

Pengaruh Perilaku Tinggi Muka Air Tanah dengan Variasi Kemiringan Lereng Terhadap Stabilitas Lereng Berbasis Pemodelan Numerik

Pangeran Holong Sitorus^(*)

Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma
Jalan Margonda Raya No. 345c, E-mail : pangeransitorus1@gmail.com

Sri Wulandari

Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Gunadarma
Jalan Margonda Raya No. 345c, E-mail : sri_wulandari@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak

Masalah stabilitas lereng cukup umum dan tersebar luas di banyak proyek teknik sipil. Banyak kasus kelongsoran lereng alami yang disebabkan oleh faktor air, seperti air di permukaan maupun aliran air di dalam tanah. Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk membuktikan pengaruh tinggi muka air tanah terhadap stabilitas lereng berbasis pemodelan numerik dengan meninjau nilai faktor keamanan lereng. Penelitian ini dilakukan dengan memodelkan tiga lereng dengan kemiringan yang berbeda menggunakan data tanah masing-masing sebagai Mohr-Coulomb Model dan Soft Soil Model dengan membuat variasi tinggi muka air tanah pada software Plaxis. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah adanya kenaikan nilai faktor keamanan Mohr-Coulomb Model sebesar 1,20 pada lereng Cipendawa, 0,97 pada lereng Semarang dan 1,36 pada lereng Tangerang Selatan sedangkan untuk Soft Soil Model terjadi kenaikan sebesar 1,07 pada lereng Cipendawa, 0,91 pada lereng Semarang dan 1,26 pada lereng Tangerang Selatan. Kenaikan nilai faktor keamanan ini ditinjau dari kondisi muka air tanah 0,5 meter sampai 5,5 meter. Adanya perubahan muka air tanah mempengaruhi nilai faktor keamanan dikarenakan tekanan air pori dapat menimbulkan gaya angkat dan dapat menurunkan kekuatan suatu massa tanah atau batuan penyusun lereng tersebut.

Kata-kata Kunci: Muka air tanah, faktor keamanan, mohr-coulomb model, soft soil model.

Abstract

Slope stability problems are quite common and wide-spread in many civil engineering projects. Many cases of slope failure are caused by groundwater or underground water flow. The aim of this paper is to ensure the effect of groundwater level on slope stability based on numerical modeling by focusing on the value of the safety factor. This paper was conducted by modeling slopes from three different locations which have various angles of inclination using its soil data as Mohr-Coulomb Model and Soft Soil Model by varying the groundwater level in Plaxis. The results obtained from this study is an increment in safety factor value by 1,20 on the slope of Cipendawa, 0,97 on the slope of Semarang and 1,36 on the slope of South Tangerang using Mohr-Coulomb Model. The results generated from Soft Soil Model are safety factor value increment by 1,07 on Cipendawa, 0,91 on Semarang and 1,26 on South Tangerang. The increment of safety factor is being analyzed from the groundwater level fluctuations from 0.5 meters to 5.5 meters. The groundwater level fluctuation could affect the safety factor value because pore water pressure cause lifting and shall reduce the strength of soil mass of the slope.

Keywords: Groundwater level, safety factor, mohr-coulomb model, soft soil model.

1. Pendahuluan

Lereng merupakan suatu permukaan tanah yang memiliki kemiringan dan membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal dan tidak terlindungi (Das, 1998). Lereng biasanya terdapat di tepi jalan maupun di tebing sungai. Tebing yang berada di tepi sungai apabila lokasinya tidak jauh dari muara, maka akan dipengaruhi juga oleh fluktuasi muka air tanah, dan hal ini dapat menyebabkan terganggunya stabilitas lereng di tebing tersebut. Stabilitas lereng merupakan hal

penting dalam ilmu geoteknik, karena apabila stabilitas lereng terganggu maka lereng rentan terhadap kelongsoran.

Kestabilan lereng di tebing sungai yang dipengaruhi fluktuasi tinggi muka air tanah perlu diperhatikan agar tidak mengalami kelongsoran yang dapat mengakibatkan banyak kerugian, seperti kerusakan struktur bangunan hingga korban jiwa. Lokasi sungai yang terpengaruh fluktuasi tinggi muka air tanah tidak hanya di dekat muara laut, akan tetapi jika kemiringan

* Penulis Korespondensi

sungai landai, fluktuasi muka air tanah pun akan mempengaruhi hingga ke daerah hulu contohnya seperti sungai-sungai besar di Kalimantan dan Sumatera. Oleh karena itu telah diteliti stabilitas lereng di tebing sungai yang dipengaruhi fluktuasi tinggi muka air tanah dengan cara pendekatan numerik.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Chairy dkk (2018), air tanah dapat mempengaruhi kestabilan lereng dan dapat menyebabkan terjadinya longsor. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh kedalaman muka air tanah sehingga lereng tetap dalam keadaan stabil. Analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*) dengan cara Bishop. Pada lereng dengan ketinggian 9 meter dan lebar 44,8 meter dengan sudut kemiringan lereng 63° didapat kenaikan nilai faktor keamanan sebesar 0,645 atau sebesar 45,48%.

Penelitian yang dilakukan oleh Sungkar dkk (2020) *Slope Stability Analysis Using Bishop and Finite Element Methods* mengenai stabilitas lereng menggunakan metode Bishop dan *software* 2D Plaxis pada Ruas jalan Meulaboh-Geumpang Kecamatan Sungai Mas Kabupaten Aceh Barat. Hasil yang didapat bahwa faktor keamanan yang diperoleh untuk kondisi eksisting dengan menggunakan metode Bishop sebesar 1,08 sedangkan menggunakan 2D Software Plaxis faktor keamanannya adalah 1,10. Selisih hasil faktor keamanan yang didapat hanya 0,02 sehingga *software* Plaxis dapat digunakan untuk menunjang perhitungan stabilitas lereng.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Sompie dkk (2018) didapatkan nilai faktor keamanan terbesar adalah 1,59 pada tinggi muka air tanah 10 meter dan faktor keamanan terkecil adalah 1,20 pada tinggi muka air tanah 2 meter menggunakan model material Mohr-Coulomb. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh dari tinggi muka air tanah terhadap stabilitas lereng.

Penelitian yang dilakukan oleh Liang (2012) tentang Analisis Stabilitas Lereng *Limit Equilibrium vs Finite Element Method* menjelaskan dalam analisa stabilitas lereng terdapat dua metode yang dipakai yaitu metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*) dan metode elemen hingga (*finite element method*). Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan nilai Faktor Keamanan berdasarkan kedua metode tersebut dan memilih metode yang lebih tepat untuk digunakan dalam analisis stabilitas lereng serta hasilnya paling mendekati kondisi di lapangan.

Penelitian yang dilakukan oleh Khanmohammadi (2014) *The Effect of Water Level on The Stability of Slopes* menyelidiki efek air pada stabilitas lereng. Berdasarkan pemodelan dari penelitian ini, untuk kemiringan menggunakan metode elemen hingga. Hasil yang diperoleh yaitu air dapat mempengaruhi faktor keamanan lereng jika permukaan air naik dan masuk ke bagian lereng yang retak.

Pada umumnya dalam menganalisis stabilitas lereng di tebing sungai, analisis deformasi dan analisis aliran

dalam tanah dilakukan secara terpisah. Sedangkan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan analisis ganda, dimana analisis deformasi dan analisis aliran dalam tanah akibat tinggi muka air sungai diperhitungkan secara bersamaan menggunakan metode elemen hingga. Penelitian ini akan didesain menggunakan program Plaxis.

Penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisis pengaruh perilaku tinggi muka air tanah dengan variasi kemiringan lereng terhadap stabilitas lereng dengan bantuan program Plaxis. Hal yang mendasari penelitian ini yaitu adanya tekanan air pori yang bersumber dari fluktuasi tinggi muka air tanah yang terjadi pada lereng. Pemodelan lereng dilakukan pada lokasi sekitar sungai dengan nilai tinggi muka air tanah yang telah didapat dari data penyelidikan tanah di lapangan dan divariasikan pada kedalaman 0,5 meter sampai 5,5 meter pada program Plaxis dan data tanah serta geometri lereng yang berbeda sehingga dapat dianalisa pengaruh tinggi muka air tanah terhadap stabilitas lereng dengan beberapa kondisi tinggi muka air tanah. Hasil yang diharapkan adalah didapatkan pengaruh tinggi muka air tanah dan kemiringan sudut terhadap nilai faktor keamanan suatu lereng.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Stabilitas lereng

Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring dinamakan analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas pada umumnya untuk memeriksa keamanan dari suatu lereng, baik lereng alami, lereng galian maupun lereng urugan tanah. Hal-hal yang paling berpengaruh dalam kestabilan lereng adalah sebagai berikut:

1. Kuat geser tanah, kuat geser tanah bergantung pada gaya perlawanan atau gerakan relatif yang dapat dikeluarkan oleh butiran tanah terhadap dorongan atau tarikan. Das (1998) menyatakan bahwa tanah yang padat dengan *interlocking* dan kontak antar butiran yang tinggi, lebih besar kekuatan gesernya dari tanah lepas.
2. Geometri lereng, pengaruh gravitasi mengakibatkan permukaan tanah yang tidak horizontal atau kemiringan lereng berpotensi mengalami pergerakan. Semakin besar sudut kemiringan lereng maka semakin besar gaya dorong yang disebabkan meningkatnya tegangan geser. Hal ini berbanding terbalik dengan tegangan normal yang berperan sebagai gaya penahan.
3. Tekanan air pori atau gaya rembesan, kenaikan tekanan air pori di sekitar bidang longsor dapat mereduksi tegangan efektif, sehingga mengurangi kuat geser tanah. Kuat geser tanah di lapangan bergantung pada kadar airnya. Oleh karena itu, jika kadar air (atau tekanan air pori) bertambah, maka kuat geser turun. Kenaikan muka air tanah juga berpengaruh pada kecepatan gerak massa tanah. Hal ini sebanding dengan meningkatnya kadar air sehingga tanah menjadi jenuh, sehingga menyebabkan berkurangnya kuat geser rata-rata.

4. Kondisi pembebanan dan lingkungan, beban yang berpengaruh pada lereng terdiri dari beban internal yang berasal dari volume serta berat jenis tanah dan batuan itu sendiri, sedangkan beban eksternal terdiri dari beban statik dan dinamis menjadi tambahan beban yang dapat menambah potensi gerakan tanah.

Tanah kohesif seperti lempung, lempung kelanauan, lempung kepasiran atau berkerikil, kuat gesernya ditentukan terutama dari nilai kohesinya. Keruntuhan lereng pada tanah kohesif banyak terjadi karena meningkatnya kadar air tanah. Longsoran terjadi karena tidak adanya kuat geser tanah yang cukup untuk menahan gerakan tanah pada bidang longsornya.

2.2 Muka air tanah

Pengamatan muka air tanah perlu direncanakan dengan baik sehingga diperoleh profil muka air tanah yang akurat. Banyak kasus kelongsoran lereng tanah dan batuan yang disebabkan oleh faktor air, baik air di permukaan maupun aliran air di dalam tanah. Adanya air di dalam lereng menyebabkan menurunnya tegangan efektif akibat tekanan air pori yang meningkat sehingga menyebabkan turunnya kekuatan geser tanah atau massa batuan (Johansson, 2014). Adanya air tanah dapat juga menambah gaya-gaya yang menyebabkan ketidakstabilan karena bertambahnya berat tanah atau massa batuan maupun timbulnya gaya yang diakibatkan oleh aliran air di dalam lereng.

Longsoran merupakan gerakan massa tanah pembentuk lereng yang diakibatkan oleh terjadinya keruntuhan geser di sepanjang satu atau lebih bidang longsor. Longsoran lereng terjadi akibat dari proses-proses yang menyebabkan kenaikan tegangan geser atau berkurangnya kuat geser tanah. Variabel utama gaya-gaya yang menyebabkan gerakan tanah adalah sudut kemiringan bidang longsornya. Semakin besar sudut kemiringannya, semakin besar pula potensi longsornya.

2.3 Metode Elemen Hingga

Pada metode elemen hingga atau *finite element method*, tidak dilakukan asumsi bidang longsor. Faktor keamanan dicari dengan mencari bidang lemah pada struktur lapisan tanah. Faktor keamanan didapatkan dengan cara mengurangi nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam tanah (ϕ) secara bertahap hingga tanah mengalami keruntuhan.

Beberapa keuntungan yang terkenal dari analisis elemen hingga dalam stabilitas lereng dirangkum seperti berikut ini. Keuntungan utama dibandingkan dengan membatasi metode keseimbangan menurut Griffiths dan Lane (1999) yaitu:

1. Tidak ada asumsi yang harus dibuat mengenai bentuk atau lokasi permukaan lereng yang longsor
2. Karena tidak ada konsep irisan dalam pendekatan elemen hingga tidak ada kebutuhan untuk asumsi tentang kekuatan bidang gelincir lereng. Metode elemen hingga memenuhi kesetimbangan sampai "kegagalan" tercapai.

3. Jika data kompresibilitas tanah tersedia, solusi elemen hingga akan memberikan informasi tentang deformasi pada tingkat tegangan yang bekerja.

2.4 Plaxis

Pada Plaxis adalah memungkinkan untuk mereduksi c dan $\tan \phi$ pada proporsi yang sama, sehingga dapat diperoleh persamaan berikut:

$$\sum MSF = \frac{c}{c_{\text{reduced}}} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_{\text{reduced}}} \quad (1)$$

dengan:

$$\sum MSF = \text{faktor keamanan}$$

c_{reduced} dan ϕ_{reduced} = nilai c dan ϕ terendah yang didapat pada saat program Plaxis mengatakan tanah mengalami keruntuhan (*soil body collapse*). Pada program Plaxis metode ini disebut *Phi-c reduction*.

Proses reduksi parameter tanah ini akan berlangsung sampai terjadi keruntuhan. Angka keamanan yang telah dikalkulasikan oleh program Plaxis dapat dilihat pada kurva $\sum -Msf$ vs *displacement* yang terdapat pada *option Load Displacement Curves* berdasarkan titik-titik referensi yang telah dimasukkan dalam input data. Nilai angka keamanan dari perhitungan tersebut adalah bila kurva sudah mencapai kondisi *steady state*. Harga-harga $\sum -Msf$ sebelum mencapai kondisi *steady state* tidak memiliki arti fisik berarti, karena harga-harga tersebut hanya digunakan untuk proses numerik.

Perilaku tanah dan batuan dimodelkan berdasarkan persamaan Mohr-Coulomb. Persamaan ini menyatakan bahwa adanya kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser yang terjadi pada suatu material akan mengakibatkan keruntuhan. Keruntuhan geser terjadi pada suatu bidang lereng ketika mencapai syarat batas sebagaimana yang telah dirumuskan. Model ini digunakan untuk menghitung faktor keamanan dengan pendekatan Reduksi Phi-c. Kelongsoran jarang terjadi jika nilai faktor keamanan lebih dari atau sama dengan 1,25 (Bowles, 1984). Nilai faktor keamanan terhadap bidang longsor dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Pada pemodelan material Mohr-Coulomb terdapat 5 parameter penting yaitu modulus elastisitas (E) dan poisson ratio (ν) untuk elastisitas tanah, sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (c) untuk plastisitas tanah dan sudut dilatasi tanah (ψ). Pemodelan Mohr-Coulomb menggunakan pendekatan yang mendekati perilaku mekanis pada tanah.

Pemodelan *Soft Soil* sangat efektif jika digunakan pada tanah lunak. Pada pemodelan *Soft Soil*, terdapat dua parameter penting yaitu lamda dan kappa. Nilai lamda dan kappa merupakan hasil korelasi antara regangan

Tabel 1. Nilai faktor keamanan terhadap bidang longsor

Faktor Keamanan	Keterangan
$FK \leq 1,07$	Longsor sering terjadi
$1,07 < FK < 1,25$	Longsor dapat terjadi
$FK \geq 1,25$	Longsor jarang terjadi

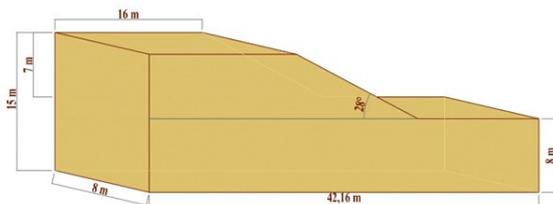
volumetrik dengan logaritma natural dari tegangan efektif rata-rata (Jin, 2007). Nilai lamda didapatkan dengan cara membagikan nilai *swelling ratio* dengan nilai angka pori. Sedangkan nilai kappa didapatkan dengan cara membagikan nilai *compression ratio* dengan nilai angka pori. Pemodelan yang dapat dilakukan menggunakan *Soft Soil Model* adalah menentukan kekakuan yang berubah bersama dengan tegangan (*Stress Dependent Stiffness*), membedakan pembebanan primer (*primary loading*) terhadap *unloading - reloading*, mengingat tegangan pra-konsolidasi, dan menentukan kriteria keruntuhan sesuai dengan teori Mohr-Coulomb.

3. Data dan Metode Penelitian

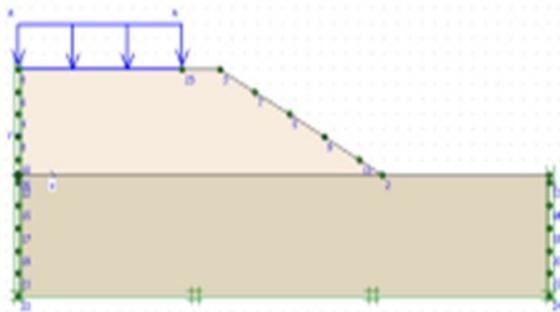
Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode penelitian berbasis pemodelan tiga lereng dengan sudut kemiringan yang berbeda yaitu lereng Cipendawa dengan sudut kemiringan sebesar 28°, lereng Semarang sudut kemiringan sebesar 60° dan lereng Tangerang Selatan dengan sudut kemiringan sebesar 45°. Ketiga lereng tersebut memiliki nilai parameter tanah yang berbeda tetapi merupakan tanah kohesif. Pemodelan dilakukan dengan membuat simulasi muka air tanah berdasarkan kondisi eksisting tiap lereng dan variasi kedalaman muka air tanah dengan rentang 0,5 sampai 5,5. Pemodelan lereng dapat dilihat pada **Gambar 1**, **Gambar 2**, **Gambar 3** dan **Gambar 4**.

Berdasarkan kondisi eksisting lereng yang ada di lokasi penelitian, didapat data geometri lereng seperti di bawah ini:

- Tinggi lereng Cipendawa (H) : 7 meter
- Lebar lereng Cipendawa (l) : 8 meter
- Sudut kemiringan lereng : 28°
- Tinggi lereng Semarang (H) : 14 meter



Gambar 1. Geometri lereng Cipendawa

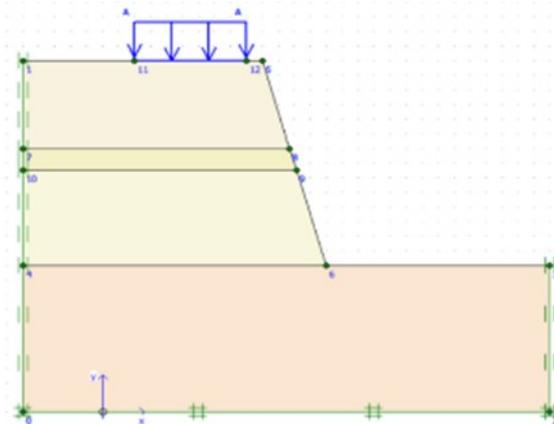


Gambar 2. Pemodelan lereng Cipendawa pada plaxis

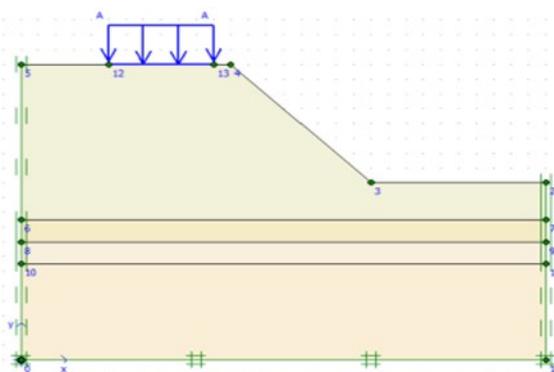
- Lebar lereng Semarang (l) : 12 meter
- Sudut kemiringan lereng : 60°
- Tinggi lereng Tangerang Selatan (H) : 8 meter
- Lebar lereng Tangerang Selatan (l) : 11 meter
- Sudut kemiringan lereng : 45°
- Beban : 10 kPa (berdasarkan SNI 8460:2017)

Berdasarkan data geometri lereng dengan spesifikasi seperti gambar di atas, dilakukan pemodelan berbasis Mohr-Coulomb model dan *Soft Soil* model dengan menggunakan data tanah dari tiga lokasi yang berbeda yaitu data tanah Cipendawa, Semarang dan Tangerang Selatan. Berdasarkan parameter tanah yang didapat dari data laboratorium, ketiga lokasi tersebut memiliki jenis tanah yang sama yaitu lempung kelanauan selain itu pada lokasi Semarang dapat dikategorikan sebagai tanah lunak. Muka air tanah aktual yang didapat dari data lapangan untuk lokasi Cipendawa adalah 3,5 meter, untuk lokasi Semarang adalah 0,5 meter dan untuk lokasi Tangerang Selatan adalah 2,6 meter.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode elemen hingga (*finite element method*) dengan bantuan program Plaxis untuk analisis stabilitas lereng. Pemodelan dilakukan menggunakan Mohr-Coulomb model dan *Soft Soil* model dengan memasukkan parameter tanah yang dibutuhkan untuk menganalisis stabilitas lereng selain itu dilakukan variasi terhadap



Gambar 3. Pemodelan lereng Semarang pada plaxis



Gambar 4. Pemodelan lereng Tangerang Selatan pada plaxis

Tabel 2. Parameter tanah mohr-coulomb Cipendawa

No	Kedalaman (m)	Jenis Tanah	MAT (m)	γ (kN/m ³)	Cu (kN/m ²)	ϕ (°)	Eu (kN/m ²)	Poisson Ratio (ν')
1	0,00 – 7,50	Clay	3,50	17,80	30,01	15,80	7502,50	0,00
2	7,50 – 15,00	Silty Clay	3,50	19,60	10,78	30,75	2695,00	0,00

Tabel 3. Parameter tanah mohr-coulomb Semarang

No	Kedalaman (m)	Jenis Tanah	MAT (m)	γ (kN/m ³)	Cu (kN/m ²)	ϕ (°)	Eu (kN/m ²)	Poisson Ratio (ν')
1	0,00 – 6,0	Sand	0,50	16,39	33,10	16,58	8275,00	0,30
2	6,00 – 7,50	Silty Clay	0,50	16,39	33,10	16,58	8275,00	0,00
3	7,50 – 14,00	Silty Clay	0,50	16,39	33,10	16,58	8275,00	0,00
4	14,00 – 24,00	Silty Clay	0,50	15,99	11,20	16,08	2800,00	0,00

Tabel 4. Parameter tanah mohr-coulomb Tangerang Selatan

No	Kedalaman (m)	Jenis Tanah	MAT (m)	γ (kN/m ³)	Cu (kN/m ²)	ϕ (°)	Eu (kN/m ²)	Poisson Ratio (ν')
1	0,00 – 10,50	Silty Clay	2,60	16,41	33,00	27,80	8250,00	0,00
2	10,50 – 12,00	Silty Clay	2,60	14,52	15,00	27,80	3750,00	0,00
3	12,00 – 13,50	Silty Clay	2,60	14,67	15,00	27,80	3750,00	0,00
4	13,50 – 20,00	Sand	2,60	14,67	15,00	27,80	3750,00	0,30

Tabel 5. Parameter tanah *soft soil* tiga lokasi

No	Lokasi	Cc	Cs	e	λ^*	κ^*
1	Cipendawa	0,203	0,034	0,830	0,059	0,020
2	Semarang	0,480	0,070	1,420	0,086	0,012
3	Tangerang Selatan	0,550	0,080	1,930	0,081	0,011

nilai muka air tanah untuk mendapat pengaruh tinggi muka air tanah terhadap stabilitas lereng. *Output* dari penelitian ini berupa nilai Faktor Keamanan.

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan simulasi stabilitas lereng menggunakan Mohr-Coulomb model, parameter yang membedakan dengan model lain adalah modulus elastisitas dan angka poisson yang didapat dari data laboratorium. Pengaruh tinggi muka air tanah terhadap kenaikan nilai faktor keamanan sebesar 1,20 atau 73,93% pada lereng Cipendawa, 0,97 atau 79,62% pada lereng Semarang dan 1,36 atau 75,04% pada lereng Tangerang Selatan. Kenaikan nilai faktor keamanan ini ditinjau dari kondisi muka air tanah 0,5 meter sampai 5,5 meter. Hasil ini dikarenakan tekanan air pori (*pore water pressure*) dapat menimbulkan gaya angkat dan dapat menurunkan kekuatan suatu massa batuan atau tanah penyusun lereng tersebut. Hasil Faktor Keamanan dari pemodelan Mohr-Coulomb dapat dilihat pada **Tabel 6**.

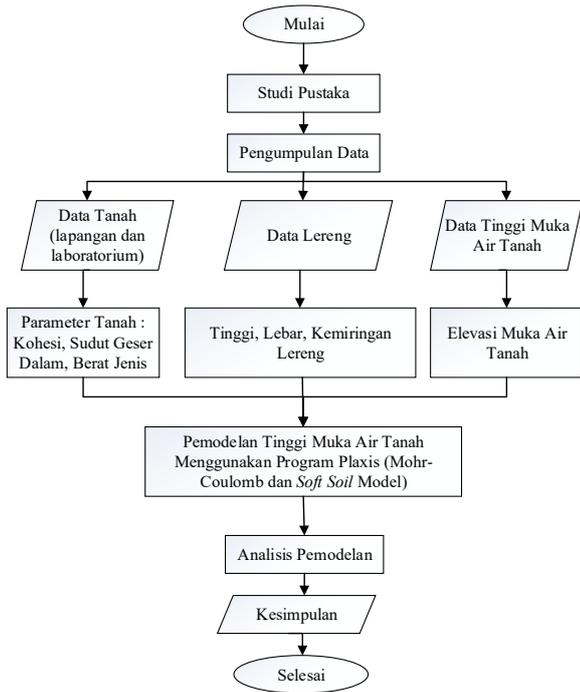
Berdasarkan simulasi stabilitas lereng menggunakan *Soft Soil* model, parameter yang membedakan dengan model lain adalah lamda dan kappa yang didapat dari data laboratorium. Pengaruh tinggi muka air tanah terhadap kenaikan nilai faktor keamanan sebesar 1,07 atau 69,23%

Tabel 6. Nilai faktor keamanan mohr-coulomb model

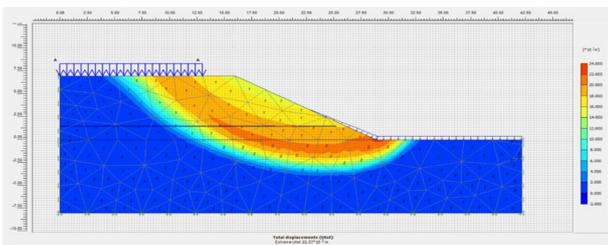
No	Kedalaman MAT (m)	Faktor Keamanan		
		Cipendawa MC	Semarang MC	Tangerang Selatan MC
1	0,5 m	1,62	1,21	1,81
2	1,5 m	1,77	1,38	1,97
3	2,5 m	1,96	1,56	2,24
4	2,6 m	1,99	1,57	2,28
5	3,5 m	2,22	1,86	2,65
6	4,5 m	2,51	1,97	2,77
7	5,5 m	2,82	2,18	3,17

pada lereng Cipendawa, 0,91 atau 76,82 pada lereng Semarang dan 1,26 atau 70,31 pada lereng Tangerang Selatan. Kenaikan nilai faktor keamanan ini ditinjau dari kondisi muka air tanah 0,5 meter sampai 5,5 meter. Hasil ini dikarenakan tekanan air pori (*pore water pressure*) dapat menimbulkan gaya angkat dan dapat menurunkan kekuatan suatu massa batuan atau tanah penyusun lereng tersebut. Hasil Faktor Keamanan dari pemodelan *Soft Soil* dapat dilihat pada **Tabel 8**.

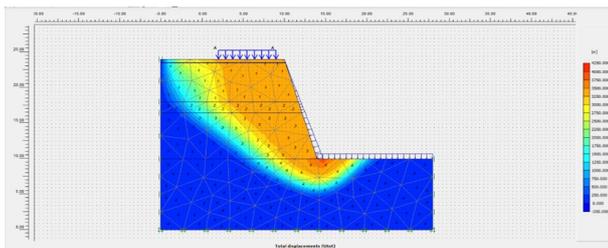
Berdasarkan hasil perbandingan faktor keamanan menggunakan Mohr-Coulomb model dan *Soft Soil*



Gambar 5. Diagram alir penelitian

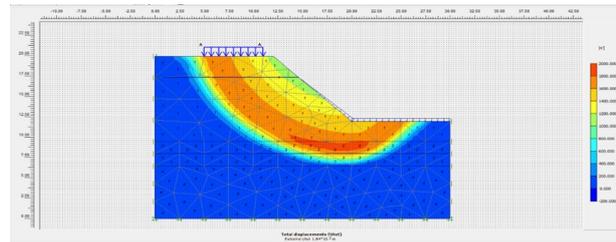


Gambar 6. Stabilitas lereng Cipendawa pada kondisi muka air tanah aktual



Gambar 7. Stabilitas lereng Semarang pada kondisi muka air tanah aktual

model, didapatkan selisih sebesar 0,06 untuk data Semarang, untuk data Cipendawa sebesar 0,13 dan untuk Tangerang Selatan terdapat selisih sebesar 0,10.

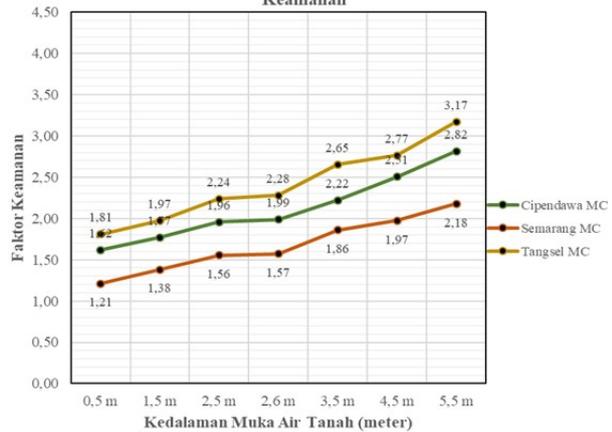


Gambar 8. Stabilitas lereng Tangerang Selatan pada kondisi muka air tanah aktual

Tabel 7. Nilai faktor keamanan mohr-coulomb model

No	Lokasi	Kenaikan FK (%)
1	Cipendawa	73,93
2	Semarang	79,62
3	Tangerang Selatan	75,04

Grafik Pengaruh Tinggi Muka Air Tanah Terhadap Faktor Keamanan



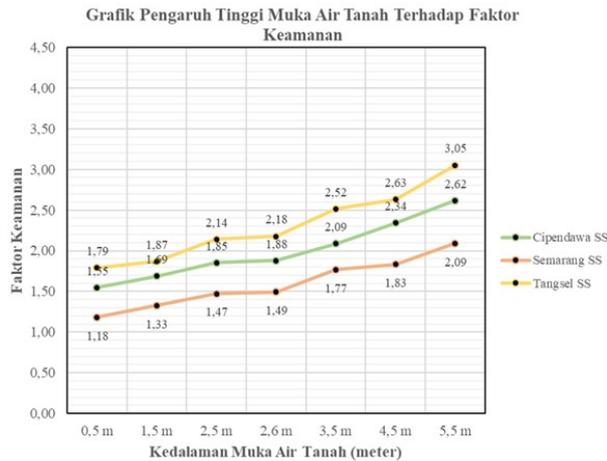
Gambar 9. Grafik pengaruh tinggi MAT terhadap nilai FK mohr-coulomb model

Tabel 9. Nilai faktor keamanan soft soil model

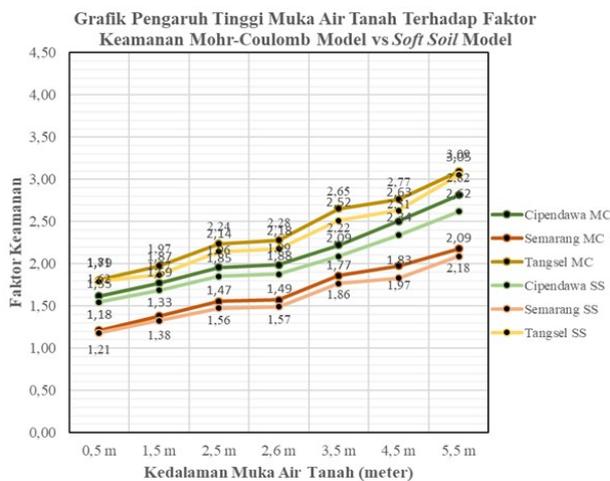
No	Lokasi	Kenaikan FK (%)
1	Cipendawa	69,23
2	Semarang	76,82
3	Tangerang Selatan	70,31

Tabel 8. Nilai faktor keamanan soft soil model

No	Kedalaman MAT (m)	Faktor Keamanan		
		Cipendawa SS	Semarang SS	Tangerang Selatan SS
1	0,5 m	1,55	1,18	1,79
2	1,5 m	1,69	1,33	1,87
3	2,5 m	1,85	1,47	2,14
4	2,6 m	1,88	1,49	2,18
5	3,5 m	2,09	1,77	2,52
6	4,5 m	2,34	1,83	2,63
7	5,5 m	2,62	2,09	3,05



Gambar 10. Grafik pengaruh tinggi MAT terhadap nilai FK soft soil model



Gambar 11. Grafik pengaruh tinggi MAT terhadap nilai FK antara mohr-coulomb model dan soft soil model

Hal ini disebabkan karena data Semarang ditinjau dari jenis tanahnya merupakan tanah lunak dan muka air tanah aktualnya rendah yaitu 0,5 meter sehingga nilai faktor keamanan yang dihasilkan menggunakan pemodelan *Soft Soil* pada Plaxis mendekati keadaan sesungguhnya. Sedangkan berdasarkan data laboratorium, data Tangerang Selatan tidak termasuk dalam jenis tanah lunak sehingga selisih nilai faktor keamanan yang dihasilkan antara Mohr-Coulomb dan *Soft Soil* model menjadi lebih besar.

Berikut adalah grafik perbandingan pengaruh tinggi muka air tanah terhadap faktor keamanan menggunakan Mohr-Coulomb model dan *Soft Soil* model:

Berdasarkan tiga data tanah yang diteliti dari tiga lokasi yang berbeda dengan menggunakan dua tipe model yaitu Mohr-Coulomb dan *Soft Soil* pada program Plaxis menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) dapat disimpulkan bahwa kondisi tinggi muka air tanah mempengaruhi kenaikan nilai faktor keamanan suatu lereng.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil yang didapat dari pengaruh tinggi muka air tanah terhadap kenaikan nilai faktor keamanan pada lereng Cipendawa dengan kemiringan lereng 28° dan tinggi lereng 7 meter adalah sebesar 1,20 atau 73,93% menggunakan Mohr-Coulomb model dan 1,07 atau 69,23% menggunakan *Soft Soil* model.
2. Hasil yang didapat dari pengaruh tinggi muka air tanah terhadap kenaikan nilai faktor keamanan pada lereng Semarang dengan kemiringan lereng 60° dan tinggi lereng 14 meter adalah sebesar 0,97 atau 79,62% menggunakan Mohr-Coulomb model dan 0,91 atau 76,82% menggunakan *Soft Soil* model.
3. Hasil yang didapat dari pengaruh tinggi muka air tanah terhadap kenaikan nilai faktor keamanan pada lereng Tangerang Selatan dengan kemiringan lereng 45° dan tinggi lereng 8 meter adalah sebesar 1,36 atau 75,04% menggunakan Mohr-Coulomb model dan 1,26 atau 70,31% menggunakan *Soft Soil* model.
4. Berdasarkan hasil perbandingan faktor keamanan menggunakan Mohr-Coulomb model dan *Soft Soil* model, didapatkan selisih sebesar 0,13 untuk data Cipendawa, 0,06 untuk data Semarang dan selisih sebesar 0,10 untuk Tangerang Selatan. Selisih nilai yang sangat kecil pada data Semarang disebabkan karena data Semarang ditinjau dari jenis tanahnya merupakan tanah lunak dan muka air tanah aktualnya rendah yaitu 0,5 meter sehingga nilai faktor keamanan yang dihasilkan menggunakan pemodelan *Soft Soil* dan Mohr-Coulomb pada Plaxis mendekati keadaan sesungguhnya.

Daftar Pustaka

- Bowles, J. E., 1991, *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Edisi Kedua. Alih bahasa oleh: Johan K. Halnim. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Bowles, J. E., 1984, *Physical and Geotechnical Soil Properties*. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Brinkgreve, R. B. J., 2007, *Manual Acuan PLAXIS 2D Versi 8*. Delft University of Technology & PLAXIS.
- Chairy, R. R., dkk, 2018, *Simulasi Lereng Stabil Berdasarkan Pengaruh Tinggi Muka Air Tanah Terhadap Faktor Keamanan Lereng (Studi Kasus Ruas Jalan Menuju Geopark Ciletuh, Kecamatan Ciemas, Sukabumi, Jawa Barat)*, *Padjadjaran Geoscience Journal*, Vol.2 No.2, 132-133.
- Das, B. M., 1998, *Principle of Geotechnical Engineering*, PWS Engineering.

- Griffiths, D.V dan Lane, P.A., 1999, *Slope stability analysis by finite elements*, Géotechnique, Vol. 49, 387-403.
- Jin, Y dan Dai, F., 2007, *Analysis of Loess Slope Stability Due to Groundwater Rise*, *Journal of Engineering Geology*, Vol.15 No.5., 599-606.
- Johansson, J. M. A., 2014, *Impact of water-level variations on slope stability*, *Licentiate Thesis, University of Technology, Departement of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering, Luleå, Divison of Mining and Geotechnical Engineering*.
- Khanmohammadi, S dan Hosseinoudeshki, V., 2014, *The Effect of Water Level on The Stability of Slopes*, *Journal of Novel Applied Sciences*, Vol.3 No.11., 1237-1239.
- Latief, R. H dan Zainal, A., 2019, *Effects of Water Table Level on Slope Stability and Construction Cost of Highway Embankment*, *Engineering Journal of Applied and Basic Sciences*, Vol.23 No.5., ISSN 0125-8281.
- Liong, G. T., 2012, *Analisa Stabilitas Lereng Limit Equilibrium vs Finite Element Method*, *Pertemuan Ilmiah Tahunan ke XVI Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia, Jakarta, Indonesia., Desember 04-05*.
- Sompie, E. M. G., dkk, 2018, *Analisis Stabilitas Tanah dengan Model Material Mohr Coulomb dan Soft Soil*, *Jurnal Sipil Statik*, Vol.6 No.10, 783-792.
- Sungkar, M., et al, 2020, *Slope Stability Analysis Using Bishop and Finite Element Methods*, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 933.
- Taghizadeh, M. H dan Vafaeiyan, M., 2014, *Study on Effect of Water on Stability or Instability of The Earth Slopes*, *Internasional Research Journal of Applied and Basic Sciences*, Vol.8 No.10., 1482-1487.