

PEMODELAN STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN *SOFTWARE PLAXIS 2D* PADA PROJECT JEMBATAN DI HALMAHERA

(Rois Muflich Fatchurrohman, Teguh Widodo, Nur Ayu Diana)

PEMODELAN STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN *SOFTWARE PLAXIS 2D* PADA PROJECT JEMBATAN DI HALMAHERA

Rois Muflich Fatchurrohman^{1*}, Teguh Widodo² dan Nur Ayu Diana³

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Yogyakarta

Jl. Tentara Rakyat Mataram No.55-57, Bumijo, Kec. Jetis, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia, 55231

E-mail: roismuflichf@gmail.com^{1*}, teguh_widodo@janabadra.ac.id², dan nurayu@janabadra.ac.id³.

(*) Penulis Korespondensi

(Artikel dikirim: 26 Juni 2025, Direvisi: 08 Juli 2025, Diterima: 27 Agustus 2025)

DOI: <http://dx.doi.org/10.30742/axial.v13i2.4618>

ABSTRAK: Pembangunan jalan akses tambang di Halmahera yang melibatkan metode *cut and fill* menuntut perhatian serius terhadap stabilitas lereng untuk mencegah longsoran yang dipicu oleh karakteristik geologi dan sifat tanah suboptimal. Penelitian ini bertujuan menganalisis stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak *Plaxis 2d* serta metode *Fellenius*, membandingkan kondisi lereng eksisting dengan lereng yang diperkuat *Sheet Pile* dan kombinasi *Sheet Pile* dengan *Ground Anchor* di bawah pembebanan lalu lintas. Data parameter tanah dan perkuatan diperoleh dari studi literatur dan hasil pengujian laboratorium. Hasil analisis menunjukkan bahwa lereng eksisting dengan pembebanan memiliki Faktor Keamanan (SF) 1,503 (*Plaxis 2d*) dan 1,483 (*Fellenius*), yang mengindikasikan potensi kerentanan. Penerapan *Sheet Pile* secara signifikan meningkatkan SF menjadi 1,825 (*Plaxis 2d*) dan 1,740 (*Fellenius*). Peningkatan stabilitas paling optimal tercapai dengan kombinasi *Sheet Pile* dan *Ground Anchor*, menghasilkan SF 2,021 (*Plaxis 2d*) dan 1,961 (*Fellenius*), melampaui kriteria keamanan minimum ($SF \geq 1,25$). Hal ini membuktikan bahwa kombinasi kedua perkuatan sangat efektif dalam menahan deformasi lateral dan meningkatkan tegangan normal, menghasilkan lereng yang aman dan stabil untuk operasional tambang jangka panjang.

KATA KUNCI : *Fellenius, Ground Anchor, Plaxis 2d, Sheet Pile, Stabilitas Lereng*

1. PENDAHULUAN

Pembangunan jalan akses tambang di Halmahera, yang melibatkan metode *cut and fill* pada topografi lereng berbukit, menuntut perhatian serius terhadap stabilitas lereng. Aspek ini krusial untuk mencegah longsoran yang dapat membahayakan proyek dan operasional tambang, dipicu oleh karakteristik geologi, sifat tanah suboptimal, dan beban eksternal seperti curah hujan atau aktivitas seismik (Wahab et al., 2024) (Diana & Mareta, 2024). Tanah sebagai penopang konstruksi sering memiliki sifat geoteknik suboptimal, seperti plastisitas tinggi dan kekuatan rendah (Irtanto et al., 2024), yang dapat menyebabkan deformasi. Oleh karena itu, stabilisasi tanah esensial untuk mencapai daya dukung memadai (Amran & Prasetyo, 2022). Metode perbaikan tanah meliputi penambahan semen dan kapur (Miswar et al., 2018) (Darmawan et al., 2025), serta eksplorasi material lokal seperti sabut kelapa (Fahriani, 2016).

Untuk mengatasi ketidakstabilan lereng pasca *cut and fill* pada jalur akses tambang, teknik perkuatan seperti *Sheet Pile* dan *Ground Anchor* terbukti efektif. *Sheet Pile* menahan tekanan lateral tanah, sementara *Ground Anchor*

memberikan gaya tarik untuk meningkatkan faktor keamanan lereng terhadap keruntuhan, khususnya pada lereng yang rentan beban statik dan dinamik serta tanah heterogen (Dara & Rahmadani, 2022).

Dalam rekayasa geoteknik, pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak *Plaxis 2d* sangat penting untuk analisis stabilitas lereng komprehensif (Adhi, 2022). *Plaxis 2d* mampu mensimulasikan berbagai kondisi tanah, mengevaluasi faktor keamanan lereng di bawah beban statis dan *pseudostatis*, serta memodelkan interaksi dengan sistem perkuatan seperti *Sheet Pile* dan *Ground Anchor* (Gunawan et al., 2018) (Wahab et al., 2024).

Mengingat kompleksitas geologi dan geoteknik di Halmahera, studi ini bertujuan melakukan pemodelan stabilitas lereng menggunakan *Plaxis 2d*. Fokusnya adalah dua kondisi: lereng *existing* pasca *cut and fill* dan lereng yang diperkuat dengan *Sheet Pile* serta *Ground Anchor*. Pendekatan ini diharapkan memberikan pemahaman perilaku lereng, mengidentifikasi ketidakstabilan, dan merumuskan desain perkuatan optimal untuk keamanan jangka panjang jalur akses tambang.



2. METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan pada lereng di Proyek Jembatan daerah Halmahera, adalah menganalisis stabilitas tanah lereng dengan dan tanpa beban merata yang dilalui oleh kendaraan untuk keluar masuk proyek tambang nikel menggunakan aplikasi *Plaxis 2d* serta mencari angka aman lereng asli dan angka aman lereng dengan perkuatan *Sheet Pile* dan *Ground Anchor*.

2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data menggunakan Data Sekunder yang dilaksanakan melalui studi literatur menggunakan data-data hasil pengujian Laboratorium. Lokasi objek penelitian yang dianalisis ini berada di Tofu Halmahera.

2.2 Parameter Tanah

Tanah merupakan suatu kumpulan mineral dari bahan organik (tumbuhan) atau anorganik (vulkanik) dan merupakan endapan-endapan yang relatif lepas, yang terletak diatas batuan dasar (Hardiyatmo, 2002). Kondisi tanah di setiap wilayah berbeda-beda dan parameter di wilayah Halmahera.

Data parameter tanah yang diperoleh secara langsung di lokasi proyek konstruksi memiliki peran krusial dalam analisis geoteknik. Informasi penting ini telah dirangkum secara lengkap dan dapat diamati lebih lanjut pada **Tabel 1**.

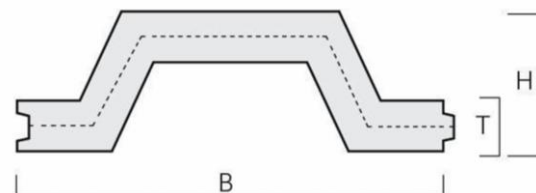
Tabel 1. Data Tanah

No	Kedalaman (m)	Deskripsi	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	Cu (kN/m ²)	E (kN/m ²)	C (kN/m ²)	ϕ (°)	V
1	0,5 – 1	Lempung berpasir	11,576	16,775	2,059	1029,698	23,54	19,64	0,35
2	6,55 – 7	Lanau berpasir	15,009	19,130	7,257	3628,461	7,85	35,29	0,30
3	7,65 – 8	Lanau berpasir	9,418	15,206	2,844	1421,964	0,98	28,88	0,30
4	13,6 – 14	Lanau berkerikil dan berpasir	7,161	15,304	5,099	2549,729	38,25	6,41	0,35
5	18,7 – 19	Lanau berpasir	9,418	15,107	5,001	2500,696	0,98	36,94	0,30

(Sumber : Hasil analisis data laboratorium)

2.3 Parameter Sheet Pile

Sheet Pile adalah elemen konstruksi berbentuk lembaran atau panel tipis yang dipancangkan vertikal ke dalam tanah, dirancang untuk saling mengunci dan membentuk dinding penahan yang kokoh. Fungsi utamanya adalah sebagai dinding penahan tanah, mencegah longsor dan pergerakan tanah di area galian, lereng, atau tepi perairan. Selain itu, *Sheet Pile* juga berfungsi efektif sebagai pengendali air, meminimalkan rembesan di lokasi dengan muka air tanah tinggi atau di dekat badan air seperti sungai dan laut, serta berperan penting dalam struktur pelabuhan, dermaga, dan reklamasi lahan. Untuk contoh *sheet pile* bisa dilihat pada **Gambar 1** dan untuk data *sheet pile* bisa dilihat pada **Tabel 2**.



Gambar 1. Model *Sheet Pile*

(Sumber : PT Adhimix Precast Indonesia, n.d.)

Tabel 2. Data *Sheet Pile*

Type	H (mm)	B (mm)	T (mm)	Cracking Moment (t.m)	Berat (kg/m)	Code
W-325-1000	325	996	110	11,4	333	A
W-350-1000	350	996	120	15,5	367	A
W-400-1000	400	996	120	19,4	400	A
W-450-1000	450	996	120	26,4	460	A
W-500-1000	500	996	120	35,4	455	A
W-600-1000	600	996	120	50,5	523	A

(Sumber : PT Adhimix Precast Indonesia)

gaya pendorong dengan gaya penahan geser di sepanjang busur longsor. Variasi spasial dan jari-jari busur menuntut analisis iteratif dengan berbagai asumsi. Faktor Keamanan (SF), yang didefinisikan sebagai rasio gaya penahan terhadap gaya pendorong ($SF = \text{Gaya Penahan} / \text{Gaya Pendorong}$), merupakan indikator utama stabilitas. Lereng berada dalam kondisi kritis dan berpotensi longsor saat SF mencapai 1. (Bowles, 1989), sebagaimana dikutip oleh (Hardiyatmo, 2014), nilai SF minimum 1,25 diperlukan untuk memastikan stabilitas lereng, dengan kriteria lebih lanjut yang disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Faktor Kemanan Lereng

Faktor Keamanan	Status Lereng	Intensitas Longsor
$1,07 \geq SF$	Labil	Longsor Sering Terjadi
$1,07 < SF < 1,25$	Kritis	Longsor Pernah Terjadi
$1,25 < SF$	Stabil	Longsor Jarang Terjadi

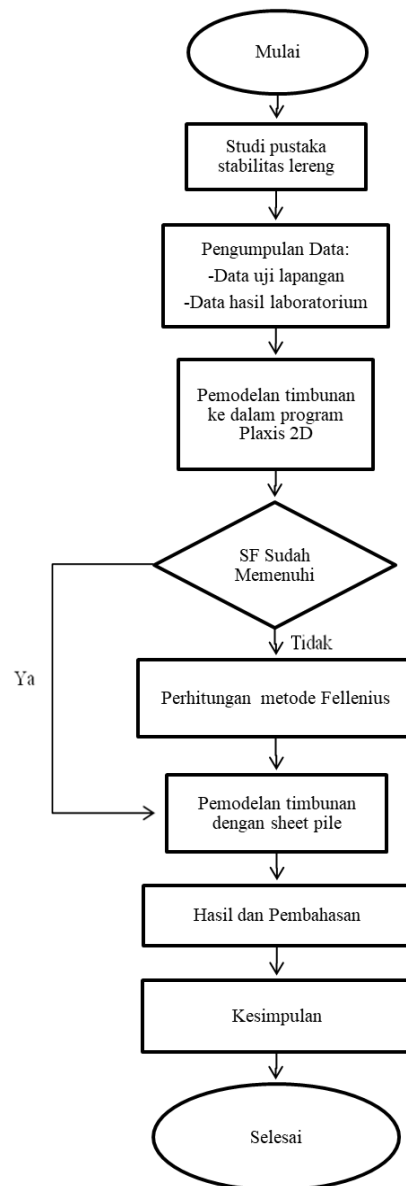
(Sumber : Bowles, 1989)

2.8 Langkah penelitian

Langkah penelitian disajikan pada Gambar 4 yang menguraikan metodologi yang terstruktur untuk menganalisis stabilitas lereng timbunan. Proses diawali dengan studi pustaka mengenai stabilitas lereng sebagai landasan teoritis. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan data yang krusial, meliputi data uji lapangan dan data hasil laboratorium untuk mendapatkan karakteristik tanah yang akurat.

Data yang terkumpul kemudian digunakan untuk pemodelan timbunan menggunakan perangkat lunak *Plaxis 2D*. Tahap ini bertujuan untuk menghitung faktor keamanan (SF) awal dari lereng timbunan. Jika hasil SF tidak memenuhi kriteria yang ditetapkan, maka dilakukan langkah-langkah mitigasi.

Langkah mitigasi pertama adalah melakukan perhitungan stabilitas secara manual menggunakan metode *Fellenius* sebagai pembanding. Jika SF masih tidak memadai, dilakukan pemodelan ulang timbunan dengan menambahkan perkuatan berupa *sheet pile* di dalam *Plaxis 2D* untuk meningkatkan stabilitas. Setelah pemodelan dan analisis selesai, hasilnya diinterpretasikan dalam bagian Hasil dan Pembahasan sebelum diakhiri dengan Kesimpulan. Alur ini memastikan bahwa analisis dilakukan secara komprehensif, mulai dari pengumpulan data hingga evaluasi solusi perkuatan jika diperlukan.

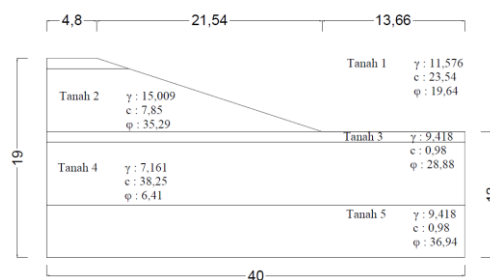


Gambar 4. Bagan Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Pemodelan

Pada penelitian ini dibuat pemodelan lereng menggunakan *Autocad* dengan standar geometri pemodelan lereng (Gambar 5).



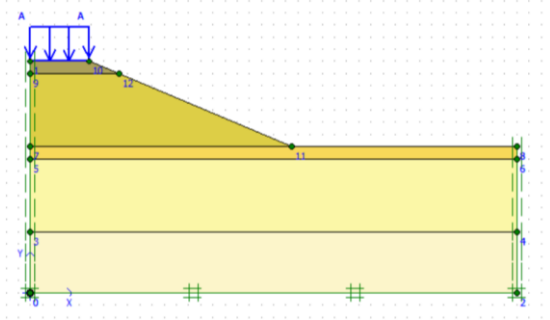
Gambar 5. Pemodelan Lereng pada *Autocad*

PEMODELAN STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN *SOFTWARE PLAXIS 2D* PADA PROJECT JEMBATAN DI HALMAHERA

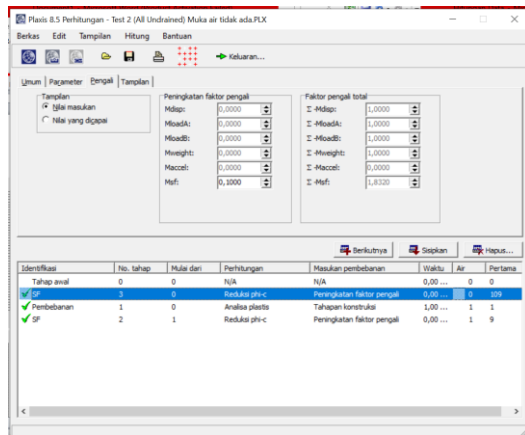
(Rois Muflich Fatchurrohman, Teguh Widodo, Nur Ayu Diana)

3.2 Perhitungan *Plaxis 2d* kondisi eksisting lereng

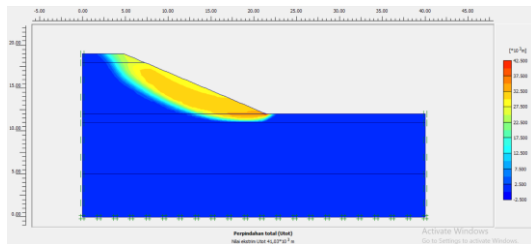
Dengan parameter-parameter yang dicantumkan pada **Tabel 1**, dilakukan pemodelan dengan *Plaxis 2d* untuk mengecek SF.



Gambar 6. Pemodelan geometri

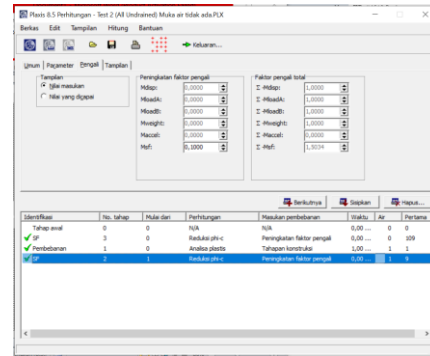


Gambar 7. SF Kondisi Lereng Eksisting 1,832

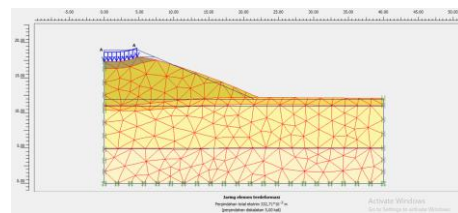


Gambar 8. Bidang Longsor Kritis Lereng Eksisting

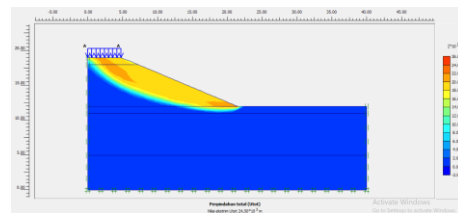
Dari hasil simulasi kelongsoran yang dilakukan sebelum diberikan pembebanan didapat SF = 1,832 (**Gambar 7**). Bidang longsor kritis lereng eksisting dapat dilihat pada **Gambar 8**. Simulasi beban lalu-lintas menggunakan beban beban merata sebesar 25 kN/m. Hasil analisis stabilitas lereng pada kondisi diberi beban lalu-lintas bisa dilihat pada **Gambar 9, 10 dan 11**.



Gambar 9. SF Kondisi Lereng Dengan Beban Lalu-lintas 1,503



Gambar 10. Deformasi Akibat Beban Lalu-lintas



Gambar 11. Bidang Longsor Kondisi Dengan Beban

Pada kondisi ini SF = 1,503, angka tersebut lebih kecil dari SF lereng eksisting namun masih lebih besar dari SF yang dipersyaratkan yaitu 1,5 (BSN, 2017). Bidang longsor yang sebelumnya hanya berada di sebagian puncak lereng (**Gambar 8**) menjadi meluas hingga ke sumbu simetri jalan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 11**.

3.3 Kondisi lereng dengan perkuatan *Sheet Pile*

Pemodelan *Sheet Pile* yang digunakan yaitu tipe W-325 A-1000 dengan parameter sesuai **Tabel 5**.

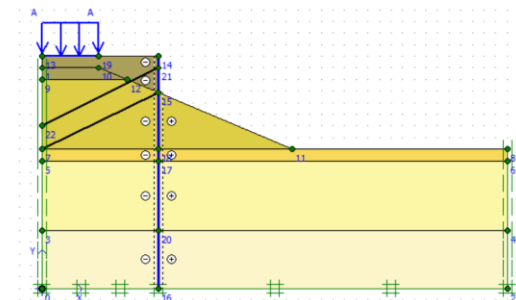
Tabel 5. Parameter *Sheet Pile*

EA (kN/m ²)	EI (kN/m ²)	D (m)	w (kN/m ²)	V
3,25×10 ⁶	2,86×10 ⁴	0,325	8,3	0,15

(Sumber : PT Adhimix Precast Indonesia)

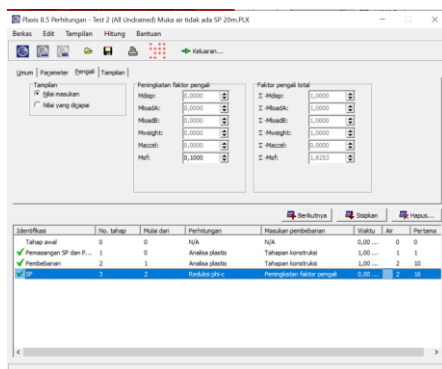
Pada kondisi ini $SF = 1,825$ (**Gambar 13**) angka tersebut meningkat dari hasil SF tanpa perkuatan *sheet pile*, karena area bidang longsor yang sebelumnya berada di puncak lereng tertahan oleh *Sheet Pile* sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 15** dan deformasi dapat di lihat pada **Gambar 14**.

Untuk pemodelan *Sheet Pile* dan *Ground Anchor* dengan parameter *Sheet Pile* dan tanah timbunan masih sama dengan parameter sebelumnya dan untuk parameter *Ground Anchor* dengan $EA = 200000 \text{ kN}$ dan $L_{\text{spasi}} = 2,5 \text{ m}$.



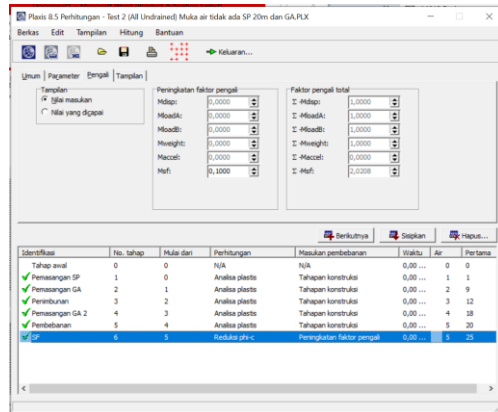
Dari hasil pemodelan pada **Gambar 16** dengan memberikan beban merata sama seperti kondisi lereng asli. Pada kondisi ini $SF = 2,021$ (**Gambar 17**), angka tersebut meningkat dari hasil tanpa *ground anchor*, karena area bidang longsor yang sebelumnya berada di puncak lereng tertahan hanya oleh *Sheet Pile* sekarang dibantu oleh *ground anchor* yang berfungsi sebagai gaya tarik tambahan. Deformasi dapat dilihat pada **Gambar 18**, sedangkan bidang longsor bisa dilihat pada **Gambar 19**.

Dari hasil pemodelan pada **Gambar 12**, dengan memberikan beban merata sama seperti kondisi sebelumnya dan ditambahkan penahan *Sheet Pile*.

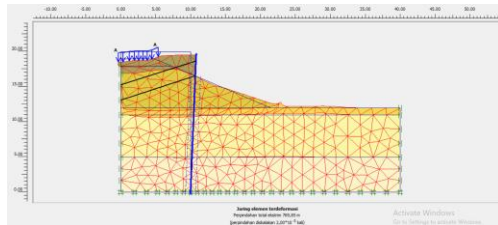


187

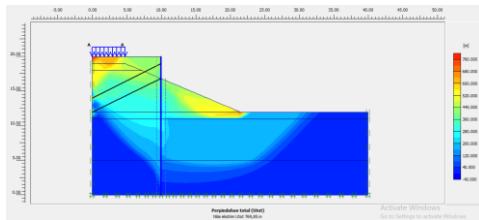
PEMODELAN STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN *SOFTWARE PLAXIS 2D* PADA PROJECT JEMBATAN DI HALMAHERA (Rois Muflich Fatchurrohman, Teguh Widodo, Nur Ayu Diana)



Gambar 17. SF Kondisi Lereng Setelah Diberi Penahan *Sheet Pile* dan *Ground Anchor* Sebesar 2,021



Gambar 18. Penurunan Masa Tanah yang Tertahan oleh *Sheet Pile* dan *Ground Anchor*



Gambar 19. Bidang Longsor Kritis yang Tertahan *Sheet Pile* dan *Ground Anchor*

3.5 Perhitungan manual metode *Fellenius*

Analisis hitungan untuk stabilitas lereng asli menggunakan irisan *Fellenius*. Dimana metode tersebut berdasarkan daerah potensial keruntuhan dapat dilihat pada **Gambar 20**.

Berdasarkan pada gambar irisan tersebut dapat diketahui panjang, luas dan sudut masing-masing irisan yang akan digunakan sebagai dasar perhitungan angka keamanan pada metode *Fellenius*.

1. Perhitungan Radians

$$Rad = \theta \times \frac{\pi}{180}$$

2. Perhitungan Berat Irisan

$$W = \gamma \times L \times h$$

3. Perhitungan $\sin \theta$

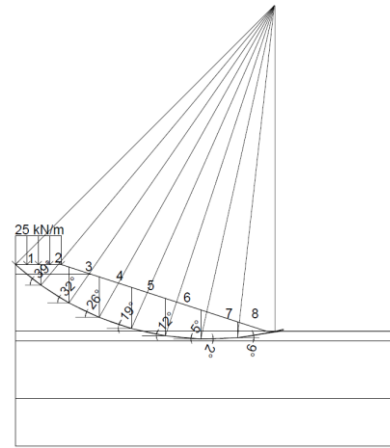
$$\sin = \sin Rad$$

4. Perhitungan $\cos \theta$

$$\cos = \cos Rad$$

5. Perhitungan $W \times \sin \theta$

6. Perhitungan $W \times \cos \theta$



Gambar 20. Irisan Daerah Keruntuhan Tanah Lereng Eksisting
(Sumber : Penulis)

Tabel 7. Data Irisan (Lereng Asli)

No	Jarak Irisan (L)	Luas Irisan (m ²)				θ (°)
	(m)	Tanah ₁	Tanah ₂	Tanah ₃	Tanah ₄	
1	3,44	2,11	0,89	0	0	39
2	3,47	2,82	6,22	0	0	32
3	3,51	0,84	11,9	0	0	26
4	3,56	0	14,49	0	0	19
5	3,65	0	14,2	0,57	0	12
6	3,72	0	10,59	2,44	0	5
7	3,86	0	6,28	2,93	0	-2
8	3,87	0	1,54	1,44	0	-9

(Sumber : Perhitungan)

Berdasarkan uraian data pada **Tabel 7** yang di dapatkan dari **Gambar 20** maka hasil perhitungan dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Perhitungan Irisan Total (Lereng Eksisting)

No	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W _{tot}	Rad	Sin	Cos	N ₁	N ₂
	kN	kN	kN	kN	kN					
1	24,42	13,36	0,00	0,00	37,78	0,68	0,63	0,78	23,78	10,18
2	32,64	93,36	0,00	0,00	126,00	0,56	0,53	0,85	66,77	50,42
3	9,72	178,61	0,00	0,00	188,33	0,45	0,44	0,90	82,56	79,87

No	W ₁ kN	W ₂ kN	W ₃ kN	W ₄ kN	W _{tot} kN	Rad	Sin	Cos	N ₁	N ₂
4	0,00	217,48	0,00	0,00	217,48	0,33	0,33	0,95	70,81	97,03
5	0,00	213,13	5,37	0,00	218,50	0,21	0,21	0,98	45,43	89,33
6	0,00	158,95	22,98	0,00	181,93	0,09	0,09	1,00	15,86	66,64
7	0,00	94,26	27,59	0,00	121,85	-0,03	-0,03	1,00	-4,25	44,78
8	0,00	23,11	13,56	0,00	36,68	-0,16	-0,16	0,99	-5,74	13,32
Total									295,21	451,57

(Sumber : Perhitungan)

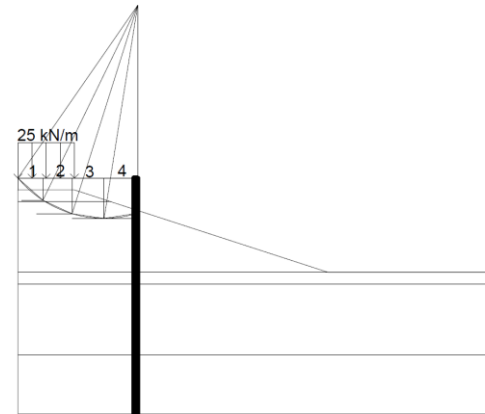
Nilai SF ditentukan menggunakan Persamaan (3):

$$SF = \frac{\sum (W_t \times \cos(\alpha) \times \frac{2}{3} \times \tan \varphi) + (c \times L)}{\sum W_t \times \sin + (\text{Beban})}$$

$$= \frac{451,57 + 164}{107,49 + 120}$$

$$= 1,483 < 1,5 \text{ (BSN, 2017)}$$

Lereng eksisting menunjukkan SF 1,483, lebih kecil dari nilai standar keamanan optimal (SF ≥ 1,5). Nilai ini mengindikasikan bahwa lereng memiliki potensi kelongsoran dan menunjukkan kondisi lereng kurang stabil.



Gambar 21. Irisan Daerah Keruntuhan Tanah Lereng dengan Timbunan dan Sheet Pile
(Sumber : Penulis)

Tabel 9. Data Irisan (Perkuatan Sheet Pile)

No	Jarak Irisan (L)		Luas Irisan (m ²)				Θ (°)
	(m)	Timbunan	Tanah ₁	Tanah ₂	Tanah ₃	Tanah ₄	
1	2,83	1,66	0,54	0	0	0	42
2	2,73	2,48	2,47	1,32	0	0	25
3	2,73	3,72	1,69	3,49	0	0	8
4	2,89	6,51	0,05	2,8	0	0	-9

(Sumber : Perhitungan)

Analisis yang dilakukan dalam studi ini didasarkan pada pemanfaatan 4 irisan data yang spesifik seperti **Gambar 21**. Meskipun jumlah irisan data terbatas, seluruh hasil perhitungan penting yang diperoleh dari analisis pada **Tabel 9** telah diringkas secara menyeluruh dan dapat

diamati pada **Tabel 10**. Penting untuk digarisbawahi bahwa cakupan data yang digunakan dalam perhitungan ini akan mempengaruhi pandangan dan kesimpulan yang luas. Oleh karena itu, batasan ini perlu dipertimbangkan saat menelaah hasil yang disajikan.

Tabel 10. Perhitungan Irisan Total (Perkuatan Sheet Pile)

No	W _{tim} kN	W ₁ kN	W ₂ kN	W ₃ kN	W ₄ kN	W _{tot} kN	Rad	Sin	Cos	N ₁	N ₂
1	19,22	6,25	0,00	0,00	0,00	25,47	0,73	0,67	0,74	17,04	4,50
2	28,71	28,59	19,81	0,00	0,00	77,11	0,44	0,42	0,91	32,59	24,22
3	43,06	19,56	52,38	0,00	0,00	115,01	0,14	0,14	0,99	16,01	53,74
4	75,36	0,58	42,03	0,00	0,00	117,96	-0,16	-0,16	0,99	-18,45	54,98
Total										47,18	137,43

(Sumber : Perhitungan)

PEMODELAN STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN *SOFTWARE PLAXIS 2D* PADA PROJECT JEMBATAN DI HALMAHERA

(Rois Muflich Fatchurrohman, Teguh Widodo, Nur Ayu Diana)

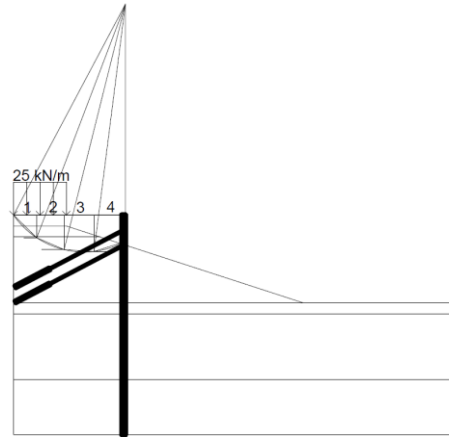
Nilai SF ditentukan menggunakan Persamaan (3):

$$SF = \frac{\sum (Wt \times \cos(\alpha) \times \frac{2}{3} \times \tan \varphi) + (c \times L)}{\sum Wt \times \sin + (Beban)}$$

$$= \frac{137,43 + 153,53}{47,18 + 120}$$

$$= 1,740 > 1,5 \text{ (BSN, 2017)}$$

Penerapan *Sheet Pile* meningkatkan SF menjadi 1,740. Nilai ini sudah di atas ambang batas keamanan yang direkomendasikan. Ini menunjukkan bahwa *Sheet Pile* sangat efektif menambah daya tahan.



Gambar 22. Irisan Daerah Keruntuhan Tanah Lereng *Sheet Pile*, dan *Ground Anchor* (Sumber : Penulis)

Tabel 11. Data Irisan (Perkuatan *Sheet Pile* dan *Ground Anchor*)

No	Jarak Irisan (L)		Luas Irisan (m ²)				Θ (°)
	(m)	Timbunan	Tanah ₁	Tanah ₂	Tanah ₃	Tanah ₄	
1	1,72	0,74	0,004	0	0	44	1,72
2	2,49	2,49	1,74	0	0	24	2,49
3	3,74	1,69	3,57	0	0	3	3,74
4	6,43	0,05	1,97	0	0	-18	6,43

(Sumber : Perhitungan)

Analisis yang dilakukan dalam studi ini didasarkan pada pemanfaatan 4 irisan data yang spesifik (**Gambar 22**). Meskipun jumlah irisan data terbatas, seluruh hasil perhitungan penting yang diperoleh dari analisis **Tabel 11** telah diringkas secara menyeluruh dan dapat diamati

pada **Tabel 12**. Penting untuk digarisbawahi bahwa cakupan data yang digunakan dalam perhitungan ini akan memengaruhi pandangan dan kesimpulan yang luas. Oleh karena itu, batasan ini perlu dipertimbangkan saat menelaah hasil yang disajikan.

Tabel 12. Perhitungan Irisan Total (Perkuatan *Sheet Pile* dan *Ground Anchor*)

No	W _{tim} kN	W ₁ kN	W ₂ kN	W ₃ kN	W ₄ kN	W _{tot} kN	Rad	Sin	Cos	N ₁	N ₂
1	19,91	8,57	0,00	0,00	0,00	28,48	0,77	0,69	0,72	19,78	4,87
2	28,82	28,82	26,12	0,00	0,00	83,76	0,42	0,41	0,91	34,07	36,11
3	43,29	19,56	53,58	0,00	0,00	116,44	0,05	0,05	1,00	6,09	54,87
4	74,43	0,58	29,57	0,00	0,00	104,58	-0,31	-0,31	0,95	-32,32	34,47
Total										27,63	130,31

(Sumber : Perhitungan)

$$SF = \frac{\sum (Wt \times \cos(\alpha) \times \frac{2}{3} \times \tan \varphi) + (c \times L)}{\sum Wt \times \sin + (Beban)}$$

$$= \frac{159,18 + 130,31}{27,63 + 120}$$

$$= 1,961 > 1,5 \text{ (BSN, 2017)}$$

Kombinasi *Sheet Pile* dan *Ground Anchor* menghasilkan peningkatan SF lebih tinggi dibandingkan hanya *Sheet Pile* saja, mencapai 1,961. Nilai ini melampaui kriteria keamanan ($SF \geq 1,5$) (BSN, 2017). Hasil yang ini mengindikasikan sinergi antara kedua perkuatan, di mana *Sheet Pile* menahan

deformasi lateral dan *Ground Anchor* meningkatkan tegangan normal, menghasilkan struktur lereng yang aman dan stabil.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis pemodelan stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak *Plaxis 2D* dan metode *Fellenius*, dapat disimpulkan beberapa hal krusial terkait keamanan lereng jalan akses tambang di Halmahera. Pada kondisi eksisting tanpa pembebanan, lereng menunjukkan faktor keamanan (SF) sebesar 1,832. Namun, saat diberikan pembebanan lalu lintas rata-rata sebesar 25 kN/m, SF menurun menjadi 1,503 (18%). Meskipun nilai ini masih tergolong stabil ($SF > 1,5$), penurunan tersebut mengindikasikan adanya peningkatan risiko longsor.

Penerapan perkuatan secara signifikan meningkatkan stabilitas lereng. Dengan pemasangan *sheet pile* dan pembebanan, SF meningkat menjadi 1,825 (21,4%), menunjukkan efektivitas *sheet pile* dalam menahan deformasi lateral dan mengamankan bidang longsor yang sebelumnya meluas di puncak lereng. Peningkatan stabilitas paling optimal tercapai pada kondisi lereng yang diperkuat dengan kombinasi *sheet pile* dan *ground anchor*, di mana SF mencapai 2,021 (34,5%). Hal ini mengindikasikan bahwa *ground anchor* memberikan gaya tarik tambahan yang sinergis dengan *sheet pile*, menghasilkan struktur lereng yang sangat aman dan stabil, melampaui kriteria keamanan minimum ($SF \geq 1,5$).

Hasil analisis perhitungan manual menggunakan metode *Fellenius* juga menunjukkan tren serupa, meskipun dengan nilai SF yang sedikit lebih rendah dibandingkan hasil *Plaxis 2D*. Lereng eksisting dengan pembebanan memiliki SF 1,483, *sheet pile* meningkatkan SF menjadi 1,740 (17,3%), dan kombinasi *sheet pile* dengan *ground anchor* mencapai SF 1,961 (32,3%). Perbandingan antara kedua metode, terlihat bahwa hasil *Plaxis 2D* umumnya memberikan nilai SF lebih tinggi daripada metode *Fellenius*. Selisih nilai SF antara *Plaxis 2D* dan *Fellenius* pada kondisi eksisting dengan beban adalah 0,020; pada kondisi perkuatan *sheet pile* sebesar 0,085; dan pada kondisi *sheet pile* dengan *ground anchor* sebesar 0,060. Ini mengonfirmasi bahwa kedua metode perkuatan, terutama kombinasinya, sangat efektif dalam meningkatkan daya tahan lereng terhadap keruntuhan. Dengan demikian, pemodelan numerik dengan *Plaxis 2D* dan perhitungan manual *Fellenius* mendukung rekomendasi penggunaan *sheet pile* dan *ground anchor*

sebagai solusi perkuatan optimal untuk memastikan keamanan jangka panjang jalur akses tambang di Halmahera.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adhi, B. W. (2022). Analisa Stabilitas Timbunan di Daerah Rawa Menggunakan Penanganan *Limestone* dengan *Software Plaxis*. *MoDuluS: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil*, 4(1), 40. <http://dx.doi.org/10.32585/modulus.v4i1.2471>
- Amran, Y., & Prasetyo, A. (2022). Analisis Stabilitas Daya Dukung Tanah Dasar Menggunakan Campuran Arang Kayu Dan Sulfur (Studi Kasus Pada Tanah Lempung Berpasir). *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 12(1), 79. <http://dx.doi.org/10.24127/tp.v12i1.2325>
- Bowles, J. . (1989). *Sifat-sifat Fisik & Geoteknis Tanah*. Erlangga.
- BSN. (2017). *SNI 8460 – 2017*. Persyaratan perancangan geoteknik. Jakarta.
- Dara, T., & Rahmadani, R. (2022). Analisis Stabilitas Tanah Lereng Dengan Perkuatan *Sheet Pile* Menggunakan *Plaxis V.8* Dan Metode *Fellenius*. In *Repository.Unissula.Ac.Id*. <http://repository.unissula.ac.id/22282/12/30201900227.pdf>
- Darmawan, M. R., Putra, P. P., & Wicaksono, L. A. (2025). Perbaikan Sifat Fisis Dan Mekanis Tanah Ekspansif Dengan Stabilitas Kimiawi Menggunakan Campuran Garam Dan Semen (Studi Kasus Kecamatan Tegaldlimo Kabupaten Banyuwangi). *Axial: Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 13(1), 1–10. <http://dx.doi.org/10.30742/axial.v13i1.4328>
- Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Penerbit Erlangga, 1–300, Jakarta.
- Diana, N. A., & Mareta, G. E. (2024). *An Analysis of the Slope Stability of Young Rock Cliffs in Sibang*, Bali Using GEO5. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 22(2), 68–74. <http://dx.doi.org/10.22219/jmts.v22i2.32983>
- Fahriani, F. (2016). Analisis stabilitas tanah timbunan dengan perkuatan sabut kelapa. *FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil)*, 4(2), 115–125. <https://doi.org/10.33019/fropil.v4i2.1242>
- Gunawan, G., Siswoyo, S., & Maliki, A. (2018). Perencanaan Perkuatan Timbunan Lereng Bandar Udara Sulawesi Selatan Dengan

PEMODELAN STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN *SOFTWARE PLAXIS 2D* PADA PROJECT JEMBATAN DI HALMAHERA
(Rois Muflich Fatchurrohman, Teguh Widodo, Nur Ayu Diana)

- Geogrids Dan Gabion Tana Toraja – Sulawesi Selatan. *Axial : Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 6(1), 17. <http://dx.doi.org/10.30742/axial.v6i1.475>
- Hardiyatmo, H. C. (2002). Mekanika Tanah I Jilid III. In *Gadjah Mada University Press*, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2014). *Mekanika Tanah 2* (5th Ed.). Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Irtanto, H. B., Pamuttu, D. L., Kakerissa, Y., & Pasalli, D. A. (2024). Analisa Kuat Tekan Bebas Pada Tanah Lempung dengan Campuran Kapur *Dolomite* dan *Skimcoat*. *Bomi Journal of Engineering and Technology*, 1(01), 28–32. <http://bomipub.com/index.php/bomipub/article/download/5/16>.
- Miswar, M., Syaifuddin, S., & Amani, N. (2018). Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Semen Dan Kapur Untuk Meningkatkan Daya Dukung CBR Tanah. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 1–13. <http://dx.doi.org/10.30811/portal.v9i2.615>
- PT Adhimix Precast Indonesia. (n.d.). <https://adhimixpciindonesia.co.id/public/assets/backend/site/katalog/1576115069.pdf>
- Wahab, D. A., Tohari, A., & Hamdhan, I. N. (2024). *Numerical Modeling of Claystone Slope Stability (Case Study of the Sumedang-Cirebon Road Section Km 68+750)*. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 29(2), 173–182. <https://dx.doi.org/10.14710/mkts.v29i2.53704>.