

PENGARUH VARIASI DIAMETER TIANG BOR PADA PERKUATAN LERENG RUAS JALAN TAWAELI – TOBOLI KM. 59 + 175

Dede Irham Arief¹, Agus Darmawan Adi² dan Fikri Faris³

¹ Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia
Email: dedearf96@gmail.com

ABSTRACT

The Tawaeli - Toboli Km 59 + 175 road section, it is an area prone to landslides caused by unstable road slopes. The chronology of landslides on the slopes of the Tawaeli – Toboli Km. 59 + 175, namely during the rainy season, the landfill on the slope shifts so that it carries the original soil material up to the shoulder of the road, it causes disruption to traffic flow and can endanger drivers. This study was conducted by analyzing the stability of the slope strengthened with a cantilever walls and combined with drill piles with varying diameters, namely D40, D60 and D80. The results of the calculation of the safety factor on the slopes is 1,364 which is not sufficient, so it needs to be strengthened additional, namely using bore piles with varying diameters, namely D40, D60 and D80. For the safety factor at D40 is still considered critical, namely $1.488 < 1.5$ and D60 at $1.629 > 1.5$ and D80 $1.849 > 1.5$. The results of the overall analysis show that the slopes of the Tawaeli – Toboli Km. 59 + 175, during extreme conditions or moist soil conditions caused by rainwater, it is very vulnerable to landslides so that it needs to be strengthened in the form of a cantilever wall with a wall height of 5 meters and additional deep foundations using bore piles with a diameter of 60 cm, it is considered efficient in strengthening the slope.

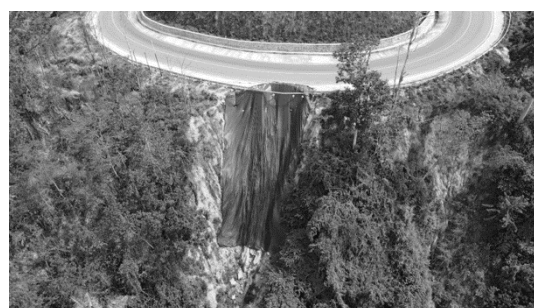
Keywords: slopes, retaining wall, plaxis 2D, reinforcement

PENDAHULUAN

Jalan merupakan prasarana yang sangat dibutuhkan Pada Ruas Jalan Tawaeli – Toboli Km. 59 + 175 merupakan daerah rawan terjadinya tanah longsor yang disebabkan oleh tidak stabilnya lereng badan jalan, ketidakstabilan lereng badan jalan dapat mempengaruhi lapisan perkerasan sehingga jalan tersebut mudah mengalami kerusakan seperti jalan retak dan bergelombang sehingga tidak dapat mencapai umur rencana.

Kronologis terjadinya longsor pada lereng ruas jalan Tawaeli – Toboli Km. 59 + 175 yaitu pada saat musim hujan tanah timbunan pada lereng tersebut bergeser serta membawa material tanah asli hingga mencapai bahu jalan, hal ini menyebabkan gangguan pada arus lalu lintas dan dapat membahayakan para pengendara jalan tersebut. Oleh karena itu, perlu adanya evaluasi terhadap kondisi lereng dan penanganan longsor pada Ruas Jalan

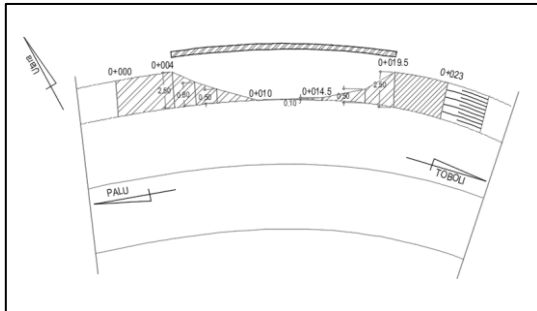
Tawaeli – Toboli Km. 59 + 175. Adapun titik longsor yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Foto lokasi longsor Km. 59 + 175 Ruas Jalan Tawaeli – Toboli

Penanganan yang direncanakan adalah dengan analisis kekuatan lereng menggunakan Dinding penahan tanah tipe *Cantilever Wall* dengan kekuatan fondasi dalam menggunakan *Bore Pile* atau tiang bor, dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi diameter tiang terhadap

perkuatan dinding penahan tanah Ruas Jalan Tawaeli – Toboli Km. 59 + 175.



Gambar 2. Sketsa situasi lokasi longsor Km. 59 + 175 Ruas Jalan Tawaeli – Toboli

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Ruas Jalan Poros Tawaeli – Toboli tepatnya pada titik koordinat 0°42'50.795" S 120°3'10.016" E.

Pengumpulan Data Sekunder

Pengeboran untuk tanah asli dilakukan sebanyak 2 (dua) titik dengan kedalaman titik 20 meter dengan menggunakan bor log.

Tabel 1. Hasil pengeboran lapisan tanah titik BH 01

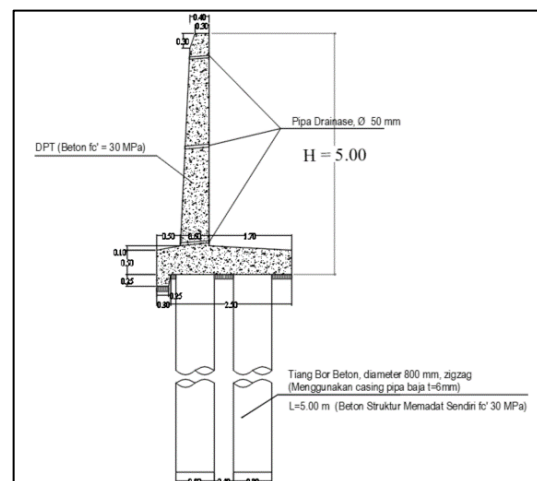
Depth (m)	N-SPT	Jenis Tanah	Ketebalan (m)
0 – 1	0	Cor Beton	1
1 – 2	35	Pasir Lempung abu-abu, setengah padat.	1
2 – 4	45	Pasir Lempungan krakal abu-abu, padat.	2
4 – 6	55	Lapukan Batu Pasir Krakal, Coklat padat.	2
6 – 12	60	Lapukan Batu Pasir Krakal, Coklat Tua, sangat padat.	6
12 – 18	60	Lapukan Batu Pasir Krakal Krikil abu-abu, sangat padat.	6
18 – 20	60	Lapukan Batu Pasir Krakal Krikil abu-abu, sangat padat.	2

Tabel 2. Hasil pengeboran lapisan tanah titik BH 02

Depth (m)	N-SPT	Jenis Tanah	Ketebalan (m)
0 – 4	45	Material timbunan berupa pasir lempung kerikil-kerakal, abu-abu padat.	4
4 – 9	55 - 60	Batu pasir kuarsa lapuk kuat berupa pasir lanau berkerikil, coklat sangat padat.	5
9 – 13	60	Pasir kerakal kerikil coklat padat berlanau, sangat padat.	4
13 – 20	60	Pasir lanau berkerikil, abu-abu sangat padat.	7,5

Ruas jalan Tawaeli – Toboli km 59 adalah jalan nasional yang merupakan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibukota provinsi dengan ibukota kabupaten/kota, atau antar ibukota kabupaten/kota, dan jalan strategis provinsi. Maka beban hidup diperoleh dari beban kendaraan yang digunakan untuk analisis perkuatan lereng pada jalan Tawaeli – Toboli km 59 adalah sebesar 15 kN/m².

Data desain dinding penahan tanah kantilever dan tiang bor yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Dimensi dinding penahan tanah kantilever dan tiang bor. (PT. Wiranta Bhuana Raya, 2021)

Analisis Stabilitas Lereng

Analisa stabilitas lereng meliputi konsep kemantapan lereng yaitu penerapan pengetahuan mengenai kekuatan geser tanah. Keruntuhan geser pada tanah dapat terjadi akibat gerak relatif antar butirnya. Dalam menganalisa stabilitas lereng harus ditentukan terlebih dahulu faktor keamanan (FK) dari lereng tersebut. Secara umum faktor keamanan didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya penahan dan gaya penggerak longsoran Persamaan (1).

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan longsor}}{\text{Gaya Penyebab longsor}} \quad (1)$$

Stabilitas terhadap Guling

Hardiyatmo (2002) menyatakan bahwa stabilitas terhadap guling adalah stabilitas yang ditinjau berdasarkan tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh tanah urug di belakang dinding penahan tanah. Berdasarkan momen penggulingan yang terjadi maka bangunan harus dapat menahan dengan momen akibat berat sendiri dinding penahan tanah dan momen akibat berat tanah di atas pelat fondasi. Faktor aman terhadap stabilitas guling (F_{gl}) dapat didefinisikan pada Persamaan (2) sebagai berikut.

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \quad (2)$$

Dimana:

$$\sum M_w = W b_1$$

$$\sum M_{gl} = \sum P_{ah} h_1 + \sum P_{av} B$$

$\sum M_w$ = momen yang melawan penggulingan (kN.m)

$\sum M_{gl}$ = momen yang mengakibatkan terjadi guling (kN.m)

W = berat tanah di atas pelat pondasi + berat sendiri dinding penahan (kN)

B = Lebar kaki dinding penahan (m)

$\sum P_{ah}$ = Jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

$\sum P_{av}$ = Jumlah gaya-gaya vertikal (kN)

$$FS_{(\text{kapasitas daya dukung})} = \frac{qu}{q_{maks}} \geq 3 \quad (5)$$

Syarat faktor aman minimum terhadap stabilitas guling (F_{gl}) bergantung pada jenis

tanah, nilai angka aman untuk bagi masing-masing jenis tanah adalah sebagai berikut: $F_{gl} \geq 1,5$ untuk tanah dasar granular, dan $F_{gl} \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif.

Analisa stabilitas lereng meliputi konsep kemantapan lereng yaitu penerapan pengetahuan mengenai kekuatan geser tanah. Keruntuhan geser pada tanah dapat terjadi akibat gerak relatif antar butirnya.

Stabilitas terhadap Geser

Hardiyatmo (2002) menyatakan bahwa gaya-gaya yang menggeser dinding penahan tanah akan ditahan oleh tekanan tanah pasif di depan

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_{ah}} \quad (3)$$

dinding penahan tanah jika terdapat tanah timbunan dan gesekan antara tanah dengan dasar fondasi. Faktor aman terhadap stabilitas geser (F_{gs}) dapat didefinisikan pada persamaan (3) sebagai berikut.

Dimana:

$\sum R_h$ = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran

$\sum P_h$ = Jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

Syarat faktor aman minimum terhadap stabilitas geser (F_{gs}) pada dasar fondasi ditentukan minimum 1,5. (Bowless ,1997) menyarankan: $F_{gs} \geq 1,5$ untuk tanah dasar granular, dan $F_{gs} \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif.

Kapasitas Dukung Ultimit (Q_u)

$$Q_u = cN_c + ((D_f\gamma) + q_0) N_q + 0,5\gamma BN_\gamma \quad (4)$$

Dimana:

B = lebar kaki dinding penahan (m)

e = eksentrisitas beban (m)

D_f = kedalaman tanah (m)

q_0 = beban merata (kN/m)

c = nilai kohesi (kN/m²)

γ = berat volume tanah (kN/m³)

N_c, N_q, N_γ =fakto kapasitas dukung Hansen dan Vesic

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas daya dukung tanah dapat didefinisikan pada Persamaan (5).

Dimana:

q_u = tekanan tanah ultimit (kN/m^2)
 q_{maks} = tekanan maksimal akibat beban struktur (kN/m^2)

Daya Dukung Tiang Bor (Q_u)

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 (6).

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \quad (6)$$

Nilai Q_b seperti terlihat pada Persamaan (7) (Reese & O'Neill, 1999).

$$Q_b = A_b (60 \cdot N_{60} \leq 4500 \text{ kPa}) \quad (7)$$

Dimana:

Q_b = Tahanan ujung ultimit tiang (kN)
 A_b = Luas penampang melintang tiang ($d = 0,8\text{m}$) (m^2)

N_{60} = Nilai N-SPT rata-rata antara ujung bawah tiang bor sampai $2d_b$ di bawahnya. Tidak perlu dikoreksi terhadap *overburden*

F_r = Faktor koreksi tiang bor terhadap tanah (kN)

c_u = Kohesi tak terdrainase (*undrained*) (kN/m^2)

N_c' = Faktor kapasitas dukung = 9

Nilai (Q_s) pada tanah granuler seperti ditunjukkan pada Persamaan (8) (Reese & O'Neill, 1989).

$$Q_s = A_s \times P_{o'}'_{rata-rata} \times \beta \quad (8)$$

Dimana:

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

$p_{o'}'$ = Tekanan *overburden* di tengah-tengah lapisan tanah (kN/m^2)

β = Faktor koreksi tiang bor

Program Plaxis 2D

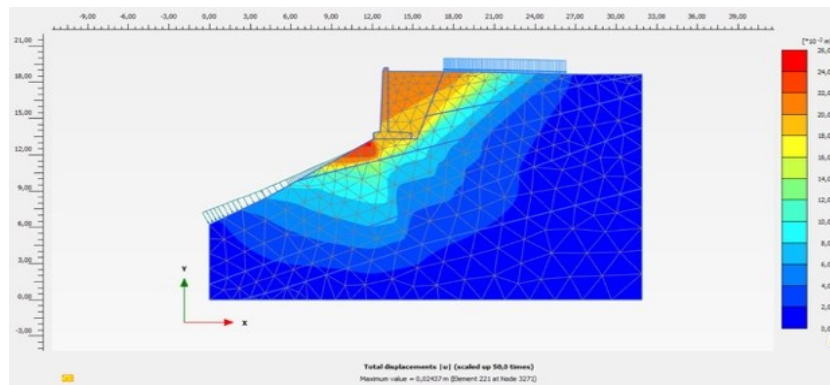
Program Plaxis adalah sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam bidang rekayasa geoteknik.

Parameter yang digunakan dalam simulasi dengan program Plaxis di antaranya yaitu, berat volume kering (γ_{unsat}), berat volume jenuh air (γ_{sat}), permeabilitas arah horizontal (*horizontal permeability*, k_x), permeabilitas arah vertikal (*vertical permeability*, k_y), modulus elastisitas tanah (*Young's modulus*, E), angka poisson (*poisson's ratio*, ν), kohesi (*cohesion*, c), sudut geser (*friction angle*, ϕ), sudut dilatansi (*dilatancy angle*, ψ).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah menggunakan Program Plaxis 2D

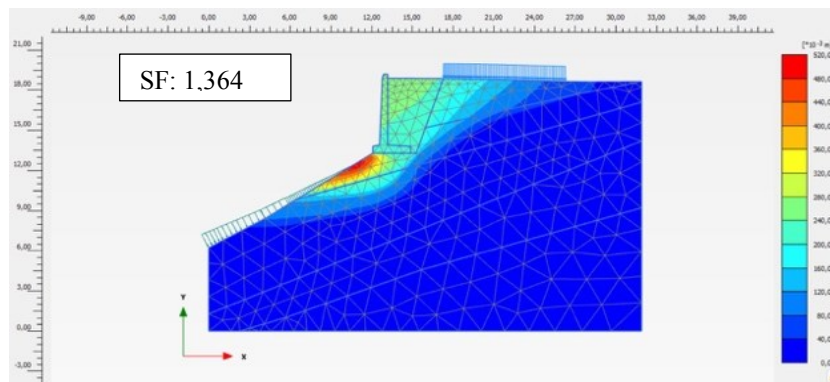
Analisis stabilitas lereng yang telah diberi perkuatan untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan dinding penahan tanah tipe kantilever yang bertujuan sebagai perkuatan pada lereng. Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan tanah hanya akan dilakukan dalam kondisi ekstrem, hal ini dilakukan untuk mengetahui perilaku deformasi dan angka aman lereng pada kondisi tanah ekstrem. Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan program Plaxis 2D diperoleh *Total displacement* yang terjadi adalah $0,02437 \text{ m} = 2,4 \text{ cm}$ seperti yang terlihat pada Gambar 5, nilai SF sebesar 1,364, nilai SF yang diperoleh $< 1,5$ sehingga perlu diberi perkuatan tambahan dengan penggunaan tiang bor sebagai fondasi dalam dari dinding penahan tanah.



Gambar 4. Total displacement pada lereng dengan perkuatan pada kondisi ekstrem

Selanjutnya perlu dilakukan analisis untuk mencari angka aman lereng dengan perkuatan

pada kondisi ekstrem, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Bidang longsor pada lereng dengan perkuatan kondisi ekstrem

Analisis Stabilitas Eksternal Dinding Penahan Tanah

Analisis stabilitas eksternal dinding penahan tanah merupakan analisis stabilitas antara dinding penahan dengan tanah dasar. Stabilitas eksternal sebuah dinding penahan tanah meliputi stabilitas terhadap guling, geser dan kapasitas daya dukung tanah.

Stabilitas terhadap Gaya Guling

$$\begin{aligned} \Sigma M_w &= M_k + M_h \\ &= 158,426 + 18,750 \\ &= 177,176 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_{gl} &= M_{pa} \\ &= 138,786 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$SF = \Sigma M_w / \Sigma M_{gl}$$

$$\begin{aligned} &= 177,176 / 138,786 \\ &= 1,277 < 2 \text{ (Tidak Aman)} \end{aligned}$$

Stabilitas terhadap Gaya Geser

$$\begin{aligned} \Sigma R_h &= W \times f \\ &= W \times tg \delta_b \\ &= 172,265 \times tg 36^\circ \\ &= 125,158 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SF &= \Sigma R_h / \Sigma P_a \\ &= 125,265 / 67,046 \\ &= 1,702 > 1,5 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

Stabilitas terhadap Daya Dukung Tanah

Berdasarkan tabel nilai faktor kapasitas dukung tanah Terzaghi (1943), dengan sudut

geser tanah (ϕ) sebesar 36° diperoleh nilai-nilai sebagai berikut.

$$N_c = 50,59 ; N_q = 37,80 ; N_\gamma = 40,10$$

$$q_u = c \times N_c + ((D_f \times \gamma) + q_o) N_q + 0,5\gamma \times B \times N_\gamma$$

$$= 2031,831 \text{ kN/m}^2$$

$$q_a = q_u / SF$$

$$= 2031,831 / 3$$

$$= 677,277 \text{ kN/m}^2$$

$$V = \Sigma W_k$$

$$= 209,765 \text{ kN/m}$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 2,5 - 2 \times 0,417$$

$$= 1,67 \text{ m}$$

$$q = V / B'$$

$$= 209,765 / 1,667$$

$$= 125,859 \text{ kN/m}$$

$$SF = q_u / q$$

$$= 2031,831 / 125,859$$

$$= 17,290 > 3 \text{ (Aman)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan stabilitas pada dinding penahan tanah tipe kantilever, diperoleh hasil bahwa dinding aman terhadap gaya geser yang terjadi dengan nilai SF yang diperoleh adalah $1,702 > 1,5$, untuk nilai SF terhadap kapasitas daya dukung tanah diperoleh nilai sebesar $17,290 > 3$, namun pada perhitungan stabilitas terhadap gaya guling nilai SF yang diperoleh $1,277 < 2$. Sehingga, desain dinding penahan tanah dapat digunakan namun perlu menambah kekuatan pada dinding dengan menggunakan tiang bor sebagai pondasi dalam.

Analisis Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah dan Tiang Bor

Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan Tiang Bor

diperlukan untuk mengetahui kekuatan dinding penahan tanah yang diperkuat dengan tiang bor dalam menahan beban-beban yang bekerja dan membandingkannya dengan dinding penahan tanah saja sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja dari perkuatan tersebut.

Analisis dinding penahan tanah dengan perkuatan tiang bor tersebut dilakukan dengan perhitungan stabilitas dinding terhadap kapasitas dukung tiang secara manual dan pemodelan menggunakan program *Plaxis 2D*. Analisis dilakukan dengan memvariasikan ukuran diameter tiang untuk memperoleh nilai SF yang aman untuk perencanaan lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang bor.

Data-data yang digunakan dalam analisis lereng eksisting diperkuat dengan dinding penahan tanah dan tiang bor adalah sebagai berikut.

1. Dinding penahan tanah menggunakan tipe kantilever.
2. Dinding penahan tanah dan tiang bor terbuat dari beton bertulang.
3. Berat volume beton bertulang yang digunakan adalah 24 kN/m^3 .
4. Mutu beton yang digunakan adalah $f_c' = 30 \text{ MPa}$.
5. Diameter rencana tiang variasi $D = 40 \text{ cm}$, $D = 60 \text{ cm}$ dan $D = 80 \text{ cm}$.
6. Panjang tiang rencana adalah 5 meter dan berada pada kedalaman 10 meter dari permukaan tanah.

Perhitungan Stabilitas Dinding Penahan Tanah menggunakan Tiang Bor

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. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan stabilitas DPT menggunakan tiang bor

Diameter	Q_b	Q_s	W_p	Q_u	Q_a
cm	kN	kN	kN	kN	kN
40	398,103	368,602	30,159	736,545	294,618
60	895,731	552,903	67,858	1380,775	552,310
80	1592,410	737,204	120,637	2208,977	883,591

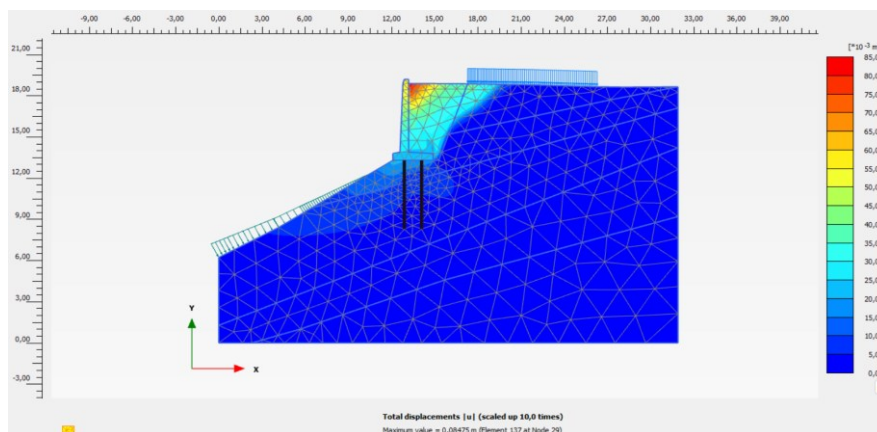
Berdasarkan perhitungan kapasitas dukung ijin tiang bor dengan beberapa variasi ukuran diameter tiang, diperoleh hasil bahwa nilai kapasitas dukung ijin tiang (Q_a) > dari gaya yang bekerja dari dinding penahan tanah yaitu 172,265 kN.

Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah dan Tiang Bor

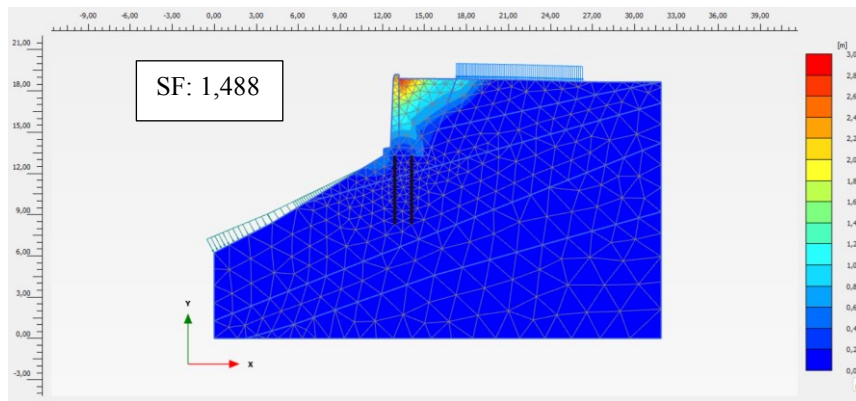
Permodelan lereng dilanjutkan dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang bor variasi ukuran D40, D60, dan D80 menggunakan program *Plaxis 2D*.

Pemodelan Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah dan Tiang Bor D40

Berdasarkan hasil pemodelan diperoleh nilai *total displacement* pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang bor sebesar 0,08475 m, *total displacement* dan arah pergerakan lereng dapat dilihat pada Gambar 6. Pemodelan lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang bor D40 menghasilkan daerah potensi bidang gelincir dan nilai *SF* yang diperoleh adalah 1,488 seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 6. *Total displacement* lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang bor D40

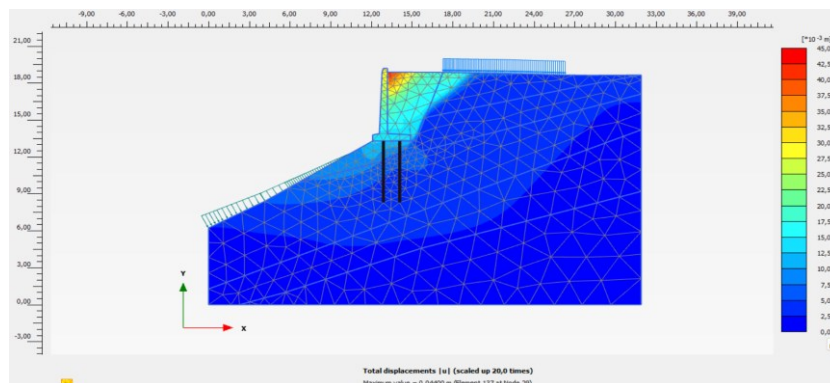


Gambar 7. Daerah potensi bidang gelincir lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang bor D40

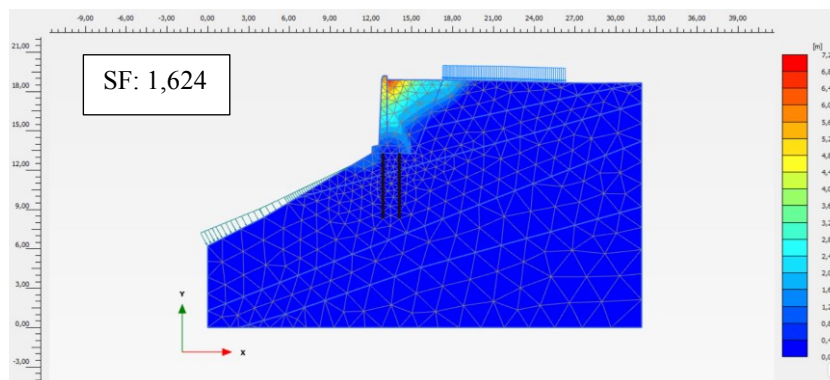
Pemodelan Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah dan Tiang Bor D60

Berdasarkan hasil pemodelan diperoleh nilai *total displacement* pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang

bor sebesar 0,04400 m, *total displacement* dan arah pergerakan lereng dapat dilihat pada Gambar 8. Pemodelan lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang bor D60 menghasilkan daerah potensi bidang gelincir dan nilai *SF* yang diperoleh adalah 1,624 seperti yang terlihat pada Gambar 9.



Gambar 8. *Total displacement* lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang bor D60

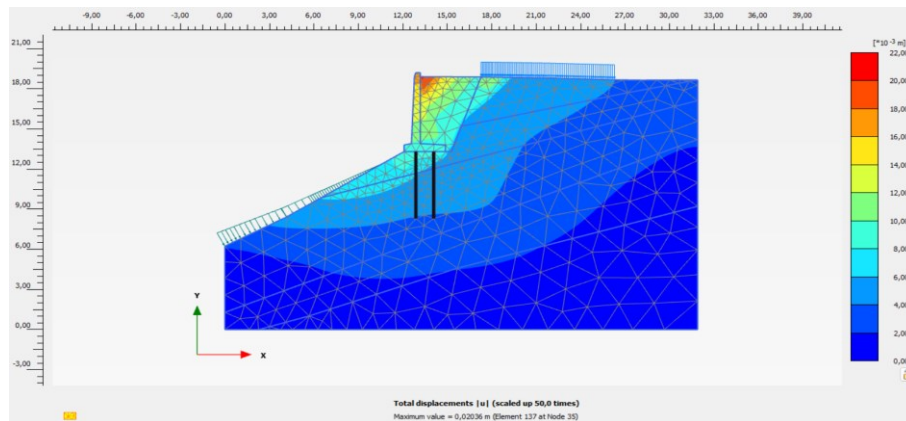


Gambar 9. Daerah potensi bidang gelincir lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang bor D60

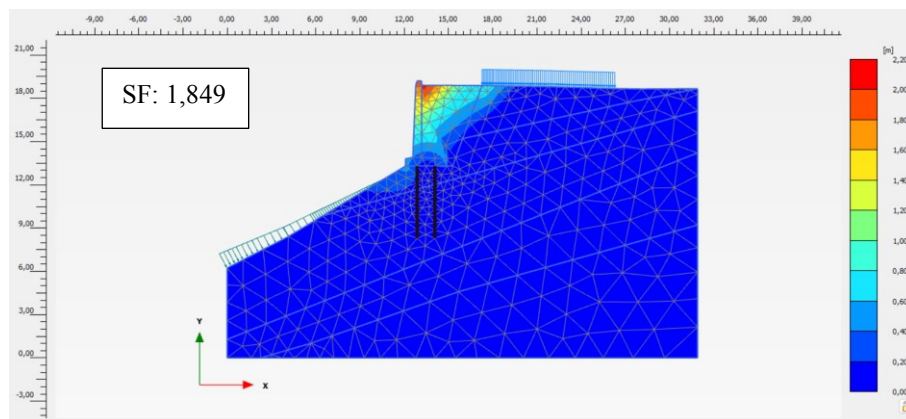
Pemodelan Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah dan Tiang Bor D80

Berdasarkan hasil pemodelan diperoleh nilai *total displacement* pada lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang

bor sebesar 0,02036 m, *total displacement* dan arah pergerakan lereng dapat dilihat pada Gambar 10. Pemodelan lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang bor menghasilkan daerah potensi bidang gelincir dan nilai *SF* yang diperoleh adalah 1,849 seperti yang terlihat pada Gambar 11.



Gambar 10. *Total displacement* lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang bor D80



Gambar 11. Daerah potensi bidang gelincir lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang bor D8

Pembahasan

Hasil pemodelan lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang bor diperoleh bahwa untuk tiang D40 nilai *SF* yang diperoleh adalah 1,488 dimana nilai ini masih kurang dari standar aman yaitu $< 1,5$, untuk tiang D60 diperoleh nilai *SF* yaitu 1,624 hasil menunjukkan bahwa $SF > 1,5$, serta untuk tiang D80 diperoleh nilai *SF* yaitu 1,849 $> 1,5$. Berdasarkan hasil tersebut dapat dikatakan

bahwa tidak disarankan menggunakan tiang dengan diameter $< D60$, sedangkan jika ditinjau dari nilai *SF* yang diperoleh bahwa tiang dengan diameter D60 dan D80 menunjukkan nilai $> 1,50$ (Aman). Sehingga ukuran D60 dan D80 dapat menjadi saran ukuran diameter tiang dalam perencanaan stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang bor. Rekapitulasi keseluruhan hasil pemodelan lereng dengan

perkuatan dinding penahan tanah dan tiang bor, dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Rekapitulasi hasil pemodelan

Diameter Tiang (m)	Total Displacement (m)	Safety Factor (SF)
0,4	0,08475	1,488
0,6	0,04400	1,624
0,8	0,02036	1,849

KESIMPULAN

Hasil analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan perhitungan manual diperoleh hasil bahwa lereng aman terhadap gaya geser dengan hasil SF stabilitas geser adalah $1,702 > 1,50$ (Aman), hasil SF terhadap kapasitas daya dukung tanah $17,290 > 3$ (Aman), namun pada stabilitas terhadap gaya guling nilai SF yang diperoleh $1,277 < 1,50$ (Tidak Aman) hal ini menunjukkan bahwa dinding penahan tanah masih memiliki potensi terjadinya guling, sehingga perlu diberi tambahan perkuatan berupa tiang bor yang berfungsi sebagai pondasi dalam.

Hasil analisis kapasitas dukung tiang bor sebagai perkuatan pada dinding penahan tanah untuk tiang D40 nilai Q_a yang diperoleh adalah 294,619 kN, untuk tiang D60 nilai Q_a yang diperoleh adalah 552,310 kN serta untuk tiang D80 nilai Q_a yang diperoleh adalah 883,591 kN. Nilai-nilai Q_a yang diperoleh kemudian divalidasi terhadap gaya aksial yang bekerja pada dinding penahan tanah, kapasitas dukung tiang dari ketiga variasi diameter tersebut aman terhadap gaya aksial yang bekerja yaitu $> 172,265$ kN.

Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah dan tiang bor juga divalidasi dengan menggunakan Program *Plaxis 2D*, hasil yang diperoleh adalah untuk tiang bor D40 nilai SF yang diperoleh adalah 1,488, untuk tiang bor D60 nilai SF yang diperoleh adalah 1,624 serta untuk tiang bor D80 nilai SF yang diperoleh 1,849. Hal ini menunjukkan bahwa tiang bor D40 tidak disarankan untuk digunakan karena nilai $SF < 1,50$, sehingga untuk penggunaan tiang bor sebagai pondasi dalam pada lereng dinding

penahan tanah menggunakan tiang bor dengan ukuran diameter > 60 cm dengan hasil analisis nilai $SF > 1,50$.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugrahadi, A., Purwadhu, F. S. H., Haryanti, N. S., & Aris Poniman. (2016). "Terapan penginderaan jauh dan sistem informasi geografis dalam mitigasi bencana beraspek geologi". Tesis, Universitas Trisakti, Jakarta.
- Apriyono, A., Wariyatno, N. G., Sipil, J. T., & Soedirman, U. J. (2016). "Analisis Penanggulangan Kelongsoran Tanah pada Ruas Jalan Gunung Tugel Patikraja Banyumas". *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Teknik Sipil*, 14(1), 53–61.
- Aswanto, M. (2019). "Perencanaan Penahan Tanah 15 M dengan Dinding Kantilever di Perimeter Swichyard Skyland Jayapura". *Konstruksia*, 11(1), 63–71.
- Badan Standarisasi Nasional. (2017). "SNI 8460-2017. Persyaratan perancangan geoteknik". Badan Standarisasi Nasional (BSN). Jakarta.
- Bokko, J. (2019). "Analisis Kelongsoran Jalan Poros Sangalla-Batualu Dengan Program Plaxis". *Journal Dynamic Saint*, 4(1), 764–772.
- Das, B. M. (1995). "Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)". Penerbit Erlangga, 1–300.
- Das, B. M. (2011). *Principles of Foundation Engineering*. Stamford: Global Engineering.
- Dharmayasa, I., & Eratodi, I. (2016). "Analisis Dinding Penahan Tanah Dengan Pondasi Tiang Bor (Studi Kasus Tower Pln No. 71 Sutt 150 Kv Di Jalan Gatot Subroto Barat Denpasar)". *Dinamika Rekayasa*, 12(2), 71.
- Gumilar, H. P., Cakrabuana, W., Hastari, R., & Sadisun, I. A. (2017). "Analisis Kestabilan dan Perkuatan Lereng Massa Batuan Menggunakan Slope Mass Rating dan Rock Mass Rating di

- Jalan Raya Tawaeli-Toboli km 52-64, Palu, Sulawesi Tengah”. Prosiding Seminar Nasional Kebumihan ke-10 UGM, Indonesia.
- Hardiyatmo, H. C. (2006). “Teknik Pondasi P”. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Highland, L and Johnson, M. (2004). “Landslide Types and Processes. USGS Fact Sheet 2004-3072”. Geochemistry, Geophysics, Geosystems.
- Karnawati, D. (2005). “Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya”. Penerbit Jurusan Teknik Geologi FT Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Laporan Konsultan Individu. (2016). “Laporan Penyelidikan Geologi Teknik Sepanjang Ruas Jalan Tawaeli-Toboli, Sulawesi Tengah”. Bandung: EngGeo Laboratory.
- Menteri Pekerjaan Umum. (2007). “Peraturan Menteri Pekerjaan Umum (PMPU)”.
- Sudarmanto. (1996). “Dinding Penahan Tanah”. Konstruksi Beton 2.
- Sukamto, Sumadirja, H., Suptandar, T., Hardjoprawiro, S., dan Sudana, D. (1973). “Peta Geologi Tinjau Lembar Palu, Sulawesi, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi”.
- Suwarsa Putra, T., Wiryana, M., & Aryati, M. (2010). “Analisis Stabilitas Lereng Pada Badan Jalan Dan Perencanaan Perkuatan Dinding Penahan Tanah”. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 14(1), 36–42.
- Van Zuidam. (1985). “Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping”. The Hague : Smits, Publishers.
- Wagola, E. S., & Rasyid, M. (2020). “Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever pada Landfill TPA Kota Masohi Kabupaten Maluku Tengah Provinsi Maluku”. *Rekayasa Sipil*, 14(1), 70–74.
- Wesley, L. D. (2010). “Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual soils”.
- Zainul, Busthan, & Husain, R. (2021). “Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Elemen Hingga (MEH) Pada Ruas Jalan Tawaeli – Toboli Km 23 + 700”. *Journal of Civil Engineering, Building and Transportation*, 5(1), 1–8.