

**ANALISIS LERENG TERASERING DALAM UPAYA PENANGGULANGAN
LONGSOR METODE *FELLENIUS* DENGAN
PROGRAM *GEOSTUDIO SLOPE***

Dimas Haryadi¹⁾, Mawardi²⁾, Makmun R. Razali³⁾

¹⁾²⁾³⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik UNIB, Jl. W. R. Supratman,
Kandang Limun, Bengkulu 38371, Telp. (0736)344087
e-mail: mawardi001@gmail.com

Abstrak

Kawasan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Musi Kabupaten Kepahiang merupakan kawasan perbukitan yang memiliki lereng-lereng curam yang rawan terhadap kelongsoran. Salah satu peristiwa longsor terjadi pada awal bulan Oktober 2017 tepatnya terjadi di jalan lintas antara Desa Susup Kabupaten Bengkulu Tengah dan Kecamatan Ujan Mas Kabupaten Kepahiang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa stabilitas lereng terasering dengan menggunakan Metode Fellenius. Hasil pengujian sifat fisis tanah menunjukkan bahwa tanah pada lereng dikawasan PLTA Musi Kepahiang adalah tanah lempung. Lereng yang diteliti di kawasan PLTA Musi semuanya rawan terhadap kelongsor karena faktor keamanan, $FK < 1,5$. Berdasarkan hasil penelitian pada lereng 1 tipe lereng yang paling aman nilai faktor keamanan adalah tipe lereng terasering trap 3 kemiringan 19° , $FK = 1,61$ lebih besar dari nilai faktor keamanan tipe lereng terasering trap 2 kemiringan 19° , $FK = 1,57$ dan nilai faktor keamanan tipe lereng aman kemiringan 19° , $FK = 1,519$ serta nilai faktor keamanan tipe lereng asli kemiringan 30° , $FK = 0,88$.

Kata kunci: metode fellenius, faktor keamanan lereng (FK), terasering

Abstract

The Musi Hydroelectric Power Plant area in Kepahiang Regency is a hilly area that has steep slopes that are prone to landslides. One of the landslides that occurred at October 2017 precisely occurred on a highway between Susup Village, Bengkulu Tengah Regency and Ujan Mas District, Kepahiang Regency. This study aims to analyze the slope stability of the terraces using the Fellenius Method. The results of testing the physical properties of the soil indicate that the soil on the slopes of the area of the Musi Hydroelectric Power Plant is clay. The slopes studied in the Musi hydropower area are all prone to landslides because safety factor, $FK < 1,5$. Based on the results of the research on the slopes of the safest type 1 slope the value of the safety factor is the type of slope of the slope trap 3, 19° , $FK = 1,61$ greater than the safety factor value of slope type 2 slope trap 19° , $FK = 1,57$ and safe slope type safety factor value slope of 19° , $FK = 1.519$ and the value of the safety factor of the original slope type of slope 30° , $FK = 0,88$.

Keywords: *fellenius method, safe factor (SF), terraces*

PENDAHULUAN

Permukaan tanah mempunyai topografi yang berbeda sehingga membentuk suatu lereng (*slope*). Lereng merupakan bagian dari topografi permukaan tanah yang memiliki sudut kemiringan tertentu. Lereng dapat saja terjadi secara alami ataupun buatan, lereng yang terbentuk secara alami misalnya lereng perbukitan dan tebing-tebing sungai, sedangkan lereng buatan dapat berupa bendung, tanggul sungai dan tambang terbuka. Salah satu akibat dari perbedaan sudut kemiringan tersebut dapat mempengaruhi kestabilan lereng tersebut. Kestabilan lereng erat kaitannya dengan kelongsoran atau pergerakan tanah yang merupakan proses perpindahan massa tanah secara alami dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah.

Provinsi Bengkulu merupakan daerah yang memiliki topografi beragam karena sebagian besar merupakan daerah Bukit Barisan, sehingga membuat wilayah Provinsi Bengkulu memiliki lereng-lereng curam yang rawan terhadap bencana tanah longsor. Salah satunya peristiwa longsor terjadi pada awal bulan Oktober 2017 tepatnya terjadi di jalan lintas antara Desa Susup Kabupaten Bengkulu Tengah dan Kecamatan Ujan Mas Kabupaten Kepahiang yang merupakan Kawasan PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) Musi Kabupaten Kepahiang. Peristiwa tersebut memutuskan akses jalur transportasi antara dua kabupaten tersebut.

Untuk meminimalisir terjadinya kelongsoran pada lereng perlu adanya tindakan pencegahan, banyak cara dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya longsor, seperti membuat terasering pada lereng. Dengan dibuat demikian maka akan mengurangi sudut kemiringan lereng. Setelah itu dilakukan perhitungan stabilitas lereng guna memeriksa keamanan dari lereng tersebut.

Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari butiran mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1994).

Lereng

Lereng merupakan bagian dari topografi permukaan tanah yang memiliki sudut kemiringan tertentu. Lereng dapat saja terjadi secara alami ataupun buatan, lereng yang terbentuk secara alami misalnya lereng perbukitan dan tebing-tebing sungai, sedangkan lereng buatan dapat berupa bendung, tanggul sungai dan tambang terbuka.

Longsoran

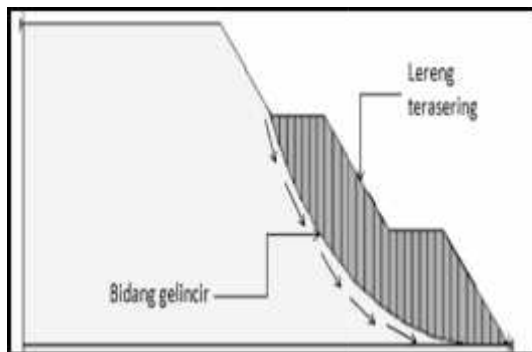
Longsoran atau pergerakan tanah merupakan proses perpindahan massa tanah secara alami dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah. Definisi diatas dapat menunjukkan bahwa pergerakan massa yang bergerak dapat berupa massa tanah, massa batuan ataupun kombinasi keduanya. Kelongsoran pada lereng alami atau lereng buatan dapat terjadi secara perlahan atau tiba-tiba, pergerakan tanah ini biasanya diakibatkan oleh adanya pemicu kelongsoran. Salah satu pemicu kelongsoran lereng adalah penurunan kuat geser tanah (c) dan sudut geser dalam (ϕ) yang selanjutnya menyebabkan kelongsoran.

Stabilitas lereng

Stabilitas lereng merupakan proses analisis perhitungan dan membandingkan antara tegangan geser dengan kekuatan geser dari tanah atau bidang lereng. Kekuatan geser suatu tanah merupakan daya tolak internal tanah terhadap keruntuhan atau pergeseran tanah sepanjang bidang geser (Das, 1994). Stabilitas lereng sangat dipengaruhi oleh kekuatan geser tanah untuk menentukan

kemampuan tanah menahan keruntuhan. Jika permukaan membentuk suatu sudut kemiringan maka massa tanah atau batuan diatas bidang gelincir akan bergerak ke arah bawah akibat gravitasi. Dalam peristiwa tersebut terjadi pergerakan massa tanah pada arah ke bawah dan pada arah ke luar (Terzaghi, 1987).

Kondisi ini dapat dicegah dengan mengurangi sudut kemiringan atau memperpanjang lereng tersebut, dengan demikian gaya dorongtegangan geser tidak melampaui gaya tolak yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bidang Longsor Lereng Terasering

Kemampuan kekuatan geser tanah untuk menahan tekanan tanah yang mengalami keruntuhan sangat mempengaruhi stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng juga didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*).

Tabel 1. Nilai dari Faktor Keamanan (FK) Berdasarkan Intensitas Kelongsoran

Nilai Faktor Keamanan(FK)	Intensitas Kelongsoran
FK < 1,5	Lereng dalam keadaan tidak stabil
FK = 1,5	Lereng kemungkinan dalam keadaan tidak stabil
FK > 1,5	Lereng dalam keadaan stabil

Sumber : Hardiyatmo, 2002

Metode Fellenius

Metode Fellenius (Fellenius, 1936 dalam Hardiyatmo, 2002) menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Dengan anggapan ini, keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori.

Bentuk persamaan faktor keamanan untuk analisis stabilitas lereng cara Fellenius (Hardiyatmo, 2002), adalah:

$$FK = \frac{\sum c.l + (P_w - u.l) \tan \phi}{\sum W \sin \alpha} \quad (1)$$

Geostudio Slope/W 2012

Geostudio Office adalah aplikasi untuk pemodelan geoteknik dan geolingsungan. Aplikasi ini meliputi *SLOPE/W*, *SEEP/W*, *SIGMA/W*, *QUAKE/W*, *TEMP/W*, dan *CTRAN/W* yang sifatnya terintegrasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu produk ke produk yang lain (Pohan, 2018).

SLOPE/W merupakan produk perangkat lunak untuk menghitung faktor keamanan lereng baik yang tersusun oleh tanah maupun batuan. Analisis faktor keamanan dapat dilakukan dalam kondisi lapangan yang berbeda seperti berbagai macam kemiringan tanah, terdapat tekanan air pori atau tidak, maupun sifat tanah yang berbeda-beda (Adi, 2018).

METODE PENELITIAN

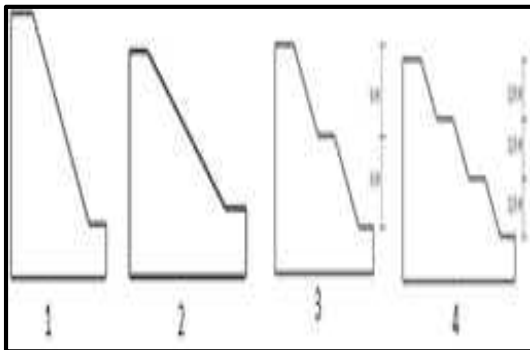
Penelitian ini menggunakan metode penelitian yang dilakukan di laboratorium mekanika tanah Universitas Bengkulu serta analisis matematika. Penelitian menggunakan sampel tanah pada 3 lereng di Kawasan PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) Musi di Kecamatan Ujan Mas, Kabupaten Kepahiang, Provinsi Bengkulu. Pengujian dilakukan untuk menghitung faktor keamanan (FK) lereng pada kondisi tanah

asli. Pengujian atau penyelidikan tanah berfungsi untuk memperoleh data dan informasi parameter sifat fisik maupun sifat mekanika tanah, selanjutnya parameter-parameter tersebut digunakan sebagai bahan analisis dan pertimbangan dalam perencanaan dan desain tipe penanganan longsor. Berikut merupakan beberapa pengujian yang dibutuhkan untuk menganalisis stabilitas lereng:

1. Analisa Saringan (SNI 3432-2008)
2. Berat Jenis (SNI 1964-2008)
3. Berat Isi (SNI 02-3637-1994)
4. Batas-batas Konsistensi Tanah
5. Batas Cair (SNI 1967-2008)
6. Batas Plastis (SNI 1966-2008)
7. Kuat Geser Langsung (SNI 2813-2008)

Skenario optimasi lereng

Pada penelitian ini skenario optimasi lereng dilakukan dalam beberapa pengkondisian. Variasi tersebut dibagi menjadi 4 variasi yaitu:



Gambar 2. Model Skenario Optimasi Lereng

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel tanah yang diteliti berasal dari 3 lereng yang berada pada kawasan PLTA Musi Kabupaten Kepahiang, Provinsi Bengkulu. Penelitian dilaksanakan dengan mengambil sampel tanah dari lokasi, kemudian dilakukan pengukuran serta pengambilan titik koordinat menggunakan alat *GPS*, lereng 1 berada di koordinat S 03.56374° E 102.49768°, lereng 2 berada di koordinat S 03.56346° E 102.5018° dan

Lereng 3 berada di koordinat S 03.57932° E 102.4916°. Pengujian sampel tanah dilakukan di Laboratorium Geologi Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Bengkulu selama kurang lebih 1 minggu. Penelitian yang dilakukan meliputi uji fisis tanah dan uji mekanik tanah. Data yang diperoleh dari hasil penelitian kemudian digunakan untuk perhitungan analisis stabilitas lereng dengan menggunakan Metode Fellenius (*ordinary method of slice*) melalui program computer Geostudio Slope/W 2012 untuk mendapatkan nilai faktor keamanan (FK) dari 3 lereng yang diteliti tersebut.

Hasil pengujian sifat fisis tanah

Sampel tanah yang di ambil dilakukan uji fisis tanah untuk mengetahui karakteristik tanah dari 3 lereng berbeda.

Berat jenis tanah

Dari 3 lereng tersebut diketahui jenis tanah termasuk kedalam jenis tanah lempung organik karena berat jenis dari ketiga lereng berada pada nilai 2,58 – 2,68.

Tabel 2. Hasil Pengujian Berat Jenis

Lereng	Berat jenis	
1A	2,65	2,6248
1B	2,61	
1C	2,61	
2A	2,65	2,6373
2B	2,64	
2C	2,62	
3A	2,68	2,658
3B	2,63	
3C	2,67	

Berat isi

Nilai dari berat isi basah dan berat isi kering dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai ini nantinya akan digunakan dalam perhitungan analisis stabilitas lereng dengan menggunakan Metode Fellenius.

Tabel 3. Hasil Pengujian Berat Isi

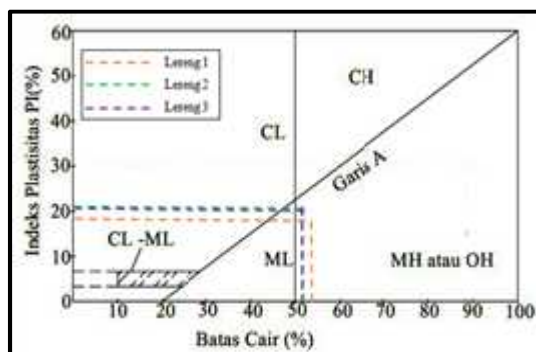
Lereng	Berat Isi			
	W_b (gr/cm^3)	W_b (kN/cm^3)	W_d (gr/cm^3)	W_d (kN/cm^3)
1A	1,37	14,39	1,20	17,260
1B	1,48		1,22	
1C	1,54		1,26	
2A	1,34	14,254	1,08	16,439
2B	1,46		1,07	
2C	1,56		1,12	
3A	1,65	16,520	1,19	17,244
3B	1,71		1,24	
3C	1,68		1,11	

Analisis saringan

Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan pada 3 lereng mendapatkan hasil presentase tanah yang lolos saringan 100 hampir setengah dari jumlah sampel yang dilakukan pengujian. Lereng 1 sebesar 46,63%, lereng 2 sebesar 55,20%, dan lereng 3 sebesar 52,81%. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa diameter butir tanah pada 3 lereng sangat kecil dan termasuk tanah lempung.

Hasil pengujian batas-batas konsistensi

Berdasarkan hasil penelitian batas-batas konsistensi yaitu pengujian batas plastis (*plastic limit*) dan batas cair (*liquid limit*) yang dilakukan pada 3 lereng menunjukkan bahwa lereng 1, lereng 2 dan lereng 3 berada pada zona OH yang berarti jenis tanah pada semua lereng yang dilakukan pengujian adalah tanah lempung organik.

**Gambar 3.** Batas-Batas Konsistensi**Hasil pengujian sifat mekanik tanah**

Sampel tanah yang diambil dilakukan uji mekanik tanah untuk mengetahui karakteristik tanah dari 3 lereng berbeda. Berdasarkan hasil rata-rata nilai uji mekanik tanah pada lereng 1, lereng 2 dan lereng 3 bisa disimpulkan bahwa jenis tanah ketiga lereng tersebut merupakan tanah lempung kelanauan. Hasil tersebut dikarenakan nilai ' ketiga lereng lebih berada diantara 25° - 30° yang masuk kedalam kategori lempung kelanauan.

Tabel 4. Hasil Pengujian *Direct Shear*

Sampel	Kohesi C (kPa)	Rerata C (kPa)	Sudut Geser ($^\circ$)	Rerata ($^\circ$)
Lereng 1A	20,357	21,758	25,144	25,605
Lereng 1B	21,973		25,606	
Lereng 1C	22,943		26,065	
Lereng 2A	27,790	24,881	25,836	25,608
Lereng 2B	24,881		24,678	
Lereng 2C	21,973		26,678	
Lereng 3A	25,205	24,771	27,642	26,285
Lereng 3B	23,266		25,376	
Lereng 3C	25,851		25,836	

Hasil dari pengujian sifat fisis melalui uji berat jenis tanah, uji berat isi tanah, uji analisis saringan dan uji batas-batas konsistensi tanah ditambah dengan uji mekanik tanah melalui pengujian *direct shear* menunjukkan bahwa lereng 1, lereng 2 dan lereng 3 memiliki jenis tanah clay (lempung). Tanah lempung memiliki potensi untuk terjadi longsor jika memiliki tingkat kecuraman lereng yang tinggi dan kondisi tanah dalam keadaan jenuh.

Perhitungan faktor aman dengan metode Fellenius

Perhitungan factor aman dilakukand engan dua cara, pertama dilakukan dengan program aplikasi Geostudio Slope/W 2012. Nilai factor aman didapat dari program Geostudio Slope/W 2012 dihitung ulang menggunakan persamaan dan dibantu dengan program Microsoft Excel sebagai bahan perbandingan. Perhitungan dilakukan pada 3 lereng, setiap masing-masing lereng dilakukan empat perhitungan pada variasi bentuk lereng, yaitu lereng dengan kemiringan asli, lereng dengan kemiringan lereng aman dan lereng dengan terasering trap 2, serta lereng dengan terasering trap 3. Perhitungan tersebut dilakukan supaya dapat mengetahui hubungan sudut geser, kohesi dan variasi bentuk lereng terhadap factor aman.

Tabel 5. Berat Isi

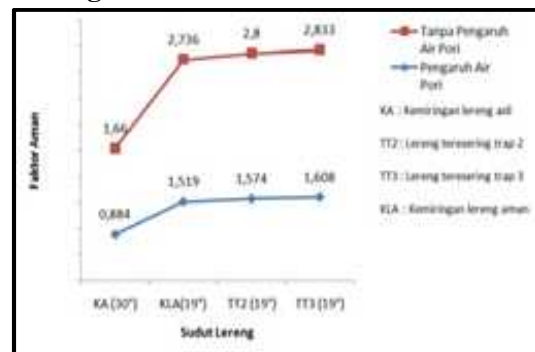
Lereng	c' (Kpa)	γ_b (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	ϕ' (°)	
Tipe					
1	KA	21,758	14,390	17,260	25,605
	KLA	21,758	14,390	17,260	25,605
	TT2	21,758	14,390	17,260	25,605
	TT3	21,758	14,390	17,260	25,605
2	KA	24,881	14,254	16,439	25,602
	KLA	24,881	14,254	16,439	25,602
	TT2	24,881	14,254	16,439	25,602
	TT3	24,881	14,254	16,439	25,602
3	KA	24,774	16,520	17,244	26,285
	KLA	24,774	16,520	17,244	26,285
	TT2	24,774	16,520	17,244	26,285
	TT3	24,774	16,520	17,244	26,285

Tabel 6. Angka Keamanan Lereng

Lereng	Tipe	FK			
		Sudut Lereng	Air Pori	Sudut Lereng	Tanpa Air Pori
1	KA	30	0,884	30	1,660
	KLA	19	1,519	19	2,736
	TT2	19	1,574	19	2,800
	TT3	19	1,608	19	2,833
2	KA	35	1,094	35	1,846
	KLA	29	1,533	29	2,357
	TT2	29	1,584	29	2,392
	TT3	29	1,601	29	2,499
3	KA	28	1,002	28	1,644
	KLA	19	1,508	19	2,548
	TT2	19	1,518	19	2,661
	TT3	19	1,539	19	2,697

Hubungan antara sudut kemiringan lereng dan model bentuk lereng terhadap nilai FK

Lereng 1



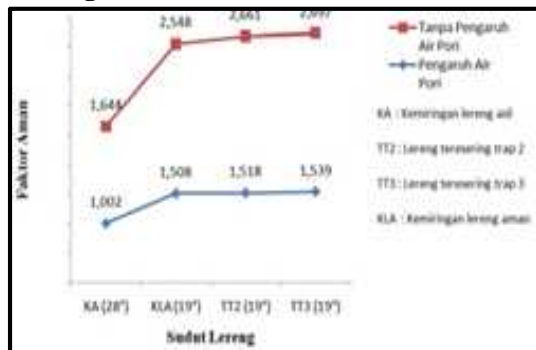
Gambar 4. Grafik hubungan FK dengan Sudut pada Lereng 1

Lereng 2



Gambar 5. Grafik hubungan FK dengan Sudut pada Lereng 2

Lereng 3



Gambar 6. Grafik hubungan FK dengan Sudut pada Lereng3

Berdasarkan grafik hubungan FK terhadap sudut kemiringan lereng dari variasi model bentuk lereng diketahui bahwa sudut kemiringan lereng dari variasi tipe lereng mempengaruhi nilai dari FK. Nilai sudut lereng yang besar dapat menyebabkan faktor aman (FK) lereng semakin kecil atau kritis. Dibuktikan pada ke tiga lereng, dari grafik nilai tersebut bahwa pada ketiga lereng mengalami kenaikan nilai FK dikarenakan sudut lereng semakin kecil. Variasi lereng juga mempengaruhi nilai FK pada lereng, dibuktikan dengan pada lereng yang memiliki kemiringan sudut sama namun berbeda bentuk variasi lereng memiliki nilai FK yang berbeda. Pada lereng terasering trap 3 memiliki nilai FK yang lebih besar dari pada model variasi lereng lain.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan meliputi uji sifat fisis tanah dan uji sifat mekanik tanah serta perhitungan analisis stabilitas lereng dengan menggunakan Metode Fellenius dibantu dengan program aplikasi Geostudio Slope/W 2012 dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Jenis tanah yang berada pada kawasan PLTA Musi Kepahiang adalah tanah lempung. Jenis tanah lempung dibuktikan dengan pengujian sifat fisis tanah melalui berat jenis tanah yang menunjukkan bahwa tanah pada lereng 1, lereng 2 dan

lereng 3 memiliki nilai berat jenis antara 2,58-2,68 yang menunjukkan jenis tanah adalah lempung. Pengujian nilai batas cair dan batas plastisitas juga menunjukkan bahwa jenis tanah pada 3 lereng termasuk kedalam kelompok OH yang jenis tanah Lempung Organik.

2. Pengujian sifat mekanik tanah melalui *Direct Shear Test* mendapatkan hasil, pada lereng 1 didapat nilai $\phi' = 25,605^\circ$ dan $c' = 21,758$ Kpa, pada lereng 2 didapat nilai $\phi' = 25,602^\circ$ dan $c' = 24,881$ Kpa, sedangkan pada lereng 3 didapat nilai $\phi' = 26,285^\circ$ dan $c' = 24,774$ Kpa.
3. Perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan Geostudio Slope/W pada lereng yang dibuat terasering trap 3 memiliki nilai FK yang lebih besar dari pada model variasi lereng lain. Lereng terasering trap 3 dengan mempertimbangkan pengaruh air pori pada lereng 1 dengan kemiringan sudut 19° didapat $FK = 1,608 > 1,5$ (lereng aman). Lereng 2 dengan sudut kemiringan 29° didapat $FK = 1,601 > 1,5$ (lereng aman). Lereng 3 dengan sudut kemiringan 29° didapat $FK = 1,539 > 1,5$ (lereng aman).
4. Perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan Geostudio Slope/W 2012, pada Lereng terasering trap 3 tanpa mempertimbangkan pengaruh air pori pada lereng 1 dengan kemiringan sudut 19° didapat $FK = 2,833 > 1,5$ (lereng aman). Lereng 2 dengan sudut kemiringan 29° didapat $FK = 2,499 > 1,5$ (lereng aman). Lereng 3 dengan sudut kemiringan 29° didapat $FK = 2,697 > 1,5$ (lereng aman).
5. Hubungan besar nilai sudut kemiringan lereng baik itu tanpa pengaruh air pori atau dengan pengaruh air pori terhadap nilai FK jika menggunakan parameter yang sama adalah semakin besar nilai sudut lereng maka nilai FK akan mengecil dan menjadi kritis serta model variasi lereng mempengaruhi nilai FK.

6. Dari skenario 4 pemodelan lereng terdapat kelebihan diantaranya pada lereng yang di optimasi nilai FK akan lebih besar dengan pengurangan sudut kemiringan dan proses pengerjaan dilapangan lebih mudah dengan pemangkasan tinggi lereng, pada lereng terasering nilai FK lebih besar dari pada lereng asli namun, kelemahan pada pemodelan lereng ini adalah proses pengerjaan dilapangan yang sulit karena harus memangkas dan menimbun lereng untuk memperpanjang lereng sehingga sudut kemiringan berkurang.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, M.W., 2018. **Analisis Stabilitas Lereng dengan Program Komputer Geostudio 2012**[skripsi]. Bengkulu (ID) Universitas Bengkulu
- Das, B.M., 1994. **Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1**. Mochtar NE, Mochtar IS, penerjemah. Jakarta (ID) : Erlangga
- Terjemahan dari : *Principles of Geotechnical Engineering*.
- Das, B.M. 1994. **Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2**. Mochtar NE, Mochtar IS, penerjemah. Jakarta (ID) : Erlangga. Terjemahan dari : *Principles of Geotechnical Engineering*.
- Hardiyatmo, H. C., 2002. **Teknik Pondasi 2**, Edisi Kedua, Beta Offset, Yogyakarta.
- Pohan, H.H., 2018. **Analisis Stabilitas Lereng dengan Program Komputer Geostudio 2012**[skripsi]. Bengkulu (ID) Universitas Bengkulu.
- Suharyadi M.S., 1984. **Geologi Teknik**, Biro Penerbit KMTS FT UGM, Yogyakarta.
- Terzaghi K., Peck R.B., 1987. **Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Edisi Kedua Jilid 1**. Witjaksono B, Krisna RB, penerjemah. Jakarta (ID) Erlangga. Terjemahan dari : *Soil Mechanics*.