

Perencanaan Sabo Dam Di Kawasan Rawan Bencana Jorong Batang Silasih, Nagari Bukik Batabuah, Sumatera Barat

Halimatul Sa'diyah^{ID}, Selpa Dewi^{ID}, Zuheldi^{ID}
Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat
Bukittinggi, Indonesia

Abstrak. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh tingginya risiko banjir lahar dingin akibat aktivitas vulkanik Gunung Marapi di kawasan Jorong Batang Silasih, Nagari Bukik Batabuah, sehingga diperlukan perencanaan sabo dam sebagai upaya mitigasi bencana. Penelitian ini menggunakan metode kajian pustaka terkait sabo dam dan aliran sedimen serta analisis data hidrologi dan geomorfologi berdasarkan standar perencanaan teknis untuk mendukung perhitungan kapasitas tampung dan desain struktur bangunan pengendali lahar. Pengumpulan data dilakukan melalui survei lapangan dan pengumpulan data sekunder berupa curah hujan, topografi, erupsi gunung api, dan infrastruktur wilayah studi yang dianalisis menggunakan metode hidrologi dan perhitungan kapasitas sedimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit banjir kala ulang 25 tahun sebesar 173, 82 m³/detik dengan volume sedimen 38.837,60 m³, sehingga desain sabo dam tipe tertutup dengan tinggi 5 m, lebar pelimpah 11 m, serta stabilitas struktur memenuhi persyaratan teknik. Kesimpulan penelitian ini menunjukkan sabo dam efektif dalam menahan sedimen dan mengurangi laju aliran lahar, serta memberikan rekomendasi teknis bagi pemerintah daerah dalam pembangunan sarana mitigasi banjir lahar di wilayah rawan bencana.

Kata kunci: Sabo Dam; Banjir Lahar Dingin; Debit Banjir; Volume Sedimen; Mitigasi Bencana; Perencanaan Teknis

*Penulis yang sesuai: tulsadiyyah@gmail.com

1. Pendahuluan

Secara geografis, Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak di wilayah khatulistiwa. Negara ini berada di antara dua benua, yaitu Asia dan Australia, serta dua samudra, yaitu Pasifik dan Hindia. Selain itu, Indonesia juga berada dekat dengan tiga lempeng tektonik utama dunia, yang menjadikannya sangat rentan terhadap berbagai bencana alam. Posisi geografis ini berkontribusi

pada kerentanan Indonesia terhadap bencana, khususnya gempa bumi dan letusan gunung berapi (Ikhsan et al., 2024).

Bencana yang diakibatkan oleh aktivitas gunung berapi termasuk dalam kategori bencana geologi, salah satunya adalah banjir lahar dingin. Peristiwa banjir lahar dingin tercatat sudah dua kali terjadi dari tahun 2023 sampai 2024 yakni terjadi pada April dan Mei 2024 di Nagari Bukik Batabuah, Kecamatan Canduang. Banjir tersebut mengakibatkan 58 korban jiwa, 84 rumah hancur, dan juga kerusakan pada infrastruktur lainnya. Kejadian ini menunjukkan bahwa upaya mitigasi yang ada belum cukup efektif dalam melindungi masyarakat dari dampak banjir lahar dingin (Eka Putri, 2024).

Salah satu upaya mitigasi struktural yang dapat diterapkan adalah pembangunan sabo dam, yaitu bangunan penahan sedimen yang dirancang untuk mengendalikan aliran lahar. Moh. Dedi Munir menyatakan bahwa sabo dam tidak hanya berfungsi sebagai pengendali aliran lahar, tetapi juga memiliki potensi sebagai objek wisata yang edukatif. Namun, efektivitas sabo dam sangat bergantung pada perencanaan yang tepat, termasuk lokasi pembangunan, kapasitas tampung, dan desain struktural yang sesuai dengan kondisi setempat (Moh. Dedi Munir, 2019).

Telah banyak penelitian yang menganalisis perencanaan sabo dam sebagai upaya mitigasi bencana, seperti penelitian dari Devy Prasetyo, Medi Efendi, Ratih Indri Hapsari membahas tentang Perencanaan Sabo Dam Sebagai Alternatif Bangunan Pengendali Sedimen Di Gunung Pandan Sungai Tritik Kabupaten Nganjuk Jawa Timur, dari Melani Eka Putri, Ikhwan membahas tentang Analisis Dampak Banjir Lahar Dingin Gunung Marapi Sumatera Barat 2024, kemudian Agus Sumaryono, Djudi, Dyah Ayu Puspitosari membahas tentang Penerapan Teknologi Sabo Pada Sungai Sungai Di Wilayah Gunung Kelud Untuk Mengurangi Sedimentasi Waduk Wlingi.

(Prasetyo et al., 2024) meneliti tentang perencanaan bangunan pengendali sedimen yaitu sabo dam yang diharapkan dapat meminimalisir risiko banjir lahar sedimen pada Bendungan Semantok yang berada pada Kabupaten Nganjuk. (Eka Putri, 2024) meneliti tentang penyebab dari banjir lahar dingin dan mencari solusi mengenai masalah banjir tersebut. (Sumaryono et al., 2011) meneliti tentang cara menurunkan laju sedimentasi waduk yang sedimennya berasal dari Gunung Kelud yang mengalir ke waduk Wlingi. Dikarenakan belum adanya penelitian yang membahas tentang Perencanaan sabo dam sebagai upaya mitigasi bencana Gunung Marapi di Kawasan Jorong Batang Silasih, Nagari Bukik Batabuah, maka peneliti sangat tertarik untuk melakukan penelitian.

Tujuan penelitian ini adalah Mengestimasi volume sedimen dan debit aliran lahar dingin berdasarkan data historis dan analisis hidrologi untuk menentukan kapasitas yang diperlukan dalam perencanaan sabo dam serta Merancang desain teknis sabo dam yang optimal, mencakup lokasi strategis, kapasitas tampung, dan struktur bangunan yang sesuai dengan kondisi geomorfologi setempat.

Hipotesis dari penelitian ini adalah desain sabo dam yang dirancang berdasarkan analisis hidrologi, hidraulika, dan geomorfologi sungai dapat secara signifikan meningkatkan kapasitas pengendalian aliran sedimen dan lahar dingin di kawasan Jorong Batang Silasih serta simulasi aliran lahar dingin menggunakan

model HEC-RAS menunjukkan bahwa keberadaan sabo dam dapat memperlambat kecepatan aliran, meningkatkan pengendapan sedimen, dan mengurangi volume limpahan banjir di daerah hilir.

2. Metodologi

2.1 Lokasi Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilakukan di wilayah Jorong Batang Silasiah, Nagari Bukik Batabuah, Kecamatan Canduang, Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat. Lokasi ini dipilih karena merupakan daerah rawan bencana yang berpotensi mengalami banjir lahar akibat aktivitas Gunung Marapi.

2.2 Data Penelitian

2.2.1 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- a. Studi Literatur
Mengumpulkan data sekunder dari dokumen resmi, jurnal ilmiah, dan laporan teknis yang relevan dengan perencanaan sabo dam dan mitigasi bencana lahar dingin.
- b. Survei Lapangan
Melakukan observasi langsung di lokasi penelitian untuk mengumpulkan data primer mengenai kondisi topografi, infrastruktur, dan potensi jalur aliran lahar. Survei ini juga mencakup pengambilan koordinat menggunakan GPS dan dokumentasi visual.

2.3 Metode Analisis Data

2.3.1 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dilakukan untuk mengestimasi volume sedimen dan debit aliran lahar dingin berdasarkan data curah hujan dan data historis. Metode yang digunakan meliputi:

- a. Analisis Curah Hujan
Analisis curah hujan menggunakan metode *Isohyet* untuk menghitung curah hujan rata-rata daerah.
- b. Perhitungan Debit Banjir Rencana
Perhitungan debit banjir rencana menggunakan metode Gumbel Log-Pearson III, dan memilih distribusi terbaik berdasarkan uji kesesuaian.

2.3.2 Desain Sabo Dam

Desain teknis sabo dam yang optimal dirancang dengan mempertimbangkan lokasi, kapasitas tampung, dan struktur bangunan yang sesuai dengan kondisi geomorfologi setempat. Langkah-langkah yang dilakukan meliputi:

- a. Penentuan Tipe Sabo Dam
Penentuan tipe sabo dam memilih antara tipe terbuka (*slit*) atau tertutup (*check dam*) berdasarkan karakteristik aliran sedimen.
- b. Perhitungan Dimensi Sabo Dam

Perhitungan dimensi sabo dam menghitung tinggi, lebar, dan panjang sabo dam menggunakan rumus-rumus standar yang disesuaikan dengan debit rencana dan volume sedimen.

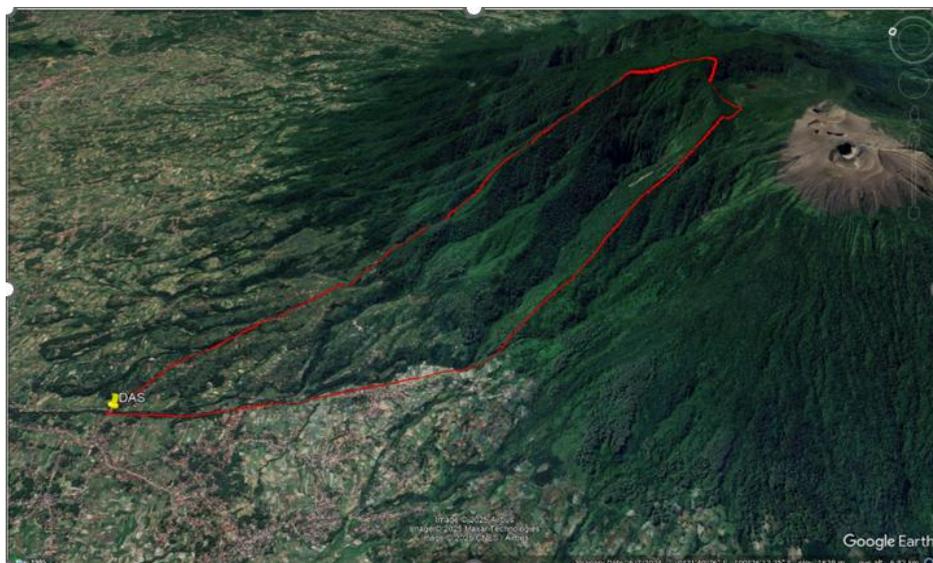
c. Evaluasi Stabilitas Struktur

Analisis stabilitas struktur melakukan analisis terhadap stabilitas geser, guling, dan daya dukung tanah untuk memastikan keamanan struktur sabo dam.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Data Wilayah Perencanaan

Wilayah yang direncanakan untuk pembangunan sabo dam terletak di Jorong Batang Silasih, Nagari Bukik Batabuah, Kecamatan Canduang, Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis, lokasi ini berada di lereng barat Gunung Marapi, yang merupakan salah satu gunung api aktif di Pulau Sumatera. Kawasan ini termasuk dalam kategori zona rawan bencana lahar dingin. Hal ini disebabkan oleh kondisi topografis dan geologis yang sangat rentan terhadap aliran material vulkanik, terutama pada musim hujan.



Gambar 1: Cathment Area

Koordinat geografis dari lokasi perencanaan adalah sebagai berikut:

a. Lintang Selatan (LS) : $\pm 0^{\circ} 20' 22''$ S

b. Bujur Timur (BT) : $\pm 100^{\circ} 24' 57''$ E

Secara topografi, wilayah ini didominasi oleh lereng terjal dengan kemiringan yang cukup tinggi. Lereng-lereng tersebut memfasilitasi pergerakan cepat material longsor maupun aliran permukaan yang membawa sedimen dari hulu ke hilir. Hal ini diperparah oleh tingginya intensitas curah hujan tahunan di Kawasan tersebut yang kerap memicu mobilitas material vulkanik sisa erupsi Gunung Marapi dalam bentuk aliran lahar dingin.

Dengan mempertimbangkan karakteristik topografi, geologi, hidrologi, serta potensi risiko bencana, perencanaan sabo dam di wilayah ini menjadi Langkah strategis dan sangat diperlukan dalam upaya mitigasi bencana lahar dingin serta perlindungan terhadap keselamatan masyarakat dan aset publik di wilayah terdampak.

Adapun pengukuran data tanah yang tersedia:

Lokasi Batang Silasiah

N-SPT	= 7
Kadar Air Normal (W)	= 38,67 - 39,52 %
Specific Gravity (GS)	= 2,6332 - 2,637
Wet Density (γ_t)	= 1,661 - 1,732 g/cm ³
Dry Density (γ_d)	= 1,288 - 1,297 g/cm ³
Void Ratio (e)	= 1,033 - 1,044
Permeability (k)	= 5,858 - 1,061 x 10 ⁻⁷ cm/detik

3.2 Data Hidrologi

3.2.1 Data Curah Hujan

Dalam analisis hidrologi, data yang paling penting adalah data curah hujan maksimum, yang diperoleh dari stasiun klimatologi yang berlokasi di sekitar area perencanaan pembangunan sistem sabo dam, atau dari stasiun yang secara representatif mencerminkan kondisi curah hujan di Daerah Aliran Sungai (DAS) di mana Sabo Dam direncanakan (Dewi & Mt, 2018).

3.2.2 Analisis Debit Aliran Renacan Lahar Dingin

Dalam analisis hidrologi, merupakan suatu kenyataan bahwa tidak semua nilai dari suatu variabel hidrologi berada tepat pada nilai rata-ratanya. Terdapat kemungkinan nilai-nilai tersebut lebih besar atau lebih kecil dari nilai rata-rata. Untuk mengetahui tingkat penyebaran data atau variasi nilai tersebut, dilakukan pengukuran dispersi melalui pendekatan parametrik statistik, yaitu dengan menghitung nilai dari $(X_i - X_n)$, $(X_i - X_n)^2$, $(X_i - X)^3$, $(X_i - X)^4$. Pengukuran dispersi ini bertujuan untuk mendukung analisis distribusi Normal dan distribusi Gumbel

Penjelasan mengenai notasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

X_i = besaran debit harian maksimum (m³/detik)

X_n = rata-rata debit harian maksimum tahunan (m³/detik)

Selanjutnya, untuk analisis distribusi *Log-Normal* dan *Log-Pearson Tipe III*, pengukuran dispersi dilakukan dengan terlebih dahulu menghitung parameter statistik berbasis logaritma, yaitu:

$(\log X_i - \log X_n)$, $(\log X_i - \log X_n)^2$, $(\log X_i - \log X_n)^4$.

Keterangan:

$\log X_i$ = Nilai logaritma dari debit harian maksimum (m³/detik)

$\log X_n$ = Nilai rata-rata logaritma dari debit harian maksimum (m³/detik)

3.3 Pemilihan Jenis Sebaran

Dalam ilmu statistik, terdapat berbagai jenis distribusi probabilitas yang umum digunakan, antara lain distribusi Normal, Gumbel, Log-Normal, dan Log-Pearson Tipe III untuk menentukan jenis distribusi yang paling sesuai dengan karakteristik data debit di lokasi penelitian, dilakukan analisis terhadap distribusi data tersebut. Penentuan distribusi yang tepat dilakukan melalui dua data pendekatan, yaitu metode analisis statistik dan metode grafis (plotting data).

Ketentuan dalam pemilihan distribusi untuk daerah studi tercantum dalam Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1: Pemilihan Distribusi Daerah Studi

Jenis	Kriteria	Hasil	Keterangan
Log Normal	$C_s = 3 C_v + C_v^2 =$	$C_s = 1$	Mendekati
	0,159	$C_v = 0,04$	Mendekati
	$C_v \sim 0,006$		
Log Pearson Type III	$C_s \# 0$	$C_s = 1$	Mendekati
	$C_v \sim 0,3$	$C_k = 0,04$	Mendekati
Gumbel	$C_s = 1,14$	$C_s = 0,393$	Mendekati
	$C_k = 5,4$	$C_k = 0,500$	Kurang

3.4 Perhitungan Debit Rencana Periode Ulang Tertentu

Perhitungan terhadap debit banjir rencana untuk periode ulang tertentu dalam penelitian ini dilakukan dengan menerapkan metode distribusi Log Normal. Pemilihan metode ini didasarkan pada analisis distribusi data yang menunjukkan kecocokan tertinggi. Sehingga rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\log Q_t = \log Q_{rt} + S \cdot K_t$$

Dengan keterangan:

Q_t = debit banjir rencana ($m^3/detik$)

Q_{rt} = debit rata-rata ($m^3/detik$)

S = simpangan baku (standar deviasi)

K_t = nilai variabel baku untuk periode ulang T tahun, yang diperoleh berdasarkan distribusi probabilitas Log Normal

Tabel 2. Data Debit Kala Ulang

Periode	C_s	Log Q_i	S	K_t	Log $Q = \log Q_i + S \cdot K_t$	$S \cdot \log Q_i$	Q $m^3/detik$
2	0	2.951	369.090	-0.22	-78.249	1089.185	-78.25
5	0	2.951	369.090	0.64	239.169	1089.185	239.17
10	0	2.951	369.090	1.26	468.004	1089.185	468.00
20	0	2.951	369.090	2.1	778.04	1089.185	778.04
50	0	2.951	369.090	2.75	1017.949	1089.185	1017.95
100	0	2.951	369.090	3.45	1276.312	1089.185	1276.312

3.5 Perencanaan Sabo Dam

Jenis material konstruksi yang direncanakan untuk digunakan pada pembangunan sabo dam adalah sebagai berikut:

- Struktur utama (main dam) dibangun menggunakan pasangan batu dengan komposisi mortar campuran 1 bagian semen Portland (PC) dan 4 bagian pasir (Psr). Pada bagian luar tubuh dam, ditambahkan lapisan pelindung berupa beton dengan perbandingan campuran 1 PC : 2 Psr : 3 Kerikil, dengan

ketebalan mencapai 40 cm. Lapisan beton ini berfungsi untuk melindungi permukaan dam dari benturan material batuan yang terbawa oleh aliran sedimen atau lahar.

- b. Tubuh Sub Dam direncanakan menggunakan jenis material dan komposisi yang sama seperti pada tubuh main dam, untuk menjaga keragaman struktur dan kekuatan bangunan. menggunakan pasangan batu dengan campuran mortar 1 bagian semen portland (PC) dan 4 bagian pasir (Psr). Pada area tertentu, digunakan lapisan plester dengan perbandingan 1 PC : 3 Psr setebal 2 cm, atau dilakukan penyiaran menggunakan campuran 1 PC : 2 Psr guna meningkatkan kekuatan ikatan antar batu. tubuh main dam, guna mempertahankan integritas struktur terhadap gaya erosi dari aliran air.
- c. Apron (Lantai Terjun) juga menggunakan material campuran yang identik dengan tubuh main dam, guna mempertahankan integritas struktur terhadap gaya erosi dari aliran air.
- d. Komponen pelengkap konstruksi, seperti dinding penahan dan saluran pelimpah, dirancang menggunakan pasangan batu dengan campuran mortar 1 bagian semen Portland (PC) dan 4 bagian pasir (Psr). Pada area tertentu, digunakan lapisan plester dengan perbandingan 1 PC : 3 Psr setebal 2 cm, atau dilakukan penyiaran menggunakan campuran 1 PC : 2 Psr guna meningkatkan kekuatan ikatan antar batu.

3.6 Kontrol Terhadap Penurunan

Penurunan (*Settlement*) pada bangunan sabo dam merupakan salah satu aspek penting yang harus di perhitungkan. Penurunan dapat terjadi akibat konsolidasi tanah dasar pondasi di bawah beban bangunan sabo dam dan material sedimen yang tertampung.

Tabel 3: Data penurunan Sabo Dam

Parameter	Nilai
Tinggi dam utama (H)	5 m
Tebal lapisan tanah lunak (H)	5 m
Berat jenis tanah (γ)	18 kN/m ³
Beban tambahan ($\Delta\sigma$)	90 kN/m ³
Tegangan awal (σ_0)	90 kN/m ³
Indeks kompresi (Cc)	0,25
Angka pori awal (e_0)	0,8

Menggunakan rumus:

$$S = \frac{C_c}{1 + C_c} \times H \times \log_{10} \left(\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} \right)$$

Perhitungan:

$$S = \frac{0,25}{1 + 0,8} \times 5 \times \log_{10} \left(\frac{90 + 90}{90} \right)$$

$$S = \frac{0,25}{1,8} \times 5 \times \log_{10}(2)$$

$$S = 0,1389 \times 5 \times 0,3010$$

$$S = 0,2091 \text{ m}$$

$$S = 209,1 \text{ mm}$$

3.7 Kapasitas Tampung

Berdasarkan hasil perhitungan, kapasitas tampungan sedimen pada sabo dam ditentukan dengan pendekatan volume ruang tampung di lokasi pengambilan data pada sungai di Jorong Batang Silasiah. Luas penampang melintang sedimen (L1) diketahui sebesar 1034,482 m³. Dengan mempertimbangkan lebar sungai (B) sebesar 15,75 m dan tinggi efektif penahan sedimen (H) sebesar 1,5 m. Maka volume total tampungan sedimen dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$V \text{ Tampung} = L1 \cdot B \cdot H$$

$$V_{\text{tampung}} = 1034,483 \cdot 15,75 \cdot 1,5$$

$$V_{\text{tampung}} = 24.439,661 \text{ m}^3$$

Debit sedimen (Q_s) pada aliran lahar Gunung Marapi dapat diasumsikan berdasarkan nilai referensi umum yang diperoleh dari studi lahar dingin di wilayah-wilayah vulkanik di Indonesia.

Sehingga asumsi umum untuk aliran lahar dingin seperti di Gunung Marapi, debit sedimen bisa mencapai:

Q_s = 1.000 - 5.000 m³/tahun (sangat tergantung musim hujan, erupsi, kemiringan dan erosi)

Hasil yang didapatkan:

Kategori Sedang (Q_s = 2.000 m³/tahun)

$$t = \frac{V_{\text{tampung}}}{Q_s}$$

$$t = \frac{24.439,661}{2.000}$$

$$t = 12,22 \text{ Tahun}$$

Kategori Berat (Q_s = 5.000 m³/tahun)

$$t = \frac{V_{\text{tampung}}}{Q_s}$$

$$t = \frac{24.439,661}{5.000}$$

$$t = 4,89 \text{ Tahun}$$

Jadi berdasarkan asumsi debit sedimen antara 2.000 - 5.000 m³/tahun maka Sabo dam akan penuh dalam waktu sekitar 5 hingga 12 tahun.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis estimasi volume sedimen dan debit aliran lahar dingin dihitung melalui data hidrologi dan data historis selama kurun waktu 15 hingga 20 tahun terakhir, dapat disimpulkan bahwa perencanaan kapasitas tampung sabo dam di Jorong Batang Silasiah telah memenuhi kebutuhan pengendalian aliran lahar dingin. Volume sedimen serta debit puncak banjir dengan periode ulang tertentu berhasil dihitung secara sistematis dan menjadi acuan dalam penentuan dimensi sabo dam yang optimal, menyesuaikan dengan kondisi geomorfologi daerah aliran sungai pada lokasi penelitian.

Perencanaan desain teknis sabo dam pada penelitian mengacu pada hasil analisis geomorfologi wilayah penelitian dan perhitungan stabilitas struktur bangunan. Desain sabo dam yang telah dirancang dinilai mampu menampung volume sedimen serta berfungsi efektif dalam mengurangi kecepatan aliran lahar dingin.

Dengan demikian, sabo dam dapat mengendalikan aliran sedimen secara optimal serta meminimalkan risiko kerusakan infrastruktur dan potensi korban jiwa di kawasan rawan bencana. Selain itu, desain struktur sabo dam yang dirancang juga telah memenuhi ketentuan teknis dengan mempertimbangkan aspek kekuatan struktur, kapasitas tampung, serta efisiensi pengendalian aliran lahar dingin.

5. Referensi

- Alfianto, A., et al (2020). Penerapan Teknologi Sabo Sebagai Penahan Laju Sedimentasi Pada Muara Danau Limboto. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 11(1), 1-14. <https://doi.org/10.32679/Jth.V11i1.609>
- Arfiani, D., & Hamid, M. (2020). " Analisis Stabilitas Dan Penurunan Sabo Dam Tipe Check Dam". *Jurnal Teknik Sipil UNAND*, 19 (3).
- Dewi, S., & Mt, S. T. (2018). *Menentukan Distribusi Representatif Frekuensi Curahan Hujan Harian Maksimum Dengan Metode histogram Dan Metode Parametik Di Provinsi Sumatera Barat*. 1. <http://jurnal.usu.ac.id/index.php/agroekoteknologi/article/view/58>
- Eka Putri, M. (2024). *Analisis Dampak Banjir Lahar Dingin G Unung Marapi Sumatera Barat 2024*.
- Ikhsan, J., et al (2024). Pemodelan Banjir Lahar Dingin di Daerah Vulkanis dengan Menggunakan SIMLAR. *Jurnal Konstruksi*, 22(2), 86-97. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.22-2.1632>
- Moh. Dedi Munir. (2019). *Bangunan Sabo Dam, Fungsi dan Potensinya Sebagai Pendukung*.
- Nugroho, R. W., et al (2024). Evaluasi Kapasitas Sungai Kuning Dalam Mengalirkan Banjir Lahar Dingin Pasca Erupsi Merapi Tahun 2010. *Journal On Education*, 06(02).
- Prasetyo, D., et al . (2024). Perencanaan Sabo Dam Sebagai Alternatif Bangunan Pengendali Sedimen Di Gunung Pandan Sungai Tritik Kabupaten Nganjuk Jawa Timur. In *Jos-Mrk* (Vol. 5, Issue 1). <http://jos-mrk.polinema.ac.id/>
- Sumaryono, A., et al. (2011). Penerapan Teknologi Sabo Pada Sungai Sungai Di Wilayah Gunung Kelud Untuk Mengurangi Sedimentasi Waduk Wlingi. In *Jurnal Sumber Daya Air* (Vol. 7, Issue 1).
- Yudistira, Y., & Chandra, D. (2025). Tingkat Partisipasi Masyarakat Dalam Mitigasi Bencana Di Kawasan Rawan Bencana Gunung Marapi Di Nagari Batu Palano Kecamatan Sungai Pua Kabupaten Agam. *Tsaqofah*, 5(1), 743-751. <https://doi.org/10.58578/Tsaqofah.V5i1.4599>