan laju alirannya melambat, material halus berupa lanau dan lempung akan terhenti di hilir, sedangkan material berukuran sedang akan mengendap lebih cepat. Di sisi lain, jumlah oksidasi dan besi dan mangan yang ada mempengaruhi warna. Uji analisis saringan dilakukan untuk mengetahui gradasi, diameter butir, bentuk, dan komposisi setelah uji berat jenis. Bagan analisis saringan untuk setiap lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Analisa Saringan Keseluruhan

Sumber: Data Olahan (2025)

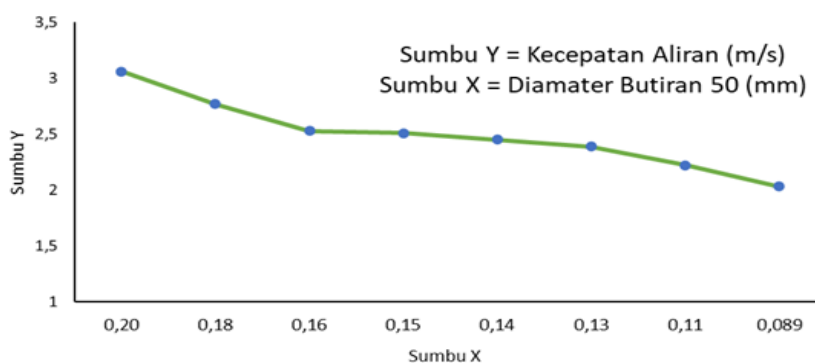
Gambar 2 memperlihatkan sebaran ukuran material halus pada enam belas lokasi di sepanjang sungai yang berhulu di Gunung Marapi. Dengan menghitung nilai koefisien keseragaman (c_u) dan koefisien gradasi (c_c), maka dapat menentukan apakah bahan halus tersebut memiliki gradasi yang baik atau buruk. Nilai koefisien keseragaman (c_u) dan koefisien gradasi (c_c) berlaku untuk setiap lokasi pada sungai Batang Jambu, sungai Batang Malanang, sungai Batang Bangkahan, Sungai Talang, dan sungai Batang Anai. Pada tanah pasir bergradasi baik, koefisien gradasi berkisar antara 1 hingga 3 dan koefisien keseragaman lebih dari 6 (Das, Sivakugan, 2019). Di sisi lain, sebagian besar butiran memiliki ukuran yang sama sehingga masuk kategori bergradasi buruk. Tanah dengan lebih dari dua bagian yang sama dianggap sebagai tanah bergradasi senjang. Penyebaran butiran dipengaruhi oleh kecepatan aliran, kemiringan sungai dan radius kawan sehingga memiliki karakteristik yang berbeda.

Pengujian Sifat Mekanis Tanah

Sifat mekanis tanah yaitu sifat tanah yang berkaitan dengan perilaku tanah terhadap gaya-gaya eksternal, seperti tekanan, tarikan dan gesekan. Parameter tanah yang berkaitan dengan sifat mekanis tanah meliputi kohesi, sudut geser dalam, modulus elastisitas, kekuatan tekan dan gesek. Nilai kohesi (c) untuk seluruh lokasi penelitian yaitu 0.029-0.071 Kg/cm². Sedangkan untuk nilai sudut geser dalam (ϕ) untuk seluruh lokasi penelitian ialah 26.57-37.77°. Parameter kohesi dan sudut geser dalam didapat dari pengujian kuat geser langsung (*direct shear*).

Pembahasan

Kemiringan sungai harus diketahui untuk menghitung hubungan antara kecepatan aliran dan diameter butiran. Menu profil ketinggian Google Earth Pro (*show evaluation profile*) menampilkan data kemiringan sungai. Hubungan antara kecepatan alur dan diameter butir ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Hubungan Kecepatan Aliran dan Diameter Butiran

Sumber: Data Olahan (2025)

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara kecepatan aliran dan diameter butir. Kecepatan aliran yang menghasilkan energi kinetik menentukan diameter butir. Banjir lahar dingin mengakibatkan peningkatan massa fluida sebesar 20%, dari 1 gr/cm³ menjadi 1,2 gr/cm³. Kemiringan sungai mempengaruhi nilai kecepatan; banjir lahar dingin yang mengalir dengan cepat ke hulu menuruni lereng gunung menciptakan kecepatan aliran yang sangat tinggi. Semua material yang lepas dan tidak kohesif akan disatukan oleh peningkatan energi kinetik. Energi potensial tercipta ketika batuan besar dari letusan terbawa arus. Energi kinetik akan tercipta juga dari energi potensial. Semakin banyak energi kinetik yang dihasilkan, semakin banyak kerusakan yang ditimbulkannya pada apa pun yang dilaluinya, termasuk penyangga jembatan, rumah, dan tebing sungai. Dengan menggunakan pendekatan Shields, penulis juga memperkirakan jumlah sedimen yang terus mengendap di lereng gunung dan di sepanjang aliran sungai setelah tragedi tersebut. Ketika kecepatan geser (U_*) melebihi kecepatan kritis sedimen (U_{*cr}) butiran material halus akan terbawa (Yahya et al., 2010). Selain itu, nilai tegangan menunjukkan pergerakan sedimen jika tegangan geser (τ_0) lebih tinggi dari tegangan kritis (τ_c) sedimen akan bergerak. Dengan demikian, pergerakan dan dispersi material dapat dikaitkan dengan faktor-faktor berikut: kecepatan aliran, kemiringan sungai, bentuk penampang, diameter butir, dan berat jenis butir.

Upaya Mitigasi Bencana

Setelah meneliti sifat mekanik dan fisik material galodo Gunung Marapi, teridentifikasi berbagai jenis tanah, antara lain tanah pasir, pasir berlempung dan tanah pasir berlanau. Energi potensial dihasilkan untuk material yang sangat besar, seperti batu dengan berat 200-900 kg dan diameter 2.8-4.3 m. Tanah pasir adalah tanah non-kohesif di mana material lepas dari letusan menumpuk di rongga di antara lereng gunung selama periode hujan lebat. Tekanan air pori meningkat ketika material lepas menjadi jenuh dengan air. Aliran puing akan muncul ketika material lepas mengalir dan tekanan air naik di atas titik tertentu (Andriani et al., 2024). Aliran puing akan tercipta dari kombinasi

dari aliran debris. Campuran tanah, batu, air, dan tumbuhan yang bergerak cepat menuruni lereng dan menghasilkan energi kinetik yang sangat besar. Apa pun yang melewatinya bisa dihancurkan. Karena kemiringan sungai, kecepatan aliran berdampak pada energi kinetik yang besar. Bencana akan terjadi jika energi ini masuk ke kawasan pemukiman dan merusak jalan raya, tiang jembatan, bangunan irigasi, bangunan umum, dan lahan pertanian. Suatu kejadian tidak dianggap sebagai bencana jika tidak mempengaruhi kehidupan atau sarana penghidupan manusia (Bari et al., 2023).

Gunung Marapi saat ini sedang dalam pemantauan dan masih berstatus waspada. Ada kemungkinan terjadi banjir lahar dingin di sungai yang mengalir pada lereng Gunung Marapi saat periode hujan lebat. Meskipun tidak dapat dicegah, bencana alam dapat dihindari dengan langkah-langkah mitigasi bencana. Tingkat risiko bencana menentukan pembagian wilayah kawasan rawan bencana (KRB). Ada dua jenis upaya mitigasi: struktural dan non-struktural (Pemerintah Indonesia, 2007). Karakteristik dan volume sedimen tanah galodo menjadi dasar pemilihan mitigasi bencana. Setiap aliran menghasilkan jumlah sedimen yang berbeda. Penurunan dasar sungai secara signifikan setelah bencana galodo, karena kecepatan alirannya yang sangat tinggi dan material bergradasi kasar. Karena sungai yang kecil dan jumlah sedimen yang terbatas, tidak semua sungai terdegradasi pada saat terjadi bencana galodo. Cek dam, sabo dam dan *groundsil* adalah contoh tindakan struktural (Dyah et al., 2016; Bambang et al., 2017; Rahayu et al., 2017; Rahmawati et al., 2021). Namun, tindakan non-struktural berupa sistem peringatan dini, larangan menetap di sepanjang tepi sungai, dan pendidikan kebencanaan (Mahdi et al, 2025).

SIMPULAN

Hasil analisis material galodo Gunung Marapi diklasifikasikan sebagai tanah pasir (SW), tanah pasir berlanau (SM), dan tanah pasir berlapung (SC). Nilai sifat fisis tanah yaitu berat jenis (2.65-2.67), berat isi (1.61-1.96 gr/cm³), batas cair (LL) 32.07-32.55%, batas plastis (PL) 23.38-23.82%, dan indeks plastisitas (IP) 8.25-9.17%. Nilai kohesi, yang mewakili sifat mekanik (0.029-0.071 kg/cm²). Nilai sudut geser dalam (26.57-37.77°). Tanah berpasir merupakan material galodo Gunung Marapi, bersifat tidak kohesif, partikel-partikelnya tidak saling menempel. Akan menjadi jenuh dan tekanan air pori akan meningkat ketika hujan deras turun selama periode tersebut sehingga menghasilkan energi kinetik dengan membentuk aliran debris dengan kecepatan tinggi. Energi potensial akan dihasilkan oleh batu-batu besar dan berubah menjadi energi kinetik. Energi kinetik yang tinggi akan menghancurkan apa pun yang dilaluinya, termasuk penyangga jembatan, rumah penduduk, dan tebing sungai. Salah satu strategi mitigasi yang dapat dilakukan yaitu melandaikan dasar sungai untuk menurunkan kecepatannya. Dengan bentuk struktural seperti cek dam, sabo dam dan *groundsil*. Solusi non-struktural yaitu edukasi kebencanaan, peringatan dini, dan larangan tinggal di sepanjang tepi sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, Bambang Istijono. (2024). *Strategi Teknik Pasca Bencana Untuk Pengelolaan Aliran Sampah Sungai Anai Di Jalan Nasional Lembah Anai Sumatera Barat Indonesia*. Jilid. 6(1) 2024: 365-379.
- Bambang, Cosmas Sukatja, Ardian, Alfianto. (2017). *Revitalisasi Sabo Dam Sebagai Pengendali Lahar*. Jurnal Teknik Hidraulik Vol. 8 No 1, Juni 2017.
- Bari, F., Istijono, B., Yuhendra, R., Hakam, A., Noer, M., & Ophiyandri, T. (2023). Potential debris flow after earthquake in mount Talamau Pasaman district and West Pasaman District. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1173 (1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1173/1/012069>.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Cara Uji Berat Jenis Tanah: SNI 1964:2008.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastis Tanah: SNI 1966:2008.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Cara Uji Analisa Saringan Ukuran Butir Tanah: SNI 3423:2008.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). Cara Uji Berat Isi Tanah: SNI 1970:2008.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *Metode Uji Kuat Geser Langsung Tanah Tidak Terkonsolidasi dan Tidak Terdrainase*: SNI 3420:2016.
- BPBD Kabupaten Agam. (2023). *Laporan Korban Jiwa Erupsi Gunung Marapi 22 Jenazah Meninggal Dunia*.
- BPBD Provinsi Sumatera Barat. (2024). *Laporan Bencana Erupsi Gunung Marapi Dan Banjir Galodo Gunung Marapi*.
- Das, Sivakugan. (2019). *Fundamental Of Geotechnical Engineering*. USA: Cengage Learning.
- Dyah, Restu Siam Pratiwi. (2016). *Perencanaan Sabo Dam Tipe Terbuka Sebagai Bangunan Pengendali Sedimen Gunung Semeru di Sungai Mujur Kabupaten Lumajang*. Surabaya: Respository ITS.
- Hasan, M. Iqbal. (2002). *Pokok-pokok Materi Metodologi Penelitian Dan Aplikasinya*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Kasiram, Moh. (2008). *Metodologi Penelitian Kualitatif*: UIN-Malang Pers.
- Mahdi, Istijono, B., Yossafra, Anas, IF., Hakam, A., Martanto, AB., Saputra, D., Andriani, Narny, Y., Al, GM., Fuad, SZ., Yuliet, Rina. (2025). Identifikasi dan Pemetaan Masalah di Nagari Pasca Bencana Erupsi Gunung Marapi di Sumatera Barat. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(2), 140-147.
- Pemerintah Indonesia. (2007). *Undang-Undang No. 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana*.

- Pusat Vulkanologi dan Mitigas Bencana Geologi. (2006). *Peta Kawasan Rawan Bencana Gunung Marapi*. <https://magma.esdm.go.id/v1/gunung-api/peta-kawasan-rawan-bencana>.
- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. (2023). *Laporan Erupsi Gunung Marapi Sumatera Barat*.
- Rahayu, Tanty, Suyanto, Solichin. (2017). Evaluasi Fungsi Bangunan Pengendali Sedimen (Cek Dam) Pengkol Berdasarkan Perubahan Tata Guna Lahan Kali Kedung Kabupaten Wonorejo. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*.
- Rahmawati, dkk. 2021. *Kajian Penempatan Lokasi Bangunan Pengendali Sedimen (Check Dam) DAS Tapin*. P-ISSN 1410-4202. E-ISSN 2580-8478.
- Yahya, Yushar Alfarobi. (2010). *Pengendalian Sedimentasi Di Saluran Irigasi Dengan Membangkitkan Arus Turbulensi*. Surabaya: Respository USM.