

Diterima : 15 Mei 2024 | Selesai Direvisi : 31 Mei 2024 | Disetujui : 05 Juni 2024 | Dipublikasikan : Juli 2024

DOI : <http://dx.doi.org/10.24853/jk.15.2.177-189>

Copyright © 2023 Jurnal Konstruksia

This is an open access article under the CC BY-NC licence (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Pemodelan Numerik Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu Kali Pada Solusi Perbaikan Kelongsoran Lereng

Umi Sakinah¹, Mohamad Aswanto¹, Tanjung Rahayu Raswitaningrum¹ dan Budi Satiawan¹

¹Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27, Jakarta, 10510

Email korespondensi: umisakinah195@gmail.com

ABSTRAK

Kelongsoran terjadi disalah satu area strategis di daerah Tanjung Redeb. Di atas lereng terdapat menara BTS (*Base Tranceiver Station*) dan di bawah lereng terdapat *workshop* alat berat untuk perawatan dan fasilitas pertambangan. Berbagai alternatif rekayasa sipil untuk perkuatan lereng telah diaplikasikan, namun massa tanah lereng masih terus bergerak ke bawah sehingga lereng terus mengalami kelongsoran. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai deformasi dan faktor keamanan jika dibangun dinding penahan tanah untuk memperbaiki kelongsoran lereng. Metode yang digunakan adalah pemodelan numerik dinding penahan tanah pasangan batu kali setinggi 18 meter dan panjang 38 meter dengan analisis metode elemen hingga menggunakan Plaxis. Hasil penelitian menunjukkan deformasi yang didapat adalah 0,01871 m pada tahap awal, 0,02604 m pada tahap galian, 0,02468 m pada tahap konstruksi, dan 0,02391 m pada tahap DPT sudah terpasang. Nilai faktor keamanan yang didapat pada PLAXIS adalah 4,493 pada tahap awal, 3,6 pada tahap galian, 3,362 pada tahap konstruksi dan 6,374 pada tahap DPT terpasang. Perbandingan faktor keamanan antara metode Bishop dan elemen hingga didapat perbedaan 1,313 % pada tahap awal, 1,22 % pada tahap galian, 0,982 % pada tahap konstruksi dan 1,764 % pada tahap DPT terpasang.

Kata kunci: Elemen hingga, PLAXIS, faktor keamanan

ABSTRACT

The landslide occurred in one of the strategic areas in the Tanjung Redeb area. At the top of the slope there is a BTS (Base Transceiver Station) tower and at the bottom of the slope there are heavy equipment workshops for maintenance and mining facilities. Various civil engineering alternatives for slope reinforcement have been applied, but mass the slope of the soil is still moving downwards so that the slope continues to experience decline. This research was conducted to determine the deformation value and safety factor if a retaining wall is built to repair slope failure. The method used is numerical modeling of a stone masonry retaining wall 18 meters high and 38 meters long using finite element analysis using PLAXIS. The amount of deformation obtained is 0.01871 m at the initial condition stage, 0.02604 m at the excavation stage, 0.02468 m at the excavation stage. Construction conditions and 0.02391 m at the stage where the DPT condition has been installed. Score The safety factor obtained in PLAXIS is 4.493 at the initial condition stage, 3.6 at the excavation condition stage, 3.362 at the construction condition stage and 6.374 at the stage when DPT is installed. Comparison of safety factors between Bishop's method and finite elements obtained a difference of 1.313% at the initial condition stage, 1.22% at the excavation condition stage, 0.982% at the construction stage and 1.764% at the stage when DPT is installed.

Keywords: Finite elemen, PLAXIS, safety factor

1. PENDAHULUAN

Kelongsoran terjadi disalah satu area strategis di daerah Tanjung Redeb. Di atas lereng terdapat menara BTS (*Base Transceiver Station*) dan dibawah lereng terdapat *workshop* alat berat untuk perawatan dan fasilitas pertambangan. Berbagai alternatif rekayasa sipil untuk perkuatan lereng telah diaplikasikan, akan namun massa tanah lereng masih terus bergerak ke bawah sehingga lereng terus mengalami kelongSORAN. Perbaikan lereng yang telah dilakukan adalah memotong kaki lereng. Penelitian tentang kelongSORAN lereng di Tanjung Redeb ini pernah dilakukan oleh [2] berjudul Desain Konstruksi Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu-Kali dengan Metode Memotong Kaki-lereng. dan dianalisis dengan metode Bishop menggunakan perangkat lunak Geo5.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perbaikan lereng dengan membangun dinding penahan tanah. Faktor keamanan dianalisis dengan membuat pemodelan *Mohr Coulomb* pada Plaxis 8.2. Penelitian ini menganalisis kondisi eksisting sebelum dinding penahan tanah dibangun dan setelah dinding penahan tanah dibangun.

Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 8.2 pada empat tahap pemodelan lereng yaitu kondisi awal, kondisi galian, kondisi konstruksi, dan kondisi saat DPT selesai dibangun. Keempat analisis menggunakan data penyelidikan tanah yang didapat dari hasil uji laboratorium, sedangkan data lainnya seperti nilai poisson ratio (ν), kuat geser tanah (C_u) dan kekakuan tanah (E) ditentukan dari perbandingan nilai-nilai yang diambil dari berbagai sumber. Pemodelan yang digunakan dalam fitur PLAXIS adalah model *Mohr-Coloumb*, Penelitian tentang kelongSORAN lereng di Tanjung Redeb ini juga pernah dilakukan oleh Ir. Aswanto, M.T. dengan judul penelitian 'Desain Konstruksi Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu-Kali dengan Metode Memotong Kaki-lereng'

[2]. Dalam jurnal tersebut metode analisis yang digunakan adalah metode Bishop.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui besar deformasi pada setiap tahapan pemodelan dengan analisis metode elemen hingga menggunakan PLAXIS.
2. Mengetahui faktor keamanan pada setiap pemodelan lereng yang dianalisis dengan metode elemen hingga dengan pendekatan reduksi ϕ -c.
3. Mengetahui perbandingan faktor keamanan yang dianalisis dengan metode Bishop dan metode elemen hingga dengan pendekatan reduksi ϕ -c menggunakan PLAXIS

2. LANDASAN TEORI

Stabilitas lereng dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya adalah kondisi geologi, hidrologi, topografi, iklim, dan perubahan cuaca. Contoh penyebab alami yang dapat menyebabkan kelongSORAN lereng adalah pelapukan, hujan lebat atau hujan tidak lebat tapi berkepanjangan, adanya lapisan lunak, dan lain-lain. Contoh penyebab lain terkait aktifitas manusia adalah penggalian dikaki lereng, pembangunan dipermukaan lereng, dan lain-lain.

Penyebab longSORAN lereng terjadi adalah:

1. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban oleh air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenang di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuh-tumbuhan yang tertiuP angin dan lain-lain
2. Penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng yang menyebabkan tinggi lereng bertambah.
3. Penggalian yang mempertajam ketinggian lereng.
4. Perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*) (pada bendungan, sungai dan lain-lain).

5. Kenaikan tekanan lateral oleh air (air yang mengisi retakan mendorong tanah ke arah lateral).
6. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng oleh akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air di dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain.
7. Getaran atau gempa bumi

Longsor

Longsor (*slide*) adalah gerakan material pembentuk kareng yang diakibatkan oleh terjadinya keruntuhan geser disepanjang satu atau lebih pola keruntuhan. Massa tanah yang bergerak bisa menyatu atau terpecah-pecah. Perpindahan material total sebelum terjadinya longsor bergantung pada besarnya regangan yang dibutuhkan untuk mencapai kuat geser puncak dari tanah pada zona disekitar longsor. Perpindahan total tersebut lebih kecil pada lempung *normally consolidated* daripada lempung kaku *over consolidated*.

Tanah-tanah lempung kaku dapat mengalami perpindahan geser sampai 2,5 % dari tebal zona longsor. Untuk serpih kaku (*stiff shales*) perpindahan geser dapat mencapai sekitar 0,8 %-nya [11].

Broms (1975) menjelaskan tentang perbedaan antara keruntuhan translasional dan rotasional sebagai berikut: sistem gaya-gaya yang menyebabkan terjadinya longsor rotasional atau slump berkurang dengan bertambahnya deformasi, akibat massa tanah yang bergerak miring ke belakang, sedangkan pada longsor translasional, sistem gaya-gaya yang menyebabkan keruntuhan besarnya konstan.

Analisis stabilitas lereng

Pada permukaan tanah yang tidak horisontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar

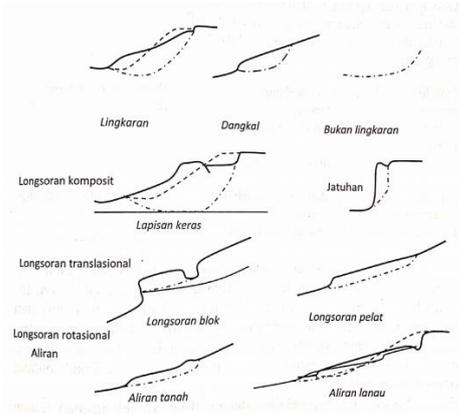
sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada pola keruntuhannya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Analisis ini sering digunakan dalam perancangan-perancangan bangunan seperti: jalan kereta api, jalan raya, bandara, bendungan urugan tanah, saluran, dan lain-lainnya. Pada umumnya, analisis stabilitas dilakukan untuk mengecek keamanan dari lereng alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah. Analisis stabilitas lereng dipengaruhi beberapa faktor antara lain kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, gangguan contoh benda uji laboratorium, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lainnya.

Dalam analisis stabilitas lereng, bila geometri lereng dan kondisi tanah sudah diketahui, maka analisis stabilitas lereng dapat dilakukan baik menggunakan diagram-diagram atau penyelesaian dengan program-program komputer. Program komputer yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng umumnya menggunakan pendekatan keseimbangan batas pada model dua dimensi. Faktor aman stabilitas lereng atau faktor aman terhadap kuat geser tanah diambil lebih besar atau sama dengan 1,2. Dalam analisis stabilitas lereng, kuat geser yang dibutuhkan (τ_d) di sepanjang pola keruntuhan potensial untuk memelihara keseimbangan dihitung, dan kemudian dibandingkan dengan kuat geser yang tersedia (τ). Dalam hal ini faktor aman (F) dinyatakan oleh rasio kuat geser yang tersedia terhadap yang dibutuhkan dan dianggap konstan di sepanjang permukaan pola keruntuhan.

Model keruntuhan

Penyebab terjadinya longsor lereng adalah akibat adanya perubahan tegangan efektif yang disebabkan oleh perubahan tekanan air pori, dan bertambahnya berat sendiri tanah akibat infiltrasi air hujan ke

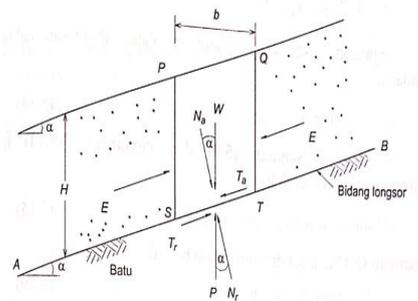
dalam tanah. Jika kadar air tanah bertambah, tekanan air pori akan naik yang berakibat kuat geser tanah turun. Kelongsoran dapat terjadi secara tidak terduga sebelumnya, lambat atau cepat, dengan atau tanpa tanda-tanda lebih dahulu.



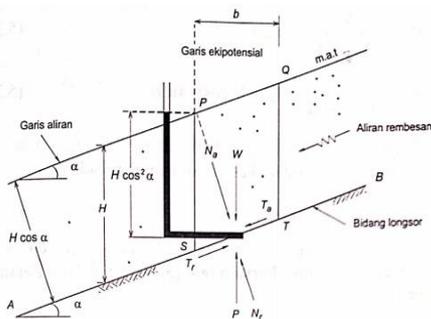
Gambar 1. Tipe-Tipe Gerakan Massa Lereng

Sumber: Skempton dan Hutchinson (1960)

Lereng tak terhingga (Infinite slope)



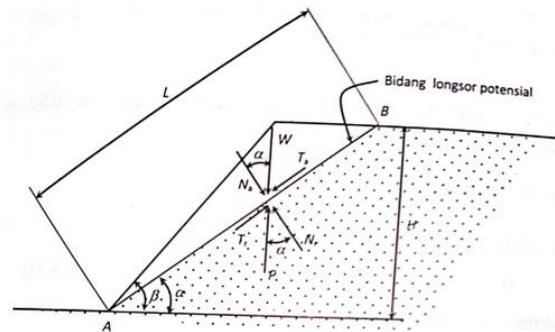
Gambar 2. Lereng Tak Terhingga Tanpa Aliran Rembesan [11]



Gambar 3. Lereng Tak Terhingga Tanpa Aliran Rembesan [11]

Gambar 2 dan gambar 3 menunjukkan suatu lapisan tanah dengan tebal H mempunyai permukaan miring dan terletak di atas lapisan batu dengan kemiringan permukaan yang sama. Lereng semacam ini disebut lereng tak terhingga (*infinite slope*) karena memiliki panjang yang sangat lebih besar dibanding dengan kedalamannya (H). Jika diambil elemen tanah selebar b , gaya-gaya yang bekerja pada dua bidang vertikalnya mendekati sama, karena pada lereng tak terhingga gaya-gaya yang bekerja disetiap sisi bidangnya dapat dianggap sama. pada lereng tak terhingga ada 2 kondisi yaitu kondisi tanpa rembesan dan kondisi rembesan.

Lereng terbatas (Finite slope)



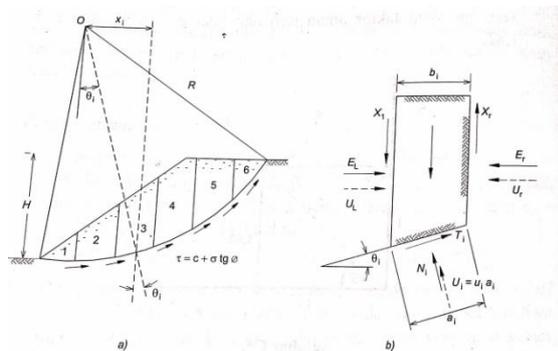
Gambar 4. Analisis Stabilitas Timbunan di Atas Tanah Miring [11]

Gambar 4 memperlihatkan timbunan yang terletak di atas tanah asli yang miring. Akibat permukaan tanah asli miring, timbunan akan longsor disepanjang bidang AB. Contoh seperti ini terjadi jika tanah timbunan diletakkan pada tanah asli yang miring, di mana pada lapisan tanah asli masih terdapat lapisan lemah yang berada di dasar timbunan

Metode irisan

Bila tanah tidak homogen aliran rembesan terjadi di dalam tanah tidak menentu, cara yang lebih cocok adalah dengan metode irisan (*method of slice*). Gaya normal yang bekerja pada suatu titik dilingkaran pola keruntuhan, terutama dipengaruhi oleh

berat tanah diatas titik tersebut Dalam metode irisan, massa tanah yang longsor dipecah-pecah menjadi beberapa irisan vertikal. Kemudian, keseimbangan dari tiap irisan diperhatikan. Gambar 2.4b memperlihatkan satu irisan dengan gaya-gaya yang bekerja padanya. Gaya-gaya ini terdiri dari gaya geser (X_r dan X_l) dan gaya normal efektif (E_r dan E_l) di sepanjang sisi irisannya, dan juga resultan gaya geser efektif (T_i) dan resultan gaya normal efektif (N_i) yang bekerja di sepanjang dasar irisan. Tekanan air pori U_l dan U_r , bekerja di kedua sisi irisan, dan tekanan air pori U_i , bekerja pada dasarnya. Dianggap tekanan air pori sudah diketahui sebelumnya.



Gambar 5. Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan [11]

Metode Bishop disederhanakan (simplified bishop method)

Metode Bishop disederhanakan (Bishop, 1955) menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Persamaan kuat geser dalam tinjauan tegangan efektif yang dapat dikerahkan tanah, hingga tercapainya kondisi keseimbangan batas dengan memperhatikan faktor aman, adalah:

$$\tau = \frac{c'}{F} + (\sigma - u) \frac{tg\varphi'}{F} \quad (1)$$

dengan σ = tegangan normal total pada pola keruntuhan dan u = tekanan air pori. Untuk irisan ke- i , nilai $T_i = \tau \alpha_i$, yaitu gaya geser yang dikerahkan tanah pada pola keruntuhan untuk keseimbangan batas.

$$T = \frac{c'a_i}{F} + (N_i - u_i a_i) \frac{tg\varphi'}{F} \quad (2)$$

Kondisi keseimbangan momen dengan pusat rotasi O antara berat massa tanah yang akan longsor dengan gaya geser total yang dikerahkan tanah pada dasar pola keruntuhan.

$$\sum W_i x_i = \sum T_i R \quad (3)$$

dengan x_i adalah jarak W_i ke pusat rotasi O, dari persamaan (1) dan (3) maka dapat diperoleh:

$$F = \frac{R \sum_{i=1}^n [c'a_i + (N_i - u_i a_i) tg\varphi']}{\sum_{i=1}^n W_i x_i} \quad (4)$$

Pada kondisi keseimbangan vertikal, jika $X_l = X_i$ dan $X_r = X_{i+1}$

$$N_i \cos \theta_i + T_i \sin \theta_i = W_i + X_i - X_{i+1}$$

$$N_i = \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - T_i \sin \theta_i}{\cos \theta_i} \quad (5)$$

dengan $N'_i = N_i - u_i \alpha_i$, substitusi persamaan (2) ke persamaan (5) dapat diperoleh persamaan:

$$N_i = \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - u_i \alpha_i \cos \theta_i - c'a_i \sin \theta_i / F}{\cos \theta_i + \sin \theta_i tg \varphi' / F} \quad (6)$$

Substitusi persamaan (6) ke persamaan (4) diperoleh (7):

$$F = \frac{R \sum_{i=1}^n (c'a_i + tg \varphi' \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - u_i \alpha_i \cos \theta_i - c'a_i \sin \theta_i / F}{\cos \theta_i + \sin \theta_i tg \varphi' / F})}{\sum_{i=1}^n W_i x_i} \quad (7)$$

Untuk penyederhanaan dianggap $X_i - X_{i+1} = 0$ dengan mengambil:

$$x_i = R \sin \theta_i \quad (8)$$

$$b_i = \alpha_i \cos \theta_i \quad (9)$$

Substitusi persamaan (8) dan (9) ke persamaan (7), diperoleh persamaan faktor aman (10):

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n [c'b_i + (W_i - u_i b_i) tg\varphi'] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + tg\theta_i tg\varphi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i} \quad (10)$$

dengan F = faktor aman, c' = kohesi tanah efektif (kN/m^2), φ' = sudut gesek dalam tanah efektif (derajat), b_i = lebar irisan ke- i (m), W_i = berat massa tanah irisan ke- i (kN), u_i = tekanan air pori pada irisan ke- i (kN/m^2), θ_i = sudut (derajat).

Rasio tekanan pori (*pore pressure ratio*) didefinisikan sebagai:

$$r_u = \frac{ub}{W} = \frac{u}{\gamma h} \quad (11)$$

dengan r_u = rasio tekanan pori, u = tekanan air pori (kN/m^2), b = lebar irisan (m), γ = berat volume tanah (kN/m^3), h = tinggi irisan rata-rata (m).

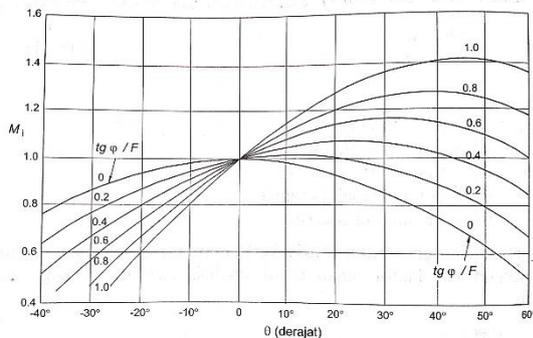
Dari substitusi persamaan (11) ke persamaan (10) bentuk lain dari persamaan faktor aman untuk analisis stabilitas lereng cara Bishop (12):

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n [c' + b_i + W_i(1 - r_u) \text{tg} \phi'] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \text{tg} \theta_i \text{tg} \phi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i} \quad (12)$$

Persamaan faktor aman Bishop membutuhkan cara coba-coba (*trial and error*), karena nilai faktor aman F nampak di kedua sisi persamaannya. Akan namun, cara ini menghasilkan nilai faktor aman yang mendekati hasil hitungan. Untuk mempermudah hitungan secara manual, Gambar 6 dapat digunakan untuk menentukan nilai fungsi M_i , dengan:

$$M_i = \cos \theta_i (1 + \text{tg} \theta_i \text{tg} \phi' / F) \quad (13)$$

Lokasi lingkaran longsor kritis dari metode Bishop (1955) umumnya mendekati hasil pengamatan di lapangan.



Gambar 6. Diagram untuk Menentukan M

Metode elemen hingga (*finite element method*)

Penggunaan metode keseimbangan batas memungkinkan untuk melakukan evaluasi lereng dengan cepat. Namun prosedur ini memberlakukan hitungan yang sama antara lereng timbunan baru, lereng yang baru digali atau lereng alami. Tegangan-tegangan didalam lereng ini sangat dipengaruhi oleh yaitu rasio tegangan lateral terhadap tegangan vertikal efektif. Perhitungan cara konvensional dengan

metode keseimbangan batas mengabaikan hal ini (Chowdhury, 1981). Dalam kenyataan, distribusi tegangan dalam ke tiga lereng tersebut diatas akan berbeda, dan oleh karena itu akan mempengaruhi stabilitasnya. Metode elemen hingga (*finite element method*) pertama kali dikenalkan oleh Clough dan Woodward (1967), tapi penggunaannya terbatas pada struktur dari material tanah yang kompleks. Untuk kasus khusus, metode elemen hingga dapat mengakomodasi pengaruh penimbunan dan penggalian secara bertahap, sehingga pengaruh sejarah tegangan dalam tanah terhadap deformasinya dapat ditelusuri. Akan namun, kualitas metode elemen hingga secara langsung bergantung pada kemampuan dari model konstitutif yang dipilih untuk secara realistis mensimulasi kelakuan non linier dari tanah pembentuk lereng. Untuk lereng galian dan lereng alam, model konstitutif hanya dapat benar-benar dikembangkan dengan uji lapangan kualitas tinggi yang didukung dengan pengamatan di lapangan. Dalam memilih program yang cocok, pengguna harus mempertimbangkan:

1. Perkakas model-model konstitutif
2. Ketersediaan dari tipe-tipe elemen hingga yang berbeda (segitiga, segiempat, atau isoparametik)
3. Data laboratorium dan lapangan yang dibutuhkan untuk mendefinisikan sifat-sifat tanah

Dengan program yang dipilih, dapat ditentukan tegangan-tegangan dan deformasi lereng yang akan digunakan untuk mengevaluasi stabilitas lereng.

Dinding penahan

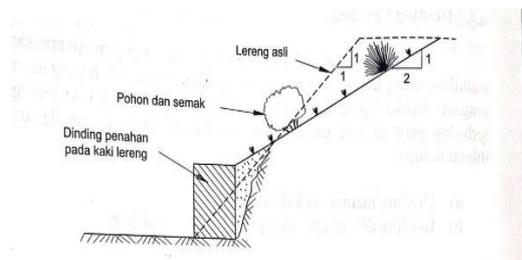
Struktur penahan yang dibangun dikaki lereng memperbesar stabilitas lereng karena dapat menahan gerakan massa tanah yang akan longsor. Struktur penahan dikaki lereng juga melindungi kaki lereng terhadap gerusan atau erosi. Struktur penahan dikaki lereng dapata dibuat berupa:

1. Dinding memotong kaki lereng.

2. Dinding diluar kaki lereng yang membentuk trap.

Dinding memotong kaki lereng

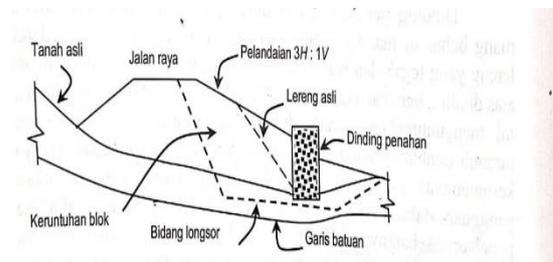
Dinding penahan dibuat memotong kaki lereng ini karena ruang bebas di luar kaki lereng terbatas. Dinding menciptakan kaki lereng yang tegak dan biasanya diikuti dengan melandaikan lereng di atas dinding penahan (gambar 7).



Gambar 7. Dinding Penahan pada Kaki Lereng dengan Pelandaian Lereng

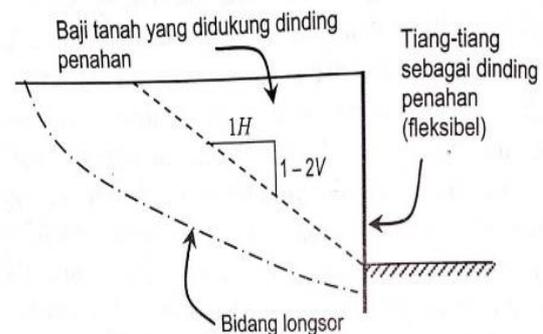
Lereng yang dibuat lebih landai ini menguntungkan, karena dipermukaan lereng dapat ditanami tumbuh-tumbuhan sehingga mengurangi risiko erosi dangkal. Hanya kerugiannya, penggalian dikaki lereng dapat mengakibatkan gangguan stabilitas lereng. Oleh karena itu, pembangunan dinding penahan sebaiknya dilakukan pada musim kemarau pembangunannya dilakukan per segmen. Contohnya, tahap pertama dibangun panjang dinding 5 m dulu, baru kemudian dilanjutkan lagi. Hasil galian dari pekerjaan melandaikan lereng dapat digunakan sebagai tanah urug dibelakang dinding penahan. Bila tanah hasil galian tanah berlempung, maka harus diperhatikan saat merancang stabilitas dindingnya, karena tanah ini mempunyai permeabilitas kecil yang dapat merugikan kestabilan dinding dimusim hujan. Terkait dengan *volume* tanah yang digali untuk melandaikan lereng, idealnya tanah galian diusahakan sama dengan volume tanah urugan dibelakang dinding supaya tidak perlu mendatangkan tanah dari tempat lain, atau membuangnya karena kelebihan tanah galian. Contoh penggunaan dinding

penahan tanah yang tidak tepat ditunjukkan dalam gambar 8. Massa tanah yang longsor beberapa kali lebih besar dari tanah yang dapat ditahan oleh dinding penahan tanah



Gambar 8. Penggunaan Dinding Penahan Tanah yang Tidak Tepat

Penyelesaian yang efektif adalah biji tanah yang ditahan oleh dinding sama dengan tanah yang akan longsor. Secara tipikal, lereng yang akan didukung oleh dinding penahan tanah adaah baji tanah dengan kemiringan 2H: 1V. Perbandingan baji tanah yang didukung oleh dinding penahan dan masa tanah yang akan longsor ditunjukan oleh gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan Baji Tanah

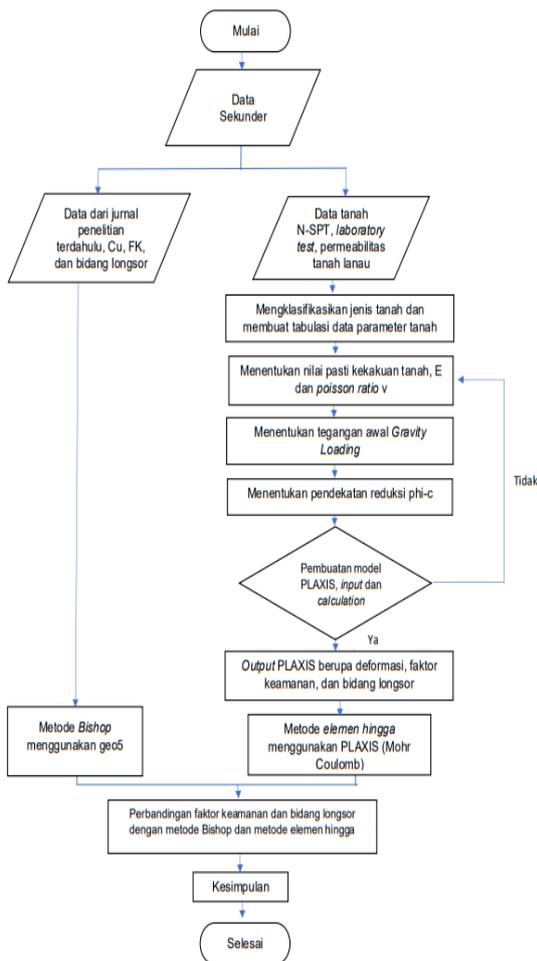
3. METODE PENELITIAN

Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak PLAXIS 8.2 pada empat tahap pemodelan lereng yaitu kondisi awal, kondisi galian, kondisi konstruksi, dan kondisi saat DPT selesai dibangun. Data yang digunakan adalah data penyelidikan tanah yang didapat dari hasil uji laboratorium. Beberapa data yang tidak diperoleh dari penyelidikan tanah seperti nilai *poisson ratio* (ν), kuat geser tanah

(Cu) dan kekakuan tanah (E) ditentukan dari perbandingan nilai-nilai yang diambil dari berbagai sumber.

Prosedur penelitian

Untuk memastikan bahwa struktur DPT aman, maka diperlukan analisis interaksi antara DPT dengan lereng, terkait faktor keamanan, deformasinya dan gaya-gaya yang dapat digunakan sebagai basis desain konstruksi struktur itu sendiri. Hasil dari analisis dengan metode elemen hingga menggunakan PLAXIS adalah deformasi, faktor keamanan dan pola keruntuhan lereng. Parameter yang menjadi perbandingan dengan jurnal “Desain Konstruksi Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu-Kali dengan Metode Memotong Kaki-lereng Aswanto (2021)” [2] adalah faktor keamanan dan pola keruntuhan lereng.



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian

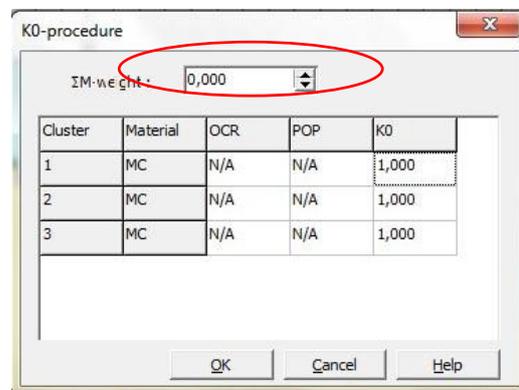
Data dan teknik pengambilan data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Data laboratorium
2. Data yang diambil dari jurnal (Cu, N-SPT, ν)
3. Data yang diambil dari literatur (E dan ν)

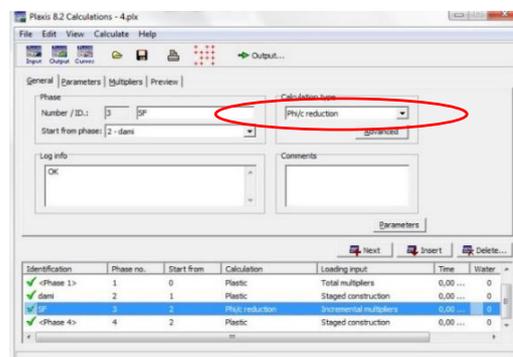
Teknik pengambilan data pada penelitian ini adalah:

1. Pengambilan data kekakuan tanah (E)
2. Pengambilan data *poisson ratio* (ν)
3. Penentuan tegangan awal dengan *gravity loading* dengan nilai *M-weight* 0

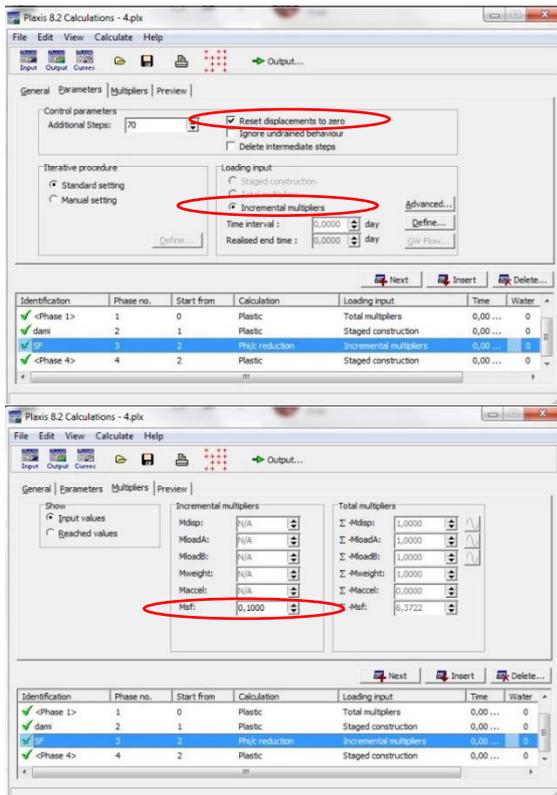


Gambar 11. Gravity Loading

4. Penentuan pendekatan reduksi phi-c untuk mengetahui faktor amannya. Reduksi phi-c dilakukan pada PLAXIS calculation, dalam lembar tab *General* pilih *phi/c reduction* dari kotak *Calculation type*



Gambar 12. Isian Lembar Tab General



Gambar 13. Isian Lembar Tab *Parameters* dan *Multiplier*

Sedangkan pada lembar tab *Parameters* pilih *Reset Displacement to Zero* dan *Incremental multipliers* pada *Loading Input*. Nilai faktor pengali atau *multiplier* (*Msf*) diatur menjadi 0,1 untuk mengatur *multiplier* dapat dilakukan pada lembar tab *multiplier*.

Pengumpulan data

Pada penelitian ini pengumpulan data menggunakan software PLAXIS 8.2 dengan data yang sudah dibuat ke dalam tabel, lalu input kedalam PLAXIS *input, output dan calculation*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan lereng berjumlah empat tahap yaitu kondisi awal, kondisi galian, kondisi konstruksi dan kondisi saat DPT terpasang. Setiap pemodelan lereng memiliki panjang 38 meter dan tinggi 18 meter. Berdasarkan SNI 1727. 2013, dalam menentukan beban pada setiap perancangan struktur bangunan maupun

struktur lainnya, beban mati harus ditambahkan dalam perhitungan. Beban mati mencakup seluruh bahan konstruksi yang terdapat di atas *stocking yard* dan berat sendiri struktur lereng tersebut. Beban mati yang ditambahkan dalam pemodelan PLAXIS berupa beban terbagi rata akibat bahan konstruksi dan berat sendiri struktur lereng sebesar 10 kN/m.

Nilai input penting

Tabel 1. Nilai E

<i>Ket</i>	<i>Layer1</i>	<i>Layer 2</i>	<i>Layer 3</i>
Jenis tanah	Lempun ng Silt pasir	Lempun g abu ² keras	Silt pasir Cemente d keras
N-SPT	12	35	50
C _u	80	200	240
1. Bowle ss	30000- 42500	7000- 20000	30000- 42500
2. Braja	20700- 41400	20700- 41400	20700- 41400
3. Terma t Terma t (Eu)	36364 40000	93750 100000	116129 120000
4. Dunca n & Buchig ani	600	750	1800
5. Ohde& Janbu	600	750	1800
6. Attebe rg	11334	11724,1 4	12142,8 6
7. Obzur d & Truthy	7-20	20-32	20-32

Nilai satuan dari rangkuman nilai kekakuan tanah (E) dari nomor 1-6 adalah kN/m², sedangkan nomor 7 satuannya adalah Mpa. Nilai yang diambil untuk input PLAXIS adalah nilai kekakuan tanah (E) yang sudah dikorelasi dari kekakuan tanah

dan kuat geser tanah (E_U), untuk tanah lempung berplastisitas tinggi yaitu $PI > 30$.

Tabel 2. Rangkuman Nilai *Poisson Ratio* ν

Ket	Layer1	Layer 2	Layer 3
Jenis tanah	Lempun g Silt pasir	Lempun g abu2 keras	Silt pasir Cemente d keras
N-SPT	12	35	50
C_u	80	200	240
1. Bowles ss	0,3-0,4	0,2-0,3	0,2-0,3
2. Braja	0,2-0,5	0,2-0,5	0,2-0,5
3. ν loadin g	0,35	0,35	0,35
4. ν un loadin g	0,2	0,2	0,2
5. ν un draine d	0,5	0,5	0,5
6. ν efektif	0,3	0,3	0,3

Nilai *poisson ratio* (ν) yang digunakan pada setiap *layer* tanah dalam *input* PLAXIS adalah nomor 3-6.

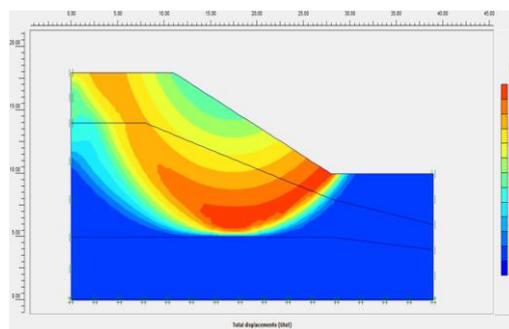
Parameter tanah

Material model pada setiap *layer* tanah yang digunakan adalah *Mohr Coloumb* dengan perilaku material *undrained*.

Untuk tambahan pasir dan lempung padat perilaku materialnya adalah *drained*.

Output PLAXIS kondisi awal

Hasil kalkulasi dari pemodelan lereng tahap kondisi awal dapat dilihat pada gambar dibawah ini

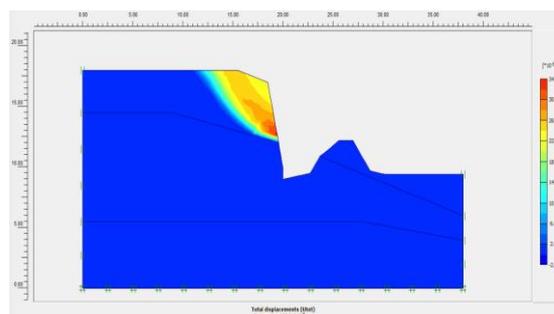


Gambar 14. Pola Keruntuhan Lereng

Nilai faktor keamanan pada pemodelan kondisi awal adalah sebesar 4,493 dengan besar deformasi $18,71 \times 10^{-3}$ meter.

Output PLAXIS tahap kondisi galian

Hasil kalkulasi dari pemodelan lereng tahap kondisi galian dapat dilihat pada gambar dibawah ini

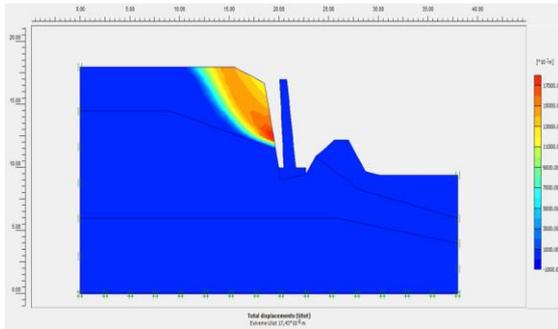


Gambar 15. Pola Keruntuhan Lereng Tahap Kondisi Galian

Nilai faktor keamanan pada pemodelan tahap kondisi galian adalah sebesar 3,6 dengan besar deformasi $26,04 \times 10^{-3}$ meter.

Output PLAXIS tahap kondisi konstruksi

Hasil kalkulasi dari pemodelan lereng tahap kondisi konstruksi dapat dilihat pada gambar dibawah ini

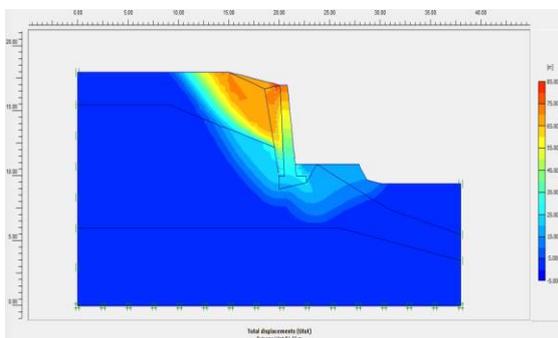


Gambar 16. Pola Keruntuhan Lereng Tahap Kondisi Konstruksi

Nilai faktor keamanan pada pemodelan tahap kondisi galian adalah sebesar 3,361 dengan besar deformasi $24,68 \times 10^{-3}$ meter.

Output PLAXIS tahap kondisi saat DPT terpasang.

Hasil kalkulasi dari pemodelan lereng tahap kondisi konstruksi dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 17. Pola Keruntuhan Lereng Tahap Saat DPT Terpasang

Nilai faktor keamanan pada pemodelan tahap kondisi galian adalah sebesar 6,374 dengan besar deformasi $23,91 \times 10^{-3}$ meter.

Besar deformasi yang terjadi menjadi persyaratan umum dalam perhitungan dalam perancangan konstruksi perkuatan lereng. Batas izin maksimum deformasi dalam SNI 8460:2017 pada tanah tipe lempung dan lanau lunak adalah 1% dari tinggi lereng yaitu 0,18 meter. Deformasi pada empat tahap pemodelan memenuhi standar batas izin deformasi maksimum.

Perbandingan faktor keamanan metode elemen hingga dan metode bishop.

Hasil analisis faktor keamanan dengan metode elemen hingga hasilnya merupakan nilai output PLAXIS, dan hasil analisis faktor keamanan dengan metode Bishop diambil angkanya berdasarkan jurnal “Desain Konstruksi Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu-Kali dengan Metode Memotong Kaki-lereng Aswanto (2021)”, yang akan disajikan pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. Perbandingan Faktor Keamanan MEH dan Bishop

Metode	Nilai Faktor Keamanan Pemodelan			
	1	2	3	4
Elemen hingga dengan Plaxis	4,493	3,6	3,362	6,374
Bishop dengan Geo5	3,18	2,38	2,38	4,61
Perbedaan (%)	1,313	1,22	0,982	1,764

Faktor keamanan per model yang dirangkum dalam tabel menunjukkan nilai yang berbeda dari kedua metode. Perbedaan nilai faktor keamanan pada metode elemen hingga ini karena tegangan-tegangan di dalam lereng sangat dipengaruhi oleh nilai K_0 , yaitu rasio tegangan lateral terhadap tegangan vertikal efektif sedangkan pada metode Bishop mengabaikan hal tersebut.

Kedua metode tersebut memiliki pola perhitungan yang berbeda, metode Bishop cenderung sulit pemakaiannya dan membutuhkan cara coba-coba (*trial and error*), namun cara Bishop telah terbukti menghasilkan nilai faktor keamanan yang mendekati hasil hitungan dengan cara lain yang lebih teliti.

Sedangkan metode elemen hingga memiliki kualitas yang secara langsung bergantung pada kemampuan dari model konstitutif yang dipilih pada PLAXIS, dalam laporan tugas akhir ini model konstitutif yang digunakan adalah *Mohr Coloumb* yang nantinya secara realistis menggambarkan kelakuan non linier dari tanah pembentuk lereng dalam bentuk tiruan yang mirip dengan keadaan yang sesungguhnya

5. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Besar deformasi pada setiap tahap yang dihasilkan pemodelan menggunakan PLAXIS masih dalam orde dibawah 0,1 meter.
2. Faktor keamanan pada setiap pemodelan lereng yang dianalisis dengan metode elemen hingga dengan pendekatan reduksi ϕ -c menggunakan PLAXIS melebihi faktor aman minimum 1,5 dan mengalami penurunan pada tahap kondisi galian dan kondisi konstruksi karena adanya urugan dan belum diberikan *sealant*.
3. Perbandingan faktor keamanan semua pemodelan yang dianalisis dengan metode elemen hingga dengan pendekatan reduksi ϕ -c dari hasilnya tidak melebihi 8% dari metode Bishop. Walaupun menggunakan cara coba-coba, akan namun metode Bishop telah terbukti menghasilkan nilai faktor keamanan yang mendekati hasil hitungan dengan cara lain yang lebih teliti dibanding metode elemen hingga yang memiliki kelemahan pada kriteria keruntuhan yang jelas, interpretasi dari hasil hitungan elemen hingga masih menjadi masalah karena pengguna PLAXIS harus memiliki pengalaman yang sangat mumpuni.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anbya, Y.Y., Suryo, E.A, & Munawir, A. (2015). *Studi Perencanaan Desain Turap Baja dengan Metode Finite di Bantara Sungai Jelarai Tanjung Selor*. Jurnal Rekayasa Sipil Volume 11 No. 2, Oktober 2015
- [2] Aswanto, M. (2021). *Desain Konstruksi Dinding Penahan Tanah Pasangan Batu-Kali dengan Metode Memotong Kaki-lereng*. Jakarta: Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta
- [3] Badan Standarisasi Nasional, (2013), SNI 2847 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, Badan Standarisasi Nasional
- [4] Badan Standarisasi Nasional, (2017), SNI 8460 Persyaratan Perancangan Geoteknik, Badan Standarisasi Nasional
- [5] Bowles, J.E. (1997). *Foundation Analysis and Design fifth edition* The McGrawHill Companies Inc. New York.
- [6] Cahyo, H.T. (2011). *Hand Out Geoteknik Pengenalan Software PLAXIS Sesi 1-6*. Semarang. Lab. Mekanika Tanah UNNES
- [7] Das, Braja M, (2004). *Fifth Edition of Principles of Foundation Engineering*.
- [8] Darjanto, H. (2011). *Panduan PLAXIS Full: Scribd*
- [9] Fauzi, A.N. (2012). *Analisis Tegangan-Perpindahan dan Faktor Keamanan (SF) pada Lereng Miring Dengan Perkuatan Soil Nailing Menggunakan Program PLAXIS 8.2*. Tugas Akhir, Surakarta: Universitas Sebelas Maret
- [10] Hamdan, I.N. & Pratiwi D.S., (2017). *Analisis Stabilitas Lereng dalam Penanganan Longsor di Jalan Tol Cipularang Km 91+200 dan Km 92+600 Menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM)*. Jurnal Rekayasa Hijau No.2 Vol 1, Juli 2017[

- [11] Hardiyatmo, H.C. (2012). *Tanah Longsor dan Erosi Kejadian dan Penanganan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- [12] Liong, T. G. & Herman, D. J. G., (2012). *Analisis Stabilitas Lereng Limit Equilibrium vs Finite Elemen Method*. HATTI- PIT XVI, 4-5 Desember 2012
- [13] Pangemanan, V.G.M., Turangan, A.E., & Sompie, O.B.A. (2014). *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius*. Jurnal sipil statik Vol 2 No. 1, Januari 2014
- [14] Wibawa, I.A.M. (2018). *Perencanaan Turap (sheet pile) Jalan Tol Jorr II Seksi Kunciiran-Serpong STA. 40+000 Menggunakan Program PLAXIS*. Tugas akhir. Bogor: Institut Pertanian Bogor