



Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Dinding Penahan Tanah dengan Perkuatan Bor Pile (Studi Kasus pada Ruas Jalan Paleleh – Lokodoka km 685+100)

Suci Amalia Namira Wahidin^{*1}, Dede Irham Arief², Bayu Rahmat Ramadhan¹, Misel Boro Allo¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu, Jalan Soekarno Hatta

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palu, Palu, Jalan Hang Tuah No. 114

*Penulis korespondensi: scnamira@untad.ac.id

DISUBMIT 29 Mei 2025

DIREVISI 17 Juni 2025

DITERIMA 19 Juni 2025

ABSTRAK Tanah longsor merupakan salah satu ancaman utama terhadap infrastruktur jalan di wilayah Sulawesi Tengah yang memiliki kondisi topografi kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng pada ruas jalan Paleleh–Lokodoka KM 685+100 dengan pendekatan penggunaan dinding penahan tanah tipe kantilever yang diperkuat dengan *bored pile*. Metode analisis yang digunakan adalah *Finite Element Method* (FEM) menggunakan pemodelan numerik 2D, dengan mempertimbangkan beban lalu lintas dan beban gempa bumi. Hasil analisis menunjukkan bahwa desain dinding penahan tanah dengan perkuatan *bored pile* menghasilkan nilai faktor keamanan (SF) sebesar 1,561 pada kondisi layan dan 1,120 pada kondisi gempa, yang telah memenuhi ketentuan dalam SNI 8460-2017. Disimpulkan bahwa penggunaan *bored pile* sebagai perkuatan memberikan kontribusi signifikan terhadap kestabilan lereng dan dapat menjadi solusi teknis yang efektif untuk kawasan rawan longsor.

KATA KUNCI: Stabilitas Lereng; Longsor; *Finite Element Method*; *Bored Pile*

1 PENGANTAR

Sulawesi Tengah merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki geografi kompleks dengan beragam bentang alam seperti pegunungan, dataran tinggi, dan kawasan pesisir. Sekitar 25,9% wilayahnya berada di atas 1.000 meter di atas permukaan laut, menunjukkan dominasi topografi bergunung dan berbukit [1]. Keanekaragaman bentuk lahan ini memberikan potensi sumber daya alam yang melimpah, namun sekaligus menjadikan wilayah ini rentan terhadap bencana alam, khususnya tanah longsor. Risiko longsor semakin meningkat, terutama di daerah pegunungan dan lereng curam yang mengalami curah hujan tinggi serta aktivitas deforestasi yang merusak kestabilan tanah. Kondisi ini secara langsung mempengaruhi ketahanan infrastruktur, keselamatan masyarakat, dan kelangsungan kegiatan ekonomi di kawasan tersebut.

Dalam rangka mengurangi potensi terjadinya longsor, diperlukan kajian dan analisis terhadap stabilitas lereng pada ruas jalan Paleleh–Lokodoka KM 685+100. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam mewujudkan

pembangunan infrastruktur yang lebih kuat dan berkelanjutan, sekaligus menekan risiko kerugian baik secara material maupun non-material akibat bencana longsor. Selain itu, studi ini memiliki peran penting dalam memberikan rekomendasi teknis untuk perencanaan serta pelaksanaan langkah-langkah mitigasi yang responsif terhadap kondisi geografis dan lingkungan di wilayah Sulawesi Tengah.

2 TINJAUAN PUSTAKA

Masalah Stabilitas Lereng. Kestabilan lereng dipengaruhi oleh faktor geometri lereng, karakteristik fisik dan mekanik material pembentuk lereng, air (hidrologi dan hidrogeologi), struktur bidang lemah batuan (lokasi, arah, frekuensi, karakteristik mekanik), tegangan alamiah dalam massa batuan, konsentrasi tegangan lokal, getaran (alamiah; gempa; perbuatan manusia; efek peledakan; dan efek lalu lintas alat-alat berat), iklim, hasil perbuatan pekerja tambang, serta pengaruh termik. Kenyataan di lapangan memang memperlihatkan bahwa masalah ketidakstabilan lereng yang timbul dapat diakibatkan oleh faktor-faktor tersebut. Oleh karena itu, faktor-faktor ini perlu mendapatkan perhatian agar kondisi lereng dapat dijaga kestabilannya [2].



Gambar 1 Lokasi Penelitian

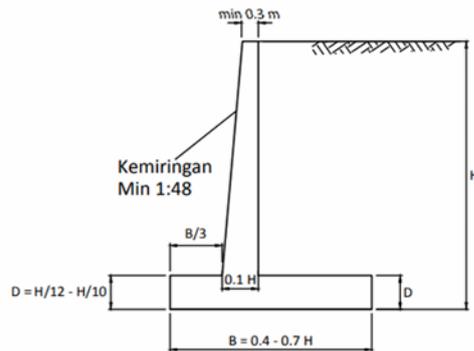
Gerakan Massa dan Longsor [3]. Memahami bahwa longsor adalah gerakan massa tanah atau batuan pada bagian lereng yang potensial. Bidang kritis menjadi peluang terjadinya longsor yang bergerak melorot membawa material berupa tanah, batuan, dan campuran material lainnya. Apabila terjadi gerakan sangat berlebihan pada lereng, maka disebut tanah longsor (*landslide*). Pada daerah perbukitan yang beriklim tropis sering terjadi bencana longsor.

Jenis dan Macam Tanah Longsor. Ada 6 jenis tanah longsor, yakni: longsor translasi, longsor rotasi, pergerakan blok, runtuh batu, rayapan tanah, dan aliran bahan rombakan. Jenis longsor translasi dan rotasi paling banyak terjadi di Indonesia. Sedangkan longsor yang paling banyak memakan korban jiwa manusia adalah aliran bahan rombakan. Lereng yang tidak stabil akan mengalami longsor sampai lereng tersebut menemukan keseimbangan yang baru dan menjadi stabil. Macam-macam longsor yang sering terjadi adalah longsor busur, longsor bidang, longsor baji dan longsor guling serta longsor kombinasi dari keempat jenis longsor yang telah disebutkan sebelumnya (longsor kompleks).

Dinding Penahan Tanah Kantilever. Dinding penahan tanah atau *Retaining Wall* berfungsi sebagai bangunan konstruksi yang

menahan keruntuhan dan terlepasnya massa tanah pada kondisi tanah yang miring. Tekanan yang terjadi di dalam tanah dapat memberikan dorongan pada dinding sehingga dinding memiliki potensi terguling dan pergeseran. Berat dari dinding baik dari depan maupun dari belakang sangat berpengaruh terhadap kestabilan dinding penahan tanah. Salah satu jenis dinding penahan tanah yang umum digunakan adalah dinding tipe kantilever, yang dibangun menggunakan struktur beton bertulang. Berdasarkan kestabilan dinding jenis ini bergantung pada berat tanah yang berada di atas pelat dasar (*base slab*), sehingga desain dimensi untuk bagian batang vertikal (*stem*) dan pelat dasar dapat dibuat relatif tipis. Dinding tipe kantilever umumnya diaplikasikan pada konstruksi dengan tinggi maksimal hingga 8 meter. Dalam proses perencanaannya, perlu juga diperhitungkan kondisi tanah di bawah struktur, karena fondasi dinding harus diletakkan pada tanah dengan daya dukung yang mencukupi. Untuk menghindari kegagalan akibat geseran pada bagian depan dinding, biasanya digunakan tiang pancang tanpa sambungan langsung dengan pelat dasar [4].

Perkuatan Dinding Penahan Tanah dengan Pondasi Tiang Bor (*Bored Pile*). Bentuk perkuatan yang digunakan pada stabilitas lereng adalah dengan memilih dinding penahan tanah sebagai alternatif baik bagi



Gambar 2 Tipikal Dimensi Dinding Penahan Tanah

lereng tebing maupun lereng bawah jalan. Kegagalan dinding penahan tanah juga terkadang karena tanah di dasar kaki struktur dinding tidak stabil, oleh karena itu perkuatan dengan tiang bor pada dinding penahan tanah diperlukan untuk mencegah dinding mengalami geser dan guling. Perhitungan struktur pondasi tiang bor mencakup rangkaian perhitungan daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan ujung tiang dan daya dukung geser yang diperoleh dari daya dukung gesek (*friction capacity*) atau gaya adhesi antara tiang bor dan kelilingnya. Tiang bor berhubungan langsung dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang dapat menahan dan memberi keamanan kepada beban di atasnya. Proses yang dapat menghasilkan perhitungan daya dukung tiang bor yang akurat maka perlu dilakukan penyelidikan tanah yang akurat [5].

3 LANDASAN TEORI

Finite Element Method (FEM). *Finite element analysis* (FEA) adalah suatu cara atau metode numeris untuk mendapatkan penyelesaian dari persamaan diferensial maupun persamaan integral. Penyelesaian persamaan diferensial didasarkan pada penyederhanaan persamaan diferensial yang kompleks dan banyak menjadi persamaan diferensial biasa, kemudian diselesaikan dengan mengintegrasikan secara numeris dengan menggunakan metode Euler atau Runge-Kutta. Dalam FEA, obyek baik berupa luasan (2D) maupun volume (3D) dipecah menjadi elemen kecil-kecil kemudian dengan memasukkan nilai

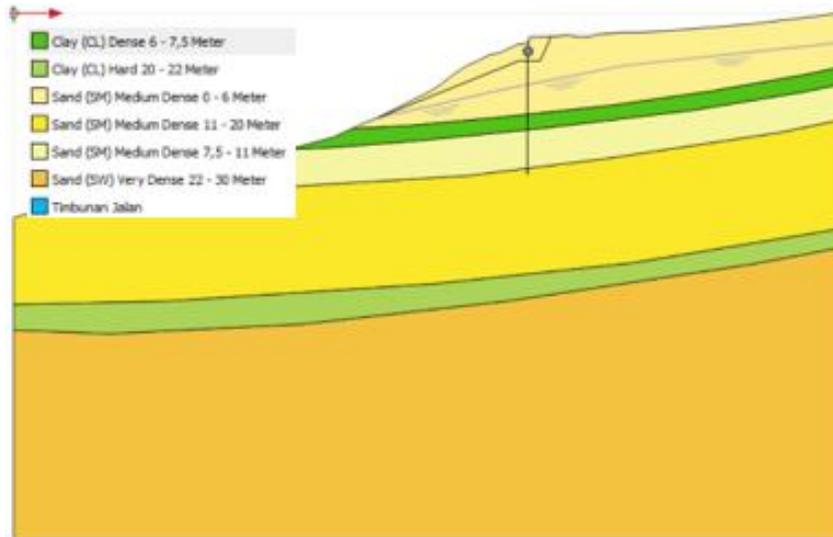
batasan (biasanya pada permukaan) dan nilai awal (sebagai *trial and error*) pada rumus-rumus yang ada (misalnya persamaan diferensial). Perhitungan seperti itu dilakukan berulang-ulang (iterasi) sehingga diperoleh hasil yang tepat (masuk toleransi). Perhitungan ini bila dilakukan secara manual akan sulit dan memerlukan waktu yang lama, namun dengan bantuan sebuah komputer, perhitungan menjadi mudah dan cepat. Dengan perkembangan komputer yang pesat, maka bermunculan banyak *software* FEA untuk membantu merancang suatu komponen dan sistem.

Stabilitas Dinding Penahan Tanah. Salah satu faktor yang mempengaruhi stabilitas dinding penahan tanah adalah konsolidasi, dimana kondisi ini tanah mengalami pengurangan volume yang diakibatkan oleh tanah berubah menjadi jenuh sehingga permeabilitas menjadi rendah akibat aliran air pori atau dalam definisi lainnya konsolidasi adalah proses tanah mengalami penurunan seiring menerima beban di atasnya. Besarnya penurunan konsolidasi dapat dihitung menggunakan perhitungan manual atau menggunakan pemodelan numerik 2D dan analisis konsolidasi sering ditinjau dalam kurun waktu 1 tahun atau 365 hari.

Daya Dukung Tiang Bor (Bored Pile). Daya dukung tiang bor dinyatakan sebagai kumulatif daya dukung ujung tiang (*point base*) dan gesekan antara tanah yang menyelimuti tiang bor dengan permukaan sekeliling tiang bor, perhitungan daya dukung ultimit ditunjukkan pada Persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 Q_u &= Q_b + Q_s - W_p \\
 Q_b &= A_b (60 \cdot N_{60} \leq 4500 \text{ kPa}) \\
 Q_s &= A_s \times P'_{o \text{ rata-rata}} \times \beta
 \end{aligned}$$

Dimana: Q_u = Daya dukung ultimit (kN), Q_b = Tahanan ujung ultimit tiang (kN), A_b = Luas penampang ujung tiang (m^2), N_{60} = Rata-rata statistik nilai SPT antara ujung bawah tiang bor sampai $2d_b$ di bawahnya, d_b = Diameter ujung bawah tiang bor (m), Q_s = Tahanan gesek ultimit antara tanah dan tiang bor (kN), W_p = Berat tiang bor (kN), N = Nilai N SPT



Gambar 5 Model Geometri Pemodelan Numerik 2D

Tabel 1 Parameter Tanah

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 SM (0-6 m)	10	MC	14,00	16,90	29,18	0,880	10,81E3	0,30
2	Clay CL (6-7,5 m)	14	MC	13,50	16,90	21,95	28,04	8618	0,25
3	Sand SM (7,5-11 m)	25	MC	13,80	17,00	31,52	11,96	11,95E3	0,30
4	Sand SM (11-20 m)	53	MC	14,10	16,50	32,49	12,54	23,62E3	0,25
5	Clay CL (20-22 m)	58	MC	13,70	16,90	21,24	21,28	36,39E3	0,25
6	Sand SW (22-30 m)	>60	MC	14,40	16,50	30,54	0,186	50,00E3	0,25
7	Tanah Timbunan		MC	15,00	16,00	30,00	5,000	30,00E3	0,30

Tabel 2 Parameter Dinding Penahan Tanah

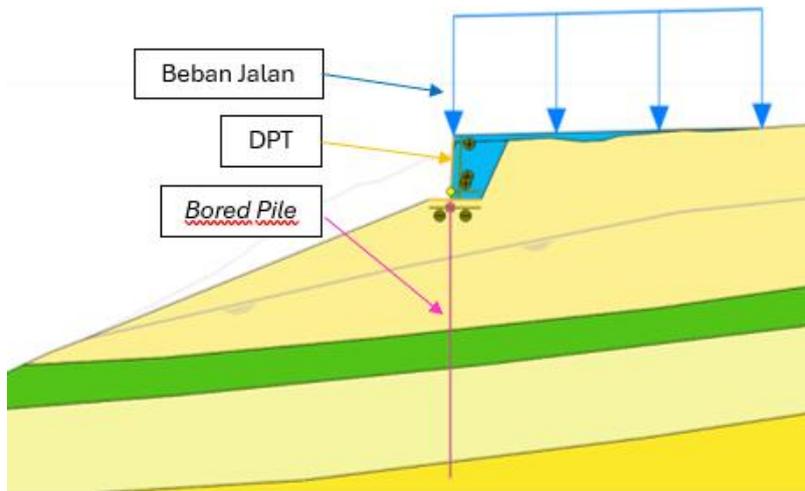
No	Jenis tanah	Material Type	γ	E_A	E_i	ν	d
			kN/m/m	kN/m	kN m ² /m		m
1	Dinding Beton	Elastic	9,60	10,30E6	137,3E3	0,20	0,4
2	Footing Beton	Elastic	12,00	12,87E6	286,2E3	0,20	0,5

Tabel 3 Parameter Tiang Bor (Bored Pile)

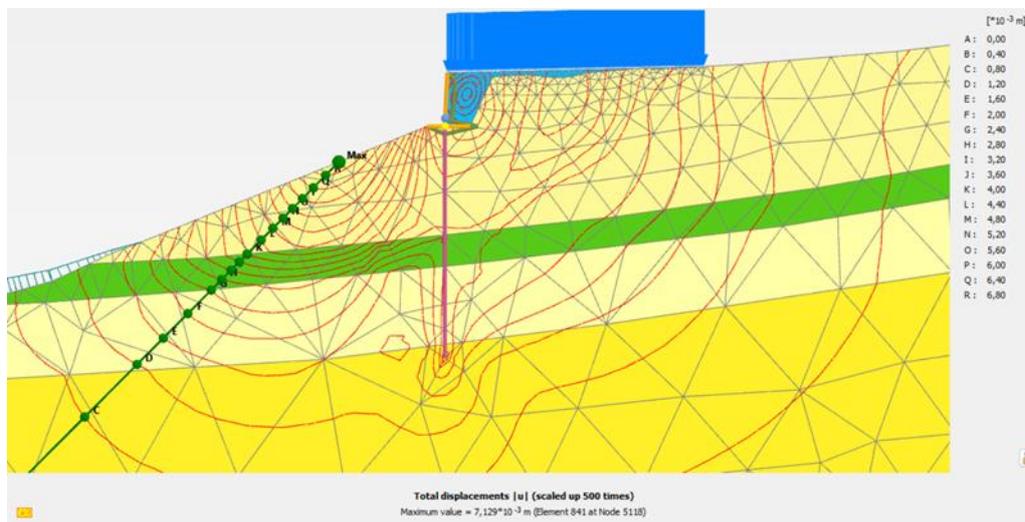
Model	<i>Embedded Beam Row</i>
E (kN/m ²)	25,74E6
D (m)	0,60
γ (kN/m ³)	24
Beam Type	<i>Predefined</i>
Predefined beam type	<i>Massive circular beam</i>
$L_{spacing}$ (m)	1,2
Axial skin Resistance	Linear
$T_{skin, start, end}$ (kN/m)	1
$T_{skin, start, end}$ (kN/m)	186,9
Base Resistance (kN)	1391,516

pokok 19 mm, mutu beton (f_c') 30 MPa serta panjang tiang 9,50 meter.

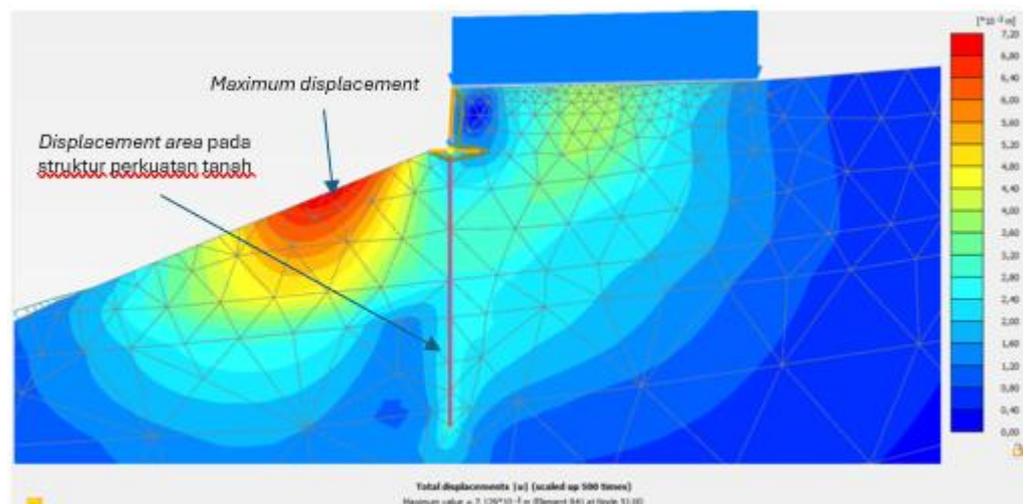
Analisis FEM. Analisis dilakukan menggunakan pemodelan numerik 2D. Dalam analisis diperlukan Geometri, data



Gambar 6 Geometri Pemodelan menggunakan Perkuatan DPT Bored Pile



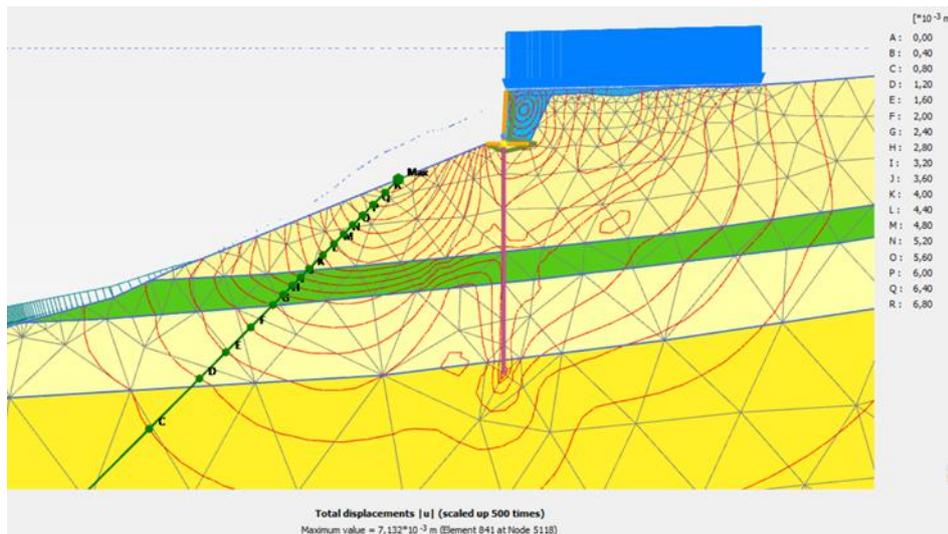
Gambar 7 Total Displacement Phase Traffic Load (Contour Line)



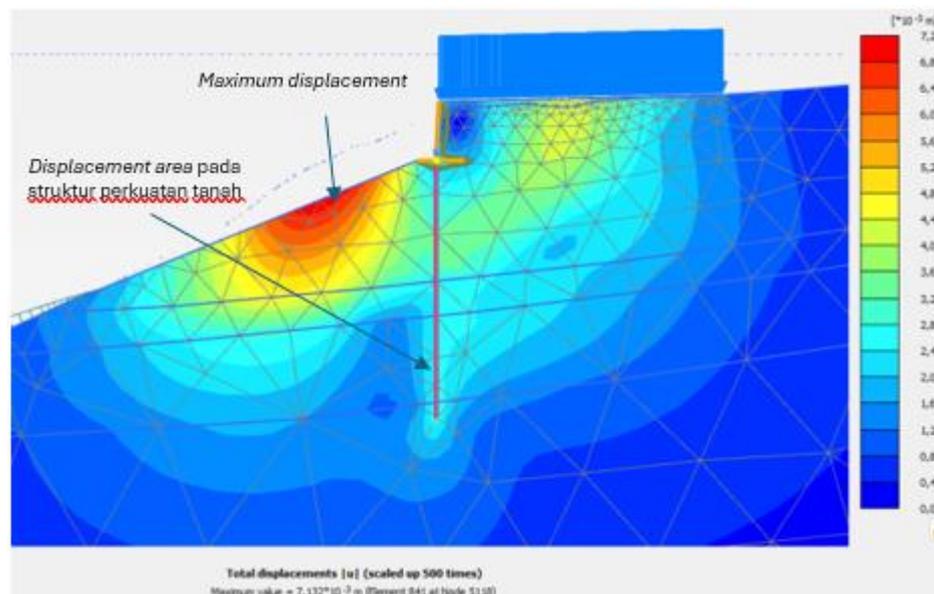
Gambar 8 Total Displacement Phase Traffic Load (Shadings)

parameter tanah, material dan beban yang bekerja.

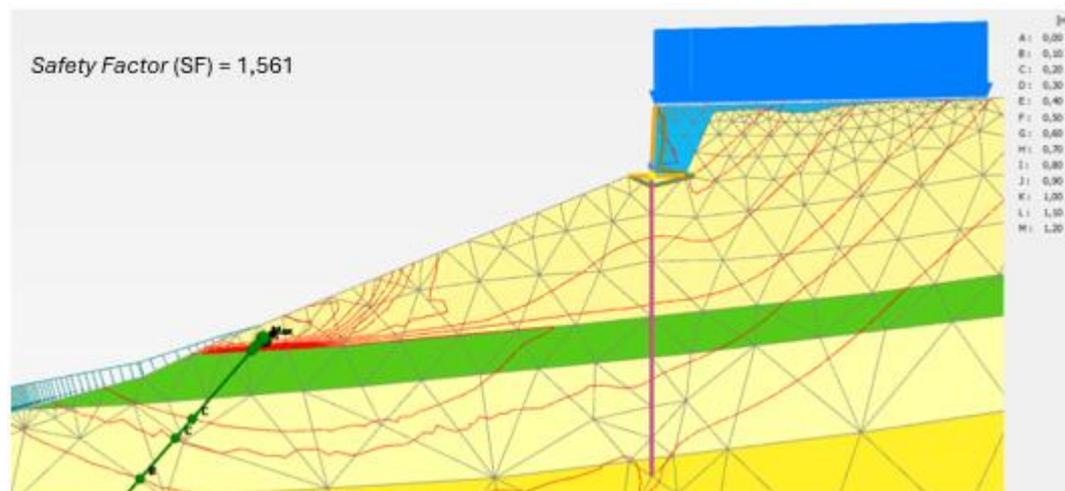
Adapun parameter tanah yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1 sampai Tabel 3.



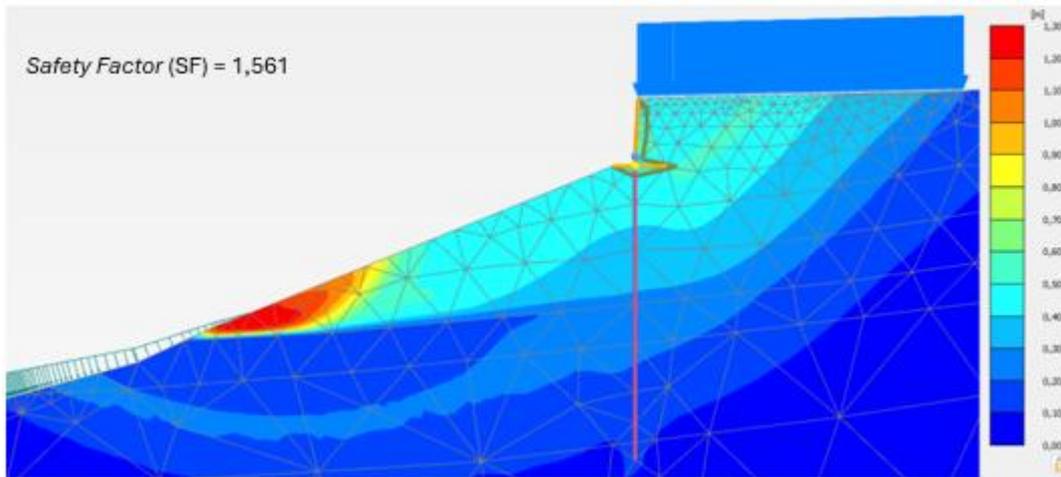
Gambar 9 Total Displacement Phase Beban Gempa (Contour Line)



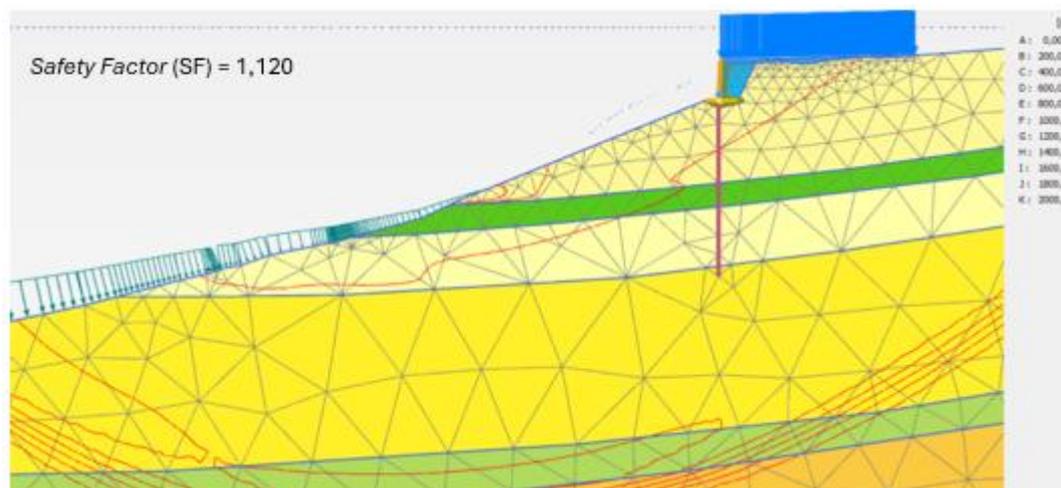
Gambar 10 Total Displacement Phase Beban Gempa (Shadings)



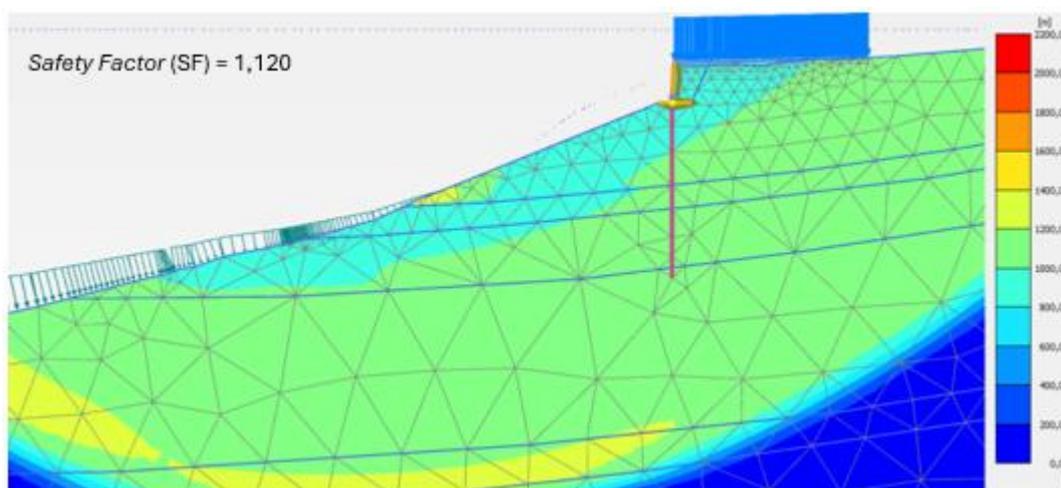
Gambar 11 Angka Aman (SF) Kondisi Layan (Contour Line)



Gambar 12 Angka Aman (SF) Kondisi Layan (*Shadings*)



Gambar 13 Angka Aman (SF) Beban Gempa (*Contour Line*)



Gambar 14 Angka Aman (SF) Beban Gempa (*Shadings*)

Hasil Analisis Pemodelan Numerik 2D. Hasil analisis dari pemodelan numerik 2D bisa dilihat pada Gambar 6 sampai dengan Gambar 14.

Pembahasan Analisis. Berdasarkan analisis menggunakan pemodelan numerik 2D, diperoleh hasil *maximum total displacement* pada *phase traffic load* 7,129 cm dan pada *phase beban gempa* 7,132 cm

Tabel 4 Rekapitulasi Angka Aman (SF)

No	Tahapan	Jenis Beban	Angka Aman (SF)	Syarat Angka Aman (SF) SNI 8460-2017	Ket.
1	Kondisi Layan	Traffic Load	1,561	1,5	OK
2	Kondisi Gempa	Gempa	1,120	1,1	OK

yang dilihat pada *shading* warna merah terletak di luar perkuatan DPT dan *Bored Pile*, untuk deformasi di area perkuatan struktur hanya berkisar 2,40 – 2,80 cm. Sedangkan hasil analisis angka aman (SF) dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan perhitungan manual berdasarkan standar (SNI 8460-2017 pasal 10.2.5.3) diperoleh hasil stabilitas geser (SF) sebesar $4.87 > 2$, stabilitas guling (SF) sebesar $3,33 > 1,5$, dan kapasitas daya dukung ijin sebesar $73,47 \text{ kN/m}^2 > 130,0 \text{ kN/m}^2$. Hal ini menunjukkan bahwa analisis FEM dan perhitungan manual menunjukkan desain dinding penahan tanah dengan perkuatan tiang bor dapat digunakan sebagai alternatif stabilitas lereng.

5 KESIMPULAN

Penggunaan dinding penahan tanah tipe kantilever dengan perkuatan *bored pile* efektif dalam meningkatkan kestabilan lereng pada ruas jalan Paleleh–Lokodoka KM 685+100. Hasil analisis menggunakan *Finite Element Method* (FEM) dengan pemodelan numerik 2D menunjukkan nilai faktor keamanan (SF) sebesar 1,561 pada beban lalu lintas dan 1,120 pada beban gempa, keduanya memenuhi persyaratan minimum yang ditetapkan oleh SNI 8460-2017. Perhitungan manual terhadap stabilitas geser, stabilitas guling, dan daya dukung tanah juga menunjukkan hasil yang melebihi batas minimum persyaratan, memperkuat validitas desain yang direncanakan. Perkuatan *bored pile* secara signifikan mengurangi deformasi horizontal dan total *displacement* pada lereng, sehingga memberikan kontribusi terhadap keamanan dan keberlanjutan infrastruktur jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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, 2022.
- [2] S. Yurizki, "Analisis Kestabilan Lereng Tambang Andesit Analisis Kestabilan Lereng Tambang Andesit," Teknik Pertambangan ITSB, Deltamas, 2020.
- [3] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah 2*, Yogyakarta: UGM Press, 2018.
- [4] BSN, "SNI 8460:2018 Persyaratan Perancangan Geoteknik," BSN, Jakarta, 2017.
- [5] F. E. Lumempouw, J. B. Mangare and P. A. K. Pratahis, "Metode Pelaksanaan Konstruksi Pekerjaan Pembuatan Pondasi Bore Pile Gedung Luwansa Hotel & Conventions Manado Sulawesi Utara," *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, vol. 13, no. 1, pp. 25-36, 2023.

