

BAB III

DASAR TEORI

3.1 Klasifikasi Tanah Berdasarkan ASTM

Tanah adalah batuan yang melapuk dan mengalami proses pembentukan lanjutan. Tanah terbentuk dari campuran bahan organik dan mineral. Tanah non-organik atau tanah mineral terbentuk dari batuan sehingga ia mengandung mineral. Sebaliknya, tanah organik (*organosol/humosol*) terbentuk dari pemadatan terhadap bahan organik yang terdegradasi.

Jenis tanah memiliki perbedaan antara satu tempat dengan tempat lainnya. Perbedaan itu terjadi karena berbagai faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan jenis tanah antara lain, yaitu:

1. jenis batuan,
2. bahan induk,
3. curah hujan,
4. penyinaran matahari,
5. bentuk permukaan bumi,
6. organisme yang ada di tanah,
7. tumbuh-tumbuhan penutup tanah (vegetasi), dan
8. kegiatan manusia.

Sistem klasifikasi tanah yang dapat digunakan untuk menentukan jenis tanah adalah sistem USCS (Unified Soil Classification System). Sistem USCS digunakan oleh ASTM (American Society for Testing and Materials). Sistem ini mengklasifikasikan tanah menjadi dua kategori, yaitu tanah kasar dan tanah halus.

Dalam menentukan klasifikasi tanah pada sistem USCS digunakan tabel kriteria untuk menetapkan simbol grup dan nama kelompok tanah menggunakan tes laboratorium yang dapat dilihat pada Tabel 3.1. Klasifikasi dilakukan dengan cara menerapkan data uji mulai dari kiri kekanan. Dengan proses eliminasi, tanah dikelompokkan pertama dari kiri lalu menuju ke kriteria yang sesuai.

Tabel 3.1 Klasifikasi Tanah Sistem USCS

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests				Soil Classification		
				Group Symbol	Group Name	
COARSE GRAINED SOILS More than 50% retained on No. 200 Sieve	Gravels More than 50% of coarse fraction on No. 4 Sieve	Clean Gravels Less than 5% fines	$Cu \geq 4$ and $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Well-graded gravel	
			$Cu < 4$ and/or $Cc < 1$ or $Cc > 3$	GP	Poorly graded gravel	
		Gravels with Fines More than 12% fines	Fines classify as ML or MH	GM	Silty Gravel	
			Fines classify as CL or CH	GC	Clayey gravel	
	Sands 50% or more of coarse fraction passes No. 4 Sieve	Clean Sands Less than 5% fines	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Well-graded sand	
			$Cu < 6$ and/or $Cc < 1$ or $Cc > 3$	SP	Poorly graded sand	
		Sands with Fines More than 12% fines	Fines classify as ML or MH	SM	Silty sand	
			Fines classify as CL or CH	SC	Clayey sand	
	FINE-GRAINED SOILS 50% or more passes the No. 200 Sieve	Silts and Clays Liquid limit less than 50	Inorganic	PI > 7 and plots on or above "A" line	CL	Lean clay
				PI < 4 and plots below "A" line	ML	Silt
Organic			Liquid limit—oven dried < 0.75	OL	Organic clay	
			Liquid limit—not dried	OL	Organic silt	
Silts and Clays Liquid limit 50 or more		Inorganic	PI plots on or above "A" line	CH	Fat clay	
			PI plots below "A" line	MH	Elastic silt	
		Organic	Liquid limit—oven dried < 0.75	OH	Organic clay	
			Liquid limit - not dried	OH	Organic silt	
HIGHLY ORGANIC SOILS				PT	Peat	

(Sumber:ASTM D-2487,2000)

3.2 Sifat Fisik Tanah

Hardiyatmo (2003) menyatakan bahwa sifat fisik tanah adalah sifat yang berhubungan dengan elemen penyusunan massa tanah. Istilah pasir, lempung, lanau, atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran-ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedang pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

3.2.1 Kadar Air

Kadar air adalah persentase nilai perbandingan antara berat air dalam satuan tanah dengan berat kering tanah tersebut. Cara penetapan kadar air dapat dilakukan dengan sejumlah tanah basah dikering ovenkan dalam oven pada suhu $100^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ untuk waktu tertentu. Air yang hilang karena pengeringan merupakan sejumlah air yang terkandung dalam tanah tersebut. Kadar air dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.1.

$$w = \frac{W_2 - W_1}{W_3 - W_1} \times 100\% \quad (3.1)$$

dengan:

w = Kadar air (%),

W_1 = Berat cawan (g),

W_2 = Berat sampel tanah (g),

W_3 = Berat cawan+air (g)

3.2.2 Berat Volume Tanah

Berat volume tanah adalah nilai perbandingan berat tanah total termasuk air yang terkandung di dalamnya dengan volume tanah total. Berat volume tanah dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.2.

$$\gamma_b = \frac{W_3 - W_2}{v} \quad (3.2)$$

dengan:

γ_b = Berat volume tanah (g/cm^3),

W_2 = Berat cawan (g),

W_3 = Berat cawan+air (g)

v = Volume (cm^3)

3.2.3 Berat Jenis Tanah

Berat jenis (G_s) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) dengan volume yang sama pada *temperature* tertentu. Berat jenis tanah dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.3.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3.3)$$

dengan:

G_s = Berat jenis,

γ_w = Berat volume air (g/cm^3),

γ_s = Berat volume butiran padat (g/cm^3)

3.2.4 Analisis Ukuran Butiran

Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Oleh karena itu, analisis butiran ini merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan. Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan dengan ukuran diameter lubang tertentu.

1. Tanah berbutir kasar

Distribusi ukuran butir untuk tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara menyaring. Langkah pengujiannya adalah benda uji berupa tanah disaring menggunakan satu unit saringan standar. Berat tanah yang tertinggal pada masing-masing saringan ditimbang, lalu persentase terhadap berat kumulatif tanah dihitung. Contoh nomor-nomor dan diameter lubang dari standar Amerika dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Diameter Lubang pada Saringan

Saringan No.	Diameter Lubang (mm)
4	4,750
6	3,350
8	2,360
10	2,000
16	1,180
20	0,850
30	0,600
40	0,425
50	0,300
60	0,250
80	0,180
100	0,150
140	0,106
170	0,088
200	0,075
270	0,053

(Sumber:Hardiyatmo,2003)

2. Tanah berbutir halus

Distribusi butiran tanah berbutir halus atau bagian berbutir halus dari tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara sedimentasi atau dapat disebut juga pengujian hidrometer. Metode ini didasarkan pada hukum Stokes yang berkenaan dengan kecepatan mengendap butiran pada larutan suspensi. Menurut Stokes, kecepatan pengendapan butiran dapat ditentukan dari Persamaan 3.4.

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\mu} D^2 \quad (3.4)$$

dengan:

v = Kecepatan (L/t),

γ_w = Berat volume air (g/cm^3),

γ_s = Berat volume butiran padat (g/cm^3),

μ = Kekentalan air absolut (g.det/cm^2),

D = Diameter butiran tanah (mm),

Berdasarkan rumus tersebut dengan menganggap nilai berat volume air (γ_w) sebesar 1 g/cm^3 , dapat diketahui diameter butiran tanah. Diameter butiran tanah dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.5.

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (3.5)$$

dengan:

D = Diameter butiran tanah (mm),

K = Konstanta yang besarnya dipengaruhi oleh temperatur ($t^\circ\text{C}$) suspensi dan berat jenis (Gs),

L = Kedalaman efektif (mm),

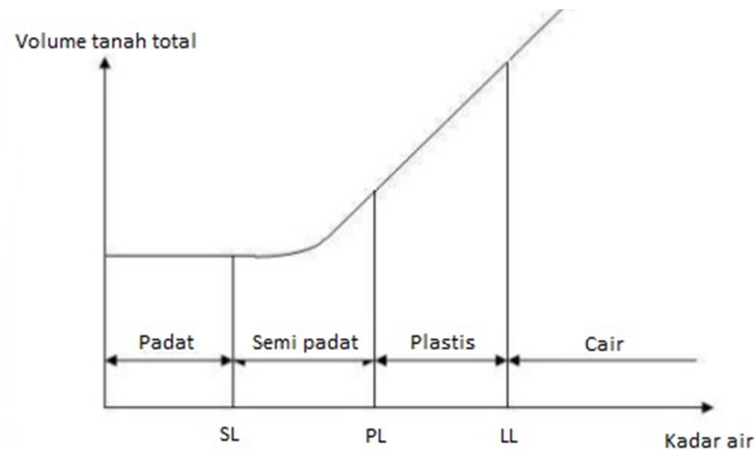
T = Pembacaan pada menit ke T,

Butiran yang lebih besar akan mengendap lebih cepat sedangkan butiran yang lebih kecil akan mengendap lebih lama di dalam suspensi. Hukum Stokes tidak cocok untuk butiran yang lebih kecil dari 0,0002 mm karena gerak turunnya butiran akan dipengaruhi oleh gerak Brownian. Ukuran butiran dianggap sebagai diameter bola yang akan mengendap pada kecepatan yang sama dan pada besar butiran yang sama.

3.2.5 Batas-batas Atterberg

Salah satu faktor terpenting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak atau hancur. Batas-batas Atterberg sangat berguna untuk identifikasi dan klasifikasi tanah. Batas-batas ini sering digunakan secara langsung dalam spesifikasi, guna mengontrol tanah yang akan digunakan untuk pembangunan konstruksi. Hubungan variasi

kadar air dengan volume total tanah pada kedudukan batas cair, batas plastis, dan batas susut dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Batas-batas Atterberg

(Sumber:Hardiyatmo,2003)

1. Batas cair (*Liquid limit*)

Batas cair (LL) didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair ditentukan dari uji Cassagrande (1948) pada pukulan (N) ke 25. Dalam mempermudah jalannya pengujian, maka percobaan penambahan air pada pengujian dilakukan beberapa kali untuk mendapatkan nilai kadar air pada pukulan kurang dari 25 N dan lebih dari 25 N. Hal ini perlu dilakukan karena untuk mengatur kadar air pada waktu celah menutup tepat pada pukulan ke 25 N cukup sulit. Kemudian, hubungan kadar air dengan jumlah pukulan digambarkan dalam grafik semi logaritmik untuk menentukan kadar air pada 25 N.

2. Batas plastis (*Plastic limit*)

Batas plastis (Plastic limit) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.

3. Batas susut (*Shrinkage limit*)

Batas susut (SL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Batas susut dapat dihitung dengan Persamaan 3.6.

$$SL = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2} - \frac{(v_1 - v_2) \gamma_w}{m_2} \right) \times 100\% \quad (3.6)$$

dengan:

SL = Batas susut,

m_1 = Berat tanah basah (g),

m_2 = Berat tanah kering (g),

v_1 = Volume tanah basah (cm³),

v_2 = Volume tanah kering (cm³),

γ_w = Berat volume air (g/cm³).

3.3 Sifat Mekanik Tanah

Hardiyatmo (2006) menyatakan bahwa sifat mekanis tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah pada dikenai suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanis. Salah satu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik tanah adalah *direct shear test*.

Pengujian geser langsung (*direct shear test*) merupakan pengujian untuk mengetahui kekuatan geser tanah dengan cara menggeser contoh tanah yang diberi beban normal (N). Kekuatan tanah yang diperoleh dari percobaan tersebut adalah dalam kondisi *drained*, karena air di dalam pori tanah diijinkan keluar selama pembebanan. Oleh karena itu percobaan geser langsung pada umumnya digunakan pada tanah pasir (*granular*).

Hasil uji geser langsung dapat digunakan untuk analisis kestabilan lereng. Keterbatasan dalam uji geser langsung adalah tidak dapat mengukur tekanan air pori yang timbul saat penggeseran dan tidak dapat mengontrol tegangan yang terjadi di sekeliling tanah. Selain itu, keterbatasan lainnya adalah bidang runtuh

tanah telah ditentukan sebelumnya meskipun belum tentu merupakan bidang terlemah.

3.4 Parameter Kuat Geser Tanah

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis stabilitas lereng. Menurut teori Mohr (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan.

Dengan dasar pengertian ini, Hardiyatmo (2010) menjelaskan apabila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh dua parameter sebagai berikut.

1. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, namun tidak bergantung pada tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

3.5 Tegangan Efektif

I.S. Dunn et all. (1992) berpendapat bahwa tegangan efektif adalah tegangan yang dialami oleh tanah akibat beban tanah diatasnya atau beban-beban struktural diatasnya yang dapat menyebabkan keruntuhan, tergantung pada cara aplikasi beban itu dan distribusi dari tegangan-tegangan. Tegangan efektif ini merupakan tegangan yang mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan tanah. Tegangan efektif dinyatakan dalam Persamaan 3.7.

$$\sigma = \frac{W}{A} = \gamma \times H \quad (3.7)$$

dengan:

- σ = Tegangan efektif (kN/m²),
- W = Berat tanah total (kN),
- A = Luas permukaan (m²),
- γ = Berat volume tanah (kN/m³).

3.6 Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral adalah gaya yang ditimbulkan akibat dorongan tanah di belakang struktur penahan tanah. Besarnya tanah lateral sangat dipengaruhi oleh perubahan letak dari dinding penahan tanah dan sifat tanahnya. Besar distribusi tekanan tanah pada dinding penahan tanah sangat bergantung pada regangan lateral tanah relatif pada dinding. Dalam beberapa hal, hitungan tekanan tanah lateral ini didasarkan pada kondisi regangannya. Jika analisis tidak sesuai dengan apa yang sebenarnya terjadi, maka dapat mengakibatkan kesalahan perancangan.

Menurut Hardiyatmo (2001) tekanan tanah lateral dibedakan menjadi 3 keadaan, yaitu tekanan tanah saat diam (*earth pressure at rest*), tekanan tanah aktif (*active earth pressure*), dan tekanan tanah pasif (*passive earth pressure*)

3.6.1 Tekanan Tanah saat Diam

Tekanan tanah pada saat diam terjadi pada saat tekanan tanah yang bekerja pada suatu perkuatan tanah tersebut pada kondisi diam, sehingga tanah pada kedudukan ini masih dalam kondisi elastis. Tekanan tanah saat diam dinyatakan dalam Persamaan 3.8.

$$P_o = K_o \times \gamma \times H \quad (3.8)$$

dengan:

- P_o = Tekanan tanah saat diam (kN/m),
- K_o = Koefisien tekanan tanah saat diam,
- γ = Berat volume tanah (kN/m³),
- H = Kedalaman tanah (m).

3.6.2 Tekanan Tanah Aktif

Tekanan tanah aktif adalah tekanan tanah lateral minimum yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah akibat gerakan dinding menjauhi tanah dibelakangnya. Tekanan tanah aktif terjadi apabila perkuatan tanah bergeser menjauhi tanah timbunannya dan diikuti oleh tanah timbunan itu sendiri, maka tekanan tanah lateral pada perkuatan tersebut akan berangsur-angsur berkurang

yang diikuti dengan berkembangnya tahanan geser tanah secara penuh. Hal ini mengakibatkan keruntuhan geser tanah dan tekanan tanah pada dinding menjadi minimum. Tekanan tanah aktif dinyatakan dalam Persamaan 3.9.

$$P_a = K_a \times \gamma \times H \quad (3.9)$$

dengan:

- P_a = Tekanan tanah aktif (kN/m),
- K_a = Koefisien tekanan tanah aktif,
- γ = Berat volume tanah (kN/m³),
- H = Kedalaman tanah (m).

3.6.3 Tekanan Tanah Pasif

Tekanan tanah pasif merupakan tekanan tanah lateral maksimum yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah akibat gerakan dinding menekan tanah timbunan di belakang dinding penahan tanah. Saat tanah tertekan akibat dinding penahan tanah mendorong tanah, maka tanah mengalami keruntuhan geser akibat desakan dinding penahan tanah dan tekanan tanah pada dinding menjadi maksimum. Tekanan tanah aktif dinyatakan dalam Persamaan 3.10.

$$P_p = K_p \times \gamma \times H \quad (3.10)$$

dengan:

- P_p = Tekanan tanah pasif (kN/m),
- K_p = Koefisien tekanan tanah pasif,
- γ = Berat volume tanah (kN/m³),
- H = Kedalaman tanah (m).

3.7 Data Sekunder

Dalam analisis lereng galian pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Solo Ruas Salatiga-Kartasura, data sekunder adalah grafik bor log sta.53+841. Data-data lain yang belum dimiliki dan dibutuhkan dalam analisis menggunakan Plaxis Versi 8.6 ditetapkan dengan korelasi berdasarkan jenis tanah pada grafik bor log sta.53+841.

1. Berat jenis

Berat jenis lereng sta.53+700 diperoleh berdasarkan korelasi nilai-nilai berat jenis pada keadaan asli di lapangan dari berbagai jenis tanah yang disarankan oleh Terzaghi (1947) dalam buku Mekanika Tanah 1. Tabel nilai-nilai berat jenis pada keadaan asli di lapangan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Berat Jenis

No	Jenis tanah	Berat jenis	
		Min	Max
1	Kerikil	2,65	2,68
2	Pasir	2,65	2,68
3	Lanau tak organik	2,62	2,68
4	Lempung organik	2,58	2,65
5	Lempung tak organik	2,68	2,75
6	Humus	1,37	1,37
7	Gambut	1,25	1,80

(Sumber:Hardiyatmo,2003)

2. Angka pori

Angka pori lereng sta.53+700 diperoleh berdasarkan korelasi nilai-nilai angka pori pada keadaan asli di lapangan dari berbagai jenis tanah yang disarankan oleh Terzaghi (1947) dalam buku Mekanika Tanah 1. Tabel nilai-nilai angka pori pada keadaan asli di lapangan dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Angka Pori

No	Jenis tanah	<i>e</i>
1	Pasir seragam, tidak padat	0,85
2	Pasir seragam, padat	0,51
3	Pasir berbutir campuran, tidak padat	0,67
4	Pasir berbutir campuran, padat	0,43
5	Lempung lunak sedikit organik	1,90
6	Lempung lunak sangat organik	3,00

(Sumber:Hardiyatmo,2003)

3. Berat volume tanah jenuh air

Berat volume tanah jenuh air lereng sta.53+700 diperoleh dari hasil perhitungan berdasarkan rumus mencari berat volume tanah jenuh air pada Persamaan 3.11.

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{\gamma_w(G_s+e)}{1+e} \quad (3.11)$$

4. Berat volume tanah kering sempurna

Berat volume tanah kering sempurna lereng sta.53+700 diperoleh dari hasil perhitungan berdasarkan rumus mencari berat volume tanah kering sempurna pada Persamaan 3.12.

$$\gamma_{\text{unsat}} = \frac{\gamma_w \cdot G_s}{1+e} \quad (3.12)$$

5. Koefisien permeabilitas

Koefisien permeabilitas lereng sta.53+700 diperoleh berdasarkan korelasi nilai-nilai koefisien permeabilitas pada keadaan asli di lapangan dari berbagai jenis tanah yang disarankan oleh Carter dan Bentley (1991). Tabel nilai-nilai koefisien permeabilitas pada keadaan asli di lapangan dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Koefisien Permeabilitas

No	Description	Min (m/s)	Max (m/s)
1	Silty gravels, silty sandy gravels	5.00E-08	5.00E-06
2	Alluvial sand and gravel	4.00E-04	4.00E-03
3	Silty sands	1.00E-08	5.00E-06
4	Clayey sands	5.50E-09	5.50E-06
5	Inorganic clays, silty clays, sandy clays of slight plasticity	5.00E-09	1.00E-06
6	Inorganic clays, silty clays, sandy clays of low plasticity	5.00E-10	5.00E-08
7	Organic silt, organic silty clays	5.00E-09	1.00E-07
8	Compacted silt	7.00E-10	7.00E-08
9	Compacted clay	-	7.00E-09
10	Peat and other highly organic soils	-	-

(Sumber: Carter dan Bentley, 1991)

6. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas lereng sta.53+700 diperoleh berdasarkan korelasi nilai-nilai modulus elastisitas pada keadaan asli di lapangan dari berbagai jenis tanah yang disarankan oleh Hardiyatmo (2003). Tabel nilai-nilai modulus elastisitas pada keadaan asli di lapangan dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Modulus Elastisitas

No	Jenis Tanah	E (Kg/cm ²)	
		Min	Max
1	Lempung sangat lunak	3	30
2	Lempung lunak	20	40
3	Lempung sedang	45	90
4	Lempung berpasir	300	425
5	Pasir berlanau	50	200
6	Pasir tidak padat	100	250
7	Pasir padat	500	1000
8	Lanau	20	200
9	Cadas	1400	14000

(Sumber:Hardiyatmo,2003)

7. Angka poison

Angka poison lereng sta.53+700 diperoleh berdasarkan korelasi nilai-nilai angka poison pada keadaan asli di lapangan dari berbagai jenis tanah yang disarankan oleh Hardiyatmo (2003). Tabel nilai-nilai angka poison pada keadaan asli di lapangan dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Angka Poison

No	Jenis Tanah	v	
		Min	Max
1	Lempung jenuh	0,40	0,50
2	Lempung tak jenuh	0,10	0,30
3	Lempung berpasir	0,20	0,30
4	Lanau	0,30	0,35
5	Pasir padat	0,20	0,40
6	Pasir tidak padat	0,15	0,15
7	Pasir halus	0,25	0,25
8	Batu	0,10	0,40
9	Loess	0,10	0,30

(Sumber:Hardiyatmo,2003)

8. Kohesi

Kohesi lereng sta.53+700 diperoleh berdasarkan korelasi nilai-nilai kohesi pada keadaan asli di lapangan dari berbagai jenis tanah yang disarankan oleh Carter dan Bentley (1991). Tabel nilai-nilai kohesi pada keadaan asli di lapangan dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Kohesi

No	Description	Cohesion (kPa)
1	Silty gravels, silty sandy gravels	0
2	Clayey gravels, clayey sandy gravels	20
3	Silty sands	22
4	Silty sands compacted	20
5	Clayey sands	5

Lanjutan Tabel 3.8 Kohesi

6	Clayey sands compacted	74
7	Inorganic silt, silty or clayey fine sands, with slight plasticity	7
8	Inorganic clays	11
9	Peat and other highl organic soils	-

(Sumber: Carter dan Bentley, 1991)

9. Sudut geser dalam

Sudut geser dalam pada lereng sta.53+700 diperoleh berdasarkan korelasi nilai-nilai sudut geser dalam lereng pada keadaan asli di lapangan dari berbagai jenis tanah yang disarankan oleh Carter dan Bentley (1991). Tabel nilai-nilai sudut geser dalam pada keadaan asli di lapangan dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Sudut Geser Dalam

No	Description	Friction Angel (°)	
		Min	Max
1	Silty gravels, silty sandy gravels	30	40
2	Clayey gravels, clayey sandy gravels	28	35
3	Silty sands loose	27	33
4	Silty sands dense	30	34
5	Clayey sands	30	34
6	Clayey sands compacted	-	31
7	Inorganic silt, silty or clayey fine sands, with slight plasticity	27	41
8	Inorganic clays	17	31
9	Peat and other highl organic soils	-	-

(Sumber: Carter dan Bentley, 1991)

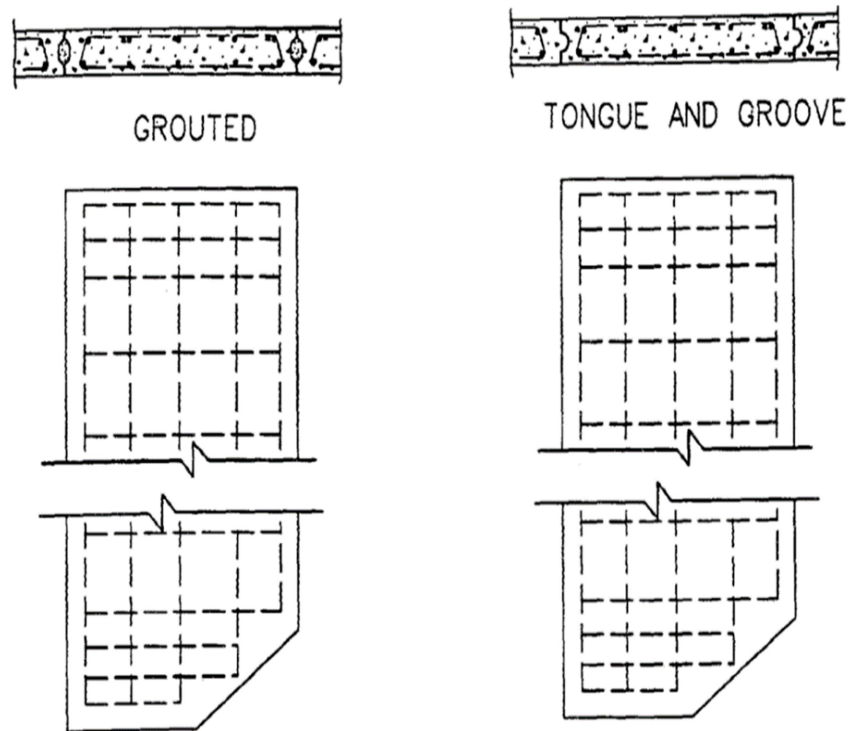
3.8 Turap Beton

Turap adalah tiang yang ditanam ke dalam tanah dengan tujuan untuk memberikan kestabilan di suatu lereng atau konstruksi lainnya. Menurut Hardiyatmo (2001), tipe-tipe turap dapat dibedakan menurut bahan yang digunakan. Bahan tersebut antara lain adalah kayu, beton, dan baja. Namun pada penelitian ini jenis turap yang digunakan adalah turap beton.

Turap beton adalah turap yang paling sering digunakan karena turap beton dapat dipakai untuk konstruksi yang besar maupun yang kecil. Turap beton biasanya dibuat di pabrik (*prefabricated*), sehingga kekuatannya dapat dikontrol dengan baik. Turap beton juga lebih murah daripada turap baja. Tapi turap baja mempunyai masalah dengan ukurannya yang terbatas.

Tiang turap beton pracetak adalah untuk konstruksi berat yang dirancang dengantulangan untuk menahan beban permanen setelah konstruksi dan juga untuk menahan tegangan yang dihasilkan selama konstruksi. Penampang tiang-tiang ini adalah sekitar 500-800 mm lebar dan tebal 150-300 mm.

Turap beton terdiri dari balok-balok beton yang telah dicetak sebelum dipasang dengan bentuk tertentu. Balok-balok turap dibuat saling mengkait antara satu balok dengan balok yang lain. Masing-masing balok, kecuali dirancang kuat menahan beban-beban yang bekerja pada turap, juga terhadap beban-beban yang akan bekerja pada waktu pengangkatannya. Ujung bawah turap biasanya dibuat runcing karena untuk mempermudah pemancangan. Bentuk susunan turap beton dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Turap Beton

(Sumber:Hardiyatmo,2001)

3.9 Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Tujuan analisis stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor keamanan dari bidang longsor yang potensial. Faktor keamanan (*safety factor*) didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan. *Safety factor* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.13.

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (3.13)$$

dengan:

SF = faktor keamanan (*safety factor*),

τ = kuat geser tanah yang dapat dikerahkan, dan

τ_d = tegangan geser tanah yang timbul akibat gaya berat tanah yang akan mengalami kelongsoran

Menurut teori Mohr-Coulomb, kuat geser (τ) maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah disepanjang bidang longsohnya dinyatakan oleh Persamaan 3.14.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (3.14)$$

dengan:

τ = kuat geser tanah (kN/m^2)

c = kohesi (kN/m^2)

σ = tegangan normal (kN/m^2)

φ = adalah sudut gesek dalam tanah

Nilai-nilai kohesi dan sudut geser dalam merupakan parameter kuat geser tanah disepanjang bidang longsor. Dengan cara yang sama, dapat dituliskan persamaan tegangan geser (τ_d) yang terjadi akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsohnya oleh Persamaan 3.15.

$$\tau_d = c_d + \sigma \operatorname{tg} \varphi_d \quad (3.15)$$

dengan:

c_d = kohesi

φ_d = sudut gesek dalam yang terjadi pada bidang longsornya

Dalam buku Mekanika Tanah I karya Hardiyatmo (2003), Bowles (1979) menjelaskan bahwa keadaan lereng berdasarkan nilai *safety factor* (SF) nya dapat dilihat pada Tabel 3.19.

Tabel 3.19 Faktor Keamanan Lereng

Faktor Keamanan	Status Lereng	Intensitas Longsor
$SF < 1,07$	Lereng Labil	Longsor sering terjadi
$1,07 \geq SF \geq 1,25$	Lereng Kritis	Longsor pernah terjadi
$1,25 \geq SF$	Lereng relatif stabil	Longsor jarang terjadi

(Sumber : Bowles 1979)

Lereng yang labil merupakan lereng yang sering terjadi longsor, ditandai dengan nilai faktor aman (SF) dibawah 1,07. Lereng kritis merupakan lereng yang pernah terjadi longsor, ditandai dengan nilai faktor aman (SF) antara 1,07 hingga 1,25. Sedangkan lereng yang relatif stabil merupakan lereng yang jarang terjadi longsor dan tergolong lereng yang aman, ditandai dengan nilai faktor aman (SF) diatas 1,25.

3.10 Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*). Adapun maksud analisis stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam analisis stabilitas lereng, ada beberapa anggapan yang dibuat antara lain sebagai berikut.

1. Kelongsoran lereng terjadi sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi.
2. Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda masif.

3. Tahanan geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
4. Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor. Maka kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik-titik tertentu pada bidang longsornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar dari 1.

Metode Fellenius (*Ordinary Method of Slice*) diperkenalkan pertama oleh Fellenius (1927,1936) berdasarkan bahwa gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan FK dihitung dengan keseimbangan momen. Fellenius mengemukakan metodenya dengan menyatakan asumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik P sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal bekerja ditengah-tengah slice. Diasumsikan juga bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisan adalah sama dengan nol, atau dengan kata lain bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan. Dengan teori ini maka dapat diuji persamaan keseimbangan momen untuk seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi dan diperoleh suatu nilai faktor keamanan (SF). Agar lereng stabil maka gaya-gaya yang dapat mengakibatkan longsor harus lebih kecil dibandingkan dengan gaya-gaya yang ada. Rumus faktor keamanan (SF) dapat dilihat pada Persamaan 3.16.

$$SF = \frac{C \cdot L + \sum w \cdot \cos \alpha}{\sum w \cdot \cos \alpha} \quad (3.16)$$

Dengan:

C = kohesi

α = sudut bidang longsor

L = panjang bidang longsor

W = massa tanah

3.11 Metode Elemen Hingga

Menurut Hardiyatmo (2010), metode keseimbangan batas memungkinkan untuk melakukan evaluasi lereng dengan cepat. Namun, prosedur ini memberlakukan hitungan yang sama antara lereng timbunan baru, lereng yang baru digali atau lereng alami. Tegangan-tegangan didalam lereng sangat dipengaruhi oleh K_0 , yaitu rasio tegangan lateral terhadap tegangan efektif vertikal. Pada perhitungan dengan cara konvensional menggunakan metode keseimbangan batas, nilai K_0 dalam hal ini diabaikan. Dalam kenyataannya distribusi tegangan pada ketiga lereng tersebut akan berbeda dan hal ini berpengaruh terhadap stabilitas lerengnya.

Metode elemen hingga (*Finite Element Methode*) pertama kali dikenalkan oleh Clough dan Woodward (1967), penggunaannya terbatas pada struktur tanah yang kompleks. Untuk kasus khusus, metode elemen hingga dapat mengakomodasi pengaruh penimbunan dan penggalian secara bertahap, sehingga pengaruh tegangan dalam tanah terhadap deformasinya dapat diketahui. Kualitas metode elemen hingga secara langsung bergantung pada kemampuan dari model konstitutif yang dipilih, secara realistis mensimulasi kelakuan linier dari tanah pembentuk lereng. Untuk lereng galian dan lereng asli, model konstitutif hanya dapat dikembangkan dengan uji lapangan kualitas tinggi yang didukung dengan pengamatan lapangan.

3.12 Analisis stabilitas lereng dengan program Plaxis Versi 8.6

Seluruh metode keseimbangan batas yang telah dijelaskan umumnya dapat diperoleh dalam program-program komputer yang sekarang tersedia untuk analisis stabilitas lereng. Pada penelitian ini program yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng adalah program Plaxis Versi 8.6.

Plaxis (*Finite element code for soil and rock analysis*) adalah program pemodelan dan *postprocessing* metode elemen hingga yang mampu melakukan analisa masalah-masalah geoteknik dalam perencanaan geoteknik dalam perencanaan sipil. Plaxis Versi 8.6 menyediakan berbagai analisa teknik tentang displacement, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, dan lain-lain. Program

ini dirancang untuk dapat melakukan pembuatan geometri yang akan dianalisa. Parameter tanah yang digunakan dalam program Plaxis Versi 8.6 diantaranya yaitu:

1. berat volume tanah kering/*dry soil weight* (γ dry),
2. berat volume tanah basah/*wet soil weight* (γ wet),
3. permeabilitas arah horizontal/*horizontal permeability* (k_x),
4. permeabilitas arah vertikal/*vertical permeability* (k_y),
5. modulus young/*young's modulus* (E_{ref}),
6. *poisson's ratio* (ν),
7. kohesi/*cohesion* (c),
8. sudut geser/*friction angle* (ϕ), dan
9. sudut dilatasi/*dilatancy angle* (ψ).

Program komputer ini menggunakan elemen segitiga dengan 6 nodal atau 15 nodal. Pada analisis ini digunakan segitiga dengan 15 nodal agar dapat dilakukan interpolasi dan peralihan nodal dengan menggunakan turunan dua derajat. Dengan menggunakan elemen ini akurasi hasil analisis sudah cukup teliti dan dapat diandalkan.

Plaxis versi 8.6 terdiri dari 4 program, di bawah ini adalah program-program yang ada di dalam Plaxis versi 8.6.

1. *Input program.*
2. *Calculation program.*
3. *Output program.*
4. *Curve program.*

Dalam analisis menggunakan Plaxis teori yang digunakan adalah teori Mohr Coulumb. Teori ini didasarkan pada hipotesa bahwa tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada permukaan rupture dimana tegangan normal sama besarnya, sehingga bidang yang paling lemah adalah bidang dengan tegangan geser paling besar.

Teori Mohr Coulumb memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Teori ini paling sering digunakan karena kesederhanaanya dan untuk jenis tanah yang tidak menunjukkan perbedaan yang jelas adanya tegangan puncak dan residual

ataupun tanah yang dapat runtuh tiba-tiba teori ini tetap berlaku karena tegangan puncak sama dengan tegangan residual. Sedangkannya kekurangannya antara lain tidak memperhitungkan adanya regangan, mengambil parameter kekuatan geser pada keadaan tegangan puncak yang pada umumnya terjadi perubahan regangan, dan teori ini tidak berlaku untuk tanah yang menunjukkan adanya keadaan puncak dan keadaan residual. Rumus Mohr Coulumb dapat dilihat pada Persamaan 3.17.

$$\tau = C + \mu \sigma \quad (3.17)$$

dengan:

C = kohesi

τ = tegangan geser

μ = koefisien geser dalam batuan ($\tan \phi$)

σ = tegangan normal