

Analisis Stabilitas Lereng dengan Alternatif Perkuatan Menggunakan *Software Plaxis 2D* dan *Slope/w* (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Kampus Baru UNTIRTA Sindangsari)

Enden Mina¹, Woelandari Fathonah², Rama Indera Kusuma³, Anisa Fitri Ramadhani⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman Km. 3 Cilegon 42435, Banten
Email: enden@untirta.ac.id

Diterima redaksi: 29 September 2022 | Selesai revisi: 30 Oktober 2022 | Diterbitkan online: 31 Oktober 2022

ABSTRAK

Lereng adalah bidang yang memiliki kemiringan tertentu dan berpotensi kelongsong ketika berada dalam keadaan tidak stabil. Situasi ini harus dicermati karena dapat menimbulkan kerugian seperti rusaknya infrastruktur. Dengan demikian, stabilitas lereng harus dianalisis sedemikian rupa sehingga kekuatan geser yang berasal dari lereng dan aspek keamanannya diketahui. Berdasarkan hal tersebut di atas, peneliti melakukan analisis stabilitas jalur pejalan kaki (*pedestrian*) pada Proyek Pembangunan Gedung Baru Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang berlokasi di Desa Sindangsari Kabupaten. Serang, Banten. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai faktor aman lereng asli dan lereng dengan alternatif perkuatan. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa dengan Metode Bishop dan *software Plaxis 2D* dan *Slope/w*. Hasil perhitungan analisis pada kondisi lereng asli menggunakan *Slope/w* didapatkan $SF = 1,117$, menggunakan *Plaxis 2D* kondisi *short term* didapatkan $SF = 1,111$ sedangkan kondisi *long term* didapatkan $SF = 1,101$ dan menggunakan perhitungan manual Metode Bishop didapatkan $SF = 1,107$. Hasil analisis pada kondisi lereng perkuatan *bored pile* menggunakan *Plaxis 2D* kondisi *short term* didapatkan $SF = 1,310$ sedangkan kondisi *long term* didapatkan $SF = 1,319$, dan menggunakan perhitungan manual Metode Bishop didapatkan $SF = 1,317$. Kemudian hasil analisis pada kondisi lereng perkuatan *sheet pile* menggunakan *Plaxis 2D* kondisi *short term* didapatkan $SF = 1,392$ sedangkan kondisi *long term* didapatkan $SF = 1,404$ dan menggunakan perhitungan manual Metode Bishop didapatkan $SF = 1,406$.

Kata kunci: stabilitas lereng, faktor keamanan, *plaxis 2D*, *slope/w*

ABSTRACT

A slope is a field that has a certain slope and has the potential for landslides to occur if it is in an unstable condition. This condition must be considered because it can cause losses such as damage to infrastructure. For this reason, the stability of a slope needs to be analyzed so that the shear strength of the slope and its safety factor are known. Based on what has been stated previously, the researchers conducted an analysis of the stability of the pedestrian slopes in the New Campus Construction Project of the Sultan Ageng Tirtayasa University located in Sindangsari Village, Serang Regency, Banten. The purpose of this study was to determine the value of the safety factor for the original slope and the slope with alternative reinforcement. In this study, analysis will be carried out using the Bishop method and *software Plaxis 2D* and *Slope/w*. The results of the analysis calculation on the original slope conditions using *Slope/w* obtained $SF = 1,117$, using *Plaxis 2D* short term obtained $SF = 1,111$ while the long term obtained $SF = 1,101$ and using manual calculations the Bishop method obtained $SF = 1,107$. The results of the analysis on the slope conditions of *bored pile* using *Plaxis 2D* with short term obtained $SF = 1,310$ while long term obtained $SF = 1,319$, and using manual calculations the Bishop method obtained $SF = 1,317$. Then the results of the analysis on the slope conditions of *sheet pile* using *Plaxis 2D* with short term obtained $SF = 1,392$ while long term obtained $SF = 1,404$ and using manual calculations the Bishop method obtained $SF = 1,406$.

Keywords: slope stability, safety factor, *2D plaxis*, *slope/w*



1. Pendahuluan

Tanah yang terletak di atas bebatuan lebat dengan kemiringan sedang dan curam dapat menyebabkan tanah longsor selama periode hujan menggunakan curah hujan dalam jumlah besar. Proses pembentukan tanah longsor adalah air yang diserap ke dalam tanah akan menambah berat tanah. Jika air menembus tanah, air padat yang berfungsi sebagai bidang licin hingga tanah menjadi licin dan tanah lapuk di atasnya akan bergerak naik lereng dan keluar dari lereng.



Gambar 1 Kondisi Lereng Penelitian
Sumber : Data Penulis, 2021

Lereng adalah bidang yang memiliki kemiringan tertentu dan berpotensi kelongsong ketika berada dalam keadaan tidak stabil [1]. Situasi ini harus dicermati karena dapat menimbulkan kerugian seperti rusaknya infrastruktur. Dengan demikian, stabilitas lereng harus dianalisis sedemikian rupa sehingga kekuatan geser yang berasal dari lereng dan aspek keamanannya diketahui. Berdasarkan hal tersebut di atas, peneliti melakukan analisis stabilitas jalur pejalan kaki (*pedestrian*) pada Proyek Pembangunan Gedung Baru Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang berlokasi di Desa Sindangsari Kabupaten Serang, Banten. Pemodelan analisis kestabilan lereng disesuaikan menggunakan kondisi asli yang terdapat di lapangan. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa manual dengan Metode Bishop dan dengan menggunakan *software Plaxis 2D* dan *Slope/w* untuk lereng asli (tanpa perkuatan). Kemudian akan dilakukan analisa manual dengan Metode Bishop dan *software Plaxis 2D* untuk lereng yang telah diberi perkuatan. Adapun alternatif penguatan yang digunakan pada penelitian ini adalah perkuatan *bored pile* dan *sheet pile*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk

mengetahui nilai faktor keamanan (*Safety Factor*) lereng asli menggunakan perhitungan manual Metode Bishop dan menggunakan *software Plaxis 2D* dan *Slope/w* serta mengetahui nilai faktor keamanan (*Safety Factor*) lereng dengan perkuatan menggunakan perhitungan manual Metode Bishop dan menggunakan *software Plaxis 2D*.

2. Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian serupa sebelumnya pernah dilakukan oleh Dini Elviani, dkk (2019) “Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan *Software Geostudio Slope/w* 2012 Studi Kasus Daerah Wisata Kabupaten Pesawaran Lampung” Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari data topografi lereng di zona pengukuran diperoleh kontur dan bentuk perbukitan di wilayah penelitian, yang curam menggunakan ketinggian tinggi 60.000 hingga 65.000 meter di atas permukaan laut. Parameter uji tanah bertenaga geser tiga sumbu adalah nilai kohesi efektif 0,01 kilogram/cm² dan sudut geser efektif 12,41°, menunjukkan bahwa kemiringan area penelitian tidak stabil dan nilai faktor keamanan (*FoS*) rendah. Nilai koefisien keselamatan (*FoS*) lereng menggunakan *software Geostudio Slope/w* 2012 yang merupakan 0,602 dari hasil yang diperoleh, dapat dikatakan bahwa kemiringan wilayah penelitian tidak aman, karena nilai koefisien keselamatan (*FoS*) < 1 [2].

Kemudian penelitian serupa selanjutnya dilakukan oleh Juandra Hartono (2020) “Kajian Teknis Penanganan Longsoran Sta. 2+850 - 3+050 pada Pembangunan Jalan Tol Balikpapan Samarinda Menggunakan *Bored Pile* Metode *Plaxis*” Berdasarkan perhitungan sirkulasi longsoran sebelum metode pemrosesan lainnya, total perpindahan 0,109 m dan *SF* = 1,139 sesuai dengan nilai-nilai ini, dapat disimpulkan bahwa pekerjaan tumpukan di lapangan masih relatif kritis di sisi desain, karena *SF* yang dihasilkan kurang dari 1,30. Dengan memperkuat dengan *bored pile*, baik dengan *single* maupun *double*, *bored pile* yang ditempatkan pada bagian berm, nilai aman *SF* = 1,779 (*single*) dan *SF* = 1,796 (*double*) telah tercapai, dapat disimpulkan bahwa kemiringan tersebut aman dan penempatan

tulangan sangat efektif ketika ditempatkan pada bagian berm. Jumlah tumpukan *bored pile* tidak memiliki dampak yang signifikan karena perbedaan nilai SF yang tidak terlalu besar pada tumpukan *bored pile* tunggal atau ganda. Sesuai nomor *safety* yang didapat maka solusi penanganan longsor menggunakan *bored pile* tunggal atau ganda [3].

Penelitian dengan judul Analisis Stabilitas Lereng dengan Alternatif Perkuatan menggunakan *Software Plaxis 2D* dan *Slope/w* (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Kampus Baru UNTIRTA Sindang Sari) dengan obyek, data dan metode yang berbeda dari penelitian serupa di atas, maka penelitian ini bersifat asli.

3. Landasan Teori

3.1 Lereng dan Longsor

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami karena proses geologis, seperti lereng yang membentuk bukit atau lereng yang ditemukan pada batuan sungai. Lereng juga dapat dibentuk karena terbuat dari buatan manusia, termasuk lereng yang digali dan lereng terjal yang diperlukan untuk membangun jalan raya dan rel kereta api, bendungan, tanggul dan kanal sungai, dan tambang terbuka. [4].

Tanah longsor atau pergerakan tanah didefinisikan sebagai gerakan menuruni lereng di atas massa tanah dan/atau batuan yang membentuk lereng karena terganggunya stabilitas tanah atau batuan yang membentuk lereng. [5]. Longsor pada lereng biasanya disebabkan oleh perubahan tegangan efektif yang disebabkan oleh perubahan tekanan pori dan bertambahnya berat sendiri tanah akibat infiltrasi air hujan ke dalam tanah. Lereng yang kadar airnya bertambah menyebabkan tekanan pori akan naik dan berakibat kuat geser tanah turun. Kelongsoran dapat terjadi secara tidak terduga baik lambat maupun cepat.

3.2 Stabilitas Lereng

Jika tanah longsor terjadi di mana permukaan bidang geser memotong lereng di pangkalan atau di atas ujung pangkalan, itu disebut penurunan lereng. Kurva kelongsong disebut lingkaran ujung dasar, jika bidang tergelincir

melalui ujung alas, itu disebut lingkaran kemiringan. Dalam kondisi tertentu, terjadi kegagalan lereng dangkal. Jika tanah longsor terjadi di mana permukaan bidang geser agak jauh di bawah ujung pangkalan, itu disebut fraktur dasar. Kurva kelongsong disebut lingkaran titik tengah [6].

Pada prinsipnya, metode yang digunakan untuk membuat kemiringan sehingga stabil dapat dibagi menjadi 2 (dua) kelompok [4], yaitu :

1. Kurangi tenaga penggerak atau torsi penggerak dengan mengubah bentuk lereng yang dimaksud.
2. Tingkatkan kekuatan melawan atau menangkal momen.

3.3 Keuntungan Bored Pile

Ada beberapa keuntungan dalam pemakaian *bored pile* [7], yaitu :

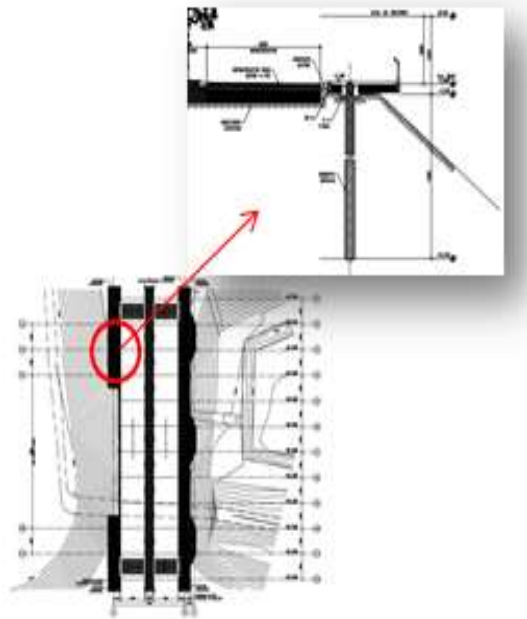
1. Pemasangan tidak menyebabkan gangguan kebisingan dan getaran yang mengancam bangunan di sekitarnya.
2. Mengurangi kebutuhan akan tulangan beton dan pasak pada tutup tiang pancang. Kolom dapat ditempatkan langsung di bagian atas tumpukan bosan.
3. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
4. *Bored pile* dapat dipasang menembus batuan.
5. Diameter tiang memungkinkan Anda untuk membuatnya besar, jika perlu, ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar untuk meningkatkan daya dukungnya.
6. Tidak ada risiko kenaikan muka tanah.

3.4 Keuntungan Sheet Pile

Sheet pile sering digunakan untuk membangun dinding yang berfungsi sebagai penopang tanah, bisa berupa struktur skala besar atau kecil. Karena fungsinya sebagai primer penahan, struktur ini juga diklasifikasikan sebagai jenis dinding penahan lainnya [8]. Perbedaan mendasar antara *sheet pile* dan dinding resistor tanah adalah keuntungan menggunakan *sheet pile*, asalkan tidak perlu dikeringkan dengan air (*dewatering*). Beberapa jenis *sheet pile* yang biasa digunakan dalam konstruksi adalah kayu, beton, dan baja..

3.5 Metode Bishop

Metode episkopal adalah metode yang diperkenalkan oleh A. W. Bishop. Metode Bishop digunakan untuk menganalisis permukaan melingkar slide. Dalam metode ini, diasumsikan bahwa total gaya normal di tengah pangkal pemotongan sedang bekerja dan dapat ditentukan dengan menguraikan gaya pada potongan secara vertikal atau normal. Persyaratan keseimbangan digunakan pada potongan-potongan yang membentuk lereng tersebut. Metode ini mengasumsikan bahwa gaya yang bekerja pada irisan tidak memiliki hasil dalam arah vertikal. [9].



3.6 Program Plaxis 2D

Plaxis (*Finite Elemen Method for Soil and Rock Analysis*) adalah program elemen hingga akhir yang telah dikembangkan untuk analisis deformasi geoteknik dan stabilisasi dalam rencana konstruksi. Grafik sederhana dari prosedur input data (sifat tanah) memungkinkan anda untuk membuat model elemen hingga yang kompleks dan menampilkan data *output* terperinci dalam bentuk hasil perhitungan [10].

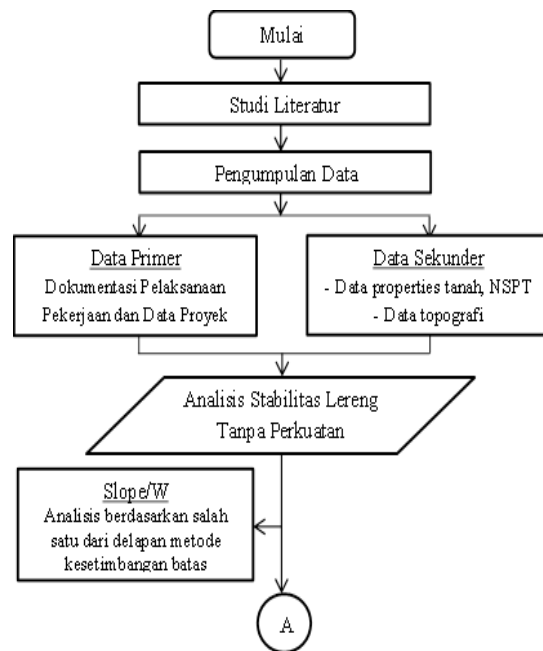
3.7 Program Geoslope (Slope/w)

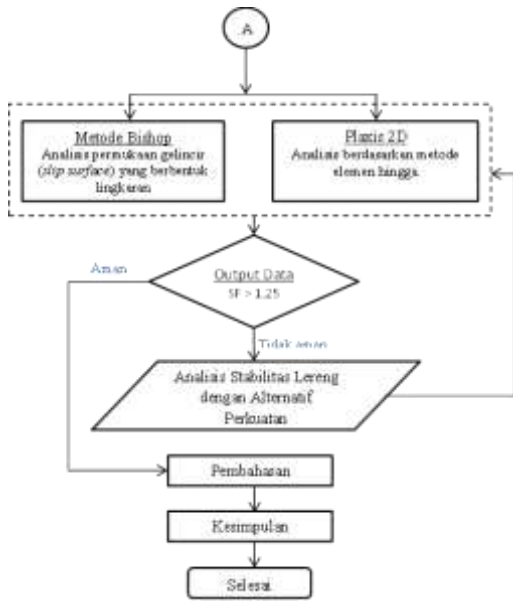
Penelitian ini menggunakan *software* kategori *slope/w* sesuai dengan kebutuhan penelitian. *Slope/w* adalah produk perangkat lunak untuk pemodelan lereng, perhitungan faktor keamanan tanah dan kemiringan batuan. Penggunaan *software geoslope* dibagi menjadi beberapa bagian yaitu, pengaturan awal, menggambar sketsa, menganalisis pengaturan, menentukan parameter setiap lapisan tanah, menggambar, memilih bidang longsor, menggambar beban merata, menggambar tiang bor (*bored pile*), dan memecahkan masalah.

4. Metodologi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di lereng *pedestrian* pada Proyek Pembangunan Kampus Baru Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jalan Raya Palka Sindangsari Pabuaran Serang Banten - 42163 Indonesia. Untuk lokasi *pedestrian* berada di depan gedung *student center* dan titik yang teliti adalah titik T.3 profil *bored pile* eksisting yang dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Gambar 2 Denah Titik Penelitian
 Sumber : PT. Adhi Karya – PT. Hk-Jv, 2021





Gambar 3 Diagram Alir Penelitian
 Sumber : Data Penulis, 2021

5. Analisis dan Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara perhitungan kestabilan lereng tanpa perkuatan dengan lereng yang diperkuat dengan *bored pile* dan lereng yang diperkuat dengan *sheet pile*. Analisis tersebut menggunakan *Software Slope/w* (hanya lereng tanpa perkuatan) *Plaxis 2D*, dan menggunakan perhitungan manual Metode Bishop. Penelitian ini juga menganalisis stabilitas jangka pendek (*short-term*) atau struktur jadi, biasanya menggunakan analisis tegangan total. (*undrained C*), kondisi ini terjadi karena ketika pembebanan kecepatannya lebih cepat dari munculnya air pori. Sedangkan di kondisi jangka panjang (*long-term*) atau syarat *drained* analisis yang dipergunakan tegangan efektif..

Tabel 1. Tebal dan Jenis Lapisan Tanah

No	Kedalaman (m)	Nilai N-SPT	Tebal Lapisan (m)	Jenis Tanah
1	0,00 – 1,00	8	1,00	Lempung
2	1,00 – 2,00	8	1,00	Lempung Sisipan Cadas
3	2,00 – 9,00	60	7,00	Transisi Cadas Lempung
4	9,00 – 10,45	60	1,45	Sisipan Cadas Pasir Lempungan

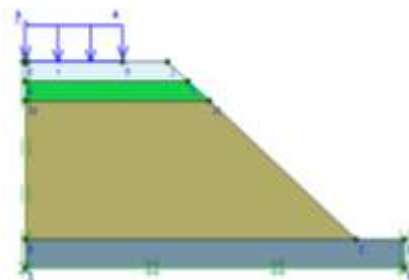
Sumber : Data Penyelidikan Tanah UNTIRTA, 2019

Dalam penelitian ini, beban rencana adalah beban pada perkerasan beton.

$$\begin{aligned} \text{Berat perkerasan beton} &= 0,15 \times 24 \\ &= 3,60 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

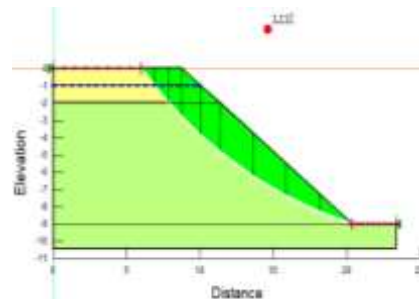
5.1 Analisis Stabilitas Lereng tanpa Perkuatan

Perhitungan kestabilan lereng tanpa perkuatan dilakukan dengan perhitungan manual dan menggunakan *software*. Perhitungan manual yang digunakan Metode Bishop sedangkan *software* yang digunakan yaitu *Slope/w* dan *Plaxis 2D*.



Gambar 4 Pemodelan Lereng Asli
 Sumber : Data Penulis, 2021

a. Analisis dengan Software Slope/w

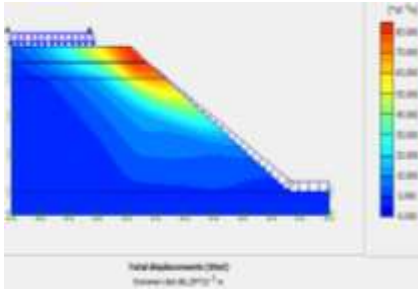


Gambar 5 Output Analisis dari Lereng Asli
 Sumber : Data Penulis, 2021

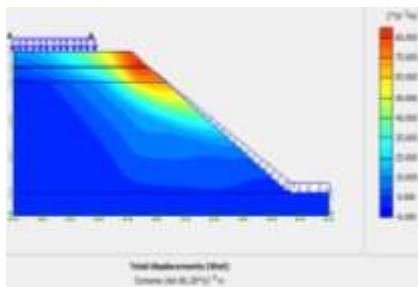
Berdasarkan hasil perhitungan dengan *software Slope/w* didapatkan nilai *safety factor* lereng asli 1,117 < 1,25 yang berarti kelongsoran pernah terjadi (kritis).

b. Analisis dengan Software Plaxis 2D

Proses perhitungan dengan *Plaxis 2D* pada lereng asli kondisi *short term* memiliki dua tahap yaitu tahap pembebanan dan perhitungan *safety factor* sedangkan kondisi *long term* memiliki 3 tahap yaitu tahap pembebanan, konsolidasi dan perhitungan *safety factor*.



Gambar 6 Perpindahan Total untuk Lereng Asli Kondisi *Short Term*
 Sumber : Data Penulis, 2021



Gambar 7 Perpindahan Total untuk Lereng Asli Kondisi *Long Term*
 Sumber : Data Penulis, 2021

Berdasarkan hasil perhitungan dengan software *Plaxis 2D* di atas, untuk kondisi *short term* didapatkan nilai *total displacement* sebesar $86,29 \times 10^{-3}$ m dan *safety factor* sebesar $1,111 < 1,25$ sedangkan untuk kondisi *long term* didapatkan nilai *total displacement* sebesar $86,28 \times 10^{-3}$ m dan *safety factor* sebesar $1,101 < 1,25$.

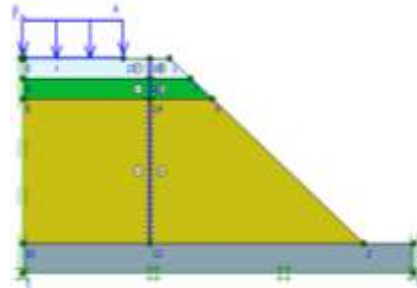
c. Analisis dengan Metode Bishop

Perhitungan faktor keamanan menurut metode Bishop harus dilakukan dengan iterasi, untuk setiap iterasi nilai *FS* dan nilai *FSb'* harus sama. Nilai aman maksimum yang diperoleh dari koefisien adalah $1,107 < 1,25$ yang berarti telah terjadi longsor (kritis).

$$\begin{aligned}
 RM &= \sum_{i=1}^n \frac{c \times b_i + (W_i - \mu b_i) \times \tan \phi}{\cos \alpha_i (1 + \tan \phi \times \tan \alpha_i / FS_b)} \\
 &= 271,734 \text{ kN} \\
 DM &= \sum_{i=1}^n W_i \times \sin \alpha_i \\
 &= 245,461 \text{ kN} \\
 FS &= \frac{\sum RM}{\sum DM} \\
 &= \frac{271,734}{245,461} \\
 &= 1,107 < 1,25
 \end{aligned}$$

5.2 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Bored Pile

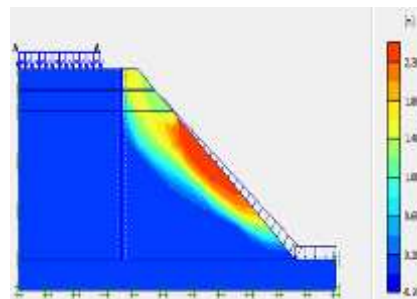
Perhitungan kestabilan lereng dengan tulangan pada *bored pile* dilakukan dengan perhitungan manual, serta menggunakan *software*.



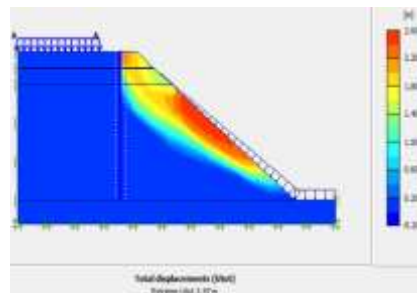
Gambar 8 Pemodelan Lereng dengan Perkuatan *Bored Pile*
 Sumber : Data Penulis, 2021

a. Analisis dengan Software Plaxis 2D

Proses perhitungan dengan *Plaxis 2D* pada lereng dengan perkuatan kondisi *short term* memiliki 3 tahap yaitu tahap pembebanan, tahap instalasi *bored pile* dan tahap perhitungan *safety factor* sedangkan kondisi *long term* memiliki 4 tahap yaitu tahap pembebanan, tahap instalasi *bored pile*, tahap konsolidasi dan tahap perhitungan *safety factor*.



Gambar 9 Perpindahan Total untuk Lereng Perkuatan *Bored Pile* Kondisi *Short Term*
 Sumber : Data Penulis, 2021



Gambar 10 Perpindahan Total untuk Lereng Perkuatan *Bored Pile* Kondisi *Long Term*
 Sumber : Data Penulis, 2021

Berdasarkan hasil perhitungan dengan software *Plaxis 2D* di atas, untuk kondisi *short term* didapatkan nilai *total displacement* lereng perkuatan *bored pile* sebesar 2,38 m dan *safety factor* sebesar 1,310 > 1,25 sedangkan untuk kondisi *long term* didapatkan nilai *total displacement* lereng perkuatan *bored pile* sebesar 2,47 m dan *safety factor* sebesar 1,319 > 1,25.

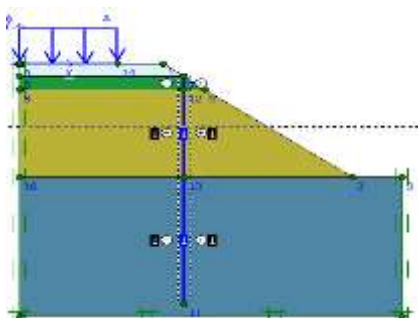
b. Analisis dengan Metode Bishop

Perhitungan faktor keamanan menurut metode Bishop harus dilakukan dengan iterasi. Untuk setiap iterasi, nilai *FS* dan nilai *FSb'* harus sama. Nilai faktor keamanan yang dihasilkan adalah 1,317 > 1,25 yang artinya jarang terjadi longsor (stabil).

$$\begin{aligned}
 RM &= \sum_{i=1}^n \frac{c \times b_i + (W_i - \mu b_i) \times \tan \varphi}{\cos \alpha_i (1 + \tan \varphi \times \tan \alpha_i / FS_b)} \\
 &= 292,825 \text{ kN} \\
 DM &= \sum_{i=1}^n W_i \times \sin \alpha_i \\
 &= 222,266 \text{ kN} \\
 FS &= \frac{\sum RM}{\sum DM} \\
 &= \frac{292,825}{222,266} \\
 &= 1,317 > 1,25
 \end{aligned}$$

5.3 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Sheet Pile

Proses perhitungan dengan *Plaxis 2D* pada lereng dengan perkuatan *sheet pile* kondisi *short term* memiliki 4 tahap yaitu tahap pembebanan, tahap penggalian, tahap instalasi *sheet pile* dan tahap perhitungan *safety factor* sedangkan kondisi *long term* memiliki 5 tahap yaitu tahap pembebanan, tahap penggalian, tahap instalasi *sheet pile*, tahap konsolidasi dan tahap perhitungan *safety factor*.



Gambar 11 Pemodelan Lereng dengan Perkuatan Sheet Pile

Sumber : Data Penulis, 2021

a. Perhitungan Kedalaman dan Kestabilan Sheet Pile

Penggunaan *sheet pile* pada penelitian ini adalah sebagai alternatif 2 untuk perkuatan lereng eksisting. Pada penelitian ini penggunaan *sheet pile* akan direncanakan hingga mendapatkan *safety factor* yang aman menurut teori (>1,25). Pada perencanaan ini akan menghitung kedalaman dan kestabilan *sheet pile*.

- 1) Perhitungan koefisien tekanan tanah

$$Ka_1 = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) = 0,585$$

$$Kp_1 = \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) = 1,711$$

- 2) Perhitungan tegangan tanah

$$\begin{aligned}
 q &= q + (\gamma'_1 \times h_1) + (\gamma'_2 \times h_2) \\
 &= 39,66 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

- a) Aktif

Titik 1

$$\sigma_{v1} = q = 39,66 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{h1} = q \times Ka_3 - 2C_3 \sqrt{Ka_3} = 10,747 \text{ kN/m}^2$$

Titik 2 atas

$$\sigma_{v2a} = q + (\gamma'_3 \times h_3) = 96 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{h2a} = \sigma_{v2a} \times Ka_3 - 2C_3 \sqrt{Ka_3} = 26,015 \text{ kN/m}^2$$

Titik 2 bawah

$$\sigma_{v2b} = q + (\gamma'_3 \times h_3) = 96 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{h2b} = \sigma_{v2b} \times Ka_4 - 2C_4 \sqrt{Ka_4} = 26,015 \text{ kN/m}^2$$

Titik 3

$$\sigma_{v3} = q + (\gamma'_3 \times h_3) + (\gamma'_4 \times h_4) = 96 + 6,26Do \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{h3} = \sigma_{v3} \times Ka_4 - 2C_4 \sqrt{Ka_4} = 26,015 + 1,696Do \text{ kN/m}^2$$

- b) Pasif

Titik 2 bawah

$$\sigma_{v2b} = q = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{h2b} = \sigma_{v2b} \times Kp_4 - 2C_4 \sqrt{Kp_4} = 0 \text{ kN/m}^2$$

Titik 3

$$\sigma_{v3} = (\gamma'_4 \times h_4) = 6,26 \times Do \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{h3} = \sigma_{v3} \times Kp_4 - 2C_4 \sqrt{Kp_4} = 3,690 + 23,1Do \text{ kN/m}^2$$

- 3) Perhitungan tekanan tanah aktif dan pasif

$$\frac{hc}{10 - hc} = \frac{10,747}{26,015}$$

$$26,015hc = 107,475 - 10,747hc$$

$$\begin{aligned} H_c &= 2,923 \text{ m} \\ 10 - hc &= 7,077 \text{ m} \\ Ha_1 &= 7,077 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ea_1 &= ((1/2) \times (q + (\gamma'_2 \times h_2) + (\gamma'_3 \times h_3)) \times Ka_3 - 2C_3\sqrt{Ka_3}) \times ha_1 \\ &= 71,203 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ea_2 &= ((q + (\gamma'_2 \times h_2) + (\gamma'_3 \times h_3)) \times Ka_4 - 2C_4\sqrt{Ka_4}) \times h_4 \\ &= 30,871Do \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ea_3 &= 1/2 \times (\gamma'_4 \times h_4) \times Ka_4 \times h_4 \\ &= 0,848Do^2 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ep_1 &= (q \times Kp_4) + 2C_4\sqrt{Kp_4} \times h_4 \\ &= 0D \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ep_2 &= 1/2 \times (\gamma'_4 \times h_4) \times Kp_4 \times h_4 \\ &= 11,55Do \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- 4) Perhitungan kedalaman *sheet pile*
- $$\begin{aligned} \Sigma MDo &= 0 \\ \Sigma MDo &= -3,532Do^3 + 15,436Do^2 + 71,203Do + 232,121 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Do &= 7,948 \text{ m} \\ D &= SF \times Do = 9,537 \text{ m} \approx 10 \text{ m} \\ H_{tot} &= D + H = 18 \text{ m} \end{aligned}$$

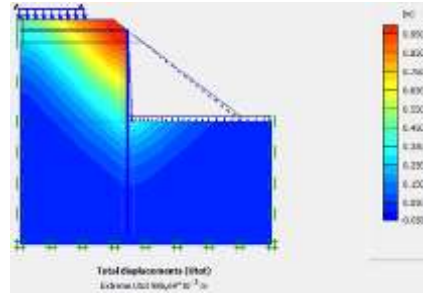
- 5) Perhitungan momen maksimum

$$\begin{aligned} Ea_{total} &= Ea_1 + Ea_2 + Ea_3 \\ &= 370,140 \text{ kN/m} \\ y &= \frac{Ea_1(1 + 2/3) + Ea_2(1/2) + Ea_3(2/3)}{Ea_{tot}} \\ &= 0,749 \text{ m} \\ M_{maks} &= Ea_{total} \left\{ \left(\frac{Ea_{tot}}{4c - q'} + y \right) - 0,5 \frac{Ea_{tot}}{4c - q'} \right\} \\ &= 24,546 \text{ kN/m} = 2,5 \text{ Ton.m} \end{aligned}$$

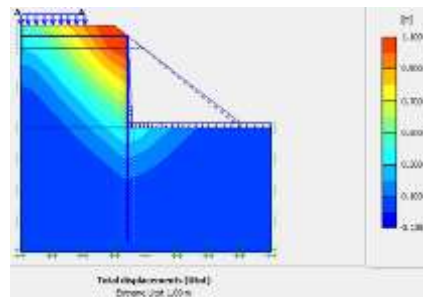
Dari momen maksimum yang digunakan oleh *sheet pile* WIKA BETON Tipe W 350 B 1000 dengan momen retak 17 ton.m, momen retak *sheet pile* tersebut melebihi momen maksimum, oleh karena itu dinyatakan dapat digunakan sebagai perkuatan pada lereng.

b. Analisis dengan Software Plaxis 2D

Proses perhitungan dengan *Plaxis 2D* pada lereng dengan perkuatan *sheet pile* kondisi *short term* memiliki 4 tahap yaitu tahap pembebanan, tahap penggalian, tahap instalvasi *sheet pile* dan tahap perhitungan *safety factor* sedangkan kondisi *long term* memiliki 5 tahap yaitu tahap pembebanan, tahap penggalian, tahap instalasi *sheet pile*, tahap konsolidasi dan tahap perhitungan *safety factor*.



Gambar 12 Perpindahan Total untuk Lereng Perkuatan *Sheet Pile* Kondisi *Short Term*
Sumber : Data Penulis, 2021



Gambar 13 Perpindahan Total untuk Lereng Perkuatan *Sheet Pile* Kondisi *Long Term*
Sumber : Data Penulis, 2021

Berdasarkan hasil perhitungan dengan *software Plaxis 2D* diatas, untuk kondisi *short long* didapatkan nilai *total displacement* lereng sebesar $986,69 \times 10^{-3} \text{ m}$ dengan *safety factor* sebesar $1,392 > 1,25$ sedangkan untuk kondisi *long term* didapatkan nilai *total displacement* lereng sebesar $1,09 \text{ m}$ dengan *safety factor* sebesar $1,404 > 1,25$.

c. Analisis dengan Metode Bishop

Perhitungan faktor keamanan menurut metode Bishop harus dilakukan dengan menggunakan iterasi. Pada setiap iterasi, nilai *FS* dan nilai *FSb'* harus sama. Nilai faktor keamanan yang dihasilkan adalah $1,406 > 1,25$ yang artinya jarang terjadi longsor (stabil).

$$\begin{aligned} RM &= \sum_{i=1}^n \frac{c \times b_i + (W_i - \mu b_i) \times \tan \phi}{\cos \alpha_i (1 + \tan \phi \times \tan \alpha_i / FS_b)} \\ &= 346,870 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DM &= \sum_{i=1}^n W_i \times \sin \alpha_i \\ &= 246,702 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$FS = \frac{\Sigma RM}{\Sigma DM}$$

$$= \frac{346,870}{246,702}$$

$$= 1,406 > 1,25$$

5.4 Pembahasan

Hasil perhitungan lereng kondisi asli dengan *software Slope/w* didapatkan nilai *safety factor* 1,117 yang menunjukkan bahwa kemungkinan kelongsoran pernah terjadi. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan program *Plaxis 2D* untuk kondisi jangka pendek (*short-term*) diperoleh nilai perpindahan total sebesar $86,29 \times 10^{-3}$ m dengan faktor keamanan sebesar 1,111, dan untuk kondisi jangka panjang (*long-term*) diperoleh nilai total perpindahan perpindahan adalah $86,28 \times 10^{-3}$ m dengan margin keamanan 1,111. faktor keamanan 1,101 diperoleh, menunjukkan kemungkinan tanah longsor. Dan hasil perhitungan menggunakan Metode Bishop didapatkan nilai *safety factor* sebesar 1,107 yang menunjukkan kemungkinan kelongsoran pernah terjadi.

Berdasarkan hasil perhitungan kemiringan tulangan *bored pile* menggunakan program *Plaxis 2D* untuk kondisi jangka pendek (*short-term*) diperoleh nilai perpindahan total sebesar 2,38 m dengan faktor keamanan sebesar 1,310, dan pada jangka panjang (*long-term*) diperoleh total nilai perpindahan sebesar 2,47 m dengan faktor keamanan 1.319 menunjukkan kemungkinan terjadinya tanah longsor yang jarang terjadi. Dan menurut hasil perhitungan dengan menggunakan metode Bishop diperoleh faktor keamanan sebesar 1,317, yang mengindikasikan kemungkinan jarang terjadi longsor.

Hasil perhitungan lereng perkuatan *sheet pile* dengan *software Plaxis 2D* kondisi *short term* didapatkan nilai *total displacement* sebesar $986,69 \times 10^{-3}$ m dengan *safety factor* sebesar 1,392 dan kondisi *long term* didapatkan nilai *total displacement* sebesar 1,09 m dengan *safety factor* 1,404 yang menunjukkan kemungkinan kelongsoran jarang terjadi. Dan hasil perhitungan menggunakan Metode Bishop didapatkan *safety factor* sebesar 1,406 yang menunjukkan kemungkinan kelongsoran jarang terjadi.

Tabel 2. Resume Perbandingan Hasil *Safety Factor* Lereng

No	Kondisi	Metode	<i>Safety Factor</i>
1	Lereng Asli	<i>Slope/w (software)</i>	1,117
		<i>Plaxis 2D (software)</i> ST	1,111
		<i>Plaxis 2D (software)</i> LT	1,101
		Bishop (manual)	1,107
2	Perkuatan <i>Bored Pile</i>	<i>Plaxis 2D (software)</i> ST	1,310
		<i>Plaxis 2D (software)</i> LT	1,319
		Bishop (manual)	1,317
3	Perkuatan <i>Sheet Pile</i>	<i>Plaxis 2D (software)</i> ST	1,392
		<i>Plaxis 2D (software)</i> LT	1,404
		Bishop (manual)	1,406

Sumber : Data Penulis, 2021

6. Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari perhitungan analisis lereng pedestrian UNTIRTA dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Hasil analisis pada kondisi lereng asli menggunakan *software Slope/w* didapatkan *SF* = 1,117, menggunakan *software Plaxis 2D* kondisi *short term* dan *long term* didapatkan *SF* = 1,111 dan *SF* = 1,101, menggunakan perhitungan manual Metode Bishop didapatkan *SF* = 1,107.
2. Hasil analisis pada kondisi lereng perkuatan *bored pile* menggunakan *software Plaxis 2D* kondisi *short term* dan *long term* didapatkan *SF* = 1,310 dan *SF* = 1,319, menggunakan perhitungan manual Metode Bishop didapatkan *SF* = 1,317. Kemudian hasil analisis pada kondisi lereng perkuatan *sheet pile* menggunakan *software Plaxis 2D* kondisi *short term* dan *long term* didapatkan *SF* = 1,392 dan *SF* = 1,404, menggunakan perhitungan manual Metode Bishop didapatkan *SF* = 1,406.

6.2 Saran

Saran berdasarkan hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisis, dapat dikatakan bahwa lereng daerah penelitian tidak aman karena nilai faktor keamanan kurang dari 1,25. Maka dari itu, perlu dilakukan penguatan pada lereng agar tidak terjadi longsor.
2. Diperlukan data yang lebih lengkap, seperti data pengujian *Triaxial* dan data

- pendukung lainnya yang diharapkan menjadi parameter analisis.
3. Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai faktor aman dengan metode tradisional. ataupun metode *FEM (Finite Element Method)* dan perlu dilakukan analisis menggunakan *Plaxis* versi *3D* untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih teliti.
 4. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai lereng dengan kondisi adanya aliran air hujan.

Daftar Pustaka

- [1] L. D. Wesley and S. Pranyoto, *Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan & Residu*. Yogyakarta: Andi, 2012.
- [2] D. Elviani and I. N. P. Permanasari, "Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Software Geostudio SLOPE/W 2012 Studi Kasus Daerah Wisata Kabupaten Pesawaran Lampung," *J. Sci. Appl. Technol.*, 2019.
- [3] J. Hartono, "Kajian Teknis Penanganan Longsoran Sta. 2+850 - 3+050 pada Pembangunan Jalan Tol Balikpapan Samarinda Menggunakan Bored Pile Metode Plaxis," *J. Teor. dan Terap. Bid. Rekayasa Sipil*, vol. Vol. 8 No., 2020.
- [4] S. Arief, *Dasar-Dasar Analisis Kestabilan Lereng*. PT INCO: Sorowako, 2007.
- [5] A. W. Skempton and J. Hutchinson, *No Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations*. 1969.
- [6] B. M. Das, *Principles of Geotechnical Engineering, 5th ed.* Australia: Brooks/Col, 2002.
- [7] Y. Syahwaner, M. Yusa, and S. Satibi, "Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Tiang Menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus Jalan Diponegoro km. 2 Pasir Pengaraian)," *J. Aptek*, vol. Vol. 11 No, 2019.
- [8] E. C. Utami, N. S. Surjandari, and R. H. D. H. I., "Analisis Angka Keamanan (sf) Lereng Sungai Cigembol Karawang dengan Perkuatan Sheet Pile," *e-Jurnal Matriks Tek. Sipil*, pp. 476–481, 2016.
- [9] A. W. Bishop, *The Use of Slip Surface in The Stability of Analysis Slopes, Geotechnique, Vol 5*. London, 1955.
- [10] Plaxis, *Tutorial Manual*. Rotterdam: A.A. Balkema, 2012.
- [11] Amri, N., Dharmawansyah, D., and Hermansyah, "Perbandingan Metode Bishop dan Janbu dalam Analisis Stabilitas Lereng pada Oprit Jembatan Labu Sawo Sumbawa," *Journal of Civil Engineering and Planning*, Vol. 2, No. 1, 2021.
- [12] Dharmawansyah, D., "Alternatif Perkuatan Lereng pada Ruas Jalan Trenggalek-Ponorogo km 23 +650," *Jurnal Tambora*, Vol 2 No 1, 2017.
- [13] D. Elviani and I. N. P. Permanasari, "Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Software Geostudio SLOPE/W 2012 Studi Kasus Daerah Wisata Kabupaten Pesawaran Lampung," *Journal of Science and Applicative Technology*, 2019.
- [14] Fajar, E. S., Surjandari, N. S., and Purwana, Y. M., "Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Bronjong Menggunakan Software Geoslope di Desa Tambakmerang, Girimarto, Wonogiri," *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 2017.
- [15] Hidayat, I., and Kusuma, A., "Permodelan Perkuatan Sheet Pile Menggunakan Analisis Keseimbangan Batas dan Elemen Hingga," *ISU Teknologi STT Mandala*, Vol 16 no 1, 2021.
- [16] Kusuma, Rama I., Mina, E., and B, S., "Analisis Stabilitas Lereng dan Perencanaan Soilnailing dengan Software Geostudio 2007," *Jurnal Fondasi*, Volume 4 No 1, 2015.
- [17] Mina, E., Fathonah, W., and Sari, F. D., "Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah untuk Perkuatan Tebing Badan Jalan Suradita - Kranggan," *Jurnal Fondasi*, Volume 8 No 1, 2019.
- [18] N, F. D., Giri, J., and Siregar, ST., MT., A. C., "Analisis Perkuatan Tanah Menggunakan Dinding Penahan Beton Bertulang Tipe Kantiliver dan Sheet Pile Tanah dengan Program Plaxis 2D V.8.6 dan Metode Fellenius (Studi Kasus Proyek

- Perbaikan Leeng Sungai Cihideung, Desa Ranjeng, Kecamatan Cisitu, Kabupaten," *Prosiding Seminar SoBAT ke-1*, 2019.
- [19] Nurmanza, E., Suyadi, W., and Suroso, "Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Tiang (Pile) dengan Bantuan Perangkat Lunak (Studi Kasus pada Sungai Parit Raya)," *Jurnal Mahaiswa Jurusan Teknik Sipil*, Vol. 1, No. 3, 2014.
- [20] Pratama, R. B., Muhibbi, I. M., A., I. D., and Hardiyati, S., "Analisis Stabilitas Lereng dan Alternatif Penanganannya (Studi Kasus Longsoran Jalan Alternatif Tawangmangu sta 3+150 – sta 3+200, Karanganyar)," *Jurnal Karya Teknik Sipil*, Volume 3, Nomor 3, 2014.
- [21] Rajagukguk, O. C., E. T. A., and Monintja, S., "Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Bishop (Studi Kasus: Kawasan Citraland sta.1000m)," *Jurnal Sipil Statik*, Vol.2 No.3, 2014.
- [22] Setyanto, Zakaria, A., and Permana, G. W., "Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsoran Menggunakan Metode Elemen Hingga Plaxis V.8.2 (Studi Kasus : Ruas Jalan Liwa – Simpang Gunung Kemala STA.263+650)," *Jurnal Rekayasa*, Vol. 20, No. 2, 2016.
- [23] Soedarmo, G. D., and Purnomo, S. J., *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: Kanisius, 1993.