

ANALISIS STABILITAS LERENG BERSERTA PERKUATAN BENDUNG PULAU PANDAN, KERINCI

Adam Jamhur^{1*}, Nanda², Rita Nasmirayanti³

^{1*}Departemen Sipil, Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang, Padang. Email: adamjamhur@gmail.com

²Departemen Sipil, Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang, Padang.

³Departemen Sipil, Universitas Putra Indonesia “YPTK” Padang, Padang.

ABSTRACT

PT Kerinci Merangin Hidro intends to build a Merangin hydropower plant with a capacity of 350 MW which utilizes Lake Kerinci as an annual natural reservoir with the Pulau Pandan Dam as a regulatory weir with a height of 9 m, because of the high type of dam, it is necessary to analyze slope stability and strengthen slopes with soil retaining wall construction. Land surfaces that do not always form a flat plane or have differences in elevation between one place and another so as to form a slope (slope). Slopes that are in an unstable state must receive special treatment so that there is no avalanche or slope failure. The purpose of this study is to analyze slope stability with conventional methods and finite element methods, which will be followed by planning soil retaining walls as slope reinforcement. Analysis of slope stability on a sloping ground surface is called slope stability analysis. The results of the study were obtained for the slope safety factor value of 1.5, where in conventional methods and the finite element method the state of the slope was analyzed under three conditions, namely in natural conditions, cutting, and reinforcement. In the analysis of slope stability and soil retaining wall planning, more attention must be paid in terms of planning and economical costs.

Keywords : Slope stability, Safety factor, Conventional methods, Finite element methods, Soil retaining wall

ABSTRAK

PT Kerinci Merangin Hidro bermaksud membangun PLTA Merangin berkapasitas 350 MW yang memanfaatkan Danau Kerinci sebagai tampungan alami tahunan dengan Bendung Pulau Pandan sebagai bendung pengatur dengan tinggi 9 m, karena tipe bendungan yang tinggi maka diperlukan analisis stabilitas lereng beserta perkuatan lereng dengan konstruksi dinding penahan tanah. Permukaan tanah yang tidak selalu membentuk bidang datar atau mempunyai perbedaan elevasi antara tempat yang satu dengan yang lain sehingga membentuk suatu lereng (slope). Lereng yang dalam keadaan tidak stabil harus mendapatkan suatu perlakuan yang khusus agar tidak terjadinya suatu kelongosoran atau kegagalan lereng. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis stabilitas lereng dengan metode konvensional dan metode elemen hingga, yang nantinya dilanjutkan dengan perencanaan dinding penahan tanah sebagai perkuatan lereng. Analisis stabilitas lereng pada permukaan tanah yang miring disebut analisis stabilitas lereng. Hasil penelitian diperoleh untuk nilai safety factor lereng yaitu besar dari 1,5, dimana pada metode konvensional dan metode elemen hingga keadaan lereng dianalisis dalam tiga kondisi, yaitu pada kondisi alami, pemotongan, dan perkuatan. Dalam analisis stabilitas lereng dan perencanaan dinding penahan tanah harus lebih diperhatikan dari segi perencanaan dan biaya yang ekonomis.

Kata Kunci : Stabilitas lereng, *Safety factor*, Metode konvensional, Metode elemen hingga, Dinding penahan tanah

1. PENDAHULUAN

Permukaan tanah yang tidak sering membentuk bidang datar ataupun memiliki perbandingan elevasi antara tempat yang satu dengan yang lain sehingga membentuk sesuatu lereng (*slope*). Perbandingan elevasi tersebut pada keadaan tertentu bisa memunculkan kelongsoran lereng sehingga diperlukan sesuatu analisis stabilitas lereng. Lereng dalam keadaan tidak stabil harus mendapatkan suatu perlakuan yang khusus agar tidak terjadinya suatu kelongsoran atau kegagalan lereng.

Analisis stabilitas lereng pada permukaan tanah yang sering disebut dengan analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng diperhitungkan guna untuk memastikan aspek keamanan dari lereng alam, galian, serta urungan tanah. Kestabilan sesuatu lereng dinyatakan dengan aspek keamanan. Aspek keamanan merupakan perbandingan antara gaya penahan serta gaya penggerak pada lereng (Braja M. Das, 2017)

Geologi regional area Bendung Pulau Pandan disusun oleh Formasi QTp yang sudah berumur ratusan tahun. Pembagian Formasi ini menurut Kusnama, Pardede, Mangga, dan Sidarto tahun 1992, Peta Geologi Lembar Sungai penuh serta Ketaun yang diterbitkan oleh Pusat Riset serta Pengembangan Geologi. Formasi Pengasih (QTp) disusun oleh batu lanau, batu pasir, batu lempung, apung sisipan lignit, serta konglomerat.

Kondisi lereng yang berada pada bendung Pulau Pandan, Kerinci mempunyai level ketinggian yang termasuk dalam kategori curam dan dalam keadaan alami. Sehingga dibutuhkan analisis serta perkuatan agar tidak terjadi kegagalan pada lereng atau longsor. Maka dari itu konstruksi dinding penahan tanah sangat dibutuhkan dalam hal tersebut, dalam permasalahan ini tipe dinding penahan tanah yang cocok di gunakan yaitu tipe kantilever.

PT Kerinci Merangin Hidro bermaksud membangun PLTA Merangin berkapasitas 350 MW yang memanfaatkan Danau Kerinci sebagai tampungan alami tahunan dengan Bendung Pulau Pandan sebagai bendung pengatur dengan tinggi 9 m, sedangkan tampungan buatan harian diperoleh dengan memanfaatkan Bendungan Kerinci dengan tipe bendungan gaya berat dengan tinggi 62,5 m. Karena tipe bendungan yang tinggi maka diperlukan analisis stabilitas lereng berserta perkuatan lereng dengan konstruksi dinding penahan tanah.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelian

Penyelidikan tanah dilakukan dengan menggunakan data soil investigator laboratory pada tanggal 12 Juli 2019 sampai 24 Juli 2019, yang uji lapangnya dilakukan di lokasi, Pulau Pandan, Kabupaten Kerinci, Provpinsi Jambi.



Gambar 1. Denah lokasi penelitian

2.2 Data dan Sumber Data

Untuk membantu dalam pengerjaan laporan ini, penulis melakukan pengumpulan data yang diperoleh secara langsung dari pihak proyek PT Kerinci Merangin Hidro. Berupa data laboratorium penyelidikan tanah berupa pengujian Direct Shear Test dan Triaxial Test yang diuji pada proyek pembangunan PLTA Merangin 350 MW.

2.3 Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng pada permukaan tanah yang sering disebut dengan analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng diperhitungkan guna untuk memastikan aspek keamanan dari lereng alam, galian, serta urungan tanah. Kestabilan sesuatu lereng dinyatakan dengan aspek keamanan. Aspek keamanan merupakan perbandingan antara gaya penahan serta gaya penggerak pada lereng (Braja M. Das, 2017)

Bidang gelincir dapat terjadi di mana saja pada titik lemah. Jika patahan terjadi saat permukaan bidang gelincir memotong di dasar lereng atau di atas punggungan bawah, maka disebut keruntuhan lereng. Kurva gelincir disebut *toe circle*, jika bidang *slip* melewati ujung alas disebut lingkaran lereng. Pada kondisi tertentu, terjadi keruntuhan lereng dangkal. Jika patahan terjadi ketika permukaan bidang gelincir agak jauh di bawah tepi bawah, itu disebut patahan utama. Kurva geser disebut lingkaran pusat (L Braja et al., 2017)

Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk menilai tingkat stabilitas lereng. Istilah keparahan kemiringan dapat didefinisikan sebagai resistensi (diukur dari bidang horizontal) benda pada permukaan miring terhadap tergelincir dan meluncur (Kliche, 1999)

Analisis kestabilan lereng tidaklah mudah, karena hasil perhitungan sangat dipengaruhi oleh banyak faktor. Faktor-faktor tersebut antara lain, kondisi lapisan tanah, kekuatan geser *anisotropik* tanah, infiltrasi air ke dalam tanah, dan lain-lain (Terzaghi, 1950)

Setiap metode analisis kestabilan lereng membutuhkan asumsi-asumsi karena jumlah persamaan yang ada lebih sedikit dibandingkan dengan bilangan yang tidak diketahui (*unknown*) (Simatupang & Rudi Iskandar, 2018)

Mode kegagalan untuk ketiga jenis tanah ditemukan tergantung pada ketinggian dan sudut lereng. Untuk tanah lempung dan tanah lempung berpasir, jenis kegagalan lereng yang dominan adalah *toe slide*. Untuk tanah berpasir, mode kegagalan yang dominan adalah *slide* lereng. Untuk tanah liat, mode kegagalan yang dominan adalah *toe slide*. *Slide* dasar terjadi untuk kemiringan sudut kurang dari 18°. Penurunan sudut lereng meningkatkan faktor keamanan lereng hampir secara linier sementara penurunan ketinggian lereng meningkatkan faktor keselamatan pada tingkat yang berbeda. Untuk kemiringan tertentu, penurunan sudut kemiringan akan meningkatkan faktor keselamatan lebih efisien daripada penurunan lereng sedangkan untuk lereng lain, penurunan ketinggian lebih efisien (Shiferaw, 2021)

2.4 *Safety Factor*

Teori keruntuhan material yang menyatakan bahwa keruntuhan suatu material disebabkan oleh kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser, bukan hanya tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum (Braja M. Das, 2016)

Secara umum, 1,5 adalah faktor keamanan kekuatan geser yang dapat diterima untuk desain stabilitas lereng (SNI-8460-2017)

Gaya geser maksimum adalah nilai puncak dan digunakan ketika massa tanah tidak memiliki diskontinuitas dalam potensi geser (lapisan, rekahan, kerusakan, dll.) dan tidak pernah bergerak. Gaya sisa digunakan ketika: (i) daratan yang berpotensi bergerak memiliki bidang diskontinuitas dan atau (ii) telah bergerak meskipun tidak memiliki bidang diskontinuitas (SNI-8460-2017)

Pelandaian/*re-grading* pada potongan melintang pada lereng untuk dapat meningkatkan faktor keamanan dan stabilitas lereng. Proses *re-grading* ini harus dilakukan sebelum proses konstruksi dilaksanakan (Nuryanto, 2021)

Dengan penurunan jarak vertikal nail pada analisis stabilitas, FS ditemukan meningkat, dan FS maksimum ditemukan untuk jarak vertikal 1,25 m. Meskipun jarak vertikal yang berkurang meningkatkan FS lereng, perbedaan FS untuk jarak 1,25 m dan 2,0 m bervariasi dalam 9-17%. Mempertimbangkan ekonomi dan kemudahan konstruksi, jarak nail vertikal 1,50 m dapat dipilih sebagai jarak vertikal nail yang optimal (Elahi et al., 2022)

2.5 Metode Konvensional

Metode irisan merupakan salah satu metode analisis stabilitas lereng yang banyak digunakan untuk mengetahui kondisi lereng. Dalam metode analisis ini, material tanah di atas bidang gelincir dibagi menjadi beberapa irisan sejajar dan tegak lurus. Stabilitas setiap bagian dihitung secara terpisah. Cara ini lebih akurat, karena tanah yang tidak homogen juga dapat dimasukkan dalam perhitungan (L Braja et al., 2017)

Metode ini dapat digunakan pada lereng dengan kondisi isotropik, non-isotropik, dan berlapis-lapis. Daratan yang bergerak dianggap terdiri dari beberapa elemen vertikal. Lebar elemen dapat dianggap tidak sama dan sedemikian rupa sehingga busur di bagian bawah elemen lurus (SNI-8460-2017)

Metode Fellenius memberikan metode perhitungan yang lebih akurat dengan faktor kepercayaan yang lebih rendah. Kisaran nilai kesalahan dapat bervariasi dari 5 hingga 40%, tergantung pada faktor keamanan, sudut pusat lingkaran yang dipilih dan besarnya tekanan air pori. Walaupun analisis dilihat berdasarkan tegangan total, kesalahan masih merupakan fungsi dari faktor keamanan dan sudut pusat lingkaran (Whitman & Baily, 1967)

Analisis kestabilan lereng, Metode Fellenius dengan pengaruh muka air tanah didapatkan nilai 0,70 (tidak stabil) dan tanpa pengaruh muka air tanah didapatkan nilai keamanan 0,93 (tidak stabil). Dan analisis stabilitas dinding penahan tanah tipe kantilever dengan ukuran lebar 2,6 m, tinggi 5,2 m, didapatkan nilai faktor guling, geser dan kapasitas daya dukung masing-masing sebesar 3,91, 4,78 dan 7,78 (Djunaedi, 2020)

2.6 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga telah menemukan peningkatan penggunaan dalam praktek rekayasa geoteknik selama 50 tahun terakhir. Ini pertama kalinya digunakan untuk memecahkan masalah aliran panas dan aliran air didalam tanah dan kemudian diterapkan untuk menentukan tekanan dan defomasi di lereng dan tanggul yang digali. Baru-baru ini, telah digunakan untuk menghitung faktor keamanan yang didefinisikan dengan suatu cara sama pada yang digunakan dalam analisis kesetimbangan batas (Griffiths & Lane, 1999)

Plaxis 2D V. 20 adalah paket elemen yang ditujukan untuk analisis deformasi dan stabilitas dua dimensi dalam desain geoteknik. Dengan program yang dilengkapi dengan metode perhitungan yang baik secara teoritis untuk menangani berbagai aspek struktur geoteknik dan proses konstruksi. Aplikasi ini dapat mencakup fungsi geoteknik seperti penilaian perpindahan permukaan jalan selama konstruksi terowongan, analisis perkuatan tanggul, pemindahan tanah dari lubang bor, analisis bendungan, stabilitas lereng, dampak air tanah, dan lainnya.

Secara umum, Plaxis 2D V. 20 dimensi sebenarnya adalah pendekatan elemen hingga berbasis perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisis berbagai aplikasi geoteknik. Perangkat lunak ini dapat digunakan untuk pemodelan tanah untuk

mensimulasikan perilaku tanah. Analisis kemiringan dan dinding penahan tipe kantilever (*Retaining Cantilever Wall*) pada lantai dasar juga dapat dimodelkan dengan perangkat lunak ini.

Dalam pemodelan stabilitas lereng, pemodelan yang dilakukan sudah mendekati kondisi eksisting baik dari angka aman yang dihasilkan maupun bidang longsor yang tergambar. Infiltrasi air di dalam tanah sangat berpengaruh pada kondisi stabilitas lereng. Hasil pemodelan stabilitas lereng dengan Plaxis menunjukkan bahwa semakin besar nilai tekanan air pori maka semakin kecil angka aman yang dihasilkan. Perubahan tekanan air pori dinilai menjadi penyebab perpindahan tanah (Hidayat, 2018)

Dengan *Plaxis 2D*, telah dilakukan analisa keamanan bendungan terhadap bahaya rembesan, meliputi: debit rembesan, pengamatan garis freatik, dan bahaya *boilling*, menunjukkan hasil yang beragam (Sadono et al., 2017)

Studi tentang berbagai metode elemen hingga dalam analisis stabilitas lereng berdasarkan karya-karya signifikan oleh banyak penulis telah dilakukan berkaitan dengan stabilitas lereng. Berbagai parameter dan faktor persamaan keselamatan yang digunakan oleh mereka telah ditinjau dan dibahas secara singkat (Baba et al., 2017)

2.7 Dinding Penahan Tanah

Retaining wall adalah istilah teknik sipil yang berarti dinding penahan. [1] Struktur beton 2 menyatakan bahwa dinding penahan adalah struktur yang menahan tanah lepas atau alami dan mencegah keruntuhan tanah miring atau lereng yang kompresinya tidak dapat dijamin oleh kemiringan tanah.

Konstruksi dinding penahan tanah mempunyai peranan yang sangat penting pada lereng, antara lain: menahan tekanan lateral tanah aktif yang dapat menyebabkan longsor, menahan tekanan lateral air yang dapat meluncur dari permukaan tanah akibat tekanan air yang tinggi, dan mencegah rembesan aliran air. Karena ketinggian lereng yang tinggi. Kemiringan tempat bangunan dibangun harus diperkuat dengan dinding penahan (*Retaining Wall*).

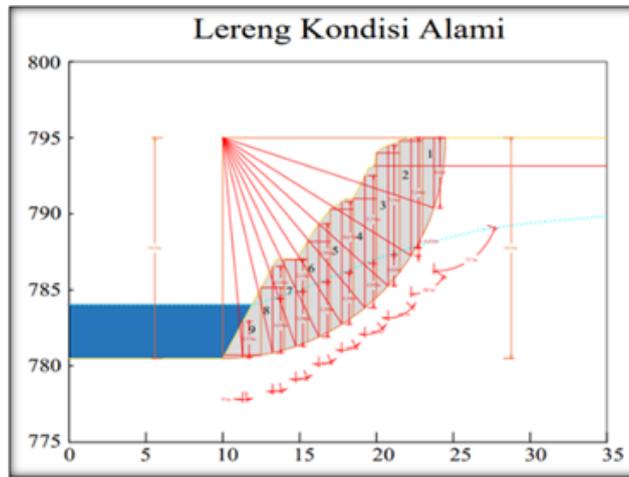
Dinding ini terdiri dari kombinasi dinding beton bertulang berbentuk T. Stabilitas struktur diperoleh dari berat mati dinding penahan tanah dan berat tanah di atas tumit tapak (*hell*). Strukturnya memiliki 3 bagian yang berfungsi sebagai penopang, yaitu dinding vertikal (*steem*), dasar tapak dan ujung tapak. (*toe*) (Braja M. Das, 2017)

Banyak faktor yang dapat mempengaruhi stabilitas dinding penahan tanah, beberapa penyebabnya adalah tekanan tanah lateral, tekanan tanah lateral dapat menyebabkan stabilitas berupa guling dan stabilitas geser, faktor lain yang mempengaruhi stabilitas adalah bentuk dan berat struktur dinding penahan tanah. Oleh karena itu, perhitungan kestabilan suatu dinding penahan tanah memerlukan perhitungan yang cermat. Beberapa di antaranya adalah ketahanan benturan, ketahanan geser dan daya dukung tanah (L Braja et al., 2017)

Dalam menganalisis suatu perbaikan dan perkuatan lonsoran dapat direncanakan menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever dengan dimensi yang telah diperhitungkan dari segi kemandan terhadap guling, geser, dan daya dukung (Fadhilah et al., 2017)

Untuk mengembangkan metode untuk menganalisis stabilitas seismik dinding penahan gravitasi dengan pengurukan c-u di bawah kategori teorema batas atas analisis batas. Untuk mekanisme kegagalan translasi yang diasumsikan, solusi bentuk tertutup diturunkan yang didasarkan pada analisis sistem dinding tanah. Ekspresi yang diturunkan dalam makalah ini dapat dengan mudah digunakan untuk menghitung faktor percepatan kritis kcr, yang merupakan parameter kunci untuk mengevaluasi stabilitas seismik dinding penahan gravitasi (Li et al., 2019)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2. Lereng keadaan alami

Tabel 1. Analisis stabilitas lereng alami

<i>Slice</i>	<i>Area (m²)</i>	<i>Weight (kN/m)</i>	<i>α</i>	<i>ΔLn</i>	<i>Sn=(W n x Sin α)</i>	<i>Sn=(Wn x Cos α)</i>	<i>Un (kN/m²)</i>	<i>Pn (kN/m)</i>
1	6,49	129,84	71	4,60	122,76	42,27	0,00	0,00
2	11,52	233,58	58	2,83	198,08	123,77	5,10	14,43
3	13,76	279,63	48	2,24	207,80	187,10	19,81	44,42
4	12,84	264,48	40	1,95	170,00	202,60	28,64	56,09
5	11,98	246,57	32	1,76	130,66	209,10	33,15	58,64

6	11,05	227,98	26	1,66	99,94	204,91	35,21	58,77
7	8,94	176,37	19	1,58	57,42	166,76	35,11	55,71
8	8,26	175,42	13	1,53	39,46	170,92	34,82	53,61
9	5,63	74,65	5	1,50	6,50	74,37	23,24	35,00
Σ		1808,5		19,70	1032,65	1381,83		
		3						

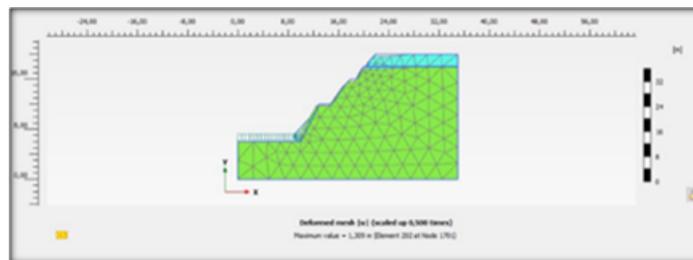
Angka keamanan stabilitas lereng (*safety factor*) Fellenius

$$F_s = \frac{\sum \Delta L_n \times c + \sum (W_n \times \cos \alpha_n - U_n \times \Delta L_n) \times \tan \phi}{\sum (W_n \times \sin \alpha_n)} \quad (1)$$

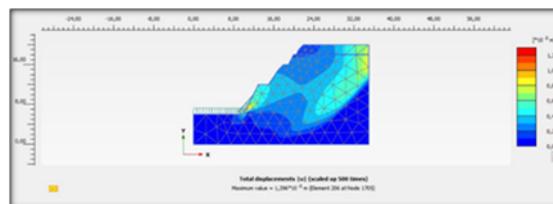
$$= \frac{19,70 \times 50 + 1005,12 \times \tan 35}{1032,65}$$

$$= 1,3085 < 1,5 \text{ (Lerengnya Tidak Stabil)}$$

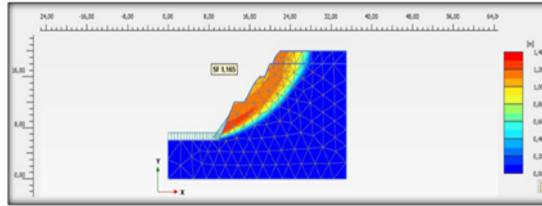
3.1 Analisis Stabilitas Lereng dengan Pemodelan Plaxis 2D V. 20 Kondisi Alami (*Natural Conditions*)



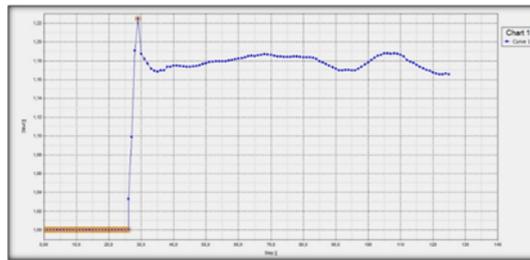
Gambar 3. *Mesh nodes* kondisi alami



Gambar 4. *Total displacements phase* kondisi alami

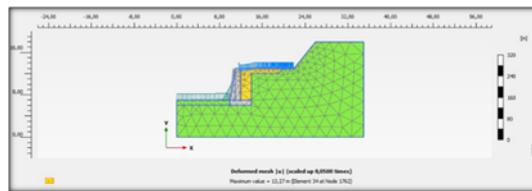


Gambar 5. *Safety factor* kondisi alami

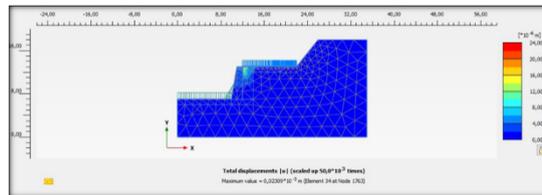


Gambar 6. Grafik *Output* terhadap *Safety Factor* Kondisi Alami

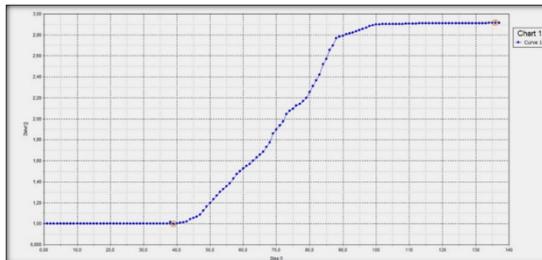
3.2 Analisis Stabilitas Lereng dengan Pemodelan Plaxis 2D V. 20 Kondisi Perkuatan (*Reinforcement Conditions*)



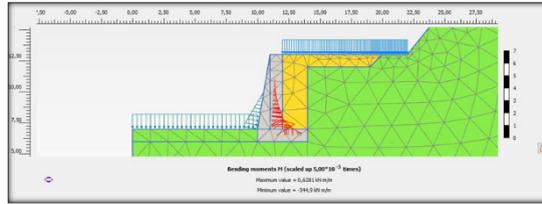
Gambar 7. *Mesh nodes* kondisi perkuatan



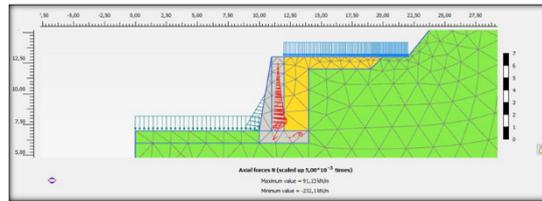
Gambar 8. *Total displacements phase* kondisi perkuatan



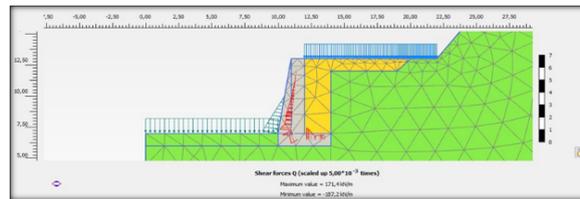
Gambar 10. Grafik *Output* terhadap *Safety Factor* Kondisi Perkuatan



Gambar 11. Diagram *bending moment* kondisi kekuatan

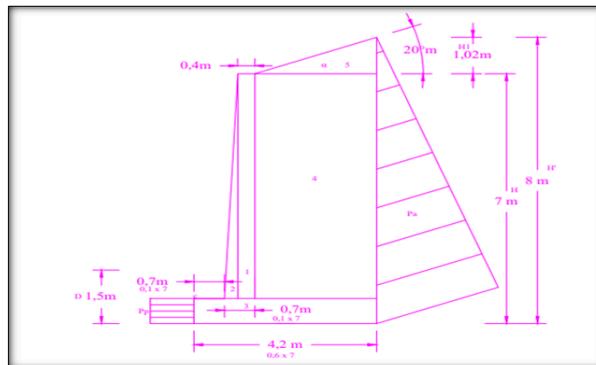


Gambar 12. Diagram *axial force* kondisi kekuatan



Gambar 13. Diagram *shear force* kondisi kekuatan

3.3 Desain Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever



Gambar 14. Desain dimensi dinding penahan tanah Tipe kantilever

$$F_s_{(overturning)} = \frac{\sum mr}{M_o} \tag{2}$$

$$= \frac{1890,0527}{653,9577}$$

$$= 2,8902 > 2 \text{ (Aman)}$$

$$F_{s(\text{sliding})} = \frac{\sum V \cdot \tan(K1.\phi2) + B \cdot K2 \cdot c2 + Pp}{Pa \cdot \cos\alpha}$$

(3)

$$= \frac{677,1937 \cdot \tan(0,66.35) + 4,2 \cdot 0,66 \cdot 50 + 210,0652}{260,3560 \cdot 0,9397}$$

$$= 2,3190 > 1,5 \text{ (Aman)}$$

$$F_{s(\text{bearing capacity})} = \frac{qu}{qtoe}$$

(4)

$$= \frac{888,4103}{224,9690}$$

$$= 3,9490 > 2 \text{ (Aman)}$$

3.4 Perbandingan Metode Konvensional dan Metode Elemen Hingga berserta Perkuatan

Tabel 2. Perbandingan metode konvensional dan elemen hingga

Stabilitas Lereng dan Perkuatan	Metode Konvensional	Metode Elemen Hingga	Persyaratan <i>Safety Factor</i>	Aman atau Tidak aman
Alami	1,3085	1,1650	1,5	Tidak Aman
Perkuatan	3,9490	2,9140	2	Aman

4. DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional Standar Nasional Indonesia Persyaratan perancangan geoteknik. (2017). www.bsn.go.id

15796-32201-1-SM.

Baba, K., Akhssas, A., Digvijay, M., Salunkhe, P., & Guruprasd Chvan, A. (n.d.). IJERT-An Overview on Methods for Slope Stability Analysis Related papers Slope Stability Evaluations by Limit Equilibrium and Finite Element Methods Applied to a Rail... An Overview on Methods for Slope Stability Analysis. In *IJERT Journal International Journal of Engineering Research and Technology*. www.ijert.org

Djunaedi, R. R. (2020). Perencanaan Dinding Penahan Tanah Tipe Gravitasi (Studi Kasus : Sdn Lio, Kecamatan Cireunghas). *Jurnal Student Teknik Sipil Edisi*, 1(2).

Elahi, T. E., Islam, M. A., & Islam, M. S. (2022). Parametric Assessment of Soil Nailing on the Stability of Slopes Using Numerical Approach. *Geotechnics*, 2(3), 615–634. <https://doi.org/10.3390/geotechnics2030030>

Fadhilah, L., Kaptan, J., No, S., & Magelang, P. (2017). *Sudarno Reviews in Civil Engineering* (Issue 1).

Hidayat, R., Sabo, B. L., Depok, K., Sleman, K., & Yogyakarta, D. I. (n.d.). *Analisis Stabilitas Lereng pada Longsor Desa Caok... (Rokhmat Hidayat) ANALISIS STABILITAS LERENG PADA LONGSOR DESA CAOK, PURWOREJO, JAWA TENGAH SLOPE STABILITY ANALYSIS IN CAOK VILLAGE LANDSLIDE, PURWOREJO, CENTRAL JAVA.*

L Braja, J. 1, Bahasa, A., & Noor, L. (n.d.). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis).*

Li, X., Zhao, S., He, S., Yan, Q., & Lei, X. (2019). Seismic stability analysis of gravity retaining wall supporting $c-\phi$ soil with cracks. *Soils and Foundations*, 59(4), 1103–1111. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.01.004>

mekanika-tanah-ii. (n.d.).

Nuryanto. (2021). ANALISIS STABILITAS DAN DESAIN PERKUATAN LERENG KAWASAN SENTUL CITY. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, 20(2), 190–203. <https://doi.org/10.35760/dk.2021.v20i2.2679>

Principles of Foundation Engineering. (2016).

Shiferaw, H. M. (2021). Study on the influence of slope height and angle on the factor of safety and shape of failure of slopes based on strength reduction method of analysis. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s43088-021-00115-w>

Simatupang, A., & Rudi Iskandar, D. I. (n.d.). *PERBANDINGAN ANTARA METODE LIMIT EQUILIBRIUM DAN METODE FINITE ELEMENT DALAM ANALISA STABILITAS LERENG.*

Soil Strength and Slope Stability. (n.d.).