

Evaluasi Kestabilan Lereng Akibat Galian Tanah untuk Pembangunan Lapangan Sepakbola di Bukit Paris, Jatisari, Kecamatan Kutawaringin, Kabupaten Bandung, Jawa Barat

Hemat Fitron Daeli^{1*}, Samuel Handali¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta

*e-mail: hematdaeli2@gmail.com

ABSTRAK

Lereng di Lapangan Sepakbola Mamaku *Football Academy* di Bukit Paris, Kabupaten Bandung yang dibangun melalui proses galian dan urugan di tanah berbukit mengalami kelongsoran-kelongsoran minor yang berpotensi membahayakan bangunan yang dibangun di puncak lereng tersebut. Dua baris dinding penahan tanah di bagian bawah dan tengah lereng dibangun untuk melindungi lereng dari kelongsoran. Analisa kestabilan lereng perlu dilakukan untuk mengevaluasi keamanan lereng terhadap bahaya longsor. Penyelidikan tanah meliputi pembuatan lubang bor untuk pengambilan contoh tanah di tiga lokasi, dengan menggunakan alat *hand auger*. Pengujian sondir dilakukan dengan menggunakan alat uji sondir kapasitas 2,5 ton di tiga titik yang sama. Hasil pengujian lab terhadap contoh-contoh tanah dan pengujian sondir dipakai untuk menentukan klasifikasi tanah, pelapisan tanah, dan parameter kuat geser tanah. Analisa kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan program Hyrcan 2.0 (yang didasarkan pada metode kesetimbangan batas). Hasil pengujian laboratorium dan sondir menunjukkan bahwa tanah di lereng dan sekitarnya terdiri atas lapisan-lapisan lanau dan lempung berplastisitas tinggi. Hasil analisa kestabilan lereng yang dilakukan untuk mengevaluasi keamanan lereng dengan dinding penahan tanah dan tanpa dinding penahan tanah, menunjukkan bahwa penambahan dinding penahan tanah menurunkan angka kestabilan lereng. Meskipun demikian lereng berada dalam keadaan aman untuk kedua kondisi tersebut dengan angka faktor keamanan yang berkisar antara 3,5 dan 9,1.

Kata kunci: lereng, galian, tanah berbutir halus

ABSTRACT

The slopes at the Mamaku Football Academy Football Field in Paris Hill, Bandung Regency, which were built through a process of excavation and backfill on hilly ground, experienced minor slides that could potentially endanger the buildings built at the top of the slopes. Two rows of the retaining walls at the bottom and middle of the slope were built to protect the slope from sliding. Slope stability analysis needs to be done to evaluate slope safety against landslide hazards. The soil investigation involved making drill holes for soil sampling at three locations, using a hand auger. Sondir testing was carried out using a sondir test equipment with a capacity of 2.5 tons at the same three points. The results of laboratory tests on soil samples and sondir tests are used to determine soil classification, soil coating, and soil shear strength parameters. Slope stability analysis was carried out using the Hyrcan 2.0 program (which is based on the limit equilibrium method). Laboratory and sondir test results show that the soil on the slopes and its surroundings consists of layers of silt and clay with high plasticity. The result of the slope stability analysis carried out to evaluate the safety of slopes with retaining walls and without retaining walls show that the addition of retaining walls reduces the slope stability. Even so, the slopes are safe for both conditions with a safety factor ranging between 3,5 and 9,1.

Keywords: slope, excavation, fine grained soil

1. PENDAHULUAN

Lereng merupakan suatu massa tanah yang memiliki kemiringan tertentu terhadap bidang horizontal dan berpotensi mengalami ketidakstabilan apabila gaya penggerak melebihi gaya penahan tanah tersebut (Das, 2014). Ketidakstabilan lereng umumnya dipengaruhi oleh geometri lereng, parameter kuat geser tanah, tekanan air pori, serta beban eksternal yang bekerja pada permukaan lereng (Terzaghi, 1943). Dalam praktik rekayasa geoteknik, analisis kestabilan lereng banyak dilakukan menggunakan pendekatan metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method/LEM*), yang menghitung faktor keamanan berdasarkan keseimbangan gaya atau momen pada bidang gelincir potensial (Bishop, 1955; Fellenius, 1927). Metode Bishop dikenal memberikan hasil yang lebih teliti dibanding metode irisan sederhana

karena mempertimbangkan keseimbangan gaya vertikal antar irisan (Fredlund & Krahn, 1977). Lapangan Sepak Bola Mamaku *Football Academy* di Bukit Paris, Kabupaten Bandung, dibangun melalui kegiatan pemotongan dan penimbunan tanah pada daerah perbukitan. Aktivitas tersebut mengubah kondisi tegangan awal tanah dan berpotensi menurunkan kestabilan lereng, khususnya pada tanah berbutir halus dengan plastisitas tinggi (Lambe & Whitman, 1969). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kestabilan lereng sebelum dan sesudah pembangunan dinding penahan tanah dengan menggunakan perangkat lunak *Hyrscan* yang berbasis metode Bishop.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode irisan dengan bantuan *software hyrcan* yaitu suatu program analisis stabilitas lereng gratis untuk *Geo-Engineers*. Penelitian ini dilakukan berdasarkan parameter tanah dari hasil pengujian sondir dan hasil pengujian tanah yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Sipil Universitas Kristen Immanuel Yogyakarta. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui faktor keamanan serta bagian paling kritis dari lereng di lokasi penelitian.

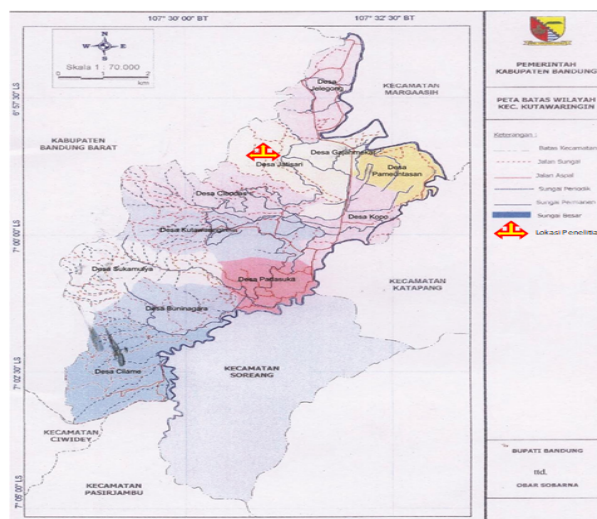
Pelaksanaan penelitian pertama sekali dilakukan dengan mengadakan penyelidikan tanah di lapangan. Pengujian yang dilaksanakan pada penelitian ini yaitu pengujian penetrasi tanah menggunakan sondir yang bertujuan untuk mengidentifikasi tanah serta mengetahui parameter tanah pada kedalaman yang tidak dapat dijangkau pengambilan contoh tanah, pengujian batas-batas *Atterberg* untuk menentukan batas-batas konsistensi tanah dan mengklasifikasi tanah, pengujian *Spesific Gravity* untuk menentukan massa jenis butiran tanah, analisa saringan dan pengujian *Hydrometer* untuk memperoleh distribusi ukuran butir tanah, uji geser langsung (*direct shear test*) untuk mengetahui kuat geser dan parameter tanah (digunakan dalam analisis kestabilan lereng, daya dukung fondasi, analisis dinding penahan tanah, dan lain-lain), serta pengujian kadar air tanah.

2.1 Penyelidikan Tanah

Pengujian lapangan dilakukan menggunakan metode *Cone Penetration Test (CPT)* atau sondir untuk memperoleh nilai tahanan ujung konus (q_c) dan rasio gesekan. Interpretasi jenis tanah dilakukan berdasarkan diagram klasifikasi yang dikembangkan oleh P. K. Robertson (Robertson, 1990), yang menghubungkan nilai q_c dan *friction ratio*. Selain itu, pengujian *Standard Penetration Test (SPT)* secara umum digunakan dalam investigasi geoteknik untuk menentukan parameter tanah pada kedalaman tertentu sesuai standar ASTM International (ASTM International, 2018a).

Lokasi dan Waktu Penyelidikan Tanah

Penelitian di laksanakan di Lapangan Bola Mamaku *Football Academy*, Jl. Perwira, Jatisari, Kecamatan Kutawuringin, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Penelitian dilaksanakan selama 5 hari pada tanggal 16 November 2022 s.d 20 November 2022. Gambar 1 di bawah ini merupakan peta lokasi dari tempat penyelidikan dilaksanakan.



Gambar 1. Lokasi penelitian (Pemerintah Kabupaten Bandung, 2021).

Pengujian Sondir

Data parameter tanah diperoleh dari hasil pengujian lapangan seperti *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT). Pada penelitian ini pengujian sondir dilakukan pada 3 titik di lingkungan lapangan Sepakbola Mamaku *Football Academy* dengan menggunakan peralatan sondir yang mempunyai kapasitas maksimal 2,5 ton. Jenis *probe* yang digunakan adalah bi-konus yang memungkinkan pengukuran friksi oleh mantel bi-konus yang terdapat pada alat tersebut. Alat sondir tersebut dilengkapi dengan dua buah manometer untuk mengukur perlawanan ujung bi-konus dan mantel bi-konus, yang masing-masing mempunyai kapasitas 60 kg/cm² dan 250 kg/cm². Manometer dengan kapasitas 60 kg/cm² digunakan untuk membaca tekanan bi-konus yang relatif rendah, sedangkan manometer dengan kapasitas 250 kg/cm² digunakan untuk membaca tekanan bi-konus yang tinggi, yaitu apabila tekanan bi-konus sudah melampaui kapasitas manometer pertama.

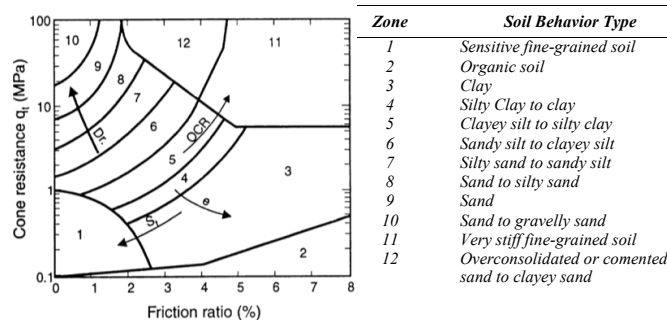
Tabel 1. Data alat yang digunakan dalam penelitian sondir

No.	Keterangan	
1	Luas dasar bi-konus	10,06 cm ²
2	Luas selimut gesekan mantel	149,58 cm ²
3	Berat bi-konus	1,2 kg
4	Berat batang inti	1,4 kg

Interpretasi data sondir digunakan untuk menentukan jenis dan parameter tanah pada lokasi penelitian. Sebelum melaksanakan kedua analisa perlu ditentukan terlebih dahulu apakah tanah tersebut adalah granular (pasir dan kerikil) atau tanah kohesif (lempung dan lanau), mengingat bahwa perhitungan daya dukung untuk kedua jenis tanah tersebut berbeda. Uji sondir dapat digunakan untuk mengetahui kuat geser *undrained* (s_u) untuk tanah berbutir halus yang dapat diperkirakan dari nilai q_c yang diperoleh dari CPT berdasarkan rumus:

$$S_u = \frac{q_c - q_v}{N_k} \quad (1)$$

Dengan q_v = tekanan *overburden* total dan N_k = konstanta antara 10 – 20 yang tergantung dari *Plasticity Index* (PI) tanah berbutir halus tersebut.



Gambar 2. Diagram Robertson 1990

Pengambilan dan Persiapan Contoh Tanah

Penelitian ini menggunakan contoh tanah yang diambil dari lokasi pembangunan lapangan sepakbola dan kawasan wisata Bukit Paris, Bandung. Pengambilan contoh tanah dilakukan pada lima titik yang dianggap kritis dengan variasi kedalaman 0–2,5 m. Pengambilan contoh tanah dilakukan secara langsung di lapangan menggunakan *hand auger* dan tabung contoh tanah (*sampling tube*). Contoh tanah dangkal pada kedalaman 0–50 cm diambil menggunakan tabung yang dipukul dengan palu, sedangkan contoh tanah pada kedalaman 1,0–2,5 m diambil menggunakan *hand auger*.

Contoh tanah yang digunakan terdiri atas contoh tanah asli (*undisturbed soil*) dan contoh tanah terganggu (*disturbed soil*). Contoh tanah asli diambil menggunakan tabung contoh tanah dengan bantuan *hand auger* atau melalui pemukulan langsung menggunakan palu. Setiap tabung diberi identitas dan ditutup rapat pada kedua ujungnya untuk menjaga kondisi alami tanah. Contoh tanah terganggu diperoleh dari hasil pemboran *hand auger* atau dari tanah di sekitar tabung saat pengambilan contoh tanah asli. Seluruh contoh tanah disimpan dalam boks dan dibawa ke

Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Sipil Universitas Kristen Immanuel, Yogyakarta. Sebelum pengujian laboratorium, contoh tanah asli dipersiapkan dengan menutup kedua ujung tabung menggunakan parafin untuk menjaga kadar air, kemudian disimpan dalam kondisi lembab tanpa kontak langsung dengan air. Contoh tanah terganggu disimpan dalam kardus pada ruang laboratorium hingga dilakukan pengujian.

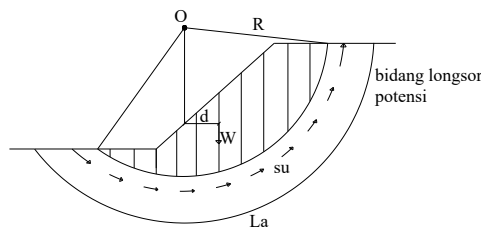
Pengujian Contoh Tanah

Pengujian contoh tanah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Teknik Sipil, Universitas Kristen Immanuel yang terletak di Jl. Solo Km 11,1 Yogyakarta. Pengujian yang dilakukan pada contoh tanah asli maupun terganggu. Pengujian geser langsung (*direct shear test*) dilakukan untuk memperoleh parameter kuat geser efektif tanah (c' dan ϕ') sesuai prosedur standar laboratorium geoteknik (ASTM International, 2018b). Parameter kuat geser tersebut merupakan komponen utama dalam analisis kestabilan lereng berdasarkan teori tegangan efektif (Terzaghi, 1943).

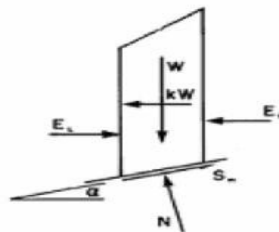
2.2 Metode Evaluasi Stabilitas Lereng

Analisis dilakukan menggunakan pendekatan metode Bishop yang mengasumsikan bidang gelincir berbentuk busur lingkaran, sebagaimana pertama kali dikembangkan oleh A. W. Bishop (Bishop, 1955). Asumsi bentuk bidang gelincir melingkar didasarkan pada pengamatan empiris terhadap longsoran tanah alami (Collin, 1846). Perbandingan metode Bishop dengan metode Janbu menunjukkan bahwa metode Bishop umumnya memberikan hasil faktor keamanan yang konservatif untuk lereng homogen (Janbu, 1954). Analisis numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak Hyrcan yang dikembangkan berdasarkan pendekatan keseimbangan batas dua dimensi (Mikola, 2023). *Method* (Bishop, 1955) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan mempunyai resultan nol arah vertikal. (Collin, 1846) menyatakan kebanyakan longsoran tanah membentuk bidang longsoran berupa lengkungan. Persamaan kuat geser adalah:

$$\tau = \frac{c'}{SF} + (\sigma - \mu) \cdot \frac{\text{tg } \phi'}{SF} \quad (2)$$



Gambar 3. Metode irisan pada lereng dengan bidang kelongsoran potensi lingkaran (Bishop 1955)



Gambar 4. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan (Arief, 2008)

Untuk irisan ke- i , nilai $T_i = \tau a_i$, yaitu gaya geser yang dikerahkan tanah pada bidang longsor untuk keseimbangan batas, karena itu:

$$\tau = \frac{c' \cdot a_i}{SF} + N_i - \mu_i \cdot a_i \cdot \frac{\text{tg } \phi'}{SF} \quad (3)$$

Keseimbangan momen dengan pusat rotasi O antara berat massa tanah yang akan longsordengan gaya total yang dikerahkan tanah pada bidang longsor adalah:

$$\sum M_i \cdot x_i = \sum T_i \cdot R \quad (4)$$

Dengan x_i adalah jarak W_i ke pusat rotasi O, dapat diperoleh:

$$SF = \frac{R \sum_{i=1}^{i=n} [c' a_i + (N_i - \mu_i a_i) \operatorname{tg} \varphi']}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i x_i} \quad (5)$$

Pada kondisi keseimbangan vertikal, jika $X_1 = X_i$ dan $X_r = X_{i+1}$

$$\begin{aligned} N_i \cos \theta_i + T_i \sin \theta_i &= W_i + X_i - X_{i+1} \\ N_i &= \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - T_i \sin \theta_i}{\cos \theta_i} \end{aligned} \quad (6)$$

Dengan $N_i' = N_i - \mu_i a_i$ disubsitusikan ke persamaan (2) dan (5) diperoleh:

$$N_i = \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - \mu_i a_i \cos \theta_i - c' a_i \sin \theta_i / SF}{\cos \theta_i + \sin \theta_i \operatorname{tg} \varphi' / SF} \quad (7)$$

Subsitusikan (6) ke (4) diperoleh:

$$SF = \frac{R \sum_{i=1}^{i=n} [c' a_i + \operatorname{tg} \varphi' \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - \mu_i a_i \cos \theta_i - c' a_i \sin \theta_i / F}{\cos \theta_i + \sin \theta_i \operatorname{tg} \varphi' / SF}]}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i x_i} \quad (8)$$

Penyederhanaan anggap $X_i - X_{i+1} = 0$, dan $x_i = R \sin \theta_i$, serta $b_i = a_i \cos \theta_i$, diperoleh:

$$SF = \frac{R \sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (W_i - \mu_i b_i) \operatorname{tg} \varphi'] \left[\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \varphi' / SF)} \right]}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (9)$$

Dengan $SF = \text{Safety Factor}$, $\theta_i =$ sudut ($^\circ$), $c' =$ kohesi tanah efektif (kN/m^2), $b_i =$ lebar irisan ke-i (m), $W_i =$ berat irisan tanah ke-i (kN), $\varphi' =$ sudut gesek dalam efektif ($^\circ$), dan $\mu_i =$ tekanan air pori irisan ke-i (kN/m^2).

Rasio tekanan air pori:

$$r_u = \frac{\mu b}{W} = \frac{\mu}{\gamma h} \quad (10)$$

Dengan $r_u =$ rasio tekanan air pori, $\gamma =$ berat volume tanah (kN/m^3), $\mu =$ tekanan air pori (kN/m^2), $h =$ tinggi irisan rata-rata (m), dan $b =$ lebar irisan ke-i (m).

dengan mensubsitusikan persamaan (8) ke persamaan (7) diperoleh:

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (W_i (1 - r_u)) \operatorname{tg} \varphi'] \left[\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \varphi' / SF)} \right]}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (11)$$

Metode Bishop ini menggunakan cara coba-coba, tetapi hasil hitungan lebih teliti, untuk memudahkan perhitungan dapat digunakan nilai fungsi M_i di mana:

$$M_i = \cos \theta_i \cdot (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \varphi' / SF) \quad (12)$$

Lokasi lingkaran longsor kritis Metode Bishop (1955), biasanya mendekati hasil lapangan, karena itu metode ini lebih disukai. Cara coba-coba diperlukan untuk menentukan bidang longsor dengan SF terkecil, buat kotak-kotak di mana tiap titik potong garisnya merupakan tempat kedudukan pusat lingkaran longsor. Pada pusat lingkaran longsor ditulis SF yang terkecil pada titik tersebut, yaitu dengan mengubah jari-jari lingkarannya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

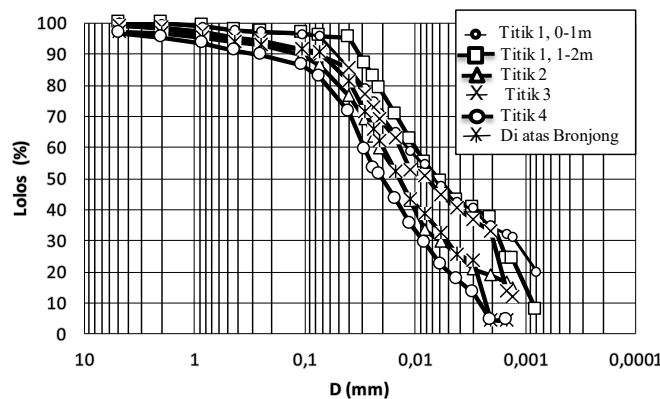
a. Karakteristik Tanah

Karakteristik tanah pada lokasi penelitian ditentukan berdasarkan hasil pengujian sondir dan pengujian laboratorium terhadap contoh tanah asli (*undisturbed soil*) dan contoh tanah terganggu (*disturbed soil*) yang diambil dari Lapangan Bola Mamaku *Football Academy* dan lereng di sekitarnya.

Parameter tanah yang diperoleh dari hasil pengujian lapangan dan laboratorium selanjutnya digunakan sebagai input dalam analisis kestabilan lereng menggunakan perangkat lunak *Hyrscan*. Hasil analisis tersebut digunakan untuk mengevaluasi tingkat keamanan lereng galian pada pembangunan lapangan sepak bola di lokasi penelitian.

Tabel 2. Besaran indeks data plastisitas contoh tanah

Contoh tanah	D (m)	w, %	Gs	γ_s , kN/m ³	s, %	e	LL, %	PL, %	PI, %
Titik 1	1 - 1,4	52,33	2,41	14,6	83,88	1,53	92,00	32,88	59,12
	2 - 2,4	56,25	2,39	15,7	97,52	1,38	94,00	28,56	65,44
Titik 2	1 - 1,4	49,28	2,35	14,8	84,51	1,37	62,35	22,44	39,91
Titik 3	0 - 0,4	43,37	2,26	16,1	96,80	1,01	64,00	46,43	17,57
Titik 4	0 - 0,4	50,18	2,39	15,4	90,12	1,33	57,92	30,95	26,97
Di atas Bronjong	0 - 0,4	43,52	2,08	14,6	86,65	1,04	70,83	26,14	44,49



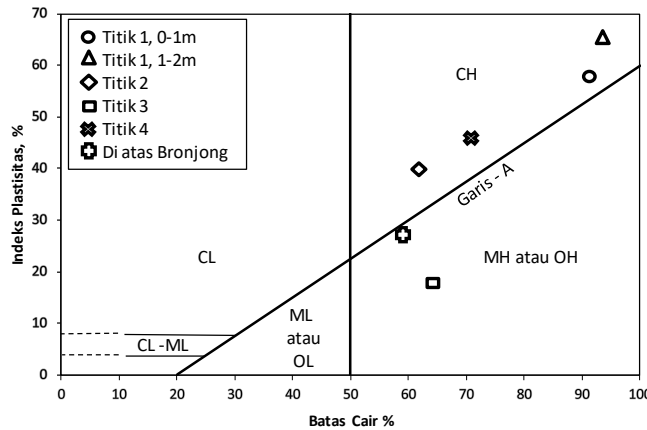
Gambar 5. Kurva distribusi ukuran butiran tanah pengujian analisa saringan dan *hydrometer*

Tabel 3. Persentase fraksi ukuran butiran tanah

Contoh Tanah	Kerikil, %	Pasir, %	Butiran Halus, %	Fraksi Lempung, %
Titik 1, kedalaman 0 - 1 m	0,00	4,16	95,84	34,76
Titik 1, kedalaman 1 - 2 m	0,00	4,13	95,87	37,2
Titik 2	0,52	13,16	86,32	18,94
Titik 3	0,89	9,52	89,59	32,83
Titik 4	3,47	13,73	82,80	4,38
Di atas Bronjong	2,96	6,49	90,55	4,28

b. Klasifikasi Tanah

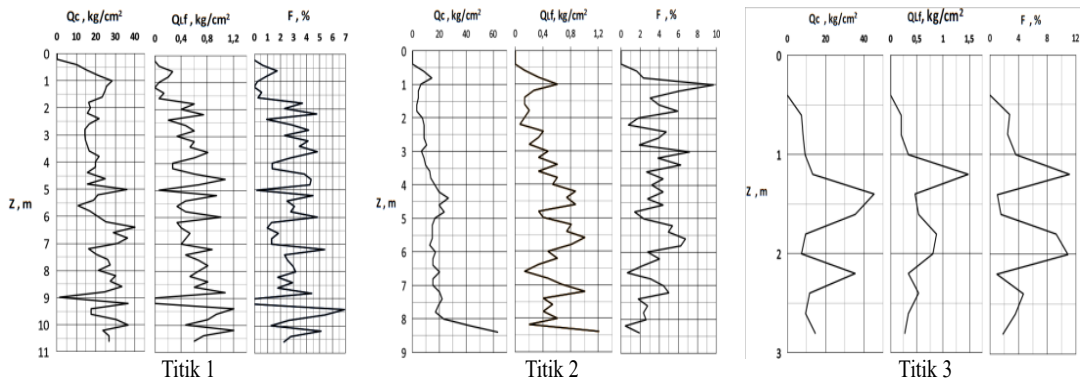
Klasifikasi dari contoh-contoh tanah berbutir halus dalam penelitian ini ditentukan dari batas-batas konsistensi/Atterberg Limit contoh-contoh tanah tersebut. Berdasarkan USCS, tanah diklasifikasi ke dalam beberapa jenis yaitu CL (*Clay of Low Plasticity*), CH (*Clay of High Plasticity*), ML (*Silt of Low Plasticity*), dan MH (*Silt Of High Plasticity*). Gambar 6 menunjukkan hubungan antara Indeks Plastisitas dan Batas Cair dari contoh-contoh tanah pada penelitian ini yang digambarkan di Bagan Plastisitas USCS.



Gambar 6. Klasifikasi Tanah Berbutir Halus Berdasarkan USCS

c. Hasil Pengujian Sondir

Hasil pengujian sondir yang diperoleh dari pembacaan manometer yaitu nilai tahanan ujung bi-konus dan perlawanan geser pada mantel bi-konus kemudian diolah menjadi grafik sondir untuk setiap titik pengujian sondir. Pengujian sondir pada penelitian ini dilakukan di tiga titik seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya. Gambar 7 menunjukkan tiga grafik sondir yang mewakili pengujian sondir di Titik 1, Titik 2, dan Titik 3. Gambar 7 menunjukkan grafik sondir Titik 1 dengan kedalaman 0 – 10,6 m, grafik sondir Titik 2 dengan kedalaman 0 – 8,4 m, serta grafik sondir di Titik 3 dengan kedalaman 0 – 2,8 m. Pada setiap grafik ditunjukkan tahanan konus (Q_c), perlawanan geser pada mantel bi-konus (Q_{lf}), serta rasio antara perlawanan geser dan tahanan konus dalam persen (F). Grafik sondir di Gambar 7 tersebut menunjukkan bahwa pembacaan pertama tahanan konus dan gesekan mantel terjadi pada kedalaman 0,4 m. Di Gambar 7 dapat dilihat bahwa Q_c dan Q_{lf} meningkat dengan bertambahnya kedalaman.



Gambar 7. Grafik Sondir

d. Parameter Kuat Geser dan Klasifikasi Tanah

Kuat geser *undrained* dari pengujian sondir pada titik 1 dan titik 2 ditunjukkan dalam Tabel 4 dan klasifikasi tanah di setiap titik sondir berdasarkan metode Robertson ditunjukkan dalam Tabel 5.

Tabel 4. Kuat geser *undrained* dari hasil pengujian sondir di titik 1 dan titik 2

Titik Sondir	Z, m	su, kN/m ²
Titik 1	0 - 4,5	120
	4,5 - 10,6	165
Titik 2	0 - 3,5	35
	3,5 - 8,4	120

Tabel 5. Klasifikasi tanah di setiap titik sondir berdasarkan metode Robertson (1990)

Titik Sondir	Kedalaman (m)	Klasifikasi Jenis Tanah
Titik 1	0 - 1,6	Lanau berpasir dan berlempung
	1,6 - 6,1	Lanau bercampur lempung
	6,1 - 7,0	Lanau berpasir dan berlempung
	7,0 - 10,6	Lanau bercampur lempung
Titik 2	0 - 6,6	Lempung
	6,6 - 8,4	Lanau bercampur lempung
Titik 3	0 - 1,4	Lempung berlanau
	1,4 - 2,8	Lempung

e. Hasil Pengujian Geser Langsung Contoh Tanah Asli

Pengujian geser langsung dilakukan pada contoh tanah tidak terganggu (*undisturbed*). Nilai kohesi dan sudut geser tanah didapatkan dari grafik hubungan antara tiga tegangan geser maksimum (τ_{max}) dengan tegangan normal (σ_n) pada setiap pengujian contoh tanah.

Konsep tegangan efektif sebagai dasar perhitungan kuat geser tanah pertama kali diperkenalkan dalam teori mekanika tanah klasik (Terzaghi, 1943) dan dikembangkan lebih lanjut dalam praktik rekayasa fondasi modern (Das & Sobhan, 2014).

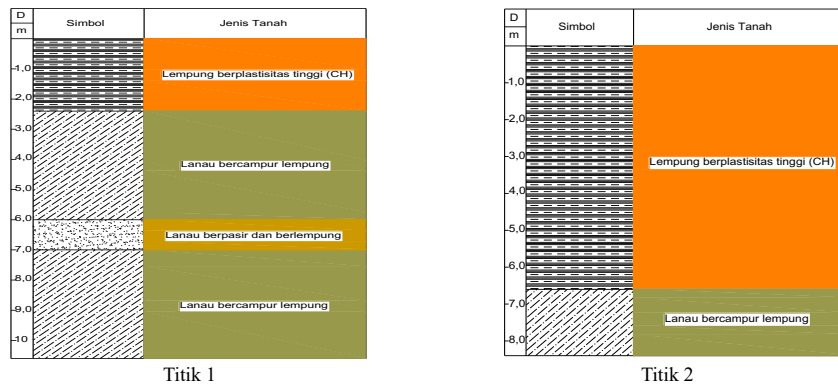
Tabel 6. Hasil pengujian *direct shear test* setiap contoh tanah

Contoh tanah	Kedalaman (m)	No. Pengujian	σ_n (kN/m ²)	τ_{max} (kN/m ²)
Titik 1	1 - 1,4	1	76,21	173,46
		2	155,07	238,14
		3	228,72	203,84
	2 - 2,4	1	77,81	126,42
		2	161,87	310,66
		3	224,94	418,46
Titik 2	1 - 1,4	1	76,29	170,52
		2	155,00	296,94
		3	231,18	271,46
Titik 3	0 - 4	1	77,88	159,74
		2	154,02	121,52
		3	229,63	250,88
Titik 4	0 - 4	1	76,21	478,24
		2	151,45	544,88
		3	227,66	277,34
Diatas bronjong	0 - 4	1	76,21	217,56
		2	151,45	152,88
		3	228,80	156,80

Contoh tanah	Kedalaman (m)	c, kN/m ²	ϕ (°)
Titik 1	1 - 1,4	184	11°
	2 - 2,4	127	43°
Titik 2	1 - 1,4	157	34°
Titik 3	0 - 0,4	69	32°
Titik 4	0 - 0,4	294	32°
Di atas Bronjong	0 - 0,4	176	0,4°

f. Lapisan Tanah

Data lapisan tanah berdasarkan hasil kombinasi pengujian lab dan pengujian sondir pada titik 1 dan titik 2 lebih detail ditunjukkan dalam Gambar 8.



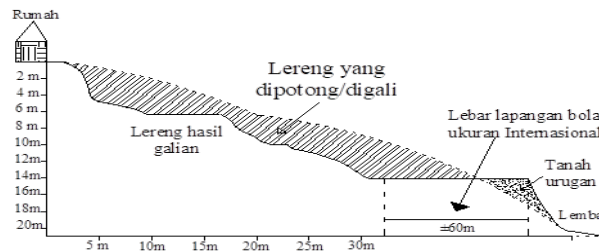
Gambar 8. Lapisan tanah dari hasil sondir dan pengujian contoh tanah

g. Analisa Kestabilan Lereng

Dalam evaluasi stabilitas lereng, nilai faktor keamanan (*safety factor*) digunakan sebagai indikator tingkat keamanan lereng. Berdasarkan standar perencanaan geoteknik di Indonesia, lereng permanen pada kondisi statis dinyatakan aman apabila memiliki faktor keamanan lebih besar dari 1,5 (Badan Standardisasi Nasional, 2017). Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor keamanan pada seluruh zona berada di atas batas minimum tersebut, sehingga secara teoritis lereng dalam kondisi stabil. Nilai faktor keamanan yang relatif tinggi dapat disebabkan oleh tingginya nilai kohesi tanah pada lapisan atas, yang umum ditemukan pada tanah lempung berplastisitas tinggi (Terzaghi et al., 1996). Analisis stabilitas lereng pada tanah berbutir halus umumnya menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap perubahan parameter kuat geser dan tekanan air pori (Wyllie & Mah, 2004).

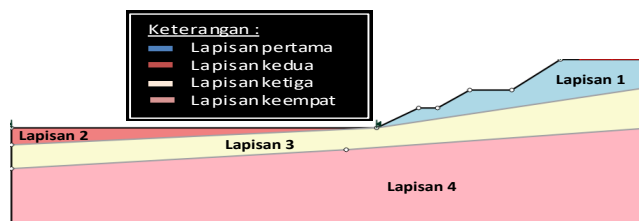
Tinjauan pada faktor keamanan lereng dilakukan untuk 2 kondisi lereng:

1. Lereng asli, yaitu sebelum pembangunan dinding penahan tanah pada Gambar 12 (a)
2. Lereng yang sudah dilengkapi dengan dinding penahan tanah, seperti yang dapat dilihat di Gambar 12 (b)



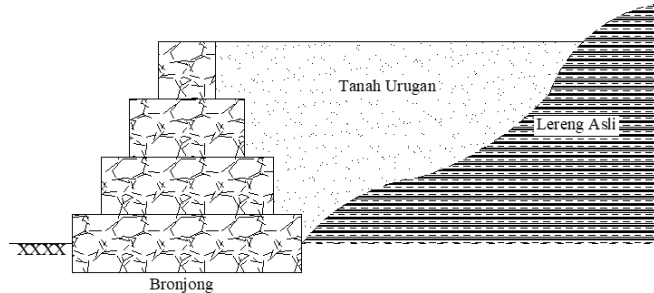
Gambar 9. Perkiraan profil lereng sebelum dan sesudah dipotong/digali

Untuk menjalankan analisa kestabilan, lereng diasumsikan memiliki empat lapisan tanah seperti pada Gambar 10. Parameter tanah lapisan 1 adalah parameter tanah Titik 3 yang diperoleh dari hasil *direct shear*. Lapisan 2 memiliki parameter γ , c_u , dan ϕ dari hasil pengujian geser langsung pada contoh tanah di Titik 2. Lapisan 3 memiliki parameter tanah dari hasil uji sondir di Titik 1 pada kedalaman 0-4,5m, sedangkan pada Lapisan 4 menggunakan parameter tanah hasil uji sondir dari Titik 1 pada kedalaman 4,5-10,6 m. Parameter-parameter tanah yang digunakan pada setiap lapisan tanah dapat dilihat pada Tabel 7.



Gambar 10. Lapisan tanah pembentuk lereng di lokasi penelitian

Analisis faktor keamanan lereng dilakukan pada beberapa segmen yang dianggap kritis hingga mencakup keseluruhan lereng. Segmen tersebut dibagi menjadi Zona A, B, C, D, dan E, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12. Beban bangunan yang digunakan dalam analisis merupakan berat rumah satu lantai sebesar 2,5 ton/m², hasil estimasi dari pengamatan lapangan, dan diasumsikan sebagai beban merata yang bekerja sesuai posisi aktual bangunan. Struktur penahan tanah yang direncanakan berupa bronjong bertingkat empat, dengan asumsi beban merata 15 ton/m².

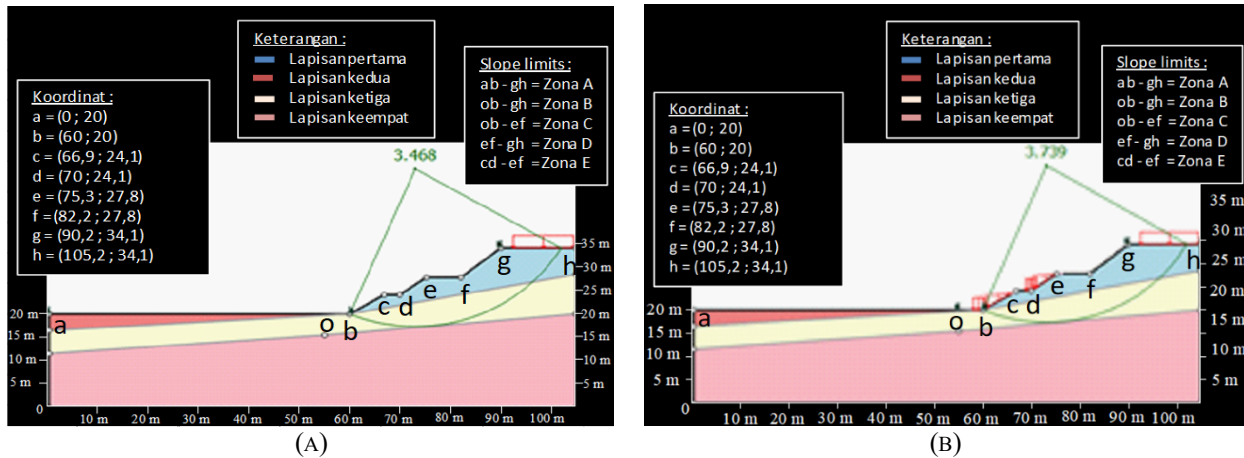


Gambar 11. Lapisan tanah pembentuk lereng di lokasi penelitian

Beban tanah urugan di atas bronjong dimodelkan sebagai beban merata berbentuk segitiga. Konfigurasi bronjong terdiri atas empat tingkat dengan lebar masing-masing 4 m, 3 m, 2 m, dan 1 m, serta tinggi setiap tingkat 1 m. Pondasi bronjong diletakkan pada kedalaman 0,5 m di bawah permukaan tanah untuk meningkatkan stabilitas terhadap gaya geser dasar.

Tabel 7. Parameter tanah pembentuk lereng

Lapisan tanah	γ , tanah (kN/m ³)	c' kN/m ²	ϕ' °	su , kN/m ²
1	16,1	69	32	-
2	14,8	157	34	-
3	15,7	-	-	120
4	16	-	-	165



Gambar 12. Zona A pada lereng asli tanpa dinding penahan tanah (A), Zona B pada lereng setelah pembangunan dinding penahan tanah (B)

Tabel 8. Faktor aman lereng pada kedua kondisi hasil analisis *Software Hyrcan*

ZONA	Safety Faktor	
	Tanpa Dinding Penahan	Dengan Dinding Penahan
A	3,492	3,74
B	3,485	3,734
C	6,019	4,635
D	5,018	3,737
E	9,099	5,847

3. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, tanah di lereng dan sekitar lapangan sepakbola *Mamaku Football Academy* terdiri atas lapisan-lapisan Lempung berplastisitas tinggi (CH) dan Lanau berplastisitas tinggi (MH). Hasil pengujian sondir, jenis tanah pembentuk lereng pada lokasi penelitian terdiri atas lapisan-lapisan Lanau berpasir dan berlempung, Lanau bercampur lempung, Lempung, dan Lempung berlanau. Hasil pengujian geser langsung pada contoh tanah asli pada kedalaman antara 0-2 m menunjukkan parameter kuat geser tanah ϕ yang bervariasi antara $0,4^\circ$ dan 43° , serta c antara 69 kN/m^2 dan 294 kN/m^2 . Kuat geser tanah di bawah kedalaman 2 m yang diperoleh dari data sondir yang diperkirakan dengan cara *Robertson* (1990) menunjukkan variasi s_u antara 35 kN/m^2 dan 165 kN/m^2 . Faktor aman pada lereng sebelum pembangunan dinding penahan tanah berkisar dari 3,485- 9,099 sedangkan faktor keamanan pada lereng setelah pembangunan dinding penahan tanah adalah 3,734-5,847 dan angka-angka tersebut menunjukkan bahwa lereng berada dalam keadaan aman untuk kedua kondisi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. (2018a). ASTM D1586-18: Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils.
- ASTM International. (2018b). ASTM D3080-18: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). SNI 8460 : 17 - Perancangan Geoteknik.
- Bishop, A. W. (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique*, 5(1), 7–17.
- Collin, A. (1846). Sur les glissements spontanés des terrains argileux.
- Das, B. M. (2014). Principles of geotechnical engineering (8th ed.). Cengage Learning.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2014). Principles of Geotechnical Engineering (8th ed.). Cengage Learning.
- Fellenius, W. K. A. (1927). Erdstatische Berechnungen mit Reibung und Kohäsion (Adhäsion) und unter Annahme kreiszylindrischer Gleitflächen. W. Ernst & Sohn.
- Fredlund, D. G., & Krahn, J. (1977). Comparison of slope stability methods of analysis. *Canadian Geotechnical Journal*, 14(3), 429–439.
- Janbu, N. (1954). Application of composite slip surfaces for stability analysis. *European Conference on Stability of Earth Slopes*, 1955, 3, 43–49.
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1969). Soil mechanics. John Wiley & Sons.
- Mikola, R. G. (2023). HYRCAN: A comprehensive limit equilibrium software package for 2D slope stability analysis. *Authorea Preprints*.
- Robertson, P. K. (1990). Soil classification using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, 27(1), 151–158.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. Wiley.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*. John Wiley & sons.
- Wyllie, D. C., & Mah, C. (2004). *Rock slope engineering*. CRC press.