

Simulasi Penggunaan Program *Geostudio Slope/W* 2007 dalam Menganalisis Stabilitas Lereng Dengan Jenis Tanah Lempung Berpasir pada Kondisi Tidak Jenuh, Kondisi Jenuh Sebagian, dan Kondisi Jenuh

**Yota Pentawan¹⁾
Lusmeilia Afriani²⁾
Amril Ma'ruf Siregar³⁾**

Abstract

Landslide is a natural disaster that often occurs in Lampung Province, particularly in West Lampung regency. The sliding occurs due to an increase in soil pore water stress in the rainy season. Based on the research on the slopes, there is a safety factor value that can be used as a reference for the degree of slope stability. One method to analyze the value of slope safety factor is by using the Geostudio Slope / W 2007 program.

In this study, some cross sections of slope were simulated with 4 different water table conditions. The required soil properties index are: cohesion, c ; natural angle of repose, ϕ ; and unit weight of density, γ .

The analysis result shows that slope transversal cut shape have influence on slope stability. The analysis results on slopes with saturated conditions have a safety factor value of <1.25 and are classified on unsafe slopes. In the unsaturated condition the whole simulation is classified as a stable slope with a safety factor value > 1.25 . Based on the analysis result, it can be inferred that the slope has insecured status. Thus, it is suggested to conduct such actions in order to prevent landslide.

Key words : soil, slope stability, safety factor, geostudio slope/w.

Abstrak

Tanah longsor merupakan bencana alam yang sering terjadi di Provinsi Lampung khususnya di Kabupaten Lampung Barat. Kelongsoran yang terjadi diakibatkan peningkatan tegangan air pori tanah di musim penghujan. Berdasarkan penelitian-penelitian tentang lereng terdapat nilai faktor aman yang dapat digunakan sebagai acuan tingkat stabilitas lereng. Salah satu metode untuk menganalisis nilai faktor aman lereng adalah dengan program *Geostudio Slope/W* 2007.

Dalam penelitian ini, disimulasikan beberapa bentuk potongan melintang lereng dengan 4 kondisi muka air tanah yang berbeda. *Index properties* tanah yang diperlukan antara lain : kohesi, c ; sudut geser dalam tanah, ϕ ; dan berat volume tanah, γ .

Dari hasil analisis menunjukkan bentuk potongan melintang lereng berpengaruh terhadap stabilitas lereng. Hasil analisis pada lereng dengan kondisi jenuh memiliki nilai faktor aman $<1,25$ dan tergolong pada lereng yang tidak aman. Pada kondisi tidak jenuh seluruh simulasi tergolong lereng yang stabil dengan nilai faktor aman $>1,25$. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa lereng berstatus tidak aman pada kondisi jenuh maka disarankan untuk melakukan penanganan untuk mencegah kelongsoran.

Kata kunci : tanah, stabilitas lereng, faktor aman, geostudio slope/w.

¹⁾ Mahasiswa dari Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. Surel: yotapentawan@gmail.com.

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145. Surel: lusmeilia.afriani@yahoo.com

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145. Surel: amrilmarufs@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Salah satu bencana alam yang kerap terjadi pada daerah perbukitan di Provinsi Lampung adalah bencana tanah longsor, terutama pada lokasi penelitian yaitu di Kabupaten Lampung Barat, Kecamatan Semaka dimana dilokasi tersebut merupakan salah satu daerah perbukitan di Provinsi Lampung. Biasanya kelongsoran terjadi di musim penghujan dikarenakan peningkatan kondisi air pori tanah. Begitu banyak kerugian yang diakibatkan bencana longsor diantaranya kerugian harta benda, korban jiwa, kerusakan jalan, dan fasilitas-fasilitas lainnya. Bencana longsor yang terjadi saat musim penghujan dikarenakan hujan yang terjadi secara terus-menerus dan mengakibatkan kondisi tanah menjadi jenuh, yaitu kondisi dimana tanah sudah tidak mampu lagi menampung air dalam porinya. Dengan demikian tekanan air pori akan naik dan menyebabkan pengurangan nilai kuat geser tanah serta penurunan nilai kohesif tanah sehingga tanah menjadi tidak stabil dan rawan longsor.

Data tanah dan potongan melintang lereng yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari lereng buatan dengan kondisi yang cukup tinggi sehingga perlu dilakukan simulasi bentuk lereng yang sesuai serta analisis stabilitas lereng sebagai antisipasi kelongsoran apakah lereng tersebut aman atau tidak. Dibutuhkan suatu analisis stabilitas lereng yang dapat memodelkan sesuai dengan kondisi asli di lapangan dan untuk mengetahui faktor keamanan lereng di lokasi penelitian. Program *GeoStudio SLOPE/W* 2007 dapat digunakan untuk menganalisis faktor aman dan memudahkan dalam memodelkan penanganannya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, 2010). Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (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 diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1988).

Sistem klasifikasi tanah yang paling umum digunakan yaitu Sistem Klasifikasi Tanah *Unified (Unified Soil Classification System/USCS)*. Menurut sistem *Unified (Unified Soil Classification System/USCS)* tanah dikelompokkan dalam tiga kelompok yang masing-masing diuraikan lebih spesifik lagi dengan memberi simbol pada setiap jenis (Hendarsin, 2000), yaitu :

- 1) Tanah berbutir kasar, tanah yang mempunyai prosentase lolos ayakan No.200 50 %.
- 2) Tanah berbutir halus, tanah dengan persentase lolos ayakan No. 200 > 50 %.
- 3) Tanah Organik tanah ini tidak dibagi lagi.

Dalam penelitian ini menggunakan tanah lempung berpasir. Tanah lempung berpasir didominasi oleh partikel pasir, tetapi cukup mengandung tanah lempung dan sedimen untuk menyediakan beberapa struktur dan kesuburan. Tanah lempung berpasir memiliki partikel yang terlihat seperti pasir dicampur ke dalam tanah. Tanah lempung berpasir sangat keras dalam kondisi kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Namun pada kadar air yang lebih tinggi lempung berpasir akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak.

Tanah longsor atau gerakan tanah didefinisikan sebagai gerakan menurun lereng oleh massa tanah dan atau batuan penyusun lereng akibat terganggunya kestabilan tanah atau

batuan peyusun lereng tersebut. Longsor diklasifikasikan menjadi lima, yaitu jatuhan (*falls*), longsor (*slide*), aliran (*flows*), rayapan (*creep*), dan bandang (*debris, torrents*). Longsor diklasifikasikan menjadi lima, yaitu jatuhan (*falls*), longsor (*slide*), aliran (*flows*), rayapan (*creep*), dan bandang (*debris, torrents*). Berikut disajikan dalam tabel di bawah ini. (Skempton dan Hutchinson, 1969)

Tabel 1. Klasifikasi longsor (Swanston dan Swanson, 1980)

Jenis	Deskripsi	Pembentuk	Penyebab
Jatuhan (<i>falls</i>)	Gerakan udara: melambung, memutar, menggelinding, sangat cepat	Pengangkatan atau lereng, curam, patahan batuan, kurangnya ketahanan vegetasi.	Pemindahan daya dukung, penjepit dan pengupil, gempa , kelebihan beban
Longsor (<i>slide</i>)	Material yang bergerak tidak banyak berubah bentuk, bergerak sepanjang bidang luncur, lambat-cepat	Zona massif di atas zona lunak, adanya lapisan dasar yang kedap, buruknya sedimentasi, atau sedimen yang tak terkonsolidasi.	Terlalu curam, penurunan friksi internal.
Aliran (<i>flow</i>)	Bergerak dalam bentuk cairan lumpur; lambat-cepat	Bahan tak terkonsolidasi, perubahan permeabilitas sedimen halus yang kedap pada batuan dasar	Penurunan friksi internal karena kandungan air
Rayapan (<i>creep</i>)	Gerakan lambat ke arah lereng bawah, beberapa cm/ tahun	Tingginya perubahan temperatur harian, perubahan periode kering-hujan, siklus kembang kerut.	Goyangan pohon, penjepit dan pengumpul, pemotongan tebing atau erosi jurang
Bandang (<i>debris, torrents</i>)	Gerakan cepat dari air yang bermuatan tanah, batu dan material organik di saluran sungai	Saluran curam, lapisan tipis dari material yang tak terkonsolidasi di atas batuan induk di salam saluran, lapisan partikel-partikel liat dari bidang luncur jika basah.	Debit aliran tinggi, tanah jenuh air, sering ditandai oleh longsor tanah/batu, penggundulan hutan.

Menurut Haninda dkk (2014) lereng adalah suatu tepian yang terletak antara landasan dan tanjakan, berdasarkan macamnya lereng dibagi menjadi tiga macam, yaitu: lereng alam, lereng buatan tanah asli, dan lereng buatan tanah yang dipadatkan. Kelongsoran dapat terjadi pada setiap macam lereng, akibat berat tanah sendiri, ditambah dengan pengaruh yang besar dari rembesan air tanah, serta gaya lain dari luar lereng. Wesley (1977) membagi lereng menjadi 3 macam ditinjau dari segi terbentuknya, yaitu :

- Lereng alam, yaitu lereng yang terbentuk akibat kegiatan alam, seperti erosi, gerakan tektonik dan sebagainya.
- Lereng yang buatan, akibat penggalian atau pemotongan pada tanah asli.
- Lereng timbunan tanah, seperti urugan untuk jalan raya.

Gaya-gaya gravitasi dan rembesan (*seepage*) cenderung menyebabkan ketidakstabilan (*instability*) pada lereng alami (*natural slope*), pada lereng yang dibentuk dengan cara penggalian, dan pada lereng tanggul serta bendungan tanah (*earth dams*). (Craig, 1989)

Dalam menghadapi persoalan bagaimana caranya memperbaiki atau menstabilkan lereng pada suatu daerah yang terjadi kelongsoran, Terdapat beberapa teori yang berkaitan dengan hal tersebut. Seperti menurut (Wesley, 1977) ada dua cara untuk membuat lereng supaya menjadi lebih aman, yaitu :

- a. Memperkecil gaya penggerak atau momen penggerak, yaitu dengan mengubah bentuk lereng. Cara yang dilakukan yaitu :
 1. Membuat lereng lebih datar yaitu dengan mengurangi sudut kemiringan.
 2. Memperkecil Ketinggian Lereng, Cara ini dapat dipakai pada lereng yang ketinggiannya terbatas, yaitu kelongsoran yang bersifat “*rational slide*”.

Cara analisis kestabilan lereng banyak dikenal, tetapi secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu: cara pengamatan visual, cara komputasi dan cara grafik (Panglur, 1985), pada penelitian ini yang digunakan adalah metode komputasi dengan Metode *Bishop*, *Janbu*, *Fellenius/Ordinary*, dan *Morgenstern Price*.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang dilakukan dan studi-studi yang menyeluruh tentang keruntuhan lereng, maka dibagi 3 kelompok rentang Faktor Keamanan (F) ditinjau dari intensitas kelongsorannya dapat dilihat pada tabel 2 (Bowles, 1989).

Tabel 2. Hubungan Nilai Faktor Keamanan Lereng dan Intensitas Longsor (Bowles, 1989)

Nilai Faktor Keamanan	Kejadian/Intensitas Longsor
F kurang dari 1,07	Longsor terjadi biasa/sering (lereng labil)
F antara 1,07 sampai 1,25	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
F diatas 1,25	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

Dalam menganalisis stabilitas lereng kita dapat menggunakan beberapa bantuan perangkat lunak seperti *Geostudio Slope/W 2007*. *Geostudio* merupakan perangkat lunak di bidang geoteknik yang dikembangkan dari Kanada. Dalam penelitian ini program ini dipakai untuk menganalisa stabilitas lereng. Dalam menganalisa stabilitas lereng pada perangkat lunak tersebut kita menggunakan menu *SLOPE/W*, adapun metode yang digunakan di dalam program ini adalah Metode *Limit Equilibrium*.

3. METODE PENELITIAN

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini yaitu menggunakan data sekunder. Data sekunder yang digunakan berupa data hasil uji tanah (indeks properti tanah) pada lokasi penelitian di laboratorium mekanika tanah.

Indeks properti tanah yang didapatkan dari *Unconsolidated Undrained Triaxial Test*. Pada Tabel 3 berikut ini merupakan data-data yang dibutuhkan untuk analisis kestabilan lereng dengan menggunakan Program *GeoStudio SLOPE/W 2007*, antara lain kohesi tanah (c), sudut geser tanah (ϕ), berat tanah jenuh (γ_{sat}), dan berat tanah kering (γ_d).

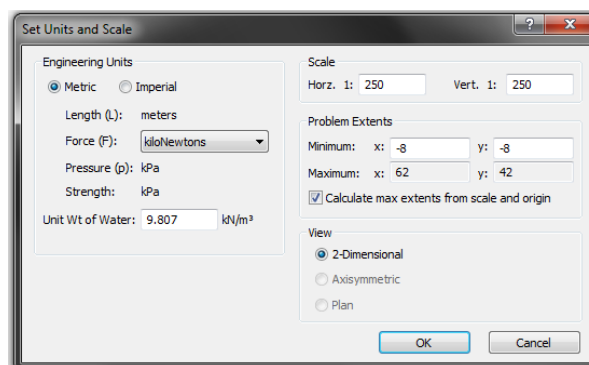
Tabel 3. Data yang Diperoleh dari Uji Laboratorium

Tinggi Lapisan Tanah (m)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)	γ_{sat} (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)
0 – 9	0,15	27	1,55	1,05
9 – 18	0,21	23	1,61	1,12
18 – 25	0,32	28	1,82	1,57

Selanjutnya mensimulasikan lima bentuk potongan melintang pada kondisi jenuh, kondisi setengah jenuh, dan kondisi tidak jenuh dengan perbedaan sudut kemiringan lereng di masing-masing simulasi. Simulasi disesuaikan dengan kondisi asli di lapangan (tinggi dan lebar lereng) yang selanjutnya akan dianalisis menggunakan program *Geostudio Slope/W 2007*.

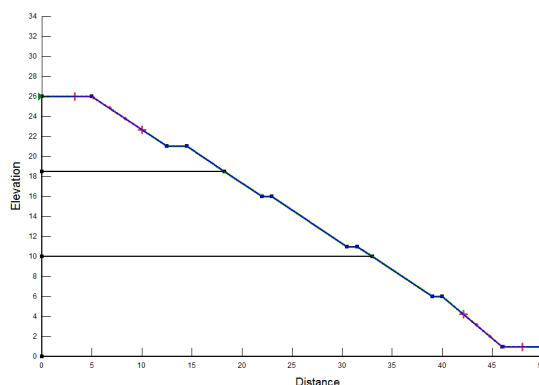
3.1 Menganalisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program *GeoStudio SLOPE/W 2007*

Setelah mendapatkan data tanah dan membuat simulasi potongan melintang dilakukan analisis menggunakan program *GeoStudio Slope/W 2007*. Langkah awal adalah membuka program *GeoStudio* lalu memilih menu *Slope/W* lalu mengatur lembar halaman kerja seperti mengatur skala, *unit*, dan *grid* seperti terlihat pada gambar 1.



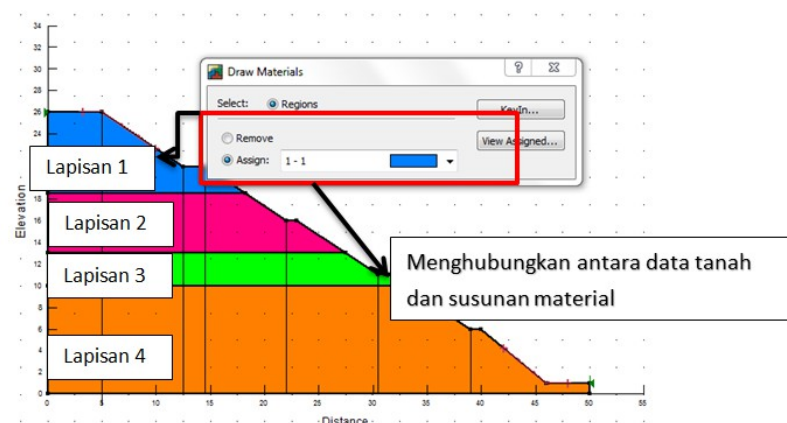
Gambar 1. Pengaturan Lembar Kerja

Selanjutnya menggambarkan bentuk simulasi potongan melintang melalui menu *Draw-line* ke dalam program, lalu dibagi sesuai dengan lapisan data tanah yang dimiliki menggunakan menu *Draw-Regions* seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Menggambarkan Simulasi Potongan Melintang pada Program

Memasukan data-data material pada masing masing lapisan tanah yang dibutuhkan dari uji laboratorium pada menu *KeyIn-Materials*, lalu mensubstitusikannya pada masing-masing lapisan. Hal yang perlu diperhatikan adalah saat mensubstitusikan data material pada lapisan tanah harus menyesuaikan pada jenis ko'ndisi simulasi, perbedaannya adalah di data berat isi tanah apabila lapisan tanah berada di bawah muka air tanah data yang dimasukan adalah γ_{sat} , dan apabila lapisan tanah diatas muka air tanah maka data yang dimasukan adalah γ_d selebihnya data material lainnya tidak dipengaruhi tinggi muka air/kondisi simulasi. Mensubstitusikan data material dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Menghubungkan antara Data Tanah dan Susunan Material

Menggambar tinggi muka air tanah sesuai dengan kondisi 4 analisis yaitu, kondisi jenuh, kondisi setengah jenuh, kondisi tidak jenuh, dan kondisi kritis. Langkah selanjutnya adalah menggambar *Slip Surface-Entry and Exit* untuk mengetahui rentang kemungkinan bidang gelincir yang terjadi pada hasil akhir analisis dan mengecek data dan gambar yang kita buat apakah sudah benar atau belum melalui menu verifikasi, apabila tidak terjadi kesalahan (*error*) sama sekali pada keterangan hasil verifikasi maka potongan lereng yang kita modelkan dapat langsung dianalisis.

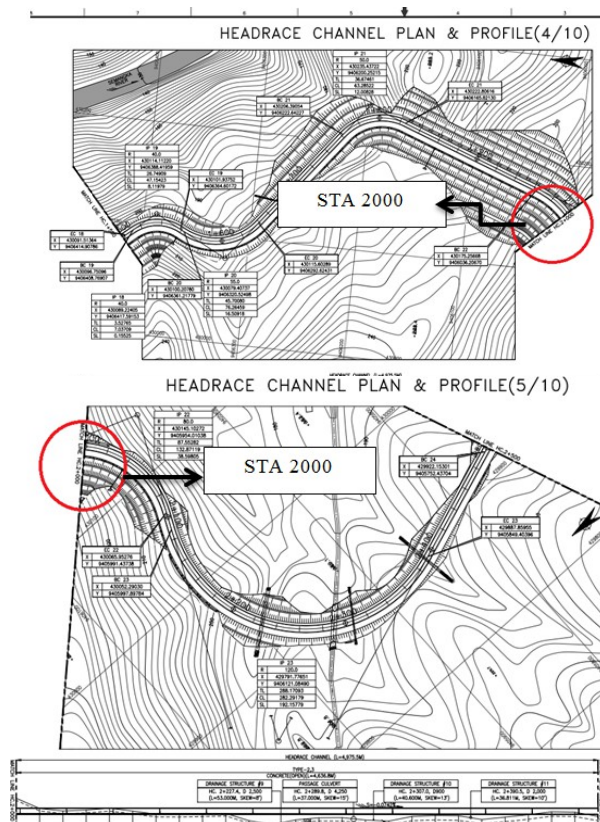
Langkah terakhir adalah menganalisis lereng yang telah dimodelkan dengan menggunakan *Solve Analyses* untuk mendapatkan nilai faktor aman dan data data lainnya pada setiap *Slice Slip Surface*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Klasifikasi jenis tanah pada penelitian ini menggunakan system klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS). Dapat diklasifikasikan jenis tanah pada lokasi tanah sebagai berikut:

- Tanah lolos saringan No.200 < 50%, tanah tergolong berbutir kasar.
- Pasir > 50% fraksi kasar lolos saringan No.4, tanah tergolong ke substansi pasir.
- Kondisi tanah di lokasi penelitian bukan tergolong pasir bersih melainkan pasir bercampur dengan butiran halus.
- Indeks Plastisitas (PI) pada tanah di lokasi penelitian yaitu 14,77, karena nilai PI > 7 maka jenis tanah di lokasi penelitian yang diklasifikasikan pada substansi *Sandy Clay* (SC) atau lempung berpasir (campuran lempung -pasir).

Peta kontur yang menggambarkan sebagian bentuk tampak atas dari lereng yang ditinjau pada penelitian ini dengan menggunakan garis-garis kontur.



Gambar 4. Kontur Lokasi Penelitian.

Setelah mendapatkan potongan melintang lereng dari kontur pada lokasi penelitian, maka potongan melintang lereng dimodifikasi sudut kemiringannya untuk menentukan potongan melintang lereng yang paling aman/stabil.

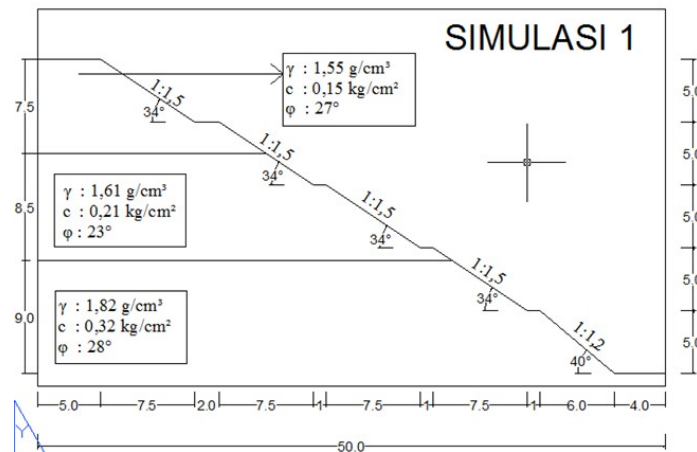
Berdasarkan hasil pengamatan lereng di lokasi penelitian, maka didapatkan karakteristik lereng tinjauan sebagai berikut:

- Tinggi lereng = 25 meter
- Lebar lereng = 50 meter
- Sudut lereng = 34° - 40°

4.1 Bentuk Simulasi Potongan Melintang Lereng

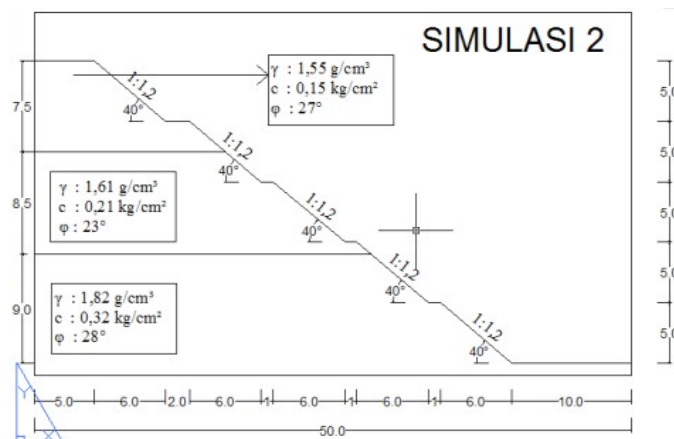
Bentuk 5 potongan melintang yang diasumsikan memiliki perbedaan sudut kemiringan lerenglah yang menjadi simulasi bentuk potongan melintang pada penelitian ini.

- Bentuk simulasi potongan melintang 1 memiliki sudut kemiringan lereng pada 40° pada dasar lereng dan 34° pada kemiringan lainnya. Berikut ini adalah bentuk potongan melintang lereng pada simulasi 1:



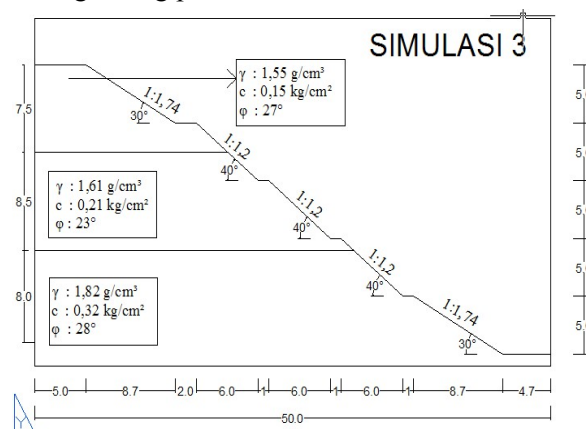
Gambar 5. Simulasi Potongan Melintang 1

- b. Sudut kemiringan lereng simulasi 2 adalah 40°. Berikut ini adalah bentuk potongan melintang lereng pada simulasi 2 :



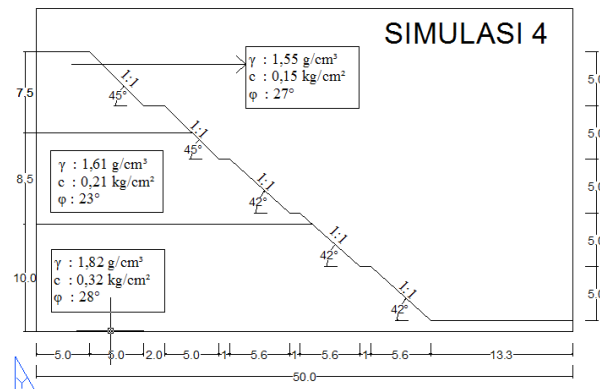
Gambar 6. Simulasi Potongan Melintang 2

- c. Sudut kemiringan lereng simulasi 3 antara 30°-40°. Berikut ini adalah bentuk potongan melintang lereng pada simulasi 3:



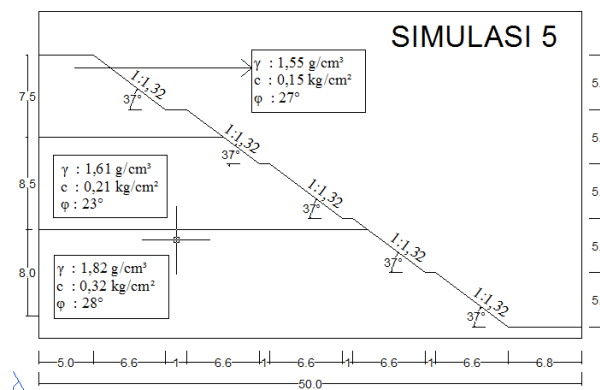
Gambar 7. Simulasi Potongan Melintang 3

- d. Sudut kemiringan lereng simulasi 4 antara 42° - 45° . Berikut ini adalah bentuk potongan melintang lereng pada simulasi 4 :



Gambar 8. Simulasi Potongan Melintang 4

- e. Sudut kemiringan lereng simulasi 5 adalah 37° . Berikut ini adalah bentuk potongan melintang lereng pada simulasi 5 :



Gambar 9. Simulasi Potongan Melintang 5

4.2 Kondisi Muka Air Tanah pada Analisis Stabilitas Lereng

Dilakukan analisis untuk mencari nilai faktor aman pada 4 kondisi berbeda, yaitu kondisi jenuh, kondisi setengah jenuh, kondisi tidak jenuh, dan kondisi kritis. Berikut ini merupakan penjelasan pada setiap kondisi :

- Kondisi jenuh merupakan kondisi tinggi muka air tanah (MAT) dianggap mengikuti tinggi maksimal potongan melintang lereng.
- Kondisi setengah jenuh merupakan kondisi dimana tinggi muka air (MAT) dianggap setengah dari tinggi total lereng yaitu di ketinggian 12,5 m dari dasar lereng.
- Kondisi tidak jenuh merupakan kondisi dimana tinggi muka air dianggap terletak pada dasar lereng.
- Sedangkan Kondisi kritis adalah kondisi ketinggian muka air maksimal yang dapat diterima lereng, tetapi lereng tetap dalam kondisi stabil, atau dengan kata lain nilai faktor aman mendekati 1,25. Tinggi muka air kritis didapatkan dari metode *trial and error* pada program.

4.3 Nilai Faktor Aman dari Hasil Analisis Program

Setelah melakukan penggambaran dan memasukan data pada setiap lapisan lereng serta menganalisisnya seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, maka hasil dari analisis program *GeoStudio Slope/W 2007* adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Nilai Faktor Aman

Kondisi	MAT (m)	Simulasi	Angka Keamanan				Status
			<i>Ordinary</i>	<i>Bishop</i>	<i>Janbu</i>	<i>Morgenstern</i>	
Jenuh	25	1	0,771	0,961	0,813	0,978	Tidak Aman
		2	0,701	0,89	0,739	0,901	Tidak Aman
		3	0,7	0,896	0,748	0,92	Tidak Aman
		4	0,653	0,849	0,679	0,862	Tidak Aman
		5	0,698	0,903	0,748	0,919	Tidak Aman
Setengah Jenuh	12,5	1	1,277	1,384	1,288	1,378	Aman
		2	1,153	1,251	1,189	1,255	Tidak Aman
		3	1,216	1,322	1,227	1,328	Tidak Aman
		4	1,117	1,194	1,133	1,2	Tidak Aman
		5	1,209	1,313	1,214	1,317	Tidak Aman
Tidak Jenuh	0	1	1,951	2,025	1,889	2,026	Aman
		2	1,83	1,924	1,761	1,92	Aman
		3	1,906	1,999	1,823	2,002	Aman
		4	1,688	1,78	1,62	1,776	Aman
		5	1,859	1,829	1,787	1,928	Aman
Kritis	13,9	1	1,252	1,352	1,266	1,364	Aman
	11,6	2	1,252	1,333	1,272	1,336	Aman
	12,1	3	1,253	1,355	1,258	1,36	Aman
	10,7	4	1,251	1,321	1,25	1,322	Aman
	12,25	5	1,251	1,355	1,253	1,359	Aman

Pada kondisi jenuh semua bentuk simulasi tergolong pada lereng tidak aman. Pada kondisi setengah jenuh hanya simulasi 1 yang berstatus aman, sedangkan pada kondisi tidak jenuh seluruh simulasi tergolong pada lereng yang stabil. Ketinggian muka air pada kondisi kritis yang tertinggi adalah pada simulasi 1 yaitu 13,9 m dan yang terendah adalah pada simulasi 4 yaitu 10,7 m.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil analisis stabilitas lereng adalah sebagai berikut :

- Hasil analisis program *GeoStudio Slope/W 2007* dengan menggunakan 4 metode analisis yaitu *Ordinary*, *Bishop*, *Janbu* dan *Morgenstern Price* didapatkan nilai faktor aman yang berbeda, metode *Morgenstern Price* dan metode *Bishop* memiliki nilai faktor aman yang cenderung sama dan lebih besar dibandingkan metode *Ordinary* dan metode *Janbu* yang cenderung memiliki faktor aman yang lebih kecil.
- Bentuk potongan melintang lereng pada simulasi 1 merupakan bentuk dengan nilai faktor aman/tingkat kestabilan tertinggi dibandingkan dengan simulasi lainnya.

- c. Pada kondisi kritis simulasi 1 muka air tanahnya yaitu 13,9 m, ketinggian ini merupakan nilai terbesar dibanding simulasi lainnya.
- d. Sudut kemiringan lereng dan tinggi muka air tanah sangat berpengaruh terhadap hasil nilai faktor aman lereng.
- e. Dengan karakteristik dari tanah lempung berpasir yang sangat keras/kaku pada kadar air rendah dan sangat lunak/mudah berubah bentuk pada kadar air yang tinggi, hal ini sesuai dengan hasil analisis yang menunjukkan lereng tergolong stabil pada kondisi tidak jenuh (kering), sedangkan kondisi jenuh lereng tergolong tidak stabil/tidak aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E., 1989, *Sifat-sifat Fisik & Geoteknis Tanah*, Erlangga, Jakarta.
- Craig, R.F., 1989, *Mekanika Tanah*, Erlangga. Jakarta.
- Das, Braja M., 1995, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Erlangga, Surabaya.
- Hardiyatmo, H.C., 2006, *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hendarsin, Shirley L., 2000, *Perencanaan Teknik Jalan Raya*, Politeknik Negeri Bandung, Bandung.
- Panglar, J.V., 1985, *Petunjuk Penyelidikan & Penanggulangan Gerakan Tanah*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Putri, Haninda dkk., 2014, *Aplikasi Software GeoStudio SLOPE/W 2007 Untuk Analisis Penyebab Kelongsoran di Perumahan Royal Sigura-Gura Malang*, Universitas Brawijaya, Malang.
- Skempton, dan Hutchinson, 1969, *Stability of Natural Slope and Embankment Foundations*, In Slope Stability and Stabilization Methods, New York.
- Swanston, dan Swanson, 1980, *Klasifikasi longsor*, SOP Perhutani, Jakarta.
- Wesley, Laurence D., 2012, *Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan dan Residu*, Andi, Yogyakarta.