

ANALISA TIMBUNAN MORTAR BUSA PENGGANTI TIMBUNAN TANAH PADA LONGSORAN**Irvon Dasrah¹, Edison H. Manurung², Alip Prajoko³**¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mpu Tantular² Dosen Mata Kuliah Seminar Proposal Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mpu Tantular³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mpu TantularEmail: edisonmanurung2010@yahoo.com, Alip.mputantular@gmail.com, dasrahirvon@gmail.com**Abstract**

Landslides on slopes are often exacerbated by the use of conventional embankment materials with high unit weight, which increase the load and reduce slope stability. This study aims to analyze the effectiveness of using foam mortar as a lightweight fill alternative compared to conventional soil fill in landslide-prone areas. The analysis covers aspects such as construction time, cost efficiency, and ease of field implementation. The research method includes literature review and field data collection relevant to slope stabilization. This study also identifies the advantages and limitations of each fill material in terms of mechanical, hydrological, and long-term sustainability aspects. The expected outcomes include academic contributions through the enrichment of geotechnical knowledge on lightweight materials like foam mortar, as well as practical benefits in the form of technical recommendations for civil engineers, project planners, and policymakers. Ultimately, this study aims to provide a solid technical and economic basis for selecting optimal embankment materials in slope rehabilitation projects, especially those located on soft or water-saturated soils.

Abstrak

Longsor pada lereng seringkali diperparah oleh penggunaan material timbunan konvensional yang memiliki berat jenis tinggi, sehingga menambah beban tanah dan menurunkan stabilitas lereng. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penggunaan mortar busa sebagai alternatif timbunan ringan dibandingkan dengan timbunan tanah konvensional pada area longsor. Analisis dilakukan dari segi waktu pelaksanaan, efisiensi biaya, serta kemudahan implementasi di lapangan. Metode yang digunakan meliputi studi pustaka dan pengumpulan data lapangan yang relevan. Penelitian ini juga mengevaluasi keunggulan dan keterbatasan masing-masing material ditinjau dari aspek mekanis, hidrologis, dan keberlanjutan jangka panjang. Hasil yang diharapkan meliputi kontribusi akademis berupa pengayaan literatur di bidang geoteknik terkait penggunaan mortar busa, serta manfaat praktis berupa rekomendasi teknis bagi perencana dan pelaksana proyek infrastruktur di daerah rawan longsor. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pertimbangan dalam pemilihan material timbunan yang optimal, baik secara teknis maupun ekonomis, pada proyek stabilisasi lereng di atas tanah lunak atau jenuh air.

Article History*Submitted: 4 Juli 2025**Accepted: 7 Juli 2025**Published: 8 Juli 2025***Key Words***Foam Mortar, Lightweight Fill, Slope Stability, Landslide, Cost Efficiency, Geotechnical Engineering***Sejarah Artikel***Submitted: 4 Juli 2025**Accepted: 7 Juli 2025**Published: 8 Juli 2025***Kata Kunci***Mortar Busa, Timbunan Ringan, Stabilitas Lereng, Longsor, Efisiensi Biaya, Rekayasa Geoteknik***Pendahuluan**

Perub Tanah longsor merupakan salah satu bencana geoteknik yang kerap terjadi di wilayah bertopografi curam dan memiliki kondisi tanah yang tidak stabil. Fenomena ini tidak hanya mengakibatkan kerusakan infrastruktur, tetapi juga membahayakan keselamatan jiwa serta mengganggu aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat. Dalam upaya mitigasi dan penanganan longsor, salah satu metode yang lazim diterapkan adalah penimbunan kembali lereng untuk mengembalikan kestabilan dan fungsionalitasnya. Material timbunan yang umum digunakan hingga saat ini adalah tanah lokal atau hasil galian di sekitar lokasi proyek. Meskipun terjangkau secara biaya dan tersedia secara lokal, timbunan tanah memiliki sejumlah kekurangan seperti berat jenis yang tinggi, pemadatan yang tidak seragam, serta ketahanan

yang rendah terhadap infiltrasi air dan erosi. Hal ini menyebabkan potensi ketidakstabilan yang lebih tinggi, terutama pada lereng dengan tanah dasar lunak atau lempung jenuh air (Mamat et al., 2019).

Selain itu, pada kasus tertentu, penggunaan timbunan berat justru mempercepat deformasi lateral serta penurunan daya dukung lereng, yang pada akhirnya meningkatkan risiko longsor lanjutan (Rahardjo et al., 2023). Sebagai alternatif, perkembangan teknologi konstruksi geoteknik telah memungkinkan penggunaan material ringan seperti mortar busa (foam mortar) sebagai material timbunan. Mortar busa merupakan hasil campuran antara semen, air, dan *foam agent* yang menghasilkan material berongga dengan densitas rendah. Karakteristiknya yang ringan, stabil secara bentuk, mudah diaplikasikan, dan memiliki daya tahan terhadap air dan pelapukan menjadikan mortar busa sangat sesuai untuk diterapkan di wilayah rawan longsor (Jaehong dan Kang, 2024). Penambahan lapisan ringan seperti geofom dalam simulasi PLAXIS 2D pada lereng dengan tanah silty clay mampu meningkatkan faktor keamanan dari 1,0 menjadi 1,9 dalam kondisi *drained*, menunjukkan korelasi langsung antara pengurangan berat timbunan dengan peningkatan kestabilan (Hairunnisa dan Sudjatmiko, 2025). Aplikasi lapangan dari teknologi ini juga menunjukkan hasil yang efektif.

Hal ini memperkuat gagasan bahwa penggunaan material ringan dalam penanganan lereng longsor tidak hanya unggul secara teknis, tetapi juga secara ekonomis dan praktis. Oleh karena itu, diperlukan kajian komparatif untuk menganalisis perilaku geoteknik antara timbunan mortar busa dengan timbunan tanah konvensional pada lereng yang mengalami longsor. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan rekomendasi yang lebih efektif dan efisien dalam pemilihan material timbunan, baik dari aspek teknis (kestabilan lereng) maupun ekonomis (biaya dan durasi konstruksi).

Metode Penelitian

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam bentuk pemodelan numerik berbasis data sekunder yang berasal dari wilayah dengan karakteristik tanah lunak dan memiliki histori kegagalan lereng akibat beban timbunan. Lokasi yang dipilih sebagai acuan studi kasus adalah STA 0+200 Jalan Batu Ampar – Ma.Wahau, yang secara geografis terletak di wilayah Kecamatan Ma. Wahau, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur.

Wilayah ini dipilih karena memiliki:

- Topografi curam dengan kemiringan lereng alami mencapai 45–70°;
- Jenis tanah dominan berupa lempung jenuh (soft clay) dengan plastisitas tinggi dan kohesi rendah, yang sangat rentan terhadap penurunan dan longsor;
- Tanah di daerah ini, yaitu jalan dari Batu Ampar – Ma.Wahau berupa lempung jenuh (soft clay), dan banyak terdapat titik longsor.

Selain itu, lokasi ini relevan secara teknis karena menyediakan parameter tanah aktual seperti nilai kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan tekanan air pori (u), serta dokumentasi geometri lereng yang dapat dijadikan basis pemodelan.

Waktu penelitian dilaksanakan selama periode:

- April 2025: Penetapan lokasi, penyusunan kerangka studi, dan pengumpulan pustaka.
- Mei–Juni 2025: Pengumpulan dan validasi data sekunder dari laporan proyek, serta penyesuaian parameter teknis.
- Juli 2025: Analisis hasil, interpretasi data, penyusunan kesimpulan dan rekomendasi.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif berbasis simulasi numerik, Fokus utama penelitian adalah menganalisis dan membandingkan kestabilan lereng dengan dua jenis material timbunan: tanah biasa dan mortar busa, pada kondisi tanah dasar lunak dan jenuh air.

Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini termasuk dalam kategori eksperimental numerik komparatif, yaitu membandingkan dua kondisi variabel bebas (jenis timbunan) terhadap hasil variabel terikat (faktor keamanan lereng, distribusi tegangan, dan deformasi vertikal). Metode ini sangat cocok untuk studi geoteknik karena memungkinkan replikasi kondisi tanah yang kompleks tanpa perlu eksperimen lapangan yang mahal dan berisiko.

Data yang Digunakan

Penelitian menggunakan data sekunder dari laporan geoteknik dan studi terdahulu. Jenis data yang dikumpulkan mencakup:

1. Data Geoteknik Tanah Dasar:

- o Tipe tanah: lempung lunak (soft clay) dan silty clay.
- o Berat isi basah (γ): 18–19 kN/m³.
- o Kohesi (c): 8–15 kPa.
- o Sudut geser dalam (ϕ): 12–18°.
- o Modulus elastisitas (E): 8000–12000 kN/m².
- o Koefisien permeabilitas (k): $< 1 \times 10^{-7}$ m/s.

2. Data Material Timbunan:

- o Tanah biasa: $\gamma = 18,5$ kN/m³; $c = 10$ kPa; $\phi = 15^\circ$.
- o Mortar busa: $\gamma = 8-12$ kN/m³; $c = 20-25$ kPa; $\phi = 30-35^\circ$ (tergantung rasio semen-air dan volume udara); modulus elastisitas 15.000–25.000 kN/m².

3. Geometri Lereng:

- o Tinggi lereng: 5-10 meter.
- o Kemiringan: 2V : 1H ($\pm 63^\circ$).
- o Panjang lereng: 45 meter.
- o Lebar puncak dan kaki lereng disesuaikan dengan kasus rencana jalan.

Kriteria Evaluasi

Untuk menilai performa masing-masing timbunan, digunakan beberapa kriteria:

- FoS ≥ 1.25 sebagai batas aman menurut SNI 8460:2017.
- Penurunan vertikal < 5 cm sebagai ambang batas deformasi tolerabel untuk timbunan jalan ringan (berdasarkan studi Atamini & Moestofa, 2018).
- Distribusi tegangan lateral minimal sebagai indikasi stabilitas massa tanah di bawah timbunan.

Metodologi ini diharapkan mampu menjawab secara kuantitatif efektivitas penggunaan mortar busa sebagai alternatif material timbunan ringan yang dapat meningkatkan kestabilan lereng, terutama pada proyek konstruksi di area dengan tanah dasar lunak dan curah hujan tinggi.

Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan komponen penting dalam perancangan metode ilmiah karena menentukan arah analisis serta validitas hubungan kausal antara faktor yang diuji dengan hasil yang diamati. Dalam penelitian ini, variabel dibagi ke dalam tiga kategori utama, yaitu variabel bebas (independen), variabel terikat (dependen), dan variabel kontrol (konstan). Penjelasan masing-masing kategori adalah sebagai berikut:

1. Variabel Bebas (Independen)

Variabel bebas adalah variabel yang dimanipulasi atau dibedakan dalam penelitian ini dengan tujuan untuk melihat dampaknya terhadap variabel terikat. Dalam konteks analisa stabilitas lereng dengan dua jenis timbunan, variabel bebas dalam penelitian ini meliputi:

a. Jenis Material Timbunan

- Timbunan tanah konvensional, yaitu tanah lokal (Wahau) yang umum digunakan di lapangan seperti tanah lempung, lanau, atau campuran pasir-

lempung. Material ini digunakan sebagai representasi metode tradisional dalam penanganan lereng longsor.

- Timbunan mortar busa (foam mortar), yaitu material ringan yang terdiri atas campuran semen, air, dan agen pembentuk busa. Mortar busa memiliki berat jenis yang jauh lebih ringan dibanding tanah biasa dan memiliki potensi dalam meningkatkan stabilitas lereng melalui pengurangan beban vertikal (Jeong dan Kang, 2024; Rahardjo et al., 2023).

b. Sifat Fisik Material

Setiap jenis material timbunan memiliki sifat mekanik yang berbeda dan akan diuji terhadap pengaruhnya pada kestabilan lereng, termasuk:

- Berat jenis (γ)
- Kohesi (c)
- Sudut geser dalam (ϕ)
- Permeabilitas (k)

Sifat-sifat ini menjadi input utama dalam simulasi analisis stabilitas lereng menggunakan metode elemen hingga atau metode keseimbangan batas.

c. Geometri Timbunan dan Lereng

- Tinggi timbunan: Misalnya 5 m, 10 m, atau lebih, tergantung pada konfigurasi model.
- Sudut kemiringan lereng: 1:1.5, 1:2, atau 1:3, yang secara langsung memengaruhi gaya geser dan daya dukung lereng.

2. Variabel Terikat (Dependen)

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh perubahan pada variabel bebas dan menjadi indikator keberhasilan atau efektivitas dari perlakuan yang diberikan. Dalam penelitian ini, variabel terikat meliputi:

a. Faktor Keamanan Lereng (Safety Factor – SF)

Merupakan indikator utama dalam evaluasi stabilitas lereng. Nilai faktor keamanan dihitung melalui analisis numerik dengan perangkat lunak seperti PLAXIS atau Slide. $SF > 1,25$ biasanya dianggap memenuhi standar keamanan berdasarkan SNI 8460:2017. Studi oleh Hairunnisa & Sudjarmiko (2025) menunjukkan bahwa faktor keamanan meningkat dari 1,0 menjadi 1,9 dengan penggunaan material ringan.

b. Besar Deformasi Lateral dan Vertikal (Settlement dan Lateral Movement)

Analisis ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar pergerakan massa tanah akibat beban timbunan. Material ringan seperti mortar busa diharapkan menghasilkan deformasi yang lebih kecil dibanding timbunan tanah biasa.

c. Efektivitas Penurunan Tekanan Air Pori (u)

Pada material berat, tekanan air pori yang tinggi dapat memicu kegagalan geser. Mortar busa, dengan permeabilitas rendah dan bobot ringan, diharapkan menghasilkan tekanan air pori yang lebih kecil, sehingga meningkatkan stabilitas.

d. Efisiensi Konstruksi (jika dibandingkan)

Waktu pelaksanaan dan kemudahan aplikasi juga bisa menjadi variabel tambahan yang diamati secara kualitatif, terutama jika penelitian dikombinasikan dengan data lapangan atau observasi praktik pembangunan.

3. Variabel Kontrol (Konstan)

Variabel kontrol adalah variabel yang dijaga tetap atau konstan selama seluruh proses penelitian agar hasil yang diperoleh benar-benar dipengaruhi oleh perlakuan terhadap variabel bebas saja. Variabel kontrol dalam penelitian ini antara lain:

a. Kondisi Tanah Dasar

Tanah dasar atau substrat diasumsikan memiliki jenis dan sifat mekanik yang sama untuk seluruh model simulasi (misalnya, lempung jatuh air dengan c dan ϕ tertentu).

b. Metode Analisis

Semua skenario dianalisis dengan perangkat lunak dan pendekatan teknik yang sama (misalnya metode elemen hingga dalam PLAXIS 2D), agar hasilnya dapat dibandingkan secara adil.

c. Beban Lalu Lintas atau Beban Atas

Jika disimulasikan, beban lalu lintas dijaga tetap pada setiap skenario (misalnya beban 25 kPa seperti dalam SNI 8460:2017).

d. Curah Hujan atau Infiltrasi (dalam simulasi statis)

Untuk menjaga konsistensi analisis, kondisi cuaca atau infiltrasi air diasumsikan tetap jika tidak dilakukan simulasi dinamis berbasis iklim.

Dengan mengatur dan mengontrol variabel secara sistematis, penelitian ini dapat membandingkan secara objektif performa timbunan mortar busa dan timbunan tanah konvensional terhadap stabilitas lereng yang rawan longsor. Pendekatan ini tidak hanya menghasilkan data yang valid dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah, tetapi juga memberikan dasar rekomendasi teknik yang kuat untuk implementasi di lapangan.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan langkah penting dalam proses penelitian karena menentukan kualitas dan ketepatan analisis yang akan dilakukan. Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan data dilakukan secara gabungan antara studi literatur, pengumpulan data sekunder, data laboratorium, serta pemodelan numerik berbasis perangkat lunak geoteknik. Setiap pendekatan disesuaikan dengan kebutuhan analisis perbandingan performa timbunan tanah dan mortar busa terhadap stabilitas lereng.

Adapun teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi Literatur dan Kajian Teoritis

Studi literatur dilakukan sebagai dasar untuk memahami teori-teori dan hasil-hasil penelitian terdahulu terkait stabilitas lereng, karakteristik mortar busa, serta kegagalan timbunan tanah. Literatur diperoleh dari:

- Jurnal ilmiah terindeks nasional dan internasional (Scopus, ScienceDirect, Google Scholar).
- Buku-buku geoteknik dan mekanika tanah, seperti *Soil Mechanics*, *Geotechnical Engineering*, dan *Slope Stability Analysis*.
- Laporan teknis dari proyek-proyek infrastruktur terkait rehabilitasi lereng.

Tujuan studi literatur adalah untuk:

- Menentukan parameter-parameter fisik dan mekanik tanah dan mortar busa.
- Menyusun batasan perbandingan antar material.
- Memvalidasi hasil simulasi dengan referensi empiris.

2. Data Sekunder

Data sekunder dikumpulkan dari berbagai sumber yang relevan, di antaranya:

- Data geoteknik dan laboratorium dari studi terdahulu atau instansi seperti Dinas PU, kontraktor, atau konsultan proyek.

- Hasil uji laboratorium tanah seperti:
- Uji kadar air (water content)
- Uji berat jenis (specific gravity)
- Uji triaxial UU/CD/CI
- Uji geser langsung (direct shear)
- Data karakteristik mortar busa dari pabrikasi atau penelitian sebelumnya: densitas basah dan kering, flowability, compressive strength, dll.

Data ini digunakan untuk menentukan nilai-nilai parameter input simulasi seperti:

- Berat jenis (γ)
- Kohesi (c)
- Sudut geser dalam (ϕ)
- Permeabilitas (k)
- Modulus elastisitas dan rasio Poisson (untuk pemodelan numerik)

3. Simulasi Numerik dan Pemodelan Komputasional

Karena penelitian ini bersifat komparatif dan sebagian besar berbasis analisis simulatif, maka data juga dikumpulkan melalui pemodelan menggunakan perangkat lunak geoteknik.

Proses ini meliputi:

a. Pembuatan Model Lereng

Model dibuat dengan konfigurasi lereng aktual berdasarkan data lapangan atau kondisi asumsi representatif (misalnya kemiringan 1:2 dan tinggi timbunan 10 m).

b. Penerapan Parameter Material

Setiap model diberi parameter yang berbeda sesuai jenis material:

- Model 1: timbunan tanah konvensional
- Model 2: timbunan mortar busa (ringan)

c. Analisis Stabilitas

Dilakukan menggunakan perangkat lunak seperti:

- PLAXIS 2D (Finite Element Method) untuk melihat distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan.

d. Pengumpulan Output Data

Hasil dari simulasi meliputi:

- Nilai *Safety Factor*
- Pola *shear strain* dan *total displacement*
- Distribusi tekanan air pori (jika model dikondisikan jenuh)

Simulasi berbasis perangkat lunak ini mengacu pada metode serupa yang dilakukan oleh Hairunnisa & Sudjarmiko (2025), di mana penggunaan material ringan mampu meningkatkan faktor keamanan lereng secara signifikan.

4. Dokumentasi Visual dan Analisis Banding

Setelah data kuantitatif diperoleh, dilakukan:

- Pembuatan grafik perbandingan antara kedua jenis timbunan (misalnya: grafik SF vs jenis timbunan, deformasi vs beban).
- Visualisasi kontur deformasi dan tegangan dari hasil simulasi.
- Analisis naratif untuk menjelaskan perbedaan hasil dan implikasinya terhadap kestabilan lereng.

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dirancang secara komprehensif untuk menjamin akurasi analisis komparatif antara timbunan tanah dan mortar busa. Dengan menggabungkan pendekatan teoritis, data sekunder, serta simulasi numerik berbasis perangkat lunak, hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis yang valid dan aplikatif terhadap penanganan lereng longsor di lapangan.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data merupakan tahapan penting dalam proses penelitian untuk mengolah, menginterpretasikan, dan menarik kesimpulan dari data yang telah dikumpulkan sebelumnya. Dalam penelitian ini, teknik analisis data disusun secara sistematis untuk mengevaluasi pengaruh jenis material timbunan—antara mortar busa dan tanah konvensional—terhadap stabilitas lereng melalui pendekatan kuantitatif berbasis simulasi numerik.

Analisis dilakukan melalui tahapan berikut:

1. Analisis Deskriptif Awal

Langkah pertama dilakukan dengan analisis deskriptif terhadap karakteristik material timbunan yang digunakan. Data yang dianalisis mencakup:

- Berat jenis (γ)
- Kohesi (c)
- Sudut geser dalam (ϕ)
- Permeabilitas (k)
- Modulus elastisitas (E)
- Rasio Poisson (ν)

Nilai-nilai ini diperoleh dari data sekunder, studi literatur, atau hasil laboratorium yang telah dijelaskan dalam subbab sebelumnya (3.4). Tujuan dari analisis ini adalah untuk memastikan bahwa parameter input yang digunakan dalam simulasi numerik realistis, representatif, dan sesuai dengan kondisi tanah atau material ringan yang diteliti. Nilai-nilai parameter ini kemudian diklasifikasikan berdasarkan jenis timbunan yang digunakan (tanah konvensional vs mortar busa).

2. Analisis Simulasi Numerik (PLAXIS/Slide)

Analisis inti dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak numerik seperti PLAXIS 2D (untuk metode elemen hingga/FEM) dan Slide 2 atau GeoStudio (untuk metode keseimbangan batas/LEM).

Langkah-langkah analisis meliputi:

a. Pembuatan Model Geometrik

Model lereng dibuat dengan konfigurasi yang konsisten, meliputi tinggi lereng, sudut kemiringan, dan kondisi batas yang sama. Model dibagi menjadi dua skenario utama:

- Model A: Menggunakan timbunan tanah konvensional.
- Model B: Menggunakan timbunan mortar busa (ringan).

b. Input Parameter Geoteknik

Parameter dari masing-masing material dimasukkan sesuai hasil analisis deskriptif. Parameter ini akan berpengaruh langsung terhadap hasil simulasi dalam bentuk gaya-gaya internal, deformasi, dan stabilitas.

c. Analisis Stabilitas Lereng

- Pada PLAXIS, digunakan teknik Strength Reduction Method (SRM) untuk memperoleh nilai Faktor Keamanan (SF). SRM dilakukan dengan mengurangi parameter kekuatan geser tanah (c dan ϕ) secara bertahap hingga mencapai kondisi gagal.
- Pada Slide/GeoStudio, digunakan metode keseimbangan batas seperti Janbu, Bishop Simplified, atau Spencer untuk validasi SF.

d. Evaluasi Output

Output yang dianalisis dari simulasi meliputi:

- Nilai Safety Factor (SF) pada setiap skenario.
- Pola deformasi lereng (horizontal dan vertikal).
- Distribusi tegangan dan regangan.

- Zona keruntuhan potensial (failure zone) yang terlihat melalui kontur *total displacement* dan *shear strain*.

3. Visualisasi Data

Untuk memperkuat penyampaian hasil analisis, dilakukan pembuatan grafik dan gambar teknis berupa:

- Grafik perbandingan Safety Factor antar material.
- Diagram deformasi vertikal dan horizontal lereng.
- Gambar kontur distribusi tegangan dan regangan dari PLAXIS.
- Tabel komparatif parameter input dan output.

Visualisasi ini akan digunakan dalam bab hasil dan pembahasan serta presentasi seminar, sehingga memperjelas temuan dan mendukung argumentasi teknis.

4. Penarikan Kesimpulan Teknik dan Rekomendasi

Tahap akhir dari analisis data adalah menyimpulkan performa relatif antara kedua jenis timbunan, dan menyusun rekomendasi teknis berdasarkan hasil numerik. Rekomendasi disesuaikan dengan:

- Nilai keamanan minimum (mengacu SNI 8460:2017).
- Efisiensi struktural dan waktu.
- Potensi penerapan di proyek nyata, khususnya di daerah rawan longsor.

Teknik analisis data dalam penelitian ini menggabungkan pendekatan kuantitatif berbasis numerik dengan analisis perbandingan yang terstruktur. Penggunaan perangkat lunak teknik sipil seperti PLAXIS dan Slide memungkinkan pemodelan realistik terhadap kondisi lapangan, sementara analisis perbandingan memberikan dasar yang kuat untuk menyimpulkan efektivitas mortar busa sebagai material alternatif dalam stabilisasi lereng.

Daftar Pustaka

- Arsila Hairunnisa & Eddy Triyanto Sudjatomiko (2025). Analisis Perbandingan Stabilitas Lereng Tanggul Menggunakan Geofom. **Jurnal: Presunive Civil Engineering Journal**, Vol. 3(1), hlm. 40–56, April 2025
- Che Mamat, R. C.; Kasa, A.; Mohd Razali, S. F. (2019). Tinjauan stabilitas tanggul jalan pada tanah lunak: permasalahan dan prospek masa depan, 20(2), 32–56. DOI 10.31436/iiumej.v21i1.996
- Dae-Hong Kang, Jaehong Kim (2024). *Development of Eco-Friendly Soil Improvement Agent for Enhanced Slope Stability and Erosion Control in Urban Areas*
- El-kady, M. S., Farouk, E., Ounaies, W., & Bashir, M. T. (2021). Finite element slope stability analysis by geofom technique. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 10(2). ISSN 2277-8616.
- Hamdan Atamini & Benny Moestafa (2023). Evaluasi Stabilitas dan Penurunan antara Timbunan Ringan Mortar Busa dibandingkan dengan Timbunan Pilihan pada Oprit Jembatan Flyover Antapani, Bandung.
- Hariato Rahardjo, Qian Zhai, Alfrendo Satyanaga, Yangyang Li, Saranya Rangarajan, Arezoo Rahimi (2023). *Slope susceptibility map for preventive measures against rainfall-induced slope failure*, *Urban Lifeline*, Vol. 1(1), Article 5. DOI: 10.1007/s44285-023-00006-9
- Hariato Rahardjo, Yangyang Li, Alfrendo Satyanaga (2023). *The importance of unsaturated soil properties in the development of slope susceptibility map for Old Alluvium in Singapore*, E3S Web of Conferences (UNSAT 2023, Milos, April 2023). DOI: 10.1051/e3sconf/202338206009
- Li DX, Li L, Cheng YM, Hu J, Lu SB, Li CL, Meng KQ (2022). *Reservoir slope reliability analysis under water level drawdown considering spatial variability and degradation of*

soil properties. Jurnal: Computers and Geotechnics, Volume 151, Article 104947 (2022)

Subowo, E (2003) *Pengenalan Gerakan Tanah*. Bandung: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (DESDM).

X. Cai, Esaki Tetsuro, Guoyun Zhou, Yasuhiro Mitani (2003). *Geographic Information Systems-Based Three-Dimensional Critical Slope Stability Analysis and Landslide Hazard Assessment, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 129(12), Desember 2003*