

Analisis Stabilitas Lereng menggunakan Dinding Penahan Tanah dengan Perkuatan Mortar Busa

Dede Irham Arief^{*1}, Suci Amalia Namira Wahidin²

Submit:
9 Maret 2026

Review:
11 Maret 2026

Revised:
20 April 2026

Published :
8 Mei 2026

^{*1} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palu, Indonesia, dedearf96@gmail.com¹

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia, scnamira@untad.ac.id²

^{1*} Corresponding Author: dedearf96@gmail.com

Abstrak

Longsor merupakan salah satu bencana geologi yang sering terjadi di wilayah dengan kondisi topografi curam dan curah hujan tinggi, seperti di Sulawesi Tengah. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab longsor, mengetahui kondisi karakteristik tanah, serta merancang solusi penanganan stabilitas lereng menggunakan metode perkuatan mortar busa. Metodologi penelitian meliputi penyelidikan tanah melalui pengeboran, SPT serta analisis numerik menggunakan pemodelan *Finite Element Method* (FEM). Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan mortar busa sebagai material perkuatan lereng mampu meningkatkan stabilitas lereng dengan nilai faktor keamanan (*Safety Factor*) sebesar 1,568 pada kondisi beban lalu lintas dan 1,145 pada kondisi gempa. Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan standar keamanan berdasarkan SNI 8460:2017. Dengan demikian, penggunaan mortar busa dapat menjadi alternatif solusi yang efektif dalam meningkatkan stabilitas lereng serta mengurangi risiko longsor pada ruas jalan tersebut.

Kata kunci: Elemen Hingga, Longsor, Mortar Busa, Stabilitas Lereng

Abstract

Landslides are one of the most common geological hazards occurring in areas with steep topography and high rainfall, such as Central Sulawesi, Indonesia. This study aims to identify the causes of the landslide, determine the soil characteristics, and design a slope stabilization solution using foam mortar reinforcement. The research methodology includes subsurface soil investigation through drilling and Standard Penetration Test (SPT), followed by numerical analysis using the Finite Element Method (FEM). The analysis results indicate that the application of foam mortar as a slope reinforcement material can improve slope stability, producing a Safety Factor (SF) of 1.568 under traffic load conditions and 1.145 under seismic loading conditions. These values meet the safety requirements specified in the Indonesian standard SNI 8460:2017. Therefore, the use of foam mortar can be considered an effective alternative solution for enhancing slope stability and reducing landslide risk along the road section.

Keywords: Finite Element Method, Foam Mortar, Landslide, Slope Stability

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki kondisi geomorfologi yang kompleks dengan dominasi wilayah pegunungan, perbukitan, dan lereng curam. [1] Kondisi tersebut menjadikan beberapa wilayah rentan terhadap bencana geologi, salah satunya adalah tanah longsor. Longsor sering terjadi pada daerah

dengan kemiringan lereng yang tinggi, curah hujan yang besar, serta kondisi geologi yang tidak stabil. Peristiwa longsor tidak hanya berdampak pada kerusakan lingkungan, tetapi juga dapat mengganggu infrastruktur transportasi serta aktivitas sosial dan ekonomi masyarakat. [2]

Provinsi Sulawesi Tengah merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki karakteristik topografi yang bervariasi, mulai dari dataran rendah hingga pegunungan dengan kemiringan lereng yang cukup curam [3]. Kondisi topografi dengan kemiringan lereng yang tinggi menyebabkan beberapa ruas jalan memiliki tingkat kerentanan yang signifikan terhadap kejadian longsor. Longsoran yang terjadi pada bagian lereng bawah badan jalan berimplikasi langsung terhadap penurunan stabilitas lereng, yang ditunjukkan dengan berkurangnya faktor keamanan serta meningkatkan potensi deformasi dan kegagalan lereng [4]. Apabila kondisi tersebut tidak ditangani secara tepat, maka dapat mengganggu fungsi layanan infrastruktur jalan serta dapat membahayakan keselamatan pengguna jalan. Untuk itu dalam penelitian bertujuan sebagai upaya peningkatan stabilitas lereng, salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan stabilitas lereng adalah penggunaan mortar busa sebagai material perkuatan. Mortar busa merupakan material konstruksi ringan yang memiliki sifat berpori dan berat jenis relatif kecil sehingga dapat mengurangi beban pada lereng. Selain itu, material ini juga dapat berfungsi sebagai elemen penahan untuk meningkatkan stabilitas lereng pada daerah yang mengalami longsor. [5]

Berbagai penelitian sebelumnya telah menunjukkan potensi mortar busa dalam bidang konstruksi, khususnya pada bidang geoteknik yaitu menjadi perkuatan timbunan. Penelitian yang dilakukan oleh [6] menunjukkan bahwa mortar busa dapat digunakan sebagai material pengisi ringan dan elemen non struktural, serta berpotensi dikembangkan menjadi elemen struktur sekunder melalui optimasi campuran. Selanjutnya penelitian [7] menyatakan bahwa penggunaan mortar busa sebagai timbunan ringan mampu mengurangi penurunan secara signifikan dibandingkan timbunan konvensional, yang ditunjukkan oleh deformasi yang lebih kecil akibat berat jenis material yang rendah namun tetap memiliki kekuatan yang memadai. Selain itu, [8] mengemukakan bahwa variasi faktor air semen (FAS) berpengaruh signifikan terhadap sifat fisis dan mekanis mortar busa, dengan nilai optimum pada FAS 0,6 yang menghasilkan kuat tekan terbaik dan memenuhi kriteria sebagai material stabilisasi tanah. Penelitian terbaru oleh [9] juga menunjukkan bahwa mortar busa dengan penggunaan pasir lokal tetap mampu mencapai kuat tekan lebih dari 2000 kPa dengan berat isi sekitar 0,90 t/m³, sehingga berpotensi diaplikasikan sebagai material timbunan ringan pada konstruksi jalan.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada pemanfaatan mortar sebagai material timbunan ringan atau kajian sifat material secara parsial, serta belum spesifik mengkaji peran mortar busa sebagai sistem perkuatan lereng yang terintegrasi menggunakan *finite element method* dengan mempertimbangkan beban statik dari beban lalu lintas dan beban dinamik dari beban gempa. Oleh karena itu, penelitian ini dapat menjadi kajian lanjutan untuk mengevaluasi efektivitas mortar busa sebagai material perkuatan lereng dalam meningkatkan stabilitas lereng pada kondisi geoteknik yang kompleks.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan yang meliputi penyelidikan tanah dan analisis numerik stabilitas lereng.

1. Penyelidikan Tanah

Penyelidikan kondisi tanah dan material di lapangan dilakukan melalui kegiatan pemboran menggunakan mesin bor putar tipe TOHO dengan kapasitas hingga kedalaman 45 m. Lubang bor yang dihasilkan dari

proses pemboran ini dapat dimanfaatkan untuk pemasangan berbagai instrumen geoteknik seperti unting-unting, inklinometer, maupun piezometer sesuai dengan kebutuhan pada setiap lokasi pengujian. Dalam kegiatan yang telah dilaksanakan, dilakukan pemboran teknik pada dua titik, yaitu BH-01 dan BH-02, dengan kedalaman penyelidikan mencapai 30,00 m. Pada titik BH-01 dilakukan pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) sebanyak 14 kali, sedangkan pada titik BH-02 sebanyak 11 kali. Selain itu, pengambilan contoh tanah dilakukan sebanyak 5 sampel pada masing-masing titik bor untuk keperluan analisis lebih lanjut di laboratorium. [10]

2. Deskripsi Longsoran

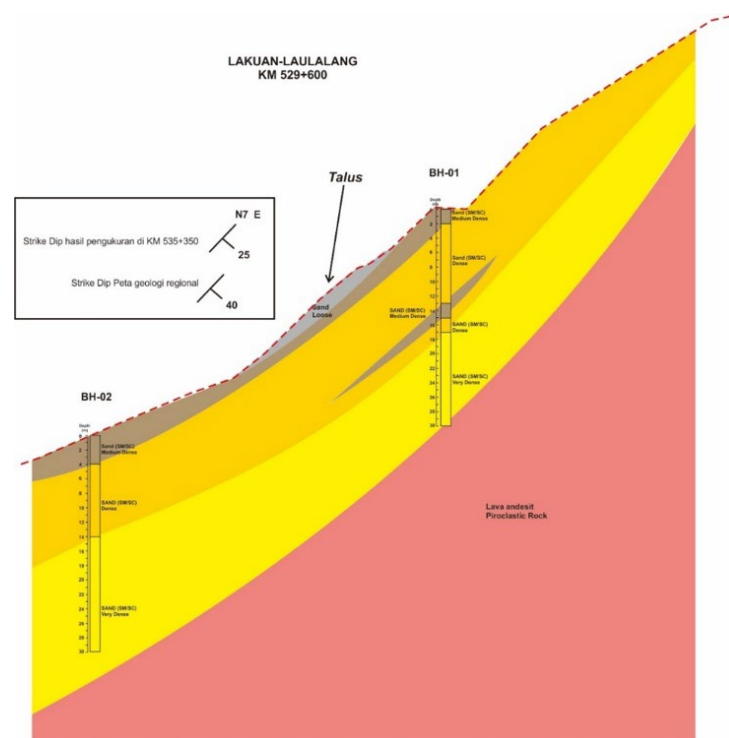
Longsoran terjadi di bagian sisi bawah jalan pada lereng dengan kemiringan sekitar > 45 derajat. Hasil pengukuran lapangan, panjang longsoran (lebar penanganan) adalah sekitar 30 meter dengan kedalaman material longsor bervariasi antara 2 hingga 4 meter. Jenis longsoran adalah *translasi slide*, membentuk pergerakan horizontal atau miring mengikuti lereng dan memiliki bidang gelincir relatif datar atau planar. Jenis longsoran sering terjadi pada lereng dengan jenis tanah yang tiap lapisan mengalami pelapukan yang berbeda. Selain itu, jenis longsoran ini juga dipengaruhi oleh kondisi air tanah dan juga *shear resistance* dari massa tanahnya. Material longsoran didominasi oleh tanah pelapukan yang berwarna coklat keabu-abuan dengan tekstur gembur hingga sedikit plastis. Selain itu, terdapat juga fragmen/pecahan batuan asal yaitu batuan lava andesit. [11]



Gambar 1. Kondisi sebelum dan sesudah terjadi longsoran

3. Stratigrafi

Untuk keperluan analisis, dibuat stratigrafi berdasarkan data eksplorasi kondisi geologi regional dan dikontrol dari hasil pengeboran, serta hasil pengujian laboratorium [12]. Berdasarkan hasil pemboran dan pengujian laboratorium, disusun profil stratigrafi tanah pada lokasi penelitian. Lapisan tanah pada lokasi penelitian umumnya didominasi oleh material pasir dengan tingkat kepadatan yang bervariasi, mulai dari *sand loose*, *sand medium dense*, *sand dense*, hingga *sand very dense*. Pada lapisan yang lebih dalam ditemukan material batuan lava andesit yang memiliki kekuatan relatif tinggi. Stratigrafi di lokasi ini adalah seperti pada gambar berikut.



Gambar 2. Susunan Stratigrafi

4. *Finite Element Method (FEM)*

Analisis stabilitas lereng dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode *Finite Element Method (FEM)* dengan bantuan pemodelan numerik. Metode elemen hingga digunakan untuk memodelkan perilaku mekanik tanah serta interaksi antara tanah dan struktur perkuatan secara numerik [13]. Dalam pemodelan ini digunakan model konstitutif *Mohr-Coulomb* untuk material tanah, sedangkan material mortar busa dimodelkan menggunakan model *Linear Elastic*. Parameter yang dimasukkan dalam pemodelan meliputi : berat volume tanah (γ) ; kohesi efektif (c') ; sudut geser dalam (ϕ) ; modulus elastisitas (E) ; dan rasio *Poisson* (ν) [14]

Selain parameter tanah, dimasukkan pula parameter material perkuatan berupa mortar busa dengan kuat tekan 800 kPa dan 2000 kPa, serta elemen *footing* beton sebagai bagian dari sistem perkuatan lereng.

5. Mortar Busa

Mortar busa merupakan material yang tersusun dari campuran semen, pasir, air, serta busa yang berasal dari *foam agent*. Busa tersebut dihasilkan melalui proses pencampuran antara *foam agent* dan air menggunakan alat pembangkit busa yang dikenal sebagai *foam generator*. Salah satu karakteristik utama mortar busa adalah sifatnya yang *self-compacting*, sehingga pada saat proses penempatan material tidak memerlukan pemadatan mekanis [15]. Dalam penelitian ini, mortar busa menjadi material perkuatan dalam pemodelan numerik yang berperan dalam mengurangi beban vertikal serta meningkatkan kekakuan lereng dikombinasikan dengan *wiremesh* berdiameter 8 mm jarak antar bentang 10 x 10 cm ditempatkan pada setiap lapisan timbunan dengan ketebalan interval 1 m, yang berfungsi untuk meningkatkan stabilitas dan integritas struktur timbunan secara keseluruhan. Agar dapat digunakan sebagai material timbunan, mortar busa harus memenuhi beberapa kriteria teknis, antara lain memiliki berat volume ringan berkisar antara 6 kN/m³ hingga 12 kN/m³, nilai *flowability* sebesar 180 ± 20 mm, serta kuat tekan minimum pada kisaran 600 kPa sampai 2000 kPa. Selain itu, material ini juga harus memiliki sifat *self-compacting* agar dapat mengisi

ruang secara merata tanpa proses pemadatan tambahan [9]. Adapun kriteria mortar busa pada umur 14 hari adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Kuat Tekan Minimum (Umur 14 Hari) Material Ringan

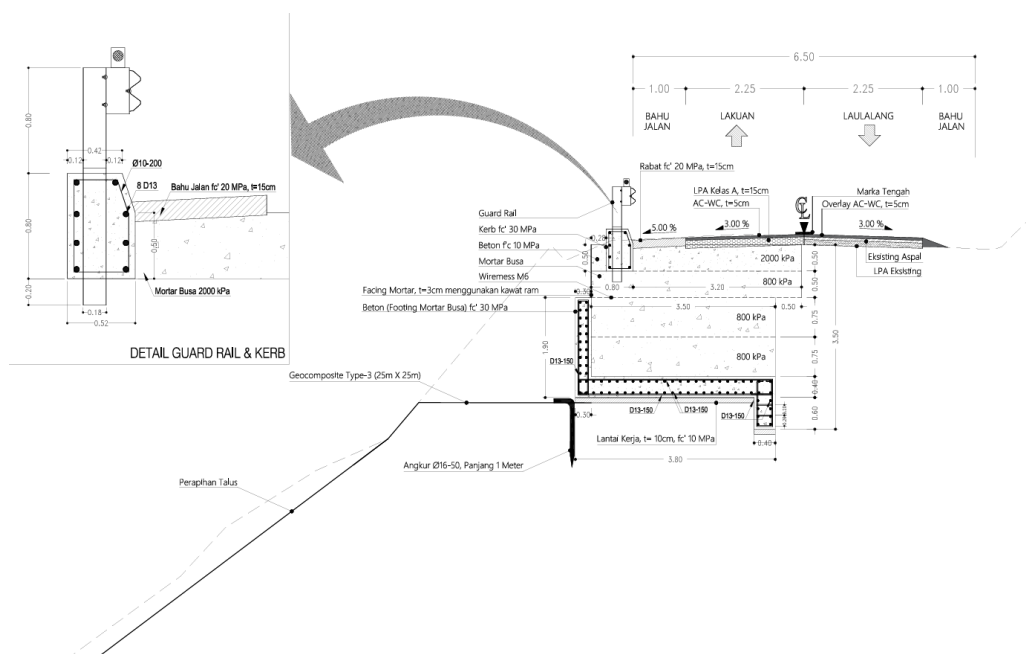
Fungsi Mortar Busa	γ_{dry} (gr/cm^3)	Kuat Tekan Minimum	
		(kPa)	(kg/cm^2)
Sebagai <i>Sub base</i>	0,6	800	8
Sebagai <i>Base</i>	0,8	2000	20

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain stabilitas lereng direncanakan sebagai sistem perkuatan struktur tanah untuk menahan potensi longsor. Struktur perkuatan ini menggunakan material mortar busa yang dikombinasikan dengan footing beton sebagai elemen pendukung. Sistem struktur yang diterapkan berfungsi sebagai perkuatan penahan longsor pada lereng yang berpotensi mengalami ketidakstabilan, sehingga dapat meningkatkan keamanan dan kestabilan badan jalan serta memenuhi standar Perancangan Geoteknik dalam SNI 8460:2017 [16]

1. Konsep Desain

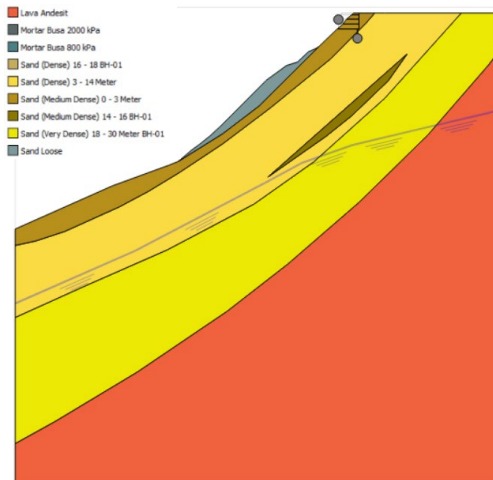
Mortar busa adalah campuran bahan konstruksi yang memiliki karakteristik ringan dan berpori. Material ini sering digunakan dalam pekerjaan konstruksi sebagai alternatif material pengisi (*backfill*), perbaikan tanah, atau sebagai bahan pembentuk elemen struktural ringan. Pada desain kali ini mortar busa digunakan sebagai pengganti material pengisi sehingga mengurangi tekanan tanah aktif ke beton bertulang dan bisa mengefisiensi dimensi beton. Penampang stratigrafi mengacu pada Gambar 2.



Gambar 3. Tipikal penanganan mortar busa

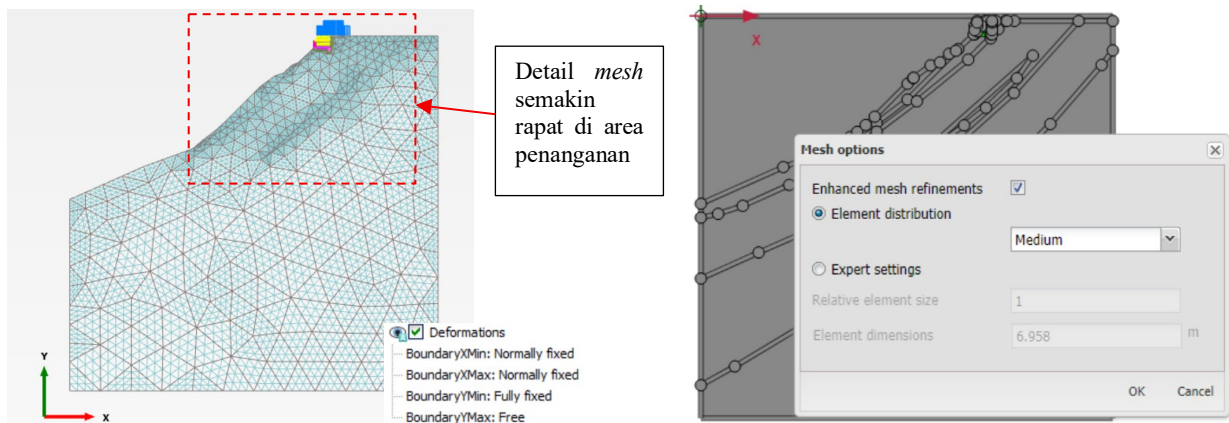
2. Analisis dengan Metode FEM 2D

Analisis dilakukan menggunakan pemodelan numerik. Dalam analisis diperlukan Geometri, data parameter tanah, material dan beban yang bekerja. Model geometri pemodelan dalam dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Model Geometri Pemodelan

Selain itu, pada Gambar 5 menunjukkan *boundary condition* serta *mesh options* pada pemodelan geometri. Jika dilihat dari kerapatan *mesh*, diarea penanganan dibuat semakin rapat agar bisa mendapatkan hasil dan deformasi yang lebih detail.



Gambar 5. *Boundary condition* dan *Mesh options*

Parameter tanah yang diperoleh dari hasil pengujian lapangan bor SPT, dan pengujian laboratorium. Untuk parameter material mortar busa mengambil nilai dari penelitian yang telah dilakukan [6] untuk dimasukkan ke dalam pemodelan, berikut parameter tanah yang dirangkum pada Tabel 2.

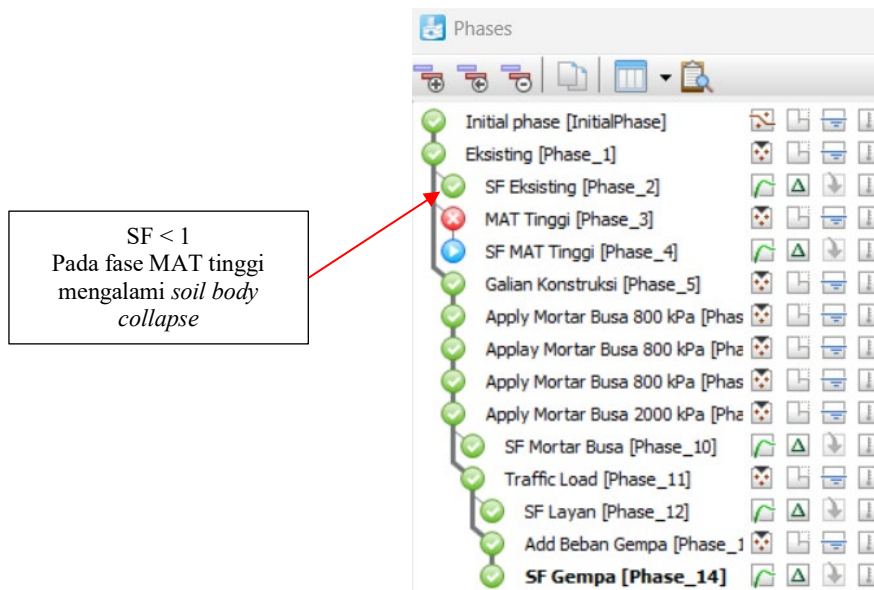
Tabel 2. Parameter Tanah dan Parameter Material

No	Jenis tanah	N-SPT	Material model	γ_b	γ_{sat}	ϕ	c'	E	ν
				kN/m ³	kN/m ³	°	kN/m ²	kN/m ²	
1	Sand Medium Dense (0-3 m)	29	MC	14,40	16,60	37,00	14,00	17,07E3	0,30
2	Sand Dense (3-14 m)	14	MC	14,30	16,70	40,70	15,00	23,56E3	0,30
3	Sand Medium Dense (14-16 m)	48	MC	14,30	16,80	39,28	10,00	17,07E3	0,30
4	Sand Dense (16-18 m)	50	MC	14,00	16,80	44,24	10,00	27,88E3	0,30
5	Sand Very Dense (18-30 m)	60	MC	14,60	16,60	45,00	12,00	38,30E3	0,25
6	Lava Andesit		MC	21,00	21,00	66,55	910,00	70,00E6	0,20
7	Mortar Busa 800 kPa		LE	6,00	6,00	-	-	892634,5	0,20
8	Mortar Busa 2000 kPa		LE	8,00	8,00	-	-	1411379	0,20

MC = Mohr-Coulumb LE = Linear Elastic

3. Tahapan Analisis FEM

Tab staged construction merupakan tahapan akhir sebelum analisis dilakukan. Pada tab ini dilakukan tahap analisis galian konstruksi, konstruksi dinding penahan tanah, timbunan, penerapan beban aksial dan metode pseudostatic yang ditunjukkan pada Gambar berikut. Tahapan analisis ini untuk mengetahui perilaku konstruksi tiap tahapan analisis, hal ini bertujuan untuk mensimulasi tahapan konstruksi nyata, mengontrol perubahan tegangan dan deformasi dan analisis stabilitas tiap tahap.



Gambar 6. Tahapan dalam Analisis FEM Longsor

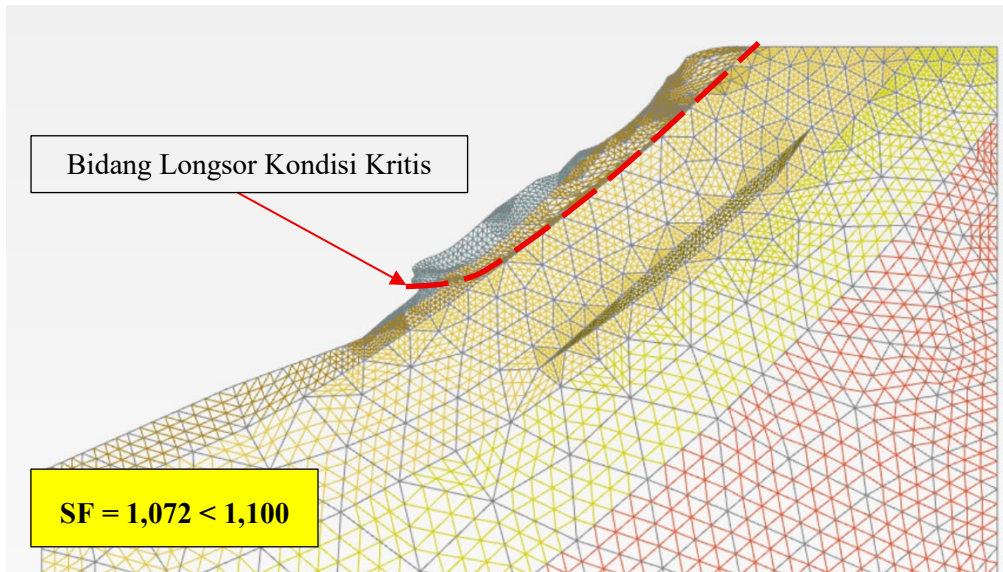
Tipe analisis yang digunakan serta perhitungan nilai *safety factor* (SF) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tipe Analisis dan Perhitungan nilai *safety factor* (SF)

<i>Phase Construction</i>	<i>Calculation Type</i>	<i>Loading Type</i>
<i>Initial Condition</i>	<i>Gravity Loading</i>	<i>Stage Construction</i>
<i>Eksisting</i>	<i>Plastic</i>	<i>Stage Construction</i>
<i>Safety Factor Eksisting</i>	<i>Safety</i>	<i>Incremental Multipliers</i>
<i>Galian Konstruksi</i>	<i>Plastic</i>	<i>Stage Construction</i>
<i>Apply Mortar Busa 800 KPa</i>	<i>Plastic</i>	<i>Stage Construction</i>
<i>Apply Mortar Busa 800 KPa</i>	<i>Plastic</i>	<i>Stage Construction</i>
<i>Apply Mortar Busa 800 KPa</i>	<i>Plastic</i>	<i>Stage Construction</i>
<i>Apply Mortar Busa 2000 KPa</i>	<i>Plastic</i>	<i>Stage Construction</i>
<i>Safety Factor</i>	<i>Safety</i>	<i>Incremental Multipliers</i>
<i>Add Traffic Load</i>	<i>Plastic</i>	<i>Stage Construction</i>
<i>Safety Factor Traffic Load</i>	<i>Safety</i>	<i>Incremental Multipliers</i>
<i>Add Pseudostatic</i>	<i>Plastis</i>	<i>Stage Construction</i>
<i>Safety Factor Pseudostatic</i>	<i>Safety</i>	<i>Incremental Multipliers</i>

Berdasarkan hasil analisis awal, kondisi lereng menunjukkan potensi ketidakstabilan yang cukup tinggi. Hal ini ditunjukkan oleh terjadinya indikasi *soil body collapse* pada beberapa fase analisis sebelum penerapan sistem perkuatan. Ketidakstabilan lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu kemiringan lereng yang relatif curam, keberadaan material tanah pelapukan dengan kekuatan geser yang terbatas, serta adanya pengaruh beban eksternal seperti beban lalu lintas pada badan jalan dan beban dinamis akibat gempa. Kondisi tersebut menyebabkan berkurangnya kapasitas tahan geser tanah sehingga

meningkatkan potensi terjadinya pergerakan massa tanah pada lereng. Hasil pemodelan lereng saat mengalami kondisi SF kritis dapat dilihat pada Gambar 7.

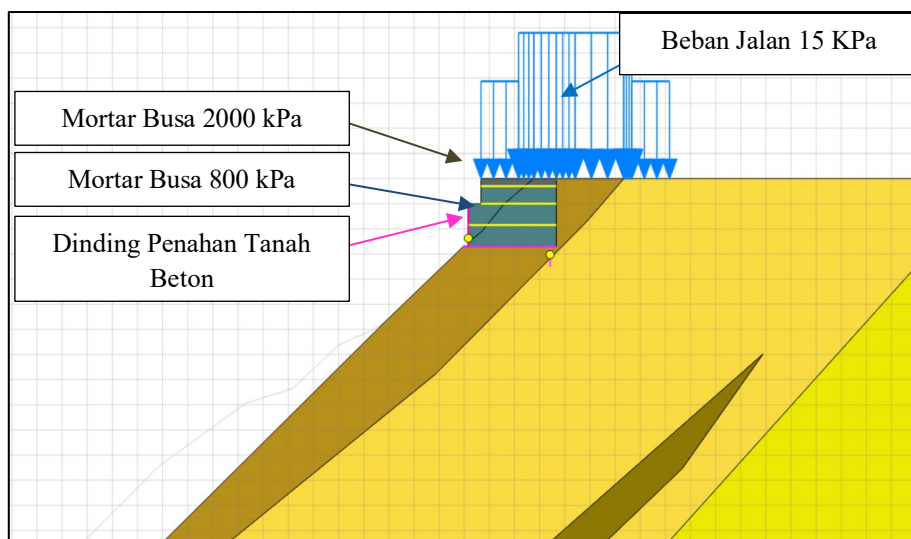


Gambar 7. Analisis Awal Longsor Kondisi Kritis

Berdasarkan Gambar 7, pola bidang longsor sudah sangat identik dengan jenis longsor yang terjadi di lokasi, dimana nilai parameter, geometri lereng dan stratigrafi tanah pada pemodelan numerik ini telah merepresentasikan kondisi aktual secara memadai.

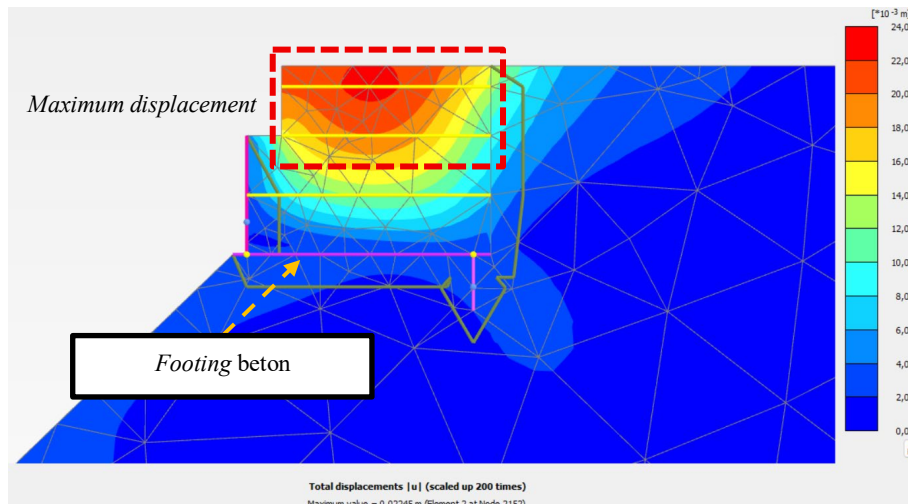
4. Hasil Analisis FEM

Peningkatan stabilitas lereng dilakukan melalui penerapan sistem perkuatan berupa Mortar Busa yang dikombinasikan dengan dinding penahan tanah beton yang sudah dioptimasi. Mortar busa merupakan material konstruksi ringan yang tersusun dari campuran semen, pasir, air, dan *foam agent* sehingga menghasilkan struktur berpori dengan berat jenis yang relatif rendah. Penggunaan material ringan pada lereng bertujuan untuk mengurangi tegangan vertikal dan lateral yang bekerja pada massa tanah, sehingga dimensi dinding penahan tanah dapat dioptimalkan. Hasil pemodelan numerik disajikan sebagai berikut.



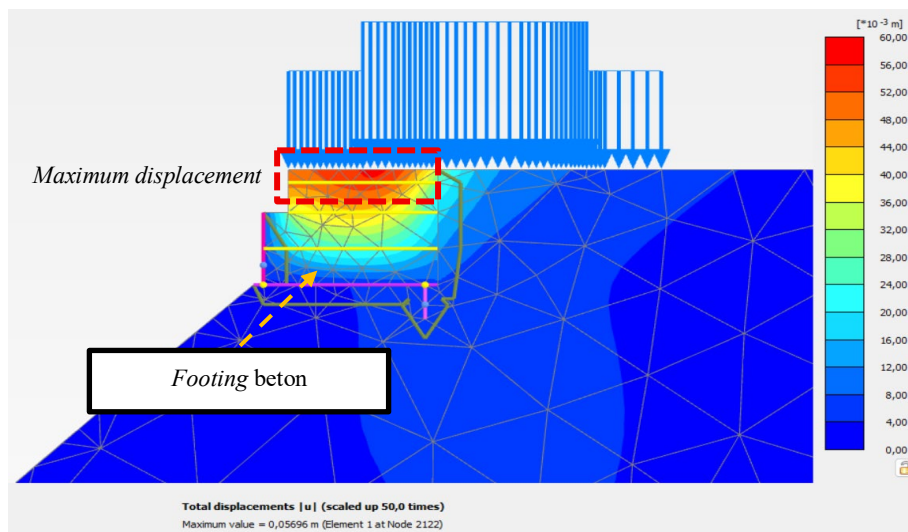
Gambar 8. Geometri Pemodelan Menggunakan Perkuatan Mortar Busa

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa penerapan mortar busa mampu meningkatkan kinerja stabilitas lereng secara signifikan. Saat lereng menerima beban terdapat tekanan tanah aktif yang bekerja di belakang dinding, namun penggunaan mortar busa dapat menjadi pengganti massa tanah karena material ini bersifat isotropik yang mampu menahan gaya dari segala arah sehingga meminimalisir tekanan lateral yang terjadi pada dinding penahan tanah yang sudah dioptimasi.



Gambar 9. Total Displacement Phase Mortar Busa

Gambar 9 menunjukkan hasil pemodelan numerik saat penerapan mortar busa pada lereng, pada kondisi ini lereng hanya memikul berat sendiri struktur dan hasil *displacement* yang diperoleh adalah 0,02245 m atau 2,245 cm. *Displacement* yang terjadi hanya pada bagian atas mortar busa, tidak mencapai *footing* beton.

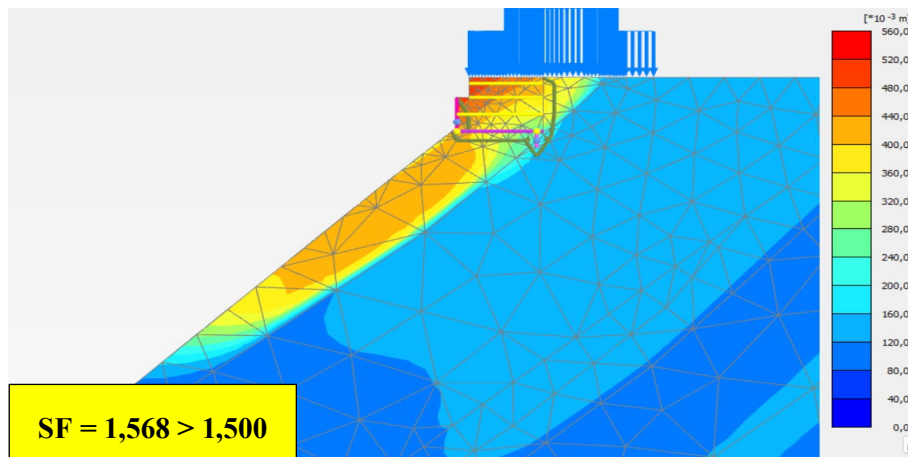


Gambar 10. Total Displacement Phase Traffic Load

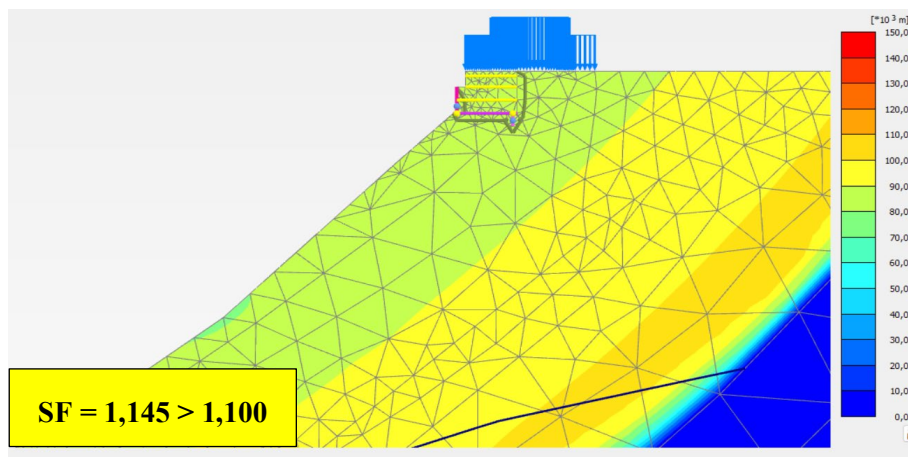
Hasil analisis yang ditunjukkan pada Gambar 10, penerapan mortar busa pada lereng tidak hanya memperhitungkan beban sendiri struktur namun diberi tambahan beban layan dari lalu lintas sebesar 15 kPa. Hasil yang diperoleh nilai *displacement* yang terjadi bertambah menjadi 0,05696 m atau 5,696 cm. Hal ini menunjukkan bahwa mortar busa dapat mengurangi pengaruh beban secara signifikan karena selisih peningkatan *displacement* yang terjadi dari fase berat sendiri ke beban lalu lintas hanya sebesar

penambahan beban yang bekerja pada lereng yang diberi mortar busa mengalami penambahan *displacement* namun tidak secara signifikan, atau nilai selisih yang diperoleh yaitu 3,451 cm.

Selanjutnya dilakukan analisis angka aman atau *safety factor* (SF) pada fase sesudah perkuatan menggunakan mortar busa. Angka aman dikontrol terhadap kondisi permanen/statik dengan SF 1,5 dan kondisi sementara/gempa dengan SF 1,1. Berikut hasil angka aman (SF) yang didapatkan dari pemodelan numerik.



Gambar 11. Angka Aman (SF) *Traffic Load*



Gambar 12. Angka Aman (SF) Beban Gempa

Tabel 4. Rekapitulasi Angka Aman (SF)

No	Tahapan	Jenis Beban	Angka Aman (SF)	Syarat Angka Aman (SF) SNI 8460-2017	Ket.
1	Kondis Eksisting	Gravity Loading	1,072	1,1	NOT OK
2	Kondisi Statik	<i>Traffic Load</i>	1,568	1,5	OK
3	Kondisi Gempa	Gempa	1,145	1,1	OK

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kondisi statik dengan pengaruh beban lalu lintas diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,568. Nilai tersebut lebih besar dibandingkan dengan batas minimum yang diprasyarkan dalam SNI 8460:2017, yaitu sebesar 1,5 untuk kondisi permanen. Hal ini menunjukkan

bahwa sistem perkuatan yang direncanakan mampu memberikan tingkat keamanan yang memadai terhadap potensi longsor pada kondisi operasional normal.

Sementara itu, pada kondisi pembebanan gempa diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 1,145, yang juga masih berada di atas batas minimum yang dipersyaratkan yaitu sebesar 1,1. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem perkuatan mortar busa masih mampu mempertahankan stabilitas lereng meskipun mengalami pengaruh beban dinamis akibat gempa.

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan mortar busa sebagai material perkuatan memberikan peningkatan stabilitas lereng yang signifikan serta mampu memenuhi kriteria keamanan yang ditetapkan oleh standar perencanaan geoteknik yang berlaku.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng menggunakan metode elemen hingga dengan pemodelan numerik, dapat disimpulkan bahwa pola bidang longsor yang terbentuk sesuai dengan kondisi lapangan, sehingga parameter tanah, geometri lereng dan stratigrafi yang digunakan dinilai mampu merepresentasikan kondisi aktual secara memadai.

Penerapan mortar busa sebagai material perkuatan terbukti efektif dalam meningkatkan stabilitas lereng. Pada kondisi beban sendiri struktur, *displacement* yang terjadi sebesar 0,02245 m atau 2,245 cm dan hanya terjadi pada bagian atas mortar busa tanpa memengaruhi struktur *footing* beton. Pada kondisi dengan beban tambahan berupa beban lalu lintas sebesar 15 kPa, *displacement* yang terjadi meningkat menjadi 0,05696 m atau 5,696 cm. Meskipun terjadi peningkatan, selisih *displacement* yang relatif kecil yaitu 3,451 cm menunjukkan bahwa mortar busa mampu mengurangi pengaruh beban eksternal secara efektif.

Analisis stabilitas menunjukkan bahwa faktor keamanan pada kondisi statik dengan beban lalu lintas mencapai 1,568 yang telah memenuhi kriteria minimum SNI 8460:2017 sebesar 1,5 untuk kondisi permanen, Sementara itu, pada kondisi pembebanan gempa diperoleh faktor keamanan sebesar 1,145 yang juga masih berada batas yang dipersyaratkan yaitu 1,1.

Secara keseluruhan, hasil analisis mengindikasikan bahwa sistem perkuatan menggunakan mortar busa yang dikombinasikan dengan struktur pendukung mampu meningkatkan kinerja stabilitas lereng secara signifikan serta memenuhi kriteria keamanan yang sesuai syarat perencanaan geoteknik.

REFERENSI

- [1] S. A. N. Wahidin, D. I. Arief, B. R. Ramadhan, and M. B. Allo, "Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Dinding Penahan Tanah dengan Perkuatan Bor Pile (Studi Kasus pada Ruas Jalan Paleleh-Lokodoka km 685+100)," 2025.
- [2] Sunardi, N. Anggraini, S. Alfiandy, and A. F. Ilahi, "Identifikasi Tingkat Kerawanan Tanah Longsor di Provinsi Sulawesi Tengah," *Buletin GAW Bariri*, vol. 3, no. 2, pp. 47–57, Dec. 2022, [doi: 10.31172/bgb.v3i2.79](https://doi.org/10.31172/bgb.v3i2.79).
- [3] Sunardi, N. Anggraini, S. Alfiandy, and A. F. Ilahi, "Identifikasi Tingkat Kerawanan Tanah Longsor di Provinsi Sulawesi Tengah," *Buletin GAW Bariri*, vol. 3, no. 2, pp. 47–57, Dec. 2022, [doi: 10.31172/bgb.v3i2.79](https://doi.org/10.31172/bgb.v3i2.79).

- [4] A. M. Alwi, S. Ramadhani, and A. B., “Stabilitas Lereng Dengan Menggunakan Dinding Penahan Tanah Pada Ruas Jalan Kebun Kopi,” *SIPARSTIKA: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, vol. 5, no. 1, pp. 01–12, Nov. 2025, [doi: 10.55114/siparstika.v5i1.1076](https://doi.org/10.55114/siparstika.v5i1.1076).
- [5] A. Hamidi, R. Saily, and M. A. Hidayat, “Pengaruh Sifat Karakteristik Mortar Busa Dengan Penambahan Addictive,” *Sainstek (e-Journal)*, vol. 10, no. 1, pp. 73–79, Jun. 2022, [doi: 10.35583/js.v10i1.11](https://doi.org/10.35583/js.v10i1.11).
- [6] M. Iqbal, *KAJIAN PENANGANAN TANAH LUNAK DENGAN TIMBUNAN JALAN MORTAR BUSA*, I. Bandung: Penerbit Informatika, 2012.
- [7] D. Hidayat, Y. Muslih Purwana, F. P. Pramesti, J. T. Sipil, M. Pemeliharaan, and R. Infrastruktur, “ANALISIS MATERIAL RINGAN DENGAN MORTAR BUSA PADA KONSTRUKSI TIMBUNAN JALAN,” 2016.
- [8] A. Susilowati and F. Nabhan, “Pengaruh Variasi Faktor Air Semen Terhadap Mortar Busa,” *Journal of Applied Civil and Environmental Engineering*, vol. 1, no. 2, p. 9, Oct. 2021, [doi: 10.31963/jacee.v2i1.2797](https://doi.org/10.31963/jacee.v2i1.2797).
- [9] D. R. B. Basri, E. E. Putri, B. M. Adji, and A. Hakam, “Pengaruh Gradasi Pasir Pada Pemanfaatan Mortar Busa Sebagai Pengganti Lapisan Pondasi Jalan Pada Tanah Gambut,” *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, vol. 10, no. 2, pp. 203–214, Oct. 2024, [doi: 10.31849/siklus.v10i2.22654](https://doi.org/10.31849/siklus.v10i2.22654).
- [10] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah II*, ^, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2017.
- [11] Y. K. Firmansyah, A. G. Ramadhan, and H. Farichah, “Pengaruh Beban Gempa Terhadap Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever,” *Jurnal Konstruksia*, vol. 16, 2025.
- [12] Y. S., “Analisis Kestabilan Lereng Tambang Andesit,” *Jurnal Teknik Pertambangan*, vol. 5, no. 2, pp. 123–130, 2022.
- [13] Y. Yang, Y. Xia, H. Zheng, and Z. Liu, “Investigation of rock slope stability using a 3D nonlinear strength-reduction numerical manifold method,” *Eng. Geol.*, vol. 292, p. 106285, Oct. 2021, [doi: 10.1016/j.enggeo.2021.106285](https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106285).
- [14] X. Meiprastyo, A. Rahma Putri, M. Rega Arieva, S. Surya Ningrum, T. Deyusman Ruswanda, and K. Kunci, “Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus: Akses Jalan, Ds. Sukagalih, Kec. Megamendung, Kab. Bogor, Jawa Barat),” *Indonesian Impression Journal (JII)*, vol. x, No. x, 2023, doi: : <https://doi.org/10.24853/jk.16.2.107-117>.
- [15] X. Zhao *et al.*, “Properties of foamed mortar prepared with granulated blast-furnace slag,” *Materials*, vol. 8, no. 2, pp. 462–473, 2015, [doi: 10.3390/ma8020462](https://doi.org/10.3390/ma8020462).
- [16] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 8460:2017 - Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: BSN, 2017.