

Analisis Geometri Lereng Pada Ruas Jalan Sicincin-Malalak KM 33 Kecamatan Malalak Kabupaten Agam Provinsi Sumatera Barat

Welly Handa Nuraga^{1*}, Raimon Kopa, M.T.¹, and Rusli HAR, M.T.¹

¹ Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

[*willyhandanuraga@live.com](mailto:willyhandanuraga@live.com)

Abstract. *The slope geometry stability on the Sicincin-Malalak road section on KM 33 was analyzed using the limit equilibrium method by using mining software and then manually calculating the slope safety using the Fellenius method and testing using Hoek and Bray diagrams (1981). Type of the failure on the hill in KM 33 was an arc landslide (circular failure) because the landslide on the slope forms is a semicircle. Determination of the safe or not slope in the study location is guided by the Decree of the Minister of Public Works in 1987. Who proposes the road slope can be declared safe if it has a slope safety value without an earthquake above 1.35. As for conditions with earthquakes, the safety value of the slope must be above 1.2. Trial slope testing at the study site was carried out by slope slope every 5 ° from the slope of the 49 ° slope. The slope is then assumed under various conditions, it was dry, natural, saturated, and earthquake for slope of 44 °, 39 ° and 34 °. After analyzing and calculations using various methods, the slope with a 34 ° slope is a recommendation because it has a security value above 1.35 for conditions without earthquakes, the slope length is 31.625 m and the slope is declared safe. The results of the tests are expected to be recommendations for preventing landslides.*

Keywords: *Slope Stability, Safety Factor, Circular Failure, Mining Software, Fellenius Method, Hoek and Bray Method*

1. Pendahuluan

Permasalahan longsor seringkali dijumpai dalam bidang geoteknik, terutama pada daerah Sumatera Barat yang memiliki morfologi perbukitan. Material yang mengalami longsor dapat berupa tanah, batuan atau tanah dan batuan. Longsor dapat terjadi karena disebabkan oleh banyak faktor, seperti halnya gempa bumi, topografi daerah setempat, struktur geologi, sifat rembesan tanah dan morfologi. Disamping itu juga disebabkan oleh peran manusia yang berkaitan dengan penanganan lahan yang kurang tepat, penggundulan hutan, serta pemotongan lereng untuk pembuatan jalan dan pemukiman. Tanah longsor adalah proses perpindahan massa batuan (tanah) akibat gaya berat (gravitasi). Longsor terjadi karena adanya gangguan kesetimbangan gaya yang bekerja pada lereng yakni gaya penahan dan gaya peluncur. Gaya peluncur dipengaruhi oleh kandungan air, berat masa tanah itu sendiri berat beban bangunan.^[1] Ketidakseimbangan gaya tersebut diakibatkan adanya gaya dari luar lereng yang menyebabkan besarnya gaya peluncur pada suatu lereng menjadi lebih besar daripada

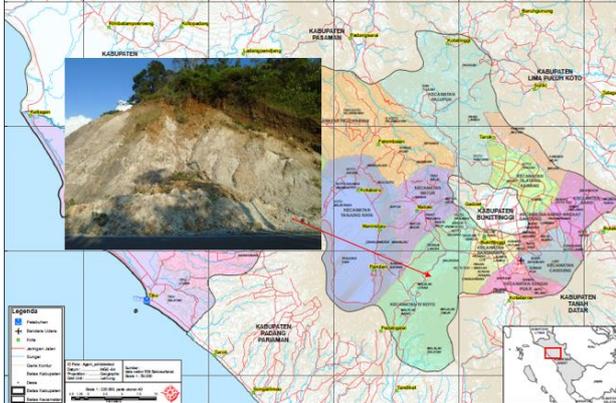
gaya penahannya, sehingga menyebabkan masa tanah bergerak turun.

Daerah penelitian yang dipilih oleh penulis terletak pada jalan lintas Sicincin-Malalak KM 33 Kabupaten Agam Provinsi Sumatera Barat. Daerah penelitian ini merupakan daerah yang memiliki kerentanan gerakan tanah tinggi untuk berpotensi terjadinya longsor. Perlunya perhatian khusus dalam penentuan keamanan dari pembuatan lereng untuk ruas jalan Sicincin-Malalak Kecamatan Malalak tidak terlepas dari fungsinya sebagai jalur akses alternatif lintas Sumatera, ditandai dengan banyaknya aktivitas transportasi, sehingga nantinya dapat meminimalisir resiko kerugian materil ataupun korban jiwa.

Pada lereng ruas jalan Sicincin-Malalak KM 36 diperoleh bentuk geometri lereng dengan sudut lereng sebesar 49° dan tinggi 17,83 meter. Lereng tersebut tersusun atas 3 material, yaitu *top soil*, *clay*, dan *tuff*. Sebelumnya di ruas jalan Sicincin Malalak tepatnya di KM 33 telah terjadi beberapa kali longsor yang bisa dikategorikan sebagai longsor tipe busur (*circular failure*).

2. Lokasi Penelitian

Penelitian yang dilakukan berlokasi di ruas jalan alternatif Sicincin-Malalak KM 33, Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis, lokasi penelitian berupa titik longsor terletak antara koordinat $00^{\circ}01'34''-00^{\circ}28'43''$ LS dan $99^{\circ}46'39''-100^{\circ}32'50''$ BT.



Gambar 1. Lokasi Penelitian dan Titik Longsor

Data penelitian yang diambil meliputi data primer dan data sekunder. Data primer diantaranya data geoteknik awal (tinggi lereng, sudut lereng), bobot isi kering, bobot isi jenuh, kohesi, dan sudut geser dalam. Sedangkan data sekunder meliputi data curah hujan, peta lokasi kesampaian daerah penelitian, peta geologi, peta hidrogeologi, dan peta topografi.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni 2017. Penelitian berlokasi di ruas jalan Sicincin-Malalak KM 33, Kecamatan Malalak, Kabupaten Agam, Sumatera Barat.

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ditujukan untuk mendapatkan gambaran bentuk potensi terjadinya longsor pada bukit di Kecamatan Malalak. Sehingga penelitian ini dapat dikategorikan kedalam penelitian terapan (*applied research*). Penelitian terapan adalah penelitian yang lebih menekankan pada ilmu, aplikasi, ataupun penggunaan ilmu untuk dan dalam masyarakat, ataupun untuk keperluan tertentu (industri, usaha, dll). Penelitian terapan merupakan suatu kegiatan yang sistematis dan logis dalam rangka menemukan sesuatu yang baru atau aplikasi baru dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan selama ini.

Selain penelitian terapan, penulis juga menggunakan metode penelitian deskriptif. Metode deskriptif adalah metode yang membicarakan beberapa kemungkinan untuk memecahkan masalah secara aktual dengan cara pengumpulan data, klasifikasi data, menganalisis data, dan menginterpretasikannya [2].

3.2 Tahap Pengumpulan Data

Data yang diambil harus benar, akurat dan lengkap serta relevan dengan permasalahan yang ada.

Data yang diambil dikelompokkan menjadi:

1. Data primer, meliputi geometri lereng, bobot isi tanah dan bobot isi kering, kadar air, kohesi dan sudut geser dalam.
2. Data sekunder, meliputi data curah hujan, peta lokasi kesampaian daerah penelitian, peta topografi, peta geologi, peta hidrogeologi, dan peta zonasi bencana.

3.3 Tahap Pengolahan Data

Data yang diperoleh kemudian dilakukan pengelompokan dan pengolahan data, dikarenakan penelitian terdiri dari beberapa variabel, maka data harus dikelompokkan sesuai dengan tahapan pengerjaannya. Kegiatan yang dilakukan dalam tahapan ini meliputi pengujian penentuan bobot isi kering, bobot isi jenuh dan kadar air, pengujian kohesi dan sudut geser dalam, dan rancangan geometri lereng.

3.4 Tahap Analisis Data

Tahap analisis data merupakan tahap yang dibutuhkan untuk mengolah data yang telah dikumpulkan untuk kebutuhan penelitian agar mendapatkan suatu kesimpulan. Tahapan untuk analisis dan pengolahan data ini meliputi:

1. Pengenalan karakteristik material untuk menentukan tipe longsor pada daerah penelitian serta sudut lereng maksimal berdasarkan orientasi lereng di lapangan.
2. Pengambilan geometri awal lereng, seperti sudut lereng, tinggi lereng, dan ketebalan dari lapisan material penyusun lereng.
3. Pengolahan data berdasarkan sampel yang diperoleh di lapangan.
4. Data geometri awal yang diperoleh di lokasi penelitian nantinya akan dilakukan simulasi peodelan untuk menentukan sudut lereng yang optimal dengan faktor keamanan terbaik dengan cara *trial and error*.
5. Analisis lereng secara keseluruhan dilakukan dengan menggunakan *software* tambang, yaitu *slide v.6.0* sehingga nantinya didapatkan desain lereng yang optimal yang dari segi keamanan dapat dikatakan mantap dan apabila ditinjau dari segi ekonomis dapat dikatakan layak.

3.4.1 Teori Longsor

1. Longsor Busur (*Circular Failure*)

Longsor busur yang terjadi sepanjang bidang lurus yang berbentuk busur longsor busur. Longsor busur hanya akan terjadi pada tanah atau material yang bersifat seperti tanah yang antar partikel-partikelnya tidak terikat satu sama lainnya. dengan demikian, longsor busur juga dapat terjadi pada batuan yang sangat rapuh/lapuk serat banyak mengandung bidang lemah, maupun pada tumpukan batuan hancur. [3]

Untuk melakukan perhitungan ini biasanya lereng perlu dibagi dalam sejumlah segmen supaya ketidakseragaman tanah dapat dipertimbangkan, juga supaya gaya normal bidang geser dapat ditentukan.

2. Longsor Bidang (*Plane Failure*)

Longsor bidang relatif jarang terjadi. Namun, jika ada kondisi yang menunjang terjadinya longsor bidang, longsor yang terjadi mungkin akan lebih besar (secara volume) dari pada longsor lain. Longsor ini disebabkan oleh adanya struktur geologi yang berkembang, seperti kekar (*joint*) ataupun patahan yang menjadi bidang luncur.^[3]

3. Longsor Baji (*Wedge Failure*)

Longsor baji merupakan jenis longsor yang sering terjadi di lapangan. Sama halnya dengan longsor bidang, longsor baji juga diakibatkan oleh adanya struktur geologi yang berkembang. Longsor baji dapat terjadi pada suatu batuan apabila terdapat lebih dari satu bidang lemah yang saling berpotongan. Sudut perpotongan antara bidang lemah tersebut harus lebih besar dari sudut geser dalam batuan tetapi lebih kecil dari kemiringan lereng.^[3]

4. Longsor Guling (*Toppling Failure*)

Longsor guling terjadi pada batuan yang keras dan memiliki lereng terjal dengan bidang – bidang lemah yang tegak atau hampir tegak dan arahnya berlawanan dengan arah kemiringan lereng. Longsor ini bisa berbentuk blok atau bertingkat. Kondisi untuk menggelincir atau meluncur ditentukan oleh sudut geser dalam dan kemiringan bidang luncurnya, tinggi balok dan lebar balok terletak pada bidang miring.^[3]

3.4.2 Pengujian Laboratorium

1. Bobot Isi Tanah dan Bobot Isi Kering^[4]

Pengujian bobot isi dilakukan terhadap masing-masing material di lokasi penelitian, yaitu *top soil*, *clay*, dan *tuff*. Data bobot isi kering yang diperoleh nanti digunakan untuk pengujian nilai keamanan lereng untuk berbagai metode, dan pengolahan data dipengaruhi oleh percepatan gravitasi ($9,807 \text{ m/s}^2$). Sehingga data masukan yang semula berada dalam satuan gram/cm^3 di konversi menjadi satuan KN/m^3 .

Rumus untuk mengetahui berat isi:

$$\left(\gamma = \frac{W_2 - W_1}{V} \right) \quad (1)$$

Berat isi kering :

$$\left(\gamma_d = \frac{\gamma}{(1 + \omega)} \right) \quad (2)$$

Keterangan :

γ = Berat isi
 W_1 = Berat cincin kosong

W_2 = Berat cincin + tanah
 V = Volume cincin
 γ_d = Berat isi kering
 ω = Kadar air

2. Kadar Air (*Water Content*)

Pengujian kadar air terhadap sampel bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kadar air yang terkandung dalam material penyusun lereng di lapangan.^[4] Menghitung kadar air yang terkandung, digunakan rumus:

$$\omega = \frac{W_w - D_w}{D_w - T_w} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan :

ω = Kadar air
 W_w = Berat cawan + tanah basah
 D_w = Berat cawan + tanah kering
 $W_w - D_w$ = Berat air
 $D_w - T_w$ = Berat tanah kering

3. Kuat Geser Tanah

Pengujian uji geser tanah bertujuan untuk mendapatkan parameter kekuatan tanah, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).^[4] Tanah yang diambil dari lapangan harus diusahakan tidak berubah kondisinya, terutama pada contoh asli (*undisturbed*). Dimana masalahnya adalah harus menjaga kadar air dan susunan tanah di lapangan supaya tidak berubah. Data yang diperoleh nantinya akan berada dalam satuan kg/cm^2 , kemudian dikonversi kedalam satuan KN/m^2 .

Rumus untuk menghitung kuat geser tanah :

$$\tau = c + \sigma \text{tg } \phi \quad (4)$$

Keterangan :

τ = Kuat geser tanah (kg/cm^2)
 c = Kohesi (kg/cm^2)
 σ = Tegangan normal (kg/cm^2)
 ϕ = Sudut geser dalam ($^\circ$)

3.4.3 Analisis Kestabilan Lereng

Dalam menganalisis kestabilan dari suatu lereng, harus ditentukan patokan berapa harga faktor keamanan yang aman untuk lereng, baik untuk lereng dengan kondisi gempa ataupun tanpa gempa. Dengan demikian maka diambil faktor keamanan yang direkomendasikan oleh Departemen Pekerjaan Umum (Tahun 1987) dimana FK (Faktor Keamanan) dari suatu lereng tanpa gempa adalah 1,35, sedangkan dengan kondisi gempa nilai keamanan lereng harus berada diatas 1,2.^[5]

Tabel 1. Faktor Keamanan Minimum Kestabilan Lereng

Resiko *)	Kondisi	Parameter Kuat Geser **)			
		Maksimum		Sisa	
		Teliti	Kurang Teliti	Teliti	Kurang Teliti
Tinggi	Dengan Gempa	1,5	1,75	1,35	1,5
	Tanpa Gempa	1,8	2	1,6	1,8
Menengah	Dengan Gempa	1,3	1,6	1,2	1,4
	Tanpa Gempa	1,5	1,8	1,35	1,5
Rendah	Dengan Gempa	1,1	1,25	1	1,1
	Tanpa Gempa	1,25	1,4	1,1	1,2

1. Metode Kesetimbangan Batas

Metode ini dapat dinyatakan dengan persamaan-persamaan kesetimbangan dari satu atau beberapa blok yang diasumsikan tidak terdeformasi, dan mengurangi gaya – gaya yang tidak diketahui (reaksi dari bagian stabil massa batuan atau gaya antar blok), khususnya gaya geser yang bekerja pada permukaan longsor yang dipilih sebelumnya. [6] Dalam metode ini, lereng dibagi dalam beberapa irisan dengan pusat gaya dititik tertentu, kemudian menganalisis gaya yang bekerja pada lereng, saat terjadi longsor dan setiap bagian pada kondisi kesetimbangan statis. [7]

Faktor keamanan pada metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Methods*) didefinisikan sebagai perbandingan antara total gaya penahan longsor dengan gaya penyebab longsor dan dapat dituliskan sebagai berikut: [8]

$$F = \frac{s}{\tau} \tag{5}$$

Keterangan :

- F = Faktor keamanan
- s = Total gaya penahan longsor
- τ = Total gaya penyebab longsor

2. Metoda Grafis (*Hoek and Bray*)

Hoek & Bray membuat 5 (lima) buah diagram untuk tiap kondisi air tanah tertentu, mulai dari sangat kering sampai jenuh. [6] [9] Cara perhitungannya adalah sebagai berikut:

Langkah 1

Tentukan kondisi air tanah yang ada dan disesuaikan dengan Gambar 1 untuk memilih diagram yang akan digunakan.

Langkah 2

Hitung angka dari $\frac{c}{\gamma H \tan \phi}$, kemudian cocokkan angka tersebut pada lingkaran terluar dari diagram yang dipilih.

Langkah 3

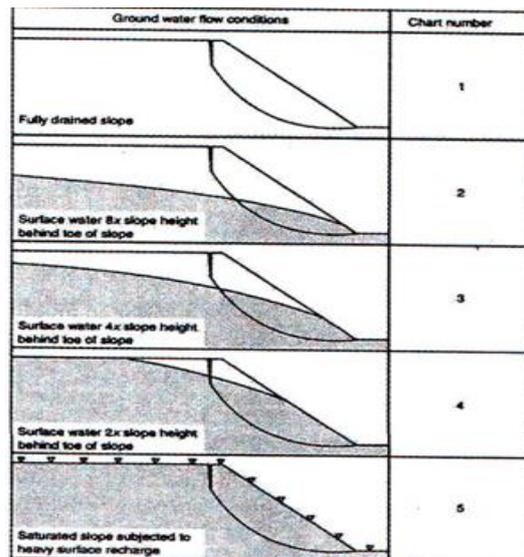
Ikuti jari-jari mulai dari angka yang diperoleh pada langkah 2 sampai memotong kurva yang menunjukkan kemiringan lereng.

Langkah 4

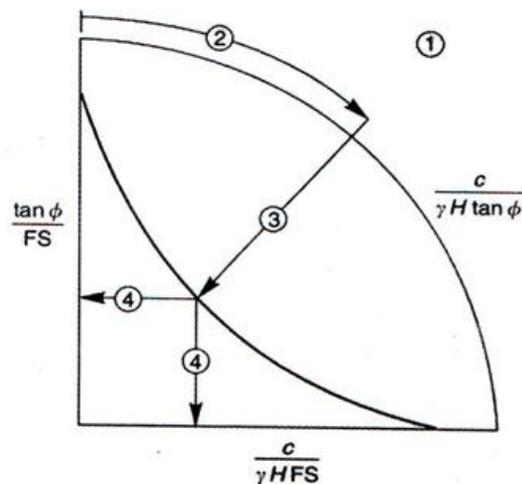
Dari titik pada langkah 3, kemudian ditarik kekiri dan ke bawah untuk mencari angka-angka $\frac{\tan \phi}{FS}$ dan $\frac{c}{\gamma H FS}$.

Langkah 5

Hitung faktor keamanan (*FK*) dari kedua angka yang diperoleh dari langkah 4 dan pilih yang paling tepat.



Gambar 1. Kondisi air tanah lereng



Gambar 2. Diagram cara menghitung kestabilan lereng

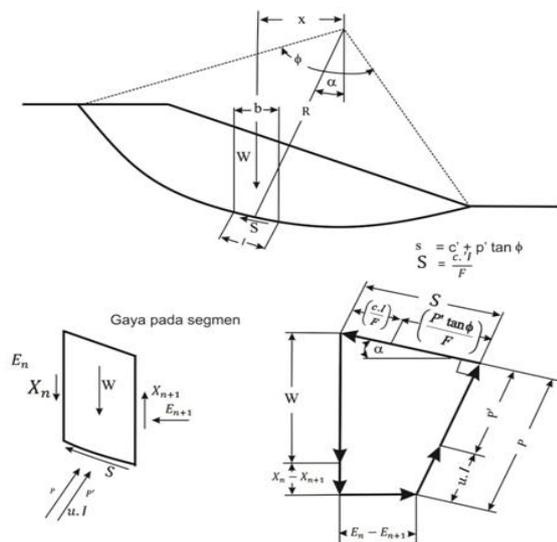
3. Metode Bishop yang Disederhanakan

Metode Bishop yang disederhanakan merupakan metode yang paling populer dalam analisis kestabilan lereng. Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu besarnya gaya geser antar-irisan sama dengan nol (X=0) dan bidang runtuh berbentuk sebuah busur lingkaran. [7] [10] Kondisi

kesetimbangan yang dapat dipenuhi oleh metode ini adalah kesetimbangan gaya dalam arah vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan momen pada pusat lingkaran runtuh untuk semua irisan. Sedangkan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal tidak dapat dipenuhi. Gaya yang bekerja pada metoda ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Untuk menghitung nilai keamanan metode Bishop, digunakan rumus :^{[6][11]}

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n [c' \beta + (N - u \beta) \tan \phi']}{\sum_{i=1}^n [W \sin \alpha + kW \left(\cos \alpha - \frac{hc}{R} \right)] + A \frac{a}{R}} \quad (6)$$



Gambar 3. Gaya yang Bekerja (Metode Bishop)

4. Metode Janbu yang Disederhanakan

Metode Janbu yang disederhanakan juga termasuk salah satu metode yang populer dan sering digunakan dalam analisis kestabilan lereng. Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu gaya geser antar irisan sama dengan nol. Metode ini memenuhi kesetimbangan gaya dalam arah vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal untuk semua irisan, namun kesetimbangan momen tidak dapat dipenuhi. Sembarang bentuk bidang runtuh dapat dianalisis dengan metode ini. Metode *simplified Janbu* dapat digunakan untuk menganalisis bidang runtuh *circular* maupun *non circular*.^{[6][12]}

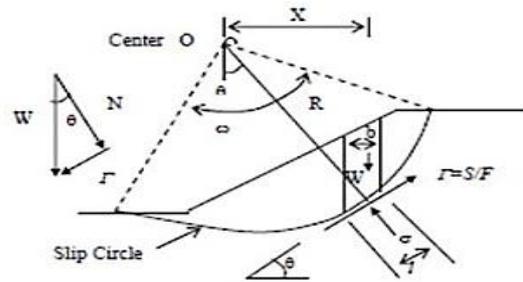
Adapun rumus untuk menghitung nilai keamanan (FK) dengan metode Janbu adalah sebagai berikut :^[6]

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^n (c' \beta + (N - u \beta) \tan \phi') \cos \alpha}{\sum_{i=1}^n (N \sin \alpha + kW) + A} \quad (7)$$

5. Metode Fellenius

Metode ini banyak digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng yang tersusun oleh tanah, dan bidang gelincirnya berbentuk busur (*circular failure*).^{[1][13]} Perhitungan pada lereng dengan menggunakan metode Fellenius dilakukan dengan membagi massa longsor

menjadi segmen-segmen seperti pada contoh Gambar 4, untuk bidang longsor *circular* adalah :



Gambar 4. Gaya yang Bekerja Pada longsor *circular*

Untuk menghitung nilai keamanan dari sebuah lereng dengan metode Fellenius digunakan rumus :

$$FK = \frac{\sum (c' l + W_t \cos \alpha \tan \phi')}{\sum W_t \sin \alpha} \quad (8)$$

Jika lereng terendam air atau jika muka air tanah diatas kaki lereng, maka tekanan air pori akan bekerja pada dasar elemen yang ada dibawah air tersebut.^{[1][13]} Dalam hal ini tahanan geser harus diperhitungkan yang efektif sedangkan gaya penyebabnya tetap diperhitungkan secara total, sehingga rumus menjadi :

$$FK = \frac{\sum [c' l + (W_t \cos \alpha - u x) \tan \phi']}{\sum W_t \sin \alpha} \quad (9)$$

Keterangan :

- FK = Faktor Keamanan
- c = Kohesi (kN/m^2)
- L = Panjang sayatan (m)
- ϕ = Sudut geser dalam ($^\circ$)
- W = Berat Sayatan (kN)
- μ = Tekanan air pori (kPa)
- x = Lebar sayatan (m)

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Tahap Pengumpulan Data

Faktor keamanan lereng (FK) lereng tanah dapat dihitung dengan berbagai metode. Longsor dengan bidang gelincir (*slip surface*) membentuk busur, nilai FK dapat dihitung dengan metode sayatan (*slice method*) menurut Fellenius dan diagram *Hoek and Bray (1981)*. Untuk kondisi di lapangan, nantinya akan membandingkan nilai FK yang diperoleh berdasarkan *software* dan manual menggunakan metode *Fellenius*, kemudian digunakan diagram *Hoek and Bray (1981)* sebagai pembanding. Dalam mengantisipasi terjadinya kelongsoran pada lereng, nilai FK yang diambil adalah nilai FK yang terkecil, dengan demikianantisipasi akan diupayakan maksimal. Data yang diperlukan dalam mencari nilai FK meliputi data lereng (sudut lereng, tinggi lereng, panjang lereng dari kaki lereng ke puncak lereng) dan data pengujian mekanika tanah (sudut geser dalam, bobot isi tanah, kohesi, dan kadar air tanah).

Data mekanika tanah yang diambil diperoleh dari sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed area*). Kemudian sampel tersebut dilakukan pengujian sifat fisik dan mekanik tanah di laboratorium untuk mendapatkan parameter penentuan nilai FK dari lereng di lokasi penelitian.

4.1.1. Pengambilan Data Awal

Pengambilan data geoteknik awal di lapangan meliputi sudut lereng, panjang lereng dari kaki ke puncak lereng dan lebar longsor yang terjadi. Dalam kegiatan pengambilan data awal, digunakan beberapa alat ukur, diantaranya yaitu meteran dan kompas. Dari hasil penukuran di lapangan, diketahui bahwa lereng tersebut memiliki kemiringan sebesar 49° , tinggi lereng secara keseluruhan 17,83m. Lereng tersebut tersusun atas 3 lapisan material yaitu, *top soil*, *clay*, dan *tuff*.

4.1.2. Pengambilan Sampel Uji di Lapangan

Pengambilan sampel uji dilakukan dengan menggunakan alat berupa *hand bor* untuk mendapatkan data mengenai tanah, jenisnya, sifat-sifat, dan keadaan tanah itu sendiri serta untuk memperoleh sampel demi memenuhi keperluan pengujian di laboratorium. Setelah dilakukan pengambilan sampel, sampel segera dibungkus dengan menggunakan *wrapping plastic* untuk menjaga kandungan air yang terdapat di dalam sampel tetap sama hingga dilakukannya pengujian laboratoium. Lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 5.



Keterangan :

- Lokasi pengambilan sampel uji *top soil*
- Lokasi pengambilan sampel uji *clay*
- Lokasi pengambilan sampel uji *tuff*

Gambar 5. Pengambilan Sampel di Lokasi Penelitian



Gambar 6. Proses Pembungkusan Sampel

4.1.3. Pengujian Sampel

Pengujian sampel bertujuan untuk mengetahui jenis dan karakteristik material dari sampel di lokasi penelitian. Pada kegiatan ini dilakukan beberapa jenis pengujian, yaitu penentuan bobot isi dan uji kadar air. Pengujian dilakukan untuk 3 jenis material, yaitu *top soil*, *clay*, dan *tuff*.

4.1.3.1. Pengujian Bobot Isi

Pengujian berat isi/bobot isi bertujuan untuk mendapatkan berat isi/bobot isi tanah yang merupakan perbandingan antara berat tanah basah dengan volumenya ($gram/cm^3$). Pengujian bobot isi dilakukan terhadap masing-masing material di lokasi penelitian, yaitu *top soil*, *clay*, dan *tuff*. Data bobot isi kering yang diperoleh nanti digunakan untuk pengujian nilai kemandan lereng untuk berbagai metode, dan pengolahan data dipengaruhi oleh percepatan gravitasi ($9,807 m/s^2$). Sehingga data masukan yang semula beada dalam satuan $gram/cm^3$ di konversi menjadi satuan KN/m^3 . Adapun hasil dari pengujian bobot isi ini dapat dilihat pada Tabel 2, 3, dan 4 dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian Bobot Isi *Top Soil*

Sampel uji	Satuan	I	II	III	IV	V
Nomor cincin	-	1	2	3	4	5
Tebal cincin (t)	cm	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78
Diameter cincin (d)	cm	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32
Berat cincin kosong (W ₁)	gram	104,30	104,30	104,30	104,30	104,30
Berat cincin + tanah (W ₂)	gram	353,69	381,41	350,46	344,73	303,04
Volume cincin (V = 1/4 π d ² t)	cm ³	106,99	106,99	106,99	106,99	106,99
Berat isi ($\gamma = \frac{W_2 - W_1}{V}$)	gram/cm ³	2,348	2,609	2,318	2,264	1,871
Berat isi rata-rata (γ)	gram/cm ³	2,282				
Berat isi kering ($\gamma_d = \frac{\gamma}{(1+w)}$)	gram/cm ³	2,01	2,146	2,016	1,974	1,701
Berat isi kering (γ_d)	gram/cm ³	1,969				

Tabel 3. Hasil Pengujian Bobot Isi Clay

Sampel uji	Satuan	I	II	III	IV	V
Nomor cincin	-	1	2	3	4	5
Tebal cincin (t)	cm	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78
Diameter cincin (d)	cm	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32
Berat cincin kosong (W ₁)	gram	104,30	104,30	104,30	104,30	104,30
Berat cincin + tanah (W ₂)	gram	340,25	352,71	344,59	342,40	325,54
Volume cincin (V = ¼ π d ² t)	cm ³	106,99	106,99	106,99	106,99	106,99
Berat isi (γ = $\frac{W_2 - W_1}{V}$)	gram/cm ³	2,223	2,339	2,263	2,242	2,083
Berat isi rata-rata (γ)	gram/cm ³	2,23				
Berat isi kering (γ _d = $\frac{\gamma}{(1+\omega)}$)	gram/cm ³	1,881	1,862	1,887	1,895	1,805
Berat isi kering (γ _d)	gram/cm ³	1,866				

Tabel 4. Hasil Pengujian Bobot Isi Tuff

Sampel uji	Satuan	I	II	III	IV	V
Nomor cincin	-	1	2	3	4	5
Tebal cincin (t)	cm	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78
Diameter cincin (d)	cm	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32
Berat cincin kosong (W ₁)	gram	104,30	104,30	104,30	104,30	104,30
Berat cincin + tanah (W ₂)	gram	455,90	473,88	464,18	514,43	511,62
Volume cincin (V = ¼ π d ² t)	cm ³	106,99	106,99	106,99	106,99	106,99
Berat isi (γ = $\frac{W_2 - W_1}{V}$)	gram/cm ³	3,311	3,480	3,389	3,862	3,835
Berat isi rata-rata (γ)	gram/cm ³	3,575				
Berat isi kering (γ _d = $\frac{\gamma}{(1+\omega)}$)	gram/cm ³	3,077	3,222	3,141	3,421	3,424
Berat isi kering (γ _d)	gram/cm ³	3,257				

4.1.3.2. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air terhadap sampel bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kadar air yang terkandung dalam material penyusun lereng di lapangan. Adapun data hasil pengujian kadar air dapat dilihat pada Tabel 5, 6 dan 7.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kadar Air Top Soil

Sampel uji	I	II	III	IV	V
Berat cawan (T _w) (gram)	3	3	3	3	3
Berat cawan + tanah basah (W _w) (gram)	29,17	32,39	39,84	37,91	38,20
Berat cawan + tanah setelah dikeringkan (D _w) (gram)	25,40	27,17	35,02	33,43	35,11
Berat Air (W _w -D _w) (gram)	3,77	5,22	4,82	4,48	3,09
Berat tanah kering (D _w -T _w) (gram)	22,40	24,17	32,02	30,43	32,11
Kadar air ω = $\frac{W_w - D_w}{D_w - T_w} \times 100\%$	16,8	21,6	15,1	14,7	9,6
Kadar air rata-rata (%)	15,56				

Tabel 6. Hasil Pengujian Kadar Air Clay

Contoh Uji	I	II	III	IV	V
Berat cawan (T _w) (gram)	3	3	3	3	3
Berat cawan + tanah basah (W _w) (gram)	37,15	65,41	49,32	53,78	5,26
Berat cawan + tanah setelah dikeringkan (D _w) (gram)	31,89	52,70	41,63	45,93	50,90
Berat Air (W _w -D _w) (gram)	5,26	12,71	7,69	7,85	7,36
Berat tanah kering (D _w -T _w) (gram)	28,89	49,70	38,63	42,93	47,90
Kadar air ω = $\frac{W_w - D_w}{D_w - T_w} \times 100\%$	18,2	25,6	19,9	18,3	15,4
Kadar air rata-rata (%)	19,48				

Tabel 7. Hasil Pengujian Kadar Air Pada Tuff

Contoh Uji	I	II	III	IV	V
Berat cawan (T _w) (gram)	3	3	3	3	3
Berat cawan + tanah basah (W _w) (gram)	48,19	49,63	53,40	55,19	60,54
Berat cawan + tanah setelah dikeringkan (D _w) (gram)	45,01	46,18	53,40	49,22	54,37
Berat Air (W _w -D _w) (gram)	3,18	3,45	3,67	5,97	6,17
Berat tanah kering (D _w -T _w) (gram)	42,01	43,18	46,73	46,22	51,37
Kadar air ω = $\frac{W_w - D_w}{D_w - T_w} \times 100\%$	7,6	8	7,9	12,9	12
Kadar air rata-rata (%)	9,68				

Berdasarkan hasil pengujian kadar air terhadap 3 jenis sampel (*top soil*, *clay*, dan *tuff*) diperoleh kadar air rata-rata dari jenis lapisan yaitu 15,56%, 19,48%, dan 9,6%. Perbedaan kadar air pada tiap-tiap lapisan dipengaruhi oleh material penyusun dari lapisan tersebut.

4.1.3.3. Pengujian Kuat Geser

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan parameter kekuatan tanah, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ).

Diameter cetakan : 6,35 cm

Luas cetakan (A) : $\frac{1}{4} \times \pi d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 6,35^2 = 31,653 \text{ cm}^2$

Tegangan normal (σ) = $\frac{N}{A}$

Hasil pengujian kuat geser pada lapisan dapat dilihat pada Tabel 8, 9, dan 10. Dan grafik hasil pengujian pada Gambar 7, 8, dan 9.

Tabel 8. Hasil Uji Geser Langsung Top Soil

No	Beban normal (kg)	Tegangan normal (σ) (kg/cm ²)	Beban geser (S) (kg)	Tegangan geser (τ) (kg/cm ²)
1	3	0,09	7,1	0,224
2	6	0,19	8,6	0,272
3	9	0,28	9,9	0,313

Uji geser dengan beban normal 3kg

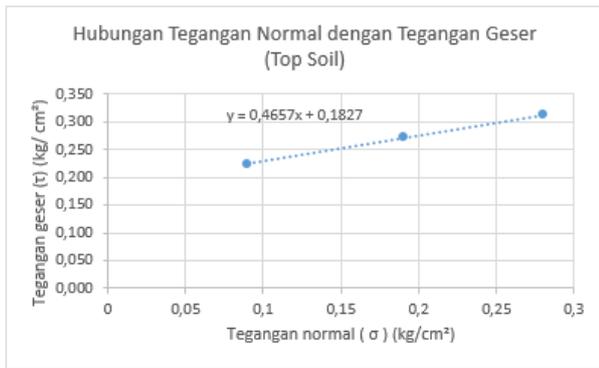
$$\tau = \frac{S}{A} = \frac{7,1 \text{ kg}}{31,653 \text{ cm}^2} = 0,224 \text{ kg/cm}^2$$

Uji geser dengan beban normal 6 kg

$$\tau = \frac{S}{A} = \frac{9,6 \text{ kg}}{31,653 \text{ cm}^2} = 0,272 \text{ kg/cm}^2$$

Uji geser dengan beban normal 9 kg

$$\tau = \frac{S}{A} = \frac{9,9 \text{ kg}}{31,653 \text{ cm}^2} = 0,313 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar 7. Grafik Uji Geser Langsung *Top Soil*

$$\begin{aligned} \text{Kohesi } (c) &= 0,1827 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= 0,1827 \text{ Kg} / 10^{-4} \text{ m}^2 \times 9,807 \text{ m/s}^2 \\ &= 17,917 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sudut geser } (\phi) &= 0,4657 \\ &= \tan^{-1} 0,4657 \\ &= 24,97^\circ \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian yang di-inputkan kedalam grafik di atas dan kemudian di konversi, diperoleh nilai kohesi (c) sebesar $17,917 \text{ KN/m}^2$ dan sudut geser dalam (ϕ) sebesar $24,97^\circ$.

Tabel 9. Hasil Uji Geser Langsung *Clay*

No	Beban normal (kg)	Tegangan normal (σ) (kg/cm ²)	Beban geser (S) (kg)	Tegangan geser (τ) (kg/cm ²)
1	3	0,09	6,8	0,215
2	6	0,19	7,7	0,243
3	9	0,28	9,3	0,294

Uji geser dengan beban normal 3kg

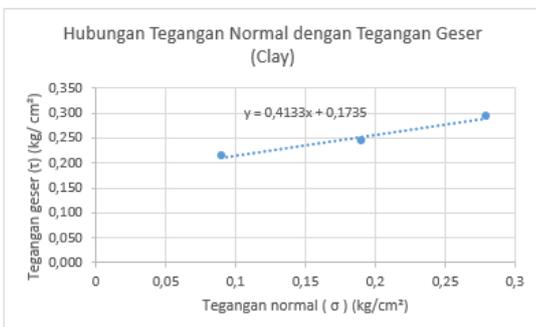
$$\begin{aligned} (\tau) &= \frac{S}{A} \\ &= \frac{6,8 \text{ kg}}{31,653 \text{ cm}^2} = 0,215 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Uji geser dengan beban normal 6 kg

$$\begin{aligned} (\tau) &= \frac{S}{A} \\ &= \frac{9,7 \text{ kg}}{31,653 \text{ cm}^2} = 0,243 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Uji geser dengan beban normal 9 kg

$$\begin{aligned} (\tau) &= \frac{S}{A} \\ &= \frac{9,3 \text{ kg}}{31,653 \text{ cm}^2} = 0,294 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$



Gambar 8. Grafik Uji Geser Langsung Sampel *Clay*

$$\begin{aligned} \text{Kohesi } (c) &= 0,1735 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= 0,1735 \text{ Kg} / 10^{-4} \text{ m}^2 \times 9,807 \text{ m/s}^2 \\ &= 17,015 \text{ KN/m}^2 \\ \text{Sudut geser } (\phi) &= 0,4133 \\ &= \tan^{-1} 0,4133 \\ &= 22,46^\circ \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian geser langsung terhadap sampel *clay* yang di-inputkan kedalam grafik di atas, diperoleh nilai kohesi (c) sebesar $17,015 \text{ KN/m}^2$ dan sudut geser dalam (ϕ) sebesar $22,46^\circ$.

Tabel 10. Hasil Uji Geser Langsung *Tuff*

No	Beban normal (kg)	Tegangan normal (σ) (kg/cm ²)	Beban geser (S) (kg)	Tegangan geser (τ) (kg/cm ²)
1	3	0,09	7,6	0,24
2	6	0,19	10,2	0,322
3	9	0,28	11,5	0,363

Uji geser dengan beban normal 3kg

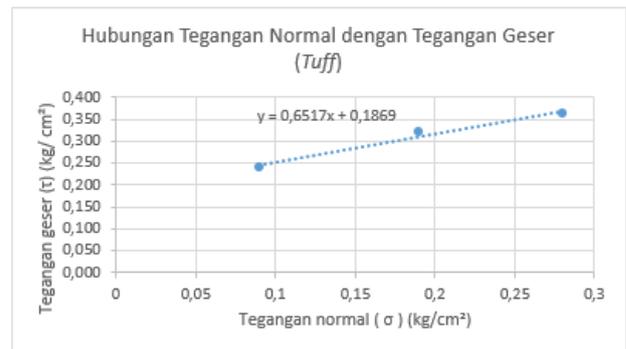
$$\begin{aligned} (\tau) &= \frac{S}{A} \\ &= \frac{7,6 \text{ kg}}{31,653 \text{ cm}^2} = 0,24 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Uji geser dengan beban normal 6 kg

$$\begin{aligned} (\tau) &= \frac{S}{A} \\ &= \frac{10,2 \text{ kg}}{31,653 \text{ cm}^2} = 0,322 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Uji geser dengan beban normal 9 kg

$$\begin{aligned} (\tau) &= \frac{S}{A} \\ &= \frac{9,3 \text{ kg}}{31,653 \text{ cm}^2} = 0,363 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$



Gambar 9. Grafik Uji Geser Langsung Sampel *Tuff*

$$\begin{aligned} \text{Kohesi } (c) &= 0,1869 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= 0,1869 \text{ Kg} / 10^{-4} \text{ m}^2 \times 9,807 \text{ m/s}^2 \\ &= 18,329 \text{ KN/m}^2 \\ \text{Sudut geser } (\phi) &= 0,6517 \\ &= \tan^{-1} 0,6517 \\ &= 33,09^\circ \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian geser langsung terhadap sampel *tuff* yang di-inputkan kedalam grafik di atas, diperoleh nilai kohesi (c) sebesar $18,329 \text{ KN/m}^2$ dan sudut geser dalam (ϕ) sebesar $33,09^\circ$.

Tabel 11. Rekapitulasi Hasil Uji Geser

Jenis Sampel	No. Sampel	Beban Normal (Kg)	Tegangan Normal (σ) (kg/cm ²)	Beban Geser (S) (kg)	Tegangan Geser (τ) (kg/cm ²)	Kohesi	Sudut Geser Dalam
Top Soil	1	3	0,09	7,1	0,224	17,917	24,971
	2	6	0,19	8,6	0,272		
	3	9	0,28	9,9	0,313		
Clay	1	3	0,09	6,8	0,215	17,015	22,455
	2	6	0,19	7,7	0,243		
	3	9	0,28	9,3	0,294		
Tuff	1	3	0,09	7,6	0,240	18,329	33,092
	2	6	0,19	10,2	0,322		
	3	9	0,28	11,5	0,363		

4.2 Pemodelan dan Analisis Geometri Lereng

Pemodelan lereng dilakukan untuk mengetahui bentuk dari lereng jalan yang berada di lokasi penelitian. Pada penelitian ini, pemodelan lereng dilakukan dengan menggunakan *software* tambang kemudian dilakukan analisis nilai *safety factor* dari lereng dan nantinya akan dilakukan perbandingan nilai *safety factor* dari perhitungan secara manual dengan menggunakan metode *Fellenius* dan *Hoek and Bray*. Pada lereng di lokasi penelitian, analisis dilakukan pada material penyusun lereng yang memiliki karakteristik masing-masing dari tiap lapisan.

Karakteristik material yang berada di lokasi penelitian nantinya dilakukan simulasi kemantapan lereng dengan menggunakan *software* tambang. Parameter yang di inputkan kedalam *software* ini meliputi kohesi (*c*), sudut geser dalam (ϕ), dan berat satuan (γ). Nantinya pada lereng tersebut dilakukan simulasi pada saat lereng berada dalam kondisi kering, jenuh, natural dan gempa. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kejadian terburuk saat berada di lapangan.

Adapun prosedur analisis kestabilan lereng keseluruhan menggunakan metode keseimbangan batas (*limit equilibrium method*) meliputi tahapan berikut :

4.2.1. Pembuatan Geometri Model

Dalam pembuatan model geometri diperlukan data masukan berupa batas lereng, karakteristik material dan permukaan air. Karena tidak dilakukan mengenai analisis muka air tanah, saat pemodelan lereng dalam kondisi jenuh permukaan air tanah dianggap sama dengan permukaan air tanah.

4.2.2. Penentuan Jenis Longsoran

Jenis longsoran yang dianalisis pada *software* tambang adalah longsoran tipe busur (*circular failure*).

4.2.3. Pengolahan Data dan Perhitungan

Setelah data selesai di input, maka data akan dilakukan pengolahan dan hasil perhitungan dari *software* tambang tersebut akan dianalisis. Data yang diperoleh dalam *software* kemudian akan dibandingkan dengan data yang dilakukan perhitungan secara manual.

4.2.4. Interpretasi

Hasil dari perhitungan tersebut kemudian akan diinterpretasikan untuk menganalisis model geometri lereng lebih lanjut. Analisis model didasarkan pada nilai faktor keamanan yang dihasilkan dari perhitungan dengan menggunakan *software* dan manual menggunakan metoda *Fellenius* dan metoda *Hoek and Bray*.

4.2.5. Rekomendasi

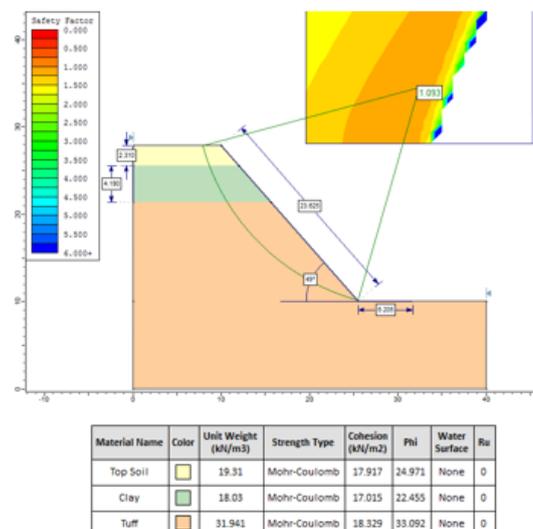
Untuk menghindari faktor keamanan lereng di lokasi penelitian berada dibawah 1,35 untuk kondisi tanpa gempa, dan 1,2 untuk kondisi dengan gempa, lereng tersebut nantinya akan diasumsikan dalam berbagai sudut kemiringan lereng untuk memperoleh faktor keamanan yang pas agar tidak terjadi kelongsoran.

4.3 Pembahasan

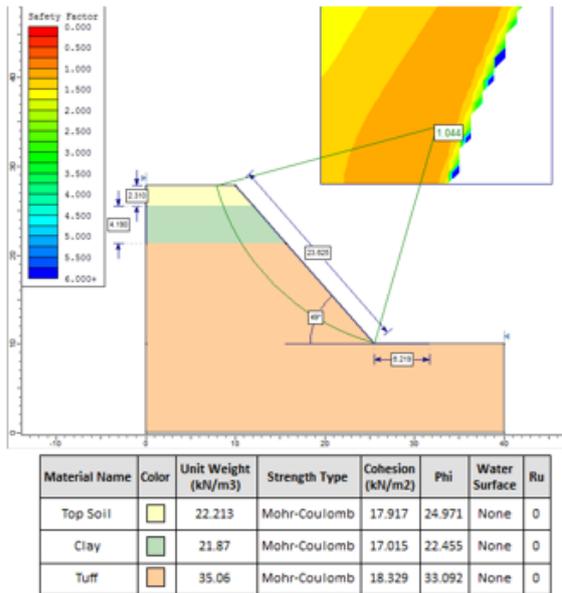
Dari hasil pengukuran awal di lapangan, diperoleh geometri lereng awal dengan kemiringan lereng sebesar 49° dan tinggi lereng secara keseluruhan 17,83m. Lereng tersebut tersusun atas 3 lapisan material yaitu, *top soil*, *clay*, dan *tuff* dengan ketinggian yang berbeda. Untuk *top soil* yang berada di lapisan teratas memiliki ketebalan sekitar 2,31m, *clay* atau lempung dengan ketebalan 4,19m, dan *tuff* dengan ketebalan sekitar 11,33m. Sedangkan untuk tipe longsoran dari lereng lokasi penelitian berupa busur lingkaran (*circular failure*).

4.3.1 Analisis dengan Menggunakan Program Software Tambang

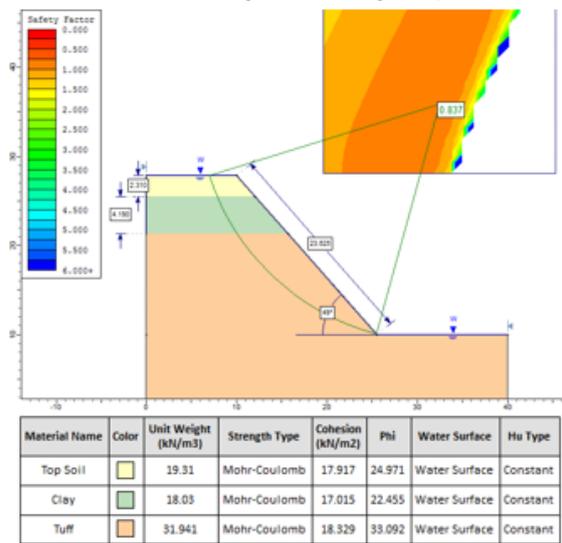
Mengacu pada KepMen PU. No.378/KPTS/1987, dalam menganalisis faktor keamanan dengan menggunakan *software* tamang atau manual, nilai faktor keamanan lereng tanpa gempa harus berada diatas 1,35, sedangkan dengan gempa keamanan lereng harus diatas 1,2. Apabila nilai yang diperoleh berada dibawah nilai tersebut, lereng dinyatakan dalam kondisi tidak aman. Hasil analisis dari lereng aktual di lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 10** sampai **13**.



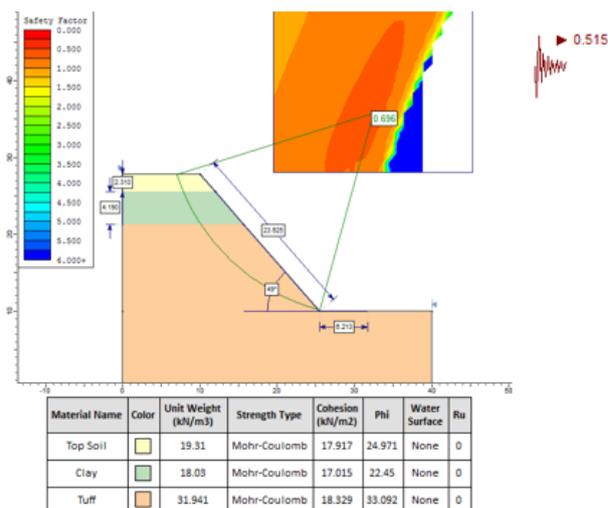
Gambar 10. FK Lereng Kering dengan *Software*



Gambar 11. FK Lereng Natural dengan Software



Gambar 12. FK Lereng Jenuh dengan Software



Gambar 13. FK Lereng Gempa dengan Software

Dalam Surat Keputusan Menteri Pekerjaan Umum tahun 1987, untuk kondisi tanpa gempa, nilai keamanan dari suatu lereng harus berada diatas 1,35. Sedangkan dalam kondisi gempa, nilai keamanan lereng harus berada diatas 1,2. Berdasarkan dari hasil pengujian yang telah dilakukan dengan menggunakan software tambang, nilai faktor keamanan lereng di lokasi penelitian saat berada dalam kondisi kering adalah 1,093, kondisi natural 1,044, untuk kondisi jenuh 0,837, dan kondisi gempa 0,696. Dari hasil analisis yang dilakukan untuk lereng kondisi aktual dengan kemiringan 49°, dinyatakan tidak aman karena mempunyai nilai keamanan dibawah syarat yang ditentukan sehingga nantinya akan dilakukan perbaikan sudut lereng di lokasi penelitian.

4.3.2 Analisis Keamanan Lereng Secara Manual

Analisis keamanan lereng secara manual dilakukan untuk mengetahui nilai keamanan lereng dilokasi penelitian. Perhitungan manual dilakukan dengan menggunakan metoda *Ordinary/Fellenius*, karena metoda ini paling sering digunakan untuk menganalisis nilai keamanan untuk longsor dengan lapisan tersusun oleh tanah dan bidang gelincirnya membentuk busur (*circular failure*).

1. Kondisi Kering

$$FK = \frac{C \cdot L + \sum W \cos \alpha \tan \phi}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

Keterangan :

- FK = Faktor Keamanan
- c = Kohesi (kN/m²)
- L = Panjang sayatan (m)
- φ = Sudut geser dalam (°)
- W = Berat Sayatan (kN)

$$FK = \frac{[(17,917 \times 2,428) + (17,015 \times 4,664) + (18,329 \times 19,0645)] + [(5,13773 \times 0,466) + (75,0063 \times 0,413) + (1427,7203 \times 0,652)]}{1314,564856} = \frac{472,2925,33 - 964,2505372}{1314,564856} = 1,09258 \approx 1,093$$

2. Kondisi Natural

$$FK = \frac{C \cdot L + \sum W \cos \alpha \tan \phi}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

Keterangan :

- FK = Faktor Keamanan
- c = Kohesi (kN/m²)
- L = Panjang sayatan (m)
- φ = Sudut geser dalam (°)
- W = Berat Sayatan (kN)

$$FK = \frac{[(17,917 \times 2,428) + (17,015 \times 4,664) + (18,329 \times 19,12496)] + [(4,94665 \times 0,466) + (90,08849 \times 0,413) + (1675,17705 \times 0,652)]}{1521,761} = \frac{473,390768 - 1131,732068}{1521,761} = 1,05478 \approx 1,055$$

3. Kondisi Jenuh

$$FK = \frac{C \cdot L + \sum(W \cos \alpha - \mu x) \tan \phi}{\sum W \cdot \sin \phi}$$

Keterangan :

FK = Faktor Keamanan

c = Kohesi (kN/m^2)

L = Panjang sayatan (m)

ϕ = Sudut geser dalam ($^\circ$)

W = Berat Sayatan (kN)

μ = tekanan air pori (kPa)

x = lebar sayatan (m)

$$FK = \frac{[(17,917 \times 2,4583) + (17,015 \times 4,7397) + (18,329 \times 20,1049)] + [(-3,10969 \times 0,466) + (-8,85715 \times 0,413) + (892,4717 \times 0,652)]}{1325,0499}$$

$$= \frac{(493,198727 + 576,7837354)}{1325,0499}$$

$$= 0,805$$

4. Kondisi Gempa

$$FK = \frac{C \cdot L + \sum(W \cos \alpha \tan \phi)}{\sum(W \sin \phi + SF)}$$

Keterangan :

FK = Faktor Keamanan

c = Kohesi (kN/m^2)

L = Panjang sayatan (m)

ϕ = Sudut geser dalam ($^\circ$)

W = Berat Sayatan (kN)

SF = Kekuatan gempa

x = lebar sayatan (m)

$$FK = \frac{[(17,917 \times 2,4583) + (17,015 \times 4,7397) + (18,329 \times 20,1049)] + [(6,427 \times 0,466) + (75,006316 \times 0,413) + (1427,720261 \times 0,652)]}{1425,0499 + 679,18946}$$

$$= \frac{(493,198727 + 964,8461992)}{2104,23936}$$

$$= 0,693$$

Dari hasil analisis nilai kermanan lereng aktual secara manual di lokasi penelitian, diketahui nilai keamanan lereng aktual 49° untuk kondisi kering adalah 1,03, kondisi natural 1,055, kondisi jenuh 0,805, dan kondisi gempa 0,693. Hasil tersebut membuktikan bahwa lereng di lokasi penelitian yang memiliki kemiringan sebesar 49° dinyatakan tidak aman, karena berdasarkan Keputusan Menteri Pekerjaan Umum tahun 1987, nilai kermanan dari suatu lereng jalan harus berada diatas 1,35 untuk kondisi tanpa gempa, dan 1,2 untuk kondisi dengan gempa.

4.3.3 Analisis Keamanan Menggunakan Metode Hoek and Bray (1981)

Analisis dengan metoda *Hoek and Bray (1981)* merupakan metoda yang dilakukan sebagai metode pengujian untuk pembanding dari analisis yang dilakukan. Pengujian ini mengasumsikan lereng berada dalam tiga kondisi, yaitu kering, natural dan jenuh. Cara perhitungannya dapat dilihat pada Gambar 18. Hasil pengujian lereng aktual 49° dengan menggunakan metoda *Hoek and Bray (1981)* dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil Pengujian Metode *Hoek and Bray*

Kondisi Lereng	Jenis Lapisan	α ($^\circ$)	H (m)	V (kN/m)	ϕ ($^\circ$)	c	$\frac{c}{\gamma H \tan \phi}$	$\frac{\tan \phi}{F_s}$	$\frac{c}{\gamma H F_s}$	FK lereng	Status Lereng
Kering	Top Soil	49	2,31	19,31	24,971	17,917	0,18	1,1	1,19	1,1	Tidak Aman
	Clay		4,19	18,03	22,455	17,015					
	Tuff		11,33	31,941	33,092	18,329					
Natural	Top Soil		2,31	19,31	24,971	17,917	0,17	0,94	1,04	1,04	Tidak Aman
	Clay		4,19	18,03	22,455	17,015					
	Tuff		11,33	31,941	33,092	18,329					
Jenuh	Top Soil	2,31	19,31	24,971	17,917	0,18	0,8	0,85	0,85	Tidak Aman	
	Clay	4,19	18,03	22,455	17,015						
	Tuff	11,33	31,941	33,092	18,329						

Dari hasil pengujian menggunakan metoda *Hoek and Bray (1981)*, lereng aktual dengan kemiringan 49° di lokasi penelitian mempunyai nilai keamanan untuk kondisi kering 1,1, kondisi natural 1,04, dan kondisi jenuh 0,85. Nilai keamanan yang diperoleh diambil dari nilai yang paling mendekati dengan nilai keamanan hasil pengujian sebelumnya.

4.3.4 Perbandingan Hasil Analisis Geometri Lereng

Sebagai upaya meminimalisir *error* yang terjadi saat perhitungan, analisis nilai keamanan lereng dilakukan dengan menggunakan *software* tambang dan kalkulasi secara manual menggunakan metoda *Ordinary/Fellenius* dan metoda *Hoek and Bray (1981)*. Hasil yang diperoleh dari masing-masing cara kemudian dilakukan perbandingan nilai keamanan yang diperoleh. Perbandingan hasil analisis geometri yang dilakukan pada lereng aktual dengan kemiringan 49° dapat dilihat pada **Tabel 13**.

Tabel 13. Rekapitulasi Hasil Pengujian FK

No	Kemiringan lereng	Panjang Lereng	Kondisi Lereng	Faktor Keamanan			Status Lereng
				Software	Manual	Hoek and Bray	
1	49°	23,625	Kering	1,093	1,093	1,10	Tidak Aman
			Natural	1,044	1,060	0,85	Tidak Aman
			Jenuh	0,837	0,829	1,04	Tidak Aman
			Gempa	0,683	0,696	-	Tidak Aman

Berdasarkan Keputusan Menteri Pekerjaan Umum tahun 1987, nilai keamanan dari suatu lereng tanpa gempa harus berada di atas 1,35, sedangkan kondisi gempa harus berada diatas 1,2. Dari tabel hasil pengujian manual dengan perhitungan metoda *Fellenius*, *Hoek and Bray*, dan *software* tambang untuk berbagai kondisi di lapangan, lereng aktual yang memiliki sudut kemiringan sebesar 49° dinyatakan tidak aman untuk segala jenis kondisi baik kering, jenuh, natural, ataupun gempa karena memiliki nilai faktor keamanan dibawah syarat yang ditentukan. Oleh karena itu diperlukan upaya penanganan lebih lanjut terhadap lereng untuk mengatasi kondisi lereng tidak aman dari lereng jalan.

4.4 Perbaikan Stabilitas Lereng

Perbaikan stabilitas lereng dimaksudkan untuk mengurangi, mencegah dan menanggulangi dampak negatif serta meningkatkan dampak positif. Kajian ini didasarkan pada studi kelayakan teknik atau studi geologi yang mencakup geologi teknik, mekanika tanah dan hidrogeologi. Dengan demikian pendekatan dalam menanggulangi lereng rawan longsor selain didasari oleh hasil rekomendasi studi geologi juga didasari pula oleh

lingkungannya. Prinsip utama dalam melakukan perbaikan stabilitas ini adalah mengurangi gaya pendorong lereng atau menambah gaya penahannya.

Banyak cara yang dapat dilakukan untuk menambah stabilitas lereng, diantaranya yaitu : perbaikan sudut lereng, pembuatan *berm*, menurunkan permukaan air tanah, penambahan beban di kaki lereng, dan masih banyak lagi. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk perbaikan stabilitas lereng agar tidak mengalami kelongsoran meliputi :

4.4.1. Perbaikan Sudut Lereng

Lereng yang terlalu tinggi menjadi lebih tidak stabil sehingga cenderung mudah longsor daripada lereng yang tidak terlalu tinggi untuk material yang sama. Makin besar kemiringan lereng atau tingkat kecuramannya semakin besar maka semakin mungkin terjadinya kelongsoran. Kegiatan perbaikan sudut lereng dilakukan dengan tujuan agar terjadi peningkatan gaya pengantar pada lereng sehingga lereng memiliki nilai faktor keamanan berada diatas ketentuan yang telah diatur dalam Surat Keputusan Menteri Pekerjaan Umum tahun 1987.

Pada simulasi perbaikan stabilitas lereng, lereng diasumsikan dengan sudut kemiringan tertentu dan lereng ditempatkan dalam kondisi kering, jenuh, natural dan gempa. Lereng tersebut nantinya akan dilakukan analisis nilai keamanan dengan menggunakan *software* tambang dan kemudian dilakukan kalkulasi secara manual sebagai pembandingan. Hasil pengujian lereng dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Hasil Pengujian Lereng Berbagai Kondisi

No	Kemiringan lereng	Panjang Lereng	Kondisi Lereng	Faktor Keamanan			Status Lereng
				Software	Manual	Hoek and Bray	
1	49°	23,625	Kering	1,093	1,093	1,09	Tidak Aman
			Natural	1,044	1,060	0,92	Tidak Aman
			Jenuh	0,837	0,805	0,72	Tidak Aman
			Gempa	0,683	0,696	-	Tidak Aman
2	44°	25,663	Kering	1,214	1,201	1,16	Tidak Aman
			Natural	1,166	1,166	1,0	Tidak Aman
			Jenuh	0,925	0,916	0,8	Tidak Aman
			Gempa	0,760	0,758	-	Tidak Aman
3	39°	28,334	Kering	1,366	1,355	1,36	Aman
			Natural	1,31	1,32	1,25	Kritis
			Jenuh	1,03	0,95	0,91	Tidak Aman
			Gempa	0,832	0,841	-	Tidak Aman
4	34°	31,625	Kering	1,533	1,534	1,55	Aman
			Natural	1,475	1,476	1,31	Aman
			Jenuh	1,152	1,136	1,14	Tidak Aman
			Gempa	0,902	0,902	-	Tidak Aman

Dari hasil pengujian yang dilakukan baik menggunakan *software* maupun perhitungan secara manual, memiliki hasil yang tidak jauh berbeda. Akan tetapi dari 6 simulasi yang dilakukan untuk mendapatkan geometri yang ideal, hampir semuanya berada dibawah ambang batas yang ditentukan. Hanya ada beberapa buah lereng yang dinyatakan aman, yaitu percobaan ke-3 untuk kondisi lereng dengan kemiringan lereng sebesar 39° memiliki nilai keamanan dalam kondisi kering sebesar 1,366 dengan menggunakan *software*, sedangkan saat dilakukan perhitungan secara manual, lereng tersebut memiliki nilai keamanan 1,355 dengan metoda *Fellenius* dan berdasarkan grafik *Hoek and Bray* 1,36. Sedangkan untuk kondisi natural dengan kemiringan lereng 39°, lereng tersebut dinyatakan dalam keadaan kritis, karena

mempunyai nilai keamanan 1,31 dengan menggunakan *software*, sedangkan cara manual metoda *Fellenius* 1,32 dan grafik *Hoek and Bray* 1,25 yang dikategorikan tidak aman.

Tahapan selanjutnya yaitu dilakukan uji coba lagi dengan memperkecil sudut kemiringan lereng menjadi 34°. Saat dilakukan pengansumsian perlakuan terhadap lereng, lereng kondisi kering memiliki nilai keamanan 1,533 menggunakan *software*, kemudian secara manual metoda *Fellenius* memiliki nilai keamanan 1,534, dan metoda *Hoek and Bray* 1,55, yang berarti nilai keamanan lereng berada diatas rata-rata yang disarankan. Pada lereng dengan kondisi jenuh, lereng dinyatakan tidak aman karena memiliki nilai keamanan 1,152 menggunakan *software* dan 1,136 dengan kalkulasi secara manual metoda *Fellenius*, serta 1,14 dengan metoda *Hoek and Bray*. Sedangkan untuk kondisi natural (alami), lereng berada dalam kondisi aman dengan nilai keamanan 1,475 menggunakan *software*, 1,476 dengan menggunakan kalkulasi manual, dan 1,31 dengan metoda *Hoek and Bray*. Tetapi pada kondisi gempa, lereng di lokasi penelitian memiliki nilai keamanan 0,683 dengan menggunakan *software* dan perhitungan manual memiliki nilai keamanan 0,696. Lereng dengan sudut kemiringan 34° nantinya akan dilakukan pemotongan sehingga memiliki jarak kemiringan lereng dari puncak lereng ke kaki lereng sebesar 31,625m.

Berdasarkan perolehan nilai keamanan dari simulasi yang dilakukan, diharapkan dapat menjadi rekomendasi untuk perbaikan stabilitas lereng nantinya. Selain itu penanganan lereng dalam kondisi jenuh dapat dilakukan dengan mengendalikan air permukaan, mengendalikan air bawah permukaan, serta pembuatan beban di kaki lereng.

4.4.2. Penambahan Beban Kaki Lereng

Penambahan beban pada kaki lereng merupakan cara penanggulangan yang bertujuan untuk menahan massa tanah yang mengalami pergerakan. Cara ini dapat dilakukan dengan pembuatan dinding penahan atau *retaining wall* yang di desain terlebih dahulu. Apabila perbaikan geometri lereng tidak mungkin dilakukan, cara ini dapat menjadi alternatif untuk pencegahan lereng longsor.

4.4.3. Pencegahan Lereng Dalam Kondisi Jenuh

Kegiatan pencegahan ini dapat dilakukan dengan pembuatan penyalir air (dari bambu atau paralon), di kemiringan lereng dekat kaki lereng. Hal ini bertujuan agar muka air tanah yang naik dalam tubuh lereng akan mengalir keluar, sehingga terjadi penurunan muka air tanah.

4.4.4. Pengendalian Air Permukaan

Pengendalian air permukaan dapat dilakukan dengan pembuatan desain drainase yang memadai, sehingga air permukaan dari puncak-puncak lereng dapat mengalir lancar dan infiltrasi berkurang. Selain itu jua dapat dilakukan penanaman vegetasi di puncak lereng untuk mengurangi *run-off* pada lereng.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

1. Kondisi lereng lokasi penelitian tepatnya di ruas jalan Sicincin-Malalak KM 33 memiliki sudut lereng sebesar 49° dengan ketinggian lereng 17,83m dinyatakan dalam kondisi tidak aman karena memiliki nilai keamanan dibawah 1,35 (tanpa kondisi gempa) dan 1,2 (kondisi dengan gempa), sehingga berpotensi menyebabkan terjadinya longsor.
2. Dari hasil pengujian sifat fisik dan mekanik yang telah dilakukan, diperoleh parameter uji berupa :
 - a. *Top Soil* dengan ketinggian 2,31 m, memiliki bobot isi (γ) = 22,38 KN/m^3 , bobot isi kering (γ_d) = 19,31 KN/m^3 , kohesi (c) sebesar 17,917 KN/m^2 dan sudut geser dalam (ϕ) sebesar $24,97^\circ$.
 - b. *Clay* dengan ketinggian 4,19 m, memiliki bobot isi (γ) = 22,83 KN/m^3 , bobot isi kering (γ_d) = 18,3 KN/m^3 , kohesi (c) sebesar 17,015 KN/m^2 dan sudut geser dalam (ϕ) sebesar $22,46^\circ$.
 - c. *Tuff* dengan tinggi 11,33 m memiliki bobot isi (γ) = 35,06 KN/m^3 , bobot isi kering (γ_d) = 19,31 KN/m^3 , kohesi (c) sebesar 18,329 KN/m^2 , dan sudut geser dalam (ϕ) sebesar $33,09^\circ$.
3. Dari hasil analisis geometri lereng untuk berbagai kondisi yang dilakukan, diketahui nilai keamanan lereng aktual di lokasi penelitian yang memiliki kemiringan lereng 49° dengan menggunakan *software* tambang untuk kondisi kering = 1,093; jenuh = 0,837; natural = 1,044; dan gempa = 0,683. Berdasarkan perhitungan manual, nilai faktor keamanan untuk kondisi kering = 1,093; natural = 1,044; jenuh = 0,837; dan gempa = 0,696. Sedangkan dari diagram *Hoek and Bray*, untuk lereng dengan kondisi keening mempunyai nilai keamanan = 1,09; kondisi natural = 0,92 dan kondisi jenuh = 0,72. Hasil pengujian tersebut menandakan bahwa kondisi lereng di lokasi penelitian dinyatakan tidak aman.
4. Dari hasil pengujian yang dilakukan, rekomendasi lereng yang aman agar tidak terjadi longsor adalah lereng dengan kemiringan 34° , dengan ketinggian lereng 17,83 m, diperoleh nilai faktor keamanan dengan menggunakan *software* tambang untuk kondisi kering = 1,533 (kondisi lereng aman); jenuh = 1,152 (kondisi lereng tidak aman); dan natural = 1,475 (kondisi lereng aman). Berdasarkan perhitungan manual, nilai faktor keamanan untuk kondisi kering = 1,534 (kondisi lereng aman); jenuh = 1,152 (kondisi lereng tidak aman); dan natural 1,476 (kondisi lereng aman). Sedangkan berdasarkan diagram *Hoek and Bray*, nilai keamanan lereng kondisi kering 1,55 (lereng aman); kondisi jenuh 1,14 (lereng tidak aman); dan natural 1,31 (lereng kritis).

5.2. Saran

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, pemahaman data pengamatan diperlukan untuk memperkecil kesalahan dalam analisis.

2. Perlu dilakukannya pengamatan teradap getaran, tekanan air tanah, dan aliran air tanah menimbang lereng di lokasi penelitian digunakan sebagai jalan lintas alternatif untuk transportasi.
3. Diperlukan pemantauan lebih lanjut untuk mengetahui kondisi dari material perlapisan.
4. Perbaikan geometri lereng lebih lanjut diperlukan untuk mengantisipasi terjadinya kelongsoran.

Daftar Pustaka

- [1] Zakaria, Zulfaidi. *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*. Laboratorium Geologi Teknik FMIPA UNPAD. 2012
- [2] Yusuf, A. Muri. *Metodologi Penelitian*. UNP Press . Padang. 2005
- [3] Arief, Saifuddin. *Dasar-dasar Analisis Kestabilan Lereng*. Jakarta. 2007
- [4] Budi, Gogot Setya. *Pengujian Tanah di Laboratorium, Penjelasan dan Panduan*. Graha Ilmu, Yogyakarta. 2011
- [5] Direktorat Jenderal Penataan Ruang. *Pedoman Penataan Kawasan Rawan Bencana Longsor*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta. 2007
- [6] Arif, Irwandy. *Geoteknik Tamang Mewujudkan Produksi Tamang yang Kontinu dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. Penerbit ITB, Bandung. 2015
- [7] Arief, Saifuddin. *Metode Irisan*. Jakarta. 2008
- [8] Asian Appl. Geo. *An Evaluation of Rock Slope Stability Using Limit Equilibrium Analyses*. Volume 6 No. 2. 2014
- [9] Hoek, Evert and John Bray. *Rock Slope Engineering, Revised Third Edition*. The Institution and Metallurgy, London. 1981
- [10] Ilyas, Tommy. *Landslide*. Jakarta. 2011
- [11] Anderson, M.G. Richard, K.S. *Slope Stability Geotechnical Engineering and Geomorphology*. John Wiley and Sons. 1987
- [12] Das, Bradja and M., Endah Noor. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid II*. Erlangga, Jakarta. 1994
- [13] Pangemanan, Violetta Gabriella dkk. *Analisis Kestabilan Lereng dengan Metoda Fellenius (Studi Kasus: Kawasan Citraland)*. Volume 2 No.1. 2014