

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Pengertian Tanah

Tanah dari pandangan ilmu Teknik Sipil merupakan himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo H.C., 1992).

Tanah didefinisikan secara umum adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef,1994).

Ikatan antara butiran yang relative lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun yang lainnya (Hardiyatmo H.C., 1992).

Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan oleh air dan gletsyer, atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan sedangkan proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam alkali, oksigen dan karbondioksida (Wesley, 1977).

Sedangkan pengertian tanah menurut Bowles (1984), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut:

- a. Berangkal (*boulders*) adalah potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 sampai 300 mm dan untuk ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles/pebbles*).
- b. Kerikil (*gravel*) adalah partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.

- c. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5mm, yang berkisar dari kasar dengan ukuran 3 mm sampai 5 mm sampai bahan halus yang berukuran < 1 mm.
- d. Lanau (*silt*) adalah partikel batuan yang berukuran dari 0,002 mm sampai 0,0074 mm.
- e. Lempung (*clay*) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
- f. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam dan berukuran lebih kecil dari 0,001 mm

3.1.2 Tanah Clayshale

Clayshale dikenal karena sifat atau karakteristiknya yang dapat bersifat rapuh dengan tingkat durabilitas rendah. Hal ini memunculkan banyak problem geoteknik seperti pemilihan material timbunan, daya dukung fondasi, kestabilan lereng dan penurunan muka tanah. Deen (1981) dan Heryono (2010) mengemukakan bahwa *clayshale* umumnya berada pada zona tidak jenuh air, karena efek kapilaritas lebih berperan pada daerah tersebut dan tergantung atas letak muka air tanah serta perilaku *clayshale* ini termasuk sebagai material transisi tanah dan batuan. Akibat degradasi *clayshale* dapat mengalami penurunan durabilitas dan berat isi yang disebut *slaking*, apabila material ini berada pada kondisi terbuka berdesintegrasi setelah adanya kontak dengan udara dan air. Kekuatan *clayshale* tergantung atas derajat dan jenis material pengikatnya. Johnson, dkk (1964), dalam Heryono (2010) mengklasifikasikan perilaku *clayshale* sebagai lempung terkonsolidasi lebih (*overconsolidated clay*). Faktor penting yang mempengaruhi properti *clayshale* adalah sejarah geologi, mulai dari masa deposisi hingga kondisi terkini *unweathered* atau *weathered clayshale*. Pelapukan (*weathering*) dalam hal ini dinyatakan sebagai semua perubahan yang terjadi pada bagian permukaan paling atas dari muka tanah atau batuan.

3.1.3 Klasifikasi Tanah

Sebelum merencanakan struktur sebuah bangunan gedung, jalan raya, bangunan air dan sebagainya, langkah pertama yang harus dilakukan adalah

pemeriksaan kondisi tanah. Pemeriksaan kondisi tanah dilakukan untuk mengetahui apakah tanah tersebut sesuai dengan klasifikasi yang telah ditentukan. Klasifikasi tanah merupakan penggolongan yang sistematis dari jenis-jenis tanah yang mempunyai sifat-sifat yang sama ke dalam kelompok-kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya (Das, 1995).

Sistem klasifikasi tanah sangat membantu perancangan dalam memberikan pengarahan melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Tetapi, perancangan harus berhati-hati dalam penetapannya karena penyelesaian masalah stabilitas, kompresi (penurunan), aliran air yang didasarkan pada klasifikasi tanah sering menimbulkan kesalahan yang berarti (Das, 1979).

Terdapat dua system klasifikasi yang sering digunakan, yaitu Unified Soil Classification System dan AASHTO (*American Association Of State Highway and Transporting Official*). Sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dari Sistem Unified mula pertama diusulkan oleh Casagrande (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (United State Bureau of Reclamation). Dalam bentuk yang sekarang, system ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik (Hardiyatmo, 2014).

1. Sistem USCS (*Unified Soil Classification System*)

Dalam sistem USCS (Tabel 3.1), tanah diklasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (Kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomer 200 dan sebagai tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200.

2. Sistem AASHTO (*American Association Of State Highway and Transporting Official*)

Sistem klasifikasi tanah AASHTO pertama kali diperkenalkan oleh Hoentogler dan Tarzaghi, yang akhirnya diambil oleh Bureau Of Public Roads. Pengklasifikasikan sistem ini berdasarkan kriteria ukuran butir dan plastisitas. Maka dalam mengklasifikasikan tanah membutuhkan pengujian analisis saringan dan batas-batas atterberg.

Sistem ini (Tabel 3.2) membagi tanah ke dalam 8 kelompok yang diberi nama dari A-1 sampai A-8. A-8 adalah kelompok tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan raya, maka pada revisi terakhir oleh AASTHO diabaikan.

Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama jenis	
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
			GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung	
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
			SM	Pasir berlanau, campuran pasir-landau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus, lanau elastis	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik tinggi		P _t	Gambut dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Sumber : Hardiyatmo (2014)

Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

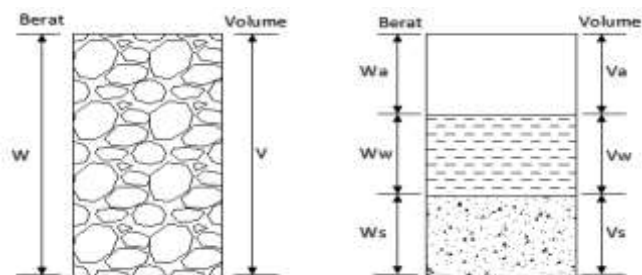
Klasifikasi umum	Material granuler (< 35% lolos saringan no.200)							Tanah-tanah lanau-lempung (< 35% lolos saringan no.200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6
Analisis saringan (% lolos)											
2,00 mm (no.10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no.40)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (no.200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan no.4											
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	2- maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			
Catatan: Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL) Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5 Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6 Np = nonplastis											

Sumber : Hardiyatmo (2014)

3.1.4 Parameter Tanah

Parameter tanah yang dimaksudkan disini meliputi berat volume basah, berat volume jenuh air, *modulus young*, *posson ratio*, sudut geser dalam, dan kohesi.

Berdasarkan Hardiyatmo (2014) segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, maka tanah hanya terdiri dari dua bagian, yaitu butiran-buturan tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori. Bagian-bagian tanah dapat digambar dalam bentuk diagram fase ditunjukkan dalam Gambar 3.1 memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume V dan berat total W .



Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah.

(Sumber: Hardiyatmo, 2014)

Dari memperhatikan gambar tersebut dapat dibentuk persamaan :

$$W = W_s + W_w \quad (3.1)$$

Dan

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (3.2)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (3.3)$$

Dengan,

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_s = Volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

1. Berat Volume Lembab atau Basah (γ_b)

Berat volume lembab atau basah (γ_b), adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W), dengan volume total tanah (V) (lihat Persamaan 3.4).

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (3.4)$$

Dengan $W = W_w + W_s + W_a$ ($W_a = 0$), bila ruang udara terisi oleh air seluruhnya ($V_a = 0$), maka tanah menjadi jenuh.

2. Berat volume jenuh air (γ_{sat})

Berat volume jenuh air (γ_{sat}), ($S = 100\%$) (lihat Persamaan 3.5).

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w(G_s + e)}{1 + e} \quad (3.5)$$

3. Modulus Young

Nilai modulus young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *triaxial test*. Umumnya modulus elastisitas (E) ditentukan dari uji triaksial kondisi *undrained*, dan nilai E ditentukan dari pendekatan kemiringan kurva tegangan-regangan yang diambil pada setengah dari beban ultimit aksial. Angka *poisson* (ν) dapat dihitung dari pengukuran regangan kompresi aksial dan regangan lateral selama uji triaksial. Nilai Modulus elastisitas (E_s) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 3.3.

Untuk tanah granuler seperti pasir, modulus elastisitas dapat ditentukan dari uji triaksial. Nilai modulus elastisitas (E) telah diketahui proporsional dengan $(\sigma_0)^n$, dengan σ_0 adalah tekanan keang hidrostatis dan nilai n mendekati 0,5. Nilai-nilai modulus elastisitas (E) dan angka *poisson* (ν) perkiraan untuk berbagai macam tanah.

Tabel 3.3 Perkiraan Modulus Elastis

Macam Tanah	E(kN/m²)
LEMPUNG	
Sangat lunak	300-3000
Lunak	2000-4000
Sedang	4500-5000
Keras	7000-20000
Berpasir	30000-42500
PASIR	
Berlanau	5000-20000
Tidak padat	10000-25000
Padat	50000-100000
PASIR DAN KRIKIL	
Padat	80000-200000
Tidak padat	50000-140000
LANAU	2000-20000
LOESS	15000-60000
CADAS	140000-1400000

Sumber : Bowles (1977)

Nilai-nilai E yang dipergunakan dalam Persamaan (3.6), terdapat beberapa usulan nilai E yang diberikan oleh peneliti yang lain. Hasil-hasil uji kerucut statis (sondir) yang dilakukan oleh De Beer (1965) memberikan korelasi antara tahanan kerucut q_c dan E , seperti dalam persamaan (3.6) sebagai berikut :

$$E = 2 q_c \quad (3.6)$$

Dengan q_c dalam kg/cm^2 . Bowles (1977) mengusulkan persamaan yang dihasilkan dari pengumpulan data uji kerucut statis (sondir) seperti dalam persamaan (3.7) dan (3.8), sebagai berikut :

$$E = 3 q_c \text{ kg/cm}^2 \text{ (untuk pasir)} \quad (3.7)$$

$$E = 2 q_c \text{ sampai } 8 q_c \text{ kg/cm}^2 \text{ (untuk lempung)} \quad (3.8)$$

Nilai perkiraan modulus elastis dapat pula diperoleh dari uji SPT. Mitchell dan Gardner (1975) mengusulkan nilai modulus elastis yang dihubungkan dengan nilai SPT seperti dalam persamaan (3.9) dan (3.10), sebagai berikut :

$$E = 6 (N+5) \text{ k/ft}^2 \text{ (untuk pasir berlempung)} \quad (3.9)$$

$$E = 10 (N+15) \text{ k/ft}^2 \text{ (untuk pasir)} \quad (3.10)$$

Didasarkan pada nilai pendekatan hubungan antara nilai N dari pengujian SPT dan tahanan konus (Meyerhof, 1956) nilai qc dapat menggunakan rumus seperti dalam Persamaan (3.11), sebagai berikut :

$$qc = 4N \quad (3.11)$$

4. Poisson Ratio

Nilai poisson ratio ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan permukaan lateral. Nilai poisson ratio dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Perkiraan Rasio Poisson

Macam Tanah	ν
Lempung jenuh	0,40 – 0,50
Lempung tak jenuh	0,10 – 0,50
Lempung berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasar padat	0,20 – 0,40
Pasar kasar ($e= 0,4 - 0,7$)	0,15
Pasar halus ($e= 0,4 - 0,7$)	0,25
Batu	0,10 – 0,40
Loess	0,10 – 0,30
Beton	0,15

Sumber: Bowles (1977)

5. Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Nilai ini didapat dari pengujian *Triaxial Test dan Direct Shear Test*.

6. Kuat Geser Tanah

Menurut Hardiyatmo (2014) parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis kapasitas dukungan tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Menurut teori Moch (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan oleh persamaan (3.12) :

$$\tau = f(\sigma) \quad (3.12)$$

Dengan τ adalah tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan (*failure*), dan σ adalah tegangan normal pada saat kondisi tersebut. Garis kegagalan yang didefinisikan dalam persamaan (3.13), adalah kurva yang ditunjukkan dalam Gambar (3.14).

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang diakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

- a. kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang terjadi pada bidang geser, dan
- b. gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Columb (1776) mendefinisikan τ sebagai :

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (3.13)$$

dengan,

τ = Kuat geser tanah (kN/m^2)

c = Kohesi tanah (kN/m^2)

φ = Sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek internal (derajat)

σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

Kekuatan geser dalam memiliki variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat

tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapat dari pengukuran *engineering properties* tanah berupa *Triaxial Test* dan *Direct Sher Test*. Untuk lebih jelasnya ditunjukkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam Dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil kepasiran	35 – 40
Kerikil kerakal	35 – 40
Pasir padat	35 – 40
Pasir lepas	30
Lempung	25 – 30
Lempung	20 – 25

Sumber : Das (1994)

3.2 Lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal. Pada tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggian, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak kearah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor.

3.2.1 Penyebab Longsor

Menurut Hardiyatmo (2014) kelongsoran lereng alam dapat terjadi dari hal-hal sebagai berikut ini.

1. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenang di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuhan-tumbuhan yang tertiuip angin dan lain-lain.
2. Penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng.
3. Penggalian yang mempertajam kemiringan lereng.

4. Perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*) (pada bendung, sungai dan lain-lain).
5. Kenaikan tekanan tanah lateral oleh air (air yang mengisi retakan akan mendorong tanah ke arah lateral).
6. Gempa bumi.
7. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng oleh akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air di dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain.

3.2.1.1 Pengaruh Iklim

Menurut Hardiyatmo (2014) di dekat permukaan tanah, kuat geser tanah berubah dari waktu ke waktu bergantung pada iklim. Beberapa jenis tanah mengembang saat musim hujan, dan menyusut pada musim kemarau. Pada musim hujan kuat geser tanah ini menjadi sangat rendah di dibandingkan dengan musim kemarau. Kuat geser tanah yang dipakai dalam analisis stabilitas lereng harus didasarkan pada kuat geser tanah di musim hujan, atau kuat geser pada saat tanah jenuh air.

3.2.1.2 Pengaruh Air

Menurut Hardiyatmo (2014) pengaruh aliran air atau rembesan menjadi faktor sangat penting dalam stabilitas lereng, namun pengaruh ini sulit diidentifikasi dengan baik. Telah dipelajari bahwa rembesan air yang terjadi di dalam tanah menyebabkan gaya rembesan yang sangat berpengaruh pada stabilitas lereng.

Erosi permukaan lereng dapat menyebabkan terkikisnya tanah permukaan yang mengurangi tinggi lereng, sehingga menambah stabilitas lereng. Sebaliknya, erosi yang memotong kaki lereng dapat menambah tinggi lereng, sehingga mengurangi stabilitas lereng.

Jika pada lereng terjadi penurunan muka air tanah dalam lereng atau di dekat lereng, contohnya penurunan muka air mendadak pada saluran atau sungai, maka terjadi pengurangan gaya angkat air pada massa tanah, yang menambah

beban lereng. Kenaikan beban menyebabkan kenaikan tegangan geser, yang bila tahanan geser tanah terlampaui akan mengakibatkan longsoran lereng. Hal ini banyak terjadi pada lereng yang tanahnya berpermeabilitas rendah.

Gaya geser yang terjadi pada volume konstan dapat diikuti oleh berkurangnya gaya intergranuler dan naiknya tekanan air pori. Kelongsoran tanah dapat terjadi, bila pengurangan gaya intergranuler tanah besar, menyebabkan masa tanah dalam kedudukan *liquefaction* (tegangan efektif nol), sehingga tanah dapat mengalir seperti cairan.

3.2.2 Macam-Macam Kelongsoran

Menurut Hardiyatmo (2007) karakteristik kegagalan lereng dapat dibagi menjadi lima macam.

1. Longsoran rotasional

Longsoran rotasional umumnya terjadi pada lereng yang tanahnya homogen. Bidang longsor berbentuk lingkaran dan dalam, dan massa tanah yang longsor cenderung menyatu, walaupun kadang-kadang tampak adanya scarp di bagian atas longsor, Longsoran rotasional dapat terjadi pada timbunan atau galian.

2. Longsoran translasional

Longsoran translasional terjadi dengan bidang longsor datar dan massa tanah yang longsor berbentuk baji. Bidang longsor dapat terjadi mengikuti lapisan tanah lempung lunak dengan kuat geser rendah, atau lapisan lanau tersisip di antara dua lapisan lempung. Sering pula bidang longsor mengikuti arah permukaan batuan dasar (*bed rock*)

3. Aliran

Longsoran yang berupa aliran lanau atau lumpur berupa gerakan material tanah dangkal di dekat permukaan. Aliran lumpur terdiri dari aliran tanah lembek jenuh yang bergerak ke bawah seperti air. Kelongsoran sering terjadi tanpa tanda-tanda selama atau sesudah hujan lebat, atau kalua di negara barat ketika salju mencair. Aliran lumpur ini, sering terjadi pada lereng tajam yang tanah pembentukannya berupa pasir atau lanauan dengan atau sedikit kandungan lempung

4. Longsoran Blok

Longsoran blok terjadi dalam bentuk blok massif dari material tanah atau batuan yang bergerak dalam satu kesatuan dan terjadi disepanjang bidang longsor tertentu, atau di sepanjang kekar (*joint*) batuan. Bidang longsor umumnya terdiri dari material lemah atau kekar. Longsoran balok dapat terdiri dari unit tunggal maupun banyak yang bergerak pada waktu yang berbeda. Longsoran tipe ini sangat berbahaya, Karena terjadi sangat cepat dan tanpa tanda-tanda awal.

5. Runtuhan Batuan

Runtuhan batuan terjadi dalam bentuk jatuhnya batu-batuan ke permukaan jalan. Batu jatuh oleh akibat pelapukan lapisan batuan yang berada di bawahnya. Runtuhan batuan massif bisa sering terjadi oleh akibat pelapukan, hujan, mencairnya es, pembekuan dan sebagainya. Di alam, batuan massif sering mengandung kekar-kekar (*joint*).

6. Rayapan (Creep)

Rayapan atau rangkak (*creep*) adalah gerakan tanah atau batuan pembentuk lereng yang kurang lebih kontinyu dalam arah tertentu. Rayapan ini, bisa terjadi pada tanah di dekat permukaan maupun pada kedalaman tertentu. Umumnya, besarnya gerakan dipengaruhi oleh beberapa factor : kuat geser lempung, sudut lereng, tinggi lereng, waktu, kondisi kelembaban dan ketebalan zona rayapan efektif (Lytton dan Dyke, 1980).

Lereng yang mengalami rayapan, bergerak sangat perlahan. Rayapan menerus dapat terjadi pada tegangan geser yang rendah dan terjadi pada waktu yang lama dengan tanpa penyebab keruntuhan lereng. Rayapan menerus sering terjadi pada tanah-tanah lempung dan batuan yang kelebihan beban. Seperti contoh, di area permukiman penduduk, terdapat kecenderungan tempat tinggal yang kecil, karena harga tanah yang mahal.

3.2.3 Analisis Stabilitas Lereng

Pada permukaan tanah yang tidak horisontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran

lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng ini tidak mudah, karena terdapat banyak faktor yang sangat mempengaruhi hasil hitungan, Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lain (Hardiyatmo, 2014).

3.2.3.1 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Berdasarkan Hardiyatmo (2014) Maksud dari analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam analisis stabilitas lereng, beberapa anggapan dibuat, yaitu:

1. kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi.
2. kassa tanah yang longsor dianggap sebagai benda masif.
3. tanah 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.

Berdasarkan Hardiyatmo (2014) faktor keamanan didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, atau dapat dilihat pada persamaan (3.16) :

$$F = \frac{\tau}{\tau d} \quad (3.16)$$

Keterangan :

τ = tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah (kN/m^2).

τd = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m^2), dan

F = faktor aman.

Menurut teori Mohr-Coulomb dalam Hardiyatmo (2014), tahanan terhadap tegangan geser (τ) yang dapat dikerahkan oleh tanah, di sepanjang bidang longsornya, dapat dilihat di persamaan (3.17).

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (3.17)$$

Keterangan :

τ = tegangan geser (kN/m^2).

C = kohesi (kN/m^2).

ϕ = sudut gesek dalam tanah (derajat), dan

σ = tegangan normal (kN/m^2).

Dengan cara yang sama, dapat dituliskan persamaan tegangan geser yang terjadi (τ_d) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsornya, dapat dilihat di persamaan (3.18).

$$\tau_d = cd + \sigma \operatorname{tg} \phi_d \quad (3.18)$$

Keterangan :

τ_d = tegangan geser (kN/m^2).

Cd = kohesi (kN/m^2).

ϕ_d = sudut gesek dalam tanah (derajat), dan

σ = tegangan normal (kN/m^2).

Substitusi dari Persamaan (3.17) dan (3.18) ke Persamaan (3.19) diperoleh factor aman,

$$F = \frac{\sigma + \sigma \operatorname{tg} \phi}{\sigma_d + \sigma \operatorname{tg} \phi_d}$$

$$Cd + \sigma \operatorname{tg} \phi_d = \frac{c}{F} + \sigma \frac{\operatorname{tg} \phi}{F} \quad (3.19)$$

Untuk maksud memberikan factor aman terhadap masing-masing komponen kuat geser, factor aman dapat dinyatakan pada Persamaan 3.20a dan 3.20b

$$F_c = \frac{c}{c_d} \quad (3.20a)$$

$$F_\phi = \frac{\operatorname{tg} \phi}{\operatorname{tg} \phi_d} \quad (3.20b)$$

Keterangan :

F_c = Faktor aman pada komponen kohesi, dan

F_ϕ = Faktor aman pada komponen gesekan.

Faktor keamanan suatu lereng dapat dilihat dari Tabel 3.6 dan Tabel 3.7 yang dibuat sesuai dengan besar kestabilan suatu lereng.

Tabel 3.6 Nilai Faktor Keamanan Untuk Perancangan Lereng

Faktor Keamanan (F)	Keadaan Lereng
$F < 1,00$	Lereng dalam kondisi tidak mantap (lereng <i>labil</i>)
$1,00 < F < 1,20$	Lereng dalam kondisi kemantapan diragukan
$1,30 < F < 1,40$	Lereng dalam kondisi memuaskan
$1,50 < F < 1,70$	Lereng dalam kondisi mantap (lereng <i>stabil</i>)

Sumber : Sosrodarsono (2003)

Tabel 3.7 Hubungan Nilai Faktor Kemanan Dengan Intensitas Longsor

Nilai Faktor Keamanan	Kemungkinan Longsor
$F < 1,07$	Longsor terjadi biasa/ sering (lereng <i>labil</i>)
$1,07 < F < 1,25$	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
$F > 1,25$	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

Sumber : Bowles (1989)

Pada Tugas Akhir ini untuk merencanakan lereng yang stabil penulis menggunakan factor aman (F) = 1.5

3.2.3.2 Metode Elemen Hingga

Menurut Hardiyatmo (2014) dengan menggunakan metoda keseimbangan batas dimungkinkan untuk melakukan evaluasi lereng dengan cepat. Tetapi, prosedur ini memberlakukan hitungan yang sama antara (1) lereng timbunan baru, (2) lereng yang baru digali atau (3) lereng alami. Tegangan-tegangan di dalam lereng sangat dipengaruhi oleh K_0 , yaitu rasio tegangan lateral terhadap tegangan vertical efektif. Tetapi, hitungan cara konvensional dengan metoda keseimbangan batas mengabaikan hal ini (Chowdhury, 1981). Dalam kenyataan, distribusi

tegangan dalam ke tiga lereng tersebut akan berbeda, dan oleh karena itu akan mempengaruhi stabilitasnya.

Metode Elemen Hingga (Finite Element Method) pertama kali dikenalkan oleh Clough dan Woodward (1967), tapi penggunaannya terbatas pada struktur tanah yang kompleks. Untuk kasus khusus, metode elemen hingga dapat mengakomodasi pengaruh penimbunan dan penggalian secara bertahap, sehingga pengaruh sejarah tegangan dalam tanah terhadap deformasinya dapat ditelusuri. Akan tetapi, kualitas metoda elemen hingga secara langsung bergantung pada kemampuan dari model konstitutif yang dipilih, yang secara realistis mensimulasi kelakuan non linier dari tanah pembentuk lereng. Untuk lereng galian dan lereng alam, model konstitutif hanya dapat benar-benar dikembangkan dengan uji lapangan kualitas tinggi yang didukung dengan pengamatan di lapangan.

3.3 Perkuatan Lereng Dengan Geotekstil

Geotekstil merupakan material lembaran yang dibuat dari bahan tekstil polymeric, bersifat yang lolos air, yang dapat berbentuk bahan nir-anyam (*non woven*), rajutan atau anyaman (*woven*) yang digunakan dalam kontak dengan tanah/batu dan material geoteknik yang lain di dalam aplikasi teknik sipil. Geotekstil umumnya tidak tahan atau mengalami degradasi apabila terkena sinar ultra violet dari matahari. Dengan berbagai macam jenis material dan cara pemrosesannya, maka diperlukan pemilihan tipe geotekstil yang tepat dalam aplikasi proyek di lapangan. Suatu hal yang sangat penting terkait dengan geotekstil adalah kuat tariknya. Tipe geotekstil tertentu menentukan tipe penggunaan tertentu yang cocok, misalnya fungsi geotekstil untuk tulangan atau pemisah, filtrasi atau drainase (Fluet, 1998).

Jika ditinjau menurut fungsinya, beberapa aplikasi geotekstil yang telah digunakan hingga saat ini adalah sebagai berikut ini.

1. Pemisah antara material yang berbeda. Pada struktur perkerasan jalan dan bandara geotekstil diletakkan di antara tanah-dasar (subgrade) dan lapis pondasi agregat batuan atau diletakkan di antara lapisan aspal lama dan baru (overlay). Pada timbunan, geotekstil diletakkan pada dasar timbunan di atas

tanah lunak berfungsi sebagai pemisah yang sekaligus sebagai perkuatan timbunan.

2. Sebagai filter. Dalam aplikasinya sebagai filter, geotekstil sering dipasang melingkari agregat batuan atau pipa pengumpul pada saluran drainase bawah tanah. Apabila geotekstil dipasang dalam timbunan dapat berfungsi sebagai penyaring agar butiran halus tidak terangkut aliran rembesan.

3. Perkuatan bangunan pada tanah lunak. Dalam fungsinya sebagai perkuatan, terutama perkuatan lereng pada timbunan terjal maupun landai, geotekstil diletakkan dibagian lereng dengan jarak tertentu sehingga lereng terjaga kestabilannya (Hardiyatmo, 2008).



Geotekstil *Non Woven*(non tenun)



Geotekstil *Woven*(tenun)

Gambar 3.2 Geotekstil *Non Woven* dan *Woven*

Sumber : Geotextile Nusantara (2016)

3.3.1 Sifat-Sifat Geotekstil

3.3.1.1 Sifat Fisik

Berdasarkan Hardiyatmo (2008) sifat-sifat fisik dari geotekstil terdiri dari massa per satuan luas (berat), berat jenis, kekakuan dan tebalnya.

1. Massa Per Satuan Luas

Massa per satuan luas (berat) dari geosintetik dinyatakan dalam satuan gram per meter per-segi (g/m^2). Geotekstil yang massa per satuan luasnya ringan digunakan sebagai pemisah, sedangkan yang lebih berat, biasanya tipe anyam, digunakan sebagai perkuatan/tulangan. Geotekstil nir-anyam yang massa per

satuan luasnya besar umumnya berfungsi sebagai filter. Prosedur pengujian dilakukan dengan mengacu pada ASTM D5261.

2. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis didefinisikan sebagai rasio be-rat volume bahan tanpa rongga terhadap be-rat volume air (destilasi tanpa udara) pada suhu 4⁰C. Berat jenis fiber-fiber bahan geotekstil adalah berat jenis dari polymer pengisinya (ASTM D792 atau D1505). Beberapa nilai tipi-kal berat jenis bahan polymer yang dipakai untuk geotekstil dan bahan lain sebagai pem-banding, yaitu (Koerner, 2005) dalam Hardiyatmo (2008):

- | | |
|----------------------------|--------------------|
| a. Polyester | = 1,22 sampai 1,38 |
| b. Polyethylene | = 0,96~0,90 |
| c. Polypropylene | = 0,91 |
| d. Polyvinyl chloride | = 1,69 |
| e. Nylon | = 1,14~1,05 |
| f. Kapas (<i>cotton</i>) | = 1,55 |
| g. Polyvinyl chloride | = 1,69 |
| h. Baja | = 7,87; |
| i. Tanah/batuan | = 2,9~2,4 |
| j. Kaca | = 1,55. |

Kadar air (kelembaban) hanya berpenga-ruh kecil pada kekuatan geotekstil, hanya po-lyolefins (polypropylene dan polyethylene) mempunyai berat jenis lebih ringan dari air (berat jenis polypropylene = 0,91 dan polye-thylene = 0,96 - 0,90). Polyester menyerap air paling sedikit, dan mempunyai temperatur leleh yang sangat tinggi, yaitu sekitar 163⁰ ~ 288⁰C. Polyester mempunyai berat jenis lebih besar 1. Bahan-bahan yang mempunyai berat jenis < 1, akan mengapung bila berada di dalam air.

3. Kekakuan (*Stiffness*)

Dalam geosintetik, terdapat istilah kekaku-an (*stiffness*) atau kelenturan (*flexibility*) yang dibedakan dengan istilah modulus. Modulus adalah kemiringan

bagian awal dari kurva tegangan-regangan, sedang kekakuan geotekstil menyatakan ukuran interaksi antara berat geotekstil dan kekakuannya, yaitu ketika geotekstil melengkung oleh akibat beratnya sendiri. Sifat kekakuan ini penting, karena menunjukkan kemampuannya dalam menyesuaikan diri dengan permukaan tanah saat digelar. Jika geotekstil diletakkan pada tanah lunak, maka geotekstil dengan kekakuan yang tinggi lebih dikehendaki. Prosedur uji kekakuan geotekstil tercantum dalam standar ASTM D1388.

4. Tebal

Tebal geotekstil adalah jarak antara bagian atas dan bagian bawah geotekstil, dan diukur di bawah tekanan tertentu. Prosedur pengujian untuk pengukuran tebal geotekstil tercantum dalam ASTM D5199. Untuk pengukuran tebal, besarnya tekanan pada geotekstil diperhatikan. Tekanan standar untuk mengukur tebal geotekstil adalah 2 kPa. Pengukuran tebal ini dilakukan dengan ketelitian 0.025 mm. Dalam praktek, kisaran tebal geotekstil, secara tipikal, adalah antara 0.25 mm ~ 3.5 mm (Koerner, 2005).

3.3.1.2 Sifat Mekanik

Berdasarkan Hardiyatmo (2008) sifat-sifat Mekanik dari geotekstil terdiri dari kuat tarik (*Tensile Strength*), Kuat Tarik Serobot (*Grab Tensile Strength*), Kuat Tarik Terkekang, kemudahan pemampatan, kekuatan pelipit dll.

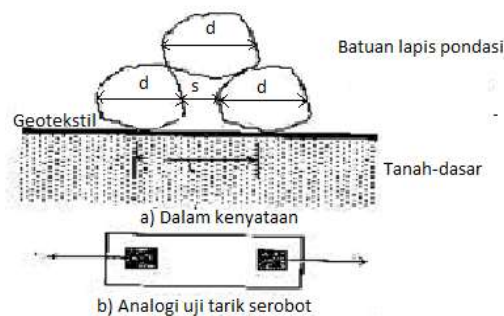
1. Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Bergantung pada penggunaannya, geotekstil harus mampu mendukung beban dan/atau mengalami deformasi. Beban akan menyebabkan deformasi, dan deformasi ini akan memobilisasi kuat tarik geotekstil. Kuat tarik geotekstil merupakan sifat penting yang diperlukan.

Berbagai macam kuat tarik geotekstil yang digunakan bergantung pada fungsi utama yang dituju, yaitu untuk perkuatan, pemisah, drainase atau filtrasi. Nilai kuat tarik dapat diperoleh dari uji tarik yang dilakukan sampai geotekstil mengalami kegagalan. Kuat tarik geotekstil searah dengan arah mesin pembuat (*machine direction* atau *warp*), umumnya lebih besar dari arah melintang mesin pembuatnya (*cross machine direction* atau *weft*). Prosedur uji kuat tarik melebar (*wide-width test*) geotekstil tercantum dalam ASTM D4595.

2. Kuat Tarik Serobot (*Grab Tensile Strength*)

Geotekstil, bila digunakan sebagai pemisah, salah satu gaya tarik yang bekerja adalah tarikan searah bidangnya. Dalam pekerjaan jalan, posisi geotekstil biasanya terjepit di antara agregat batuan lapis pondasi dan tanah dasar di bawahnya. Tegangan tarik searah bidang, terjadi bila agregat bagian atas yang dalam kontak dengan geotekstil dipaksa bergerak menyamping. Kondisi ini analog dengan gaya tarik akibat serobot (*grab*). Gambar 3.7 mengilustrasikan analogi gaya tarik pada geotekstil yang terjadi pada uji tarik serobot (*grab tensile test*) yang diberikan oleh Koerner (2005).



Gambar 3.3 Geotekstil Mengalami Tegangan Tarik ketika Beban Bekerja di Permukaan Lapis Pondasi
(Sumber : Koerner, 2005)

3. Kuat Tarik Terkekang

Kuat tarik terkekang adalah kekuatan geo-tekstil dalam menahan tarik apabila material tersebut terkekang di dalam tanah di ke dua per-mukaannya. Uji tarik terkekang yang diusulkan oleh McGown et al. (1982) dalam Hardiyatmo, H.C, (2008), dengan menggunakan geotekstil yang berukuran 200 mm x 100 mm yang dijepit kuat-kuat di antara dua penjepit.

4. Kemudah mampatan

Geotekstil, umumnya mempunyai kompresi-bilitas rendah, terutama untuk geotekstil nir-anyam tipe *needle punched*. Semakin tinggi te-gangan normal yang bekerja pada permukaan geotekstil, maka tebalnya semakin berkurang.

Kemudahmampatan (*compressibility*) atau kompresibilitas geotekstil menyatakan perubah-an tebalnya yang diakibatkan oleh tegangan normal yang bekerja pada bidang permukaan geotekstil.

Perhatian pada kompresibilitas geotekstil ini sangat penting bila geotekstil digunakan untuk mengalirkan air searah dengan bidangnya (transmisivitas). Hal ini, karena bila geotekstil se-makin tertekan, maka kemampuan mengalirkan air searah bidang atau transmisivitasnya se-makin kecil.

5. Kekuatan Pelipit/Jahitan

Geotekstil umumnya dikemas dalam gulungan yang panjangnya terbatas. Oleh karena itu, dalam aplikasinya di lapangan geotekstil sering harus disambung. Di lapangan, penyambungan lembaran geotekstil satu dengan yang lain sering dilakukan, dengan mempelipit atau membuatnya overlap. Penyambungan dengan *overlap* lebih sederhana, tapi banyak material yang terbuang. Lagipula, bila penyambungan dengan *overlap* ini tidak dilakukan dengan hati-hati maka hasilnya tidak efektif. Bila penyambungan dilakukan dengan cara *overlap*, biasanya dibutuhkan panjang overlap minimum 0,5 m, dan lebih baik lagi 1 m (khususnya bila pekerjaan di dalam air).

Tipe penyambungan mana saja yang digunakan, harus menjamin kekuatan jangka panjangnya, yaitu kekuatan geotekstil harus sama atau mendekati sama dengan kekuatan geotekstil yang utuh:

Efisiensi pelipit/jahitan dinyatakan oleh persamaan (3.26).

$$E(\%) = \frac{T(\text{seam})}{T(\text{geotekstil})} \times 100 \quad (3.26)$$

Dengan,

E = efisiensi pelipit jahitan (%).

$T_{(\text{Seam})}$ = kuat pelipit/jahitan (seam strength).

$T_{(\text{Geotekstil})}$ = kuat tarik geotekstil.

6. Kuat Lelah (*Fatigue Strength*)

Kuat lelah didefinisikan sebagai kemampuan geotekstil untuk menahan beban berulang (siklik) sebelum mengalami kegagalan. Di laboratorium, uji beban siklik ini dilakukan sampai benda uji mengalami kegagalan. Benda uji ditarik dan ditegangkan memanjang dengan kecepatan konstan pada panjang yang telah ditentukan, dan kemudian beban dilepas sampai nol. Dari pengujian ini, dapat diperoleh modulus siklik yang terlihat setelah beberapa kali siklus pembebanan

dikerjakan. Dari pengujian ini, diperoleh jumlah siklus beban yang mengakibatkan kegagalan geotekstil, serta nilai te-gangannya.

7. Kuat Sobek (*Tear strength*)

Geotekstil anyam maupun nir anyam, dapat sobek oleh akibat gaya luar yang menyebabkan satu atau beberapa persilangan benang-benang atau anyaman geotekstil rusak, baik satu atau dua arah. Hal ini dapat terjadi ketika pelaksanaan di lapangan. Terdapat 3 macam uji kuat sobek yang umum digunakan, yaitu uji trapezoidal (ASTM D2263), lidah (*tongue*) (ASTM D751), dan El-mendorf (ASTM D1424).

3.3.1.3 Sifat Hidrolik

Berdasarkan Hardiyatmo (2008) sifat-sifat Hidrolik dari geotekstil terdiri dari porositas, persen area terbuka, ukuran bukaan nampak, dll.

1. Porositas

Porositas geotekstil didefinisikan sebagai rasio volume rongga terhadap volume total. Porositas (n) menyatakan kemampuan air untuk me-ngalir lewat geotekstil dan dinyatakan oleh persamaan (3.27).

$$n = 1 - \frac{m}{\rho t} \quad (3.27)$$

Dengan,

n = porositas.

m = massa per satuan luas.

ρ = kerapatan geotekstil secara keseluruhan.

t = tebal geotekstil

Porositas beberapa geotekstil sangat sensitif terhadap perubahan tebalnya. Perubahan tebal ini, misalnya akibat pengaruh gaya normal yang bekerja.

2. Persen Area Terbuka (*Percent Open Area, POA*)

Persen area terbuka (*Percent Open Area, POA*), adalah sifat yang terkait dengan geotekstil anyam (*woven geotekstil*). *POA* adalah perbandingan area terbuka total (ruang rongga di antara fiber yang berdekatan) terhadap luas benda uji total. Untuk mengetahui nilai *POA*, maka dilakukan dengan memproyeksikan sinar lampu menembus geotekstil ke dalam layar karton. Sinar-sinar yang tembus

dihitung luasnya, lalu dibandingkan luas total geotekstil pada layar. Pengujian ini tidak cocok digunakan untuk geotekstil nir-anyam, karena tumpang tindihnya bayangan benang-benang fiber menahan sinar yang diproyeksikan ke layar. Geotekstil *monofi-lament* mempunyai POA antara 0 sampai 36% (Koerner, 2005).

3. Ukuran Bukaan Nampak (*Apparent Opening Size, AOS*)

Ukuran bukaan nampak (*Apparent Opening Size, AOS*) atau ukuran bukaan ekivalen (*Equi-valent Opening Size, EOS*) menyatakan material yang tinggal pada saringan standar Amerika dari ukuran tertentu. Nilai ini diberikan sebagai ukuran bukaan saringan ekivalen dalam mili-meter. Pengujian untuk pengukuran *AOS* ini telah dilakukan oleh U.S. Army Corp of Engineer untuk mengevaluasi geotekstil anyam (*wo-ven geotextile*). Terdapat banyak pendekatan terkait dengan penahan butiran tanah oleh aliran, dan hampir seluruhnya menggunakan karakteristik ukuran buliran dan membandingkannya dengan ukuran O_{95} dari geotekstil yang nilainya diperoleh dari uji *AOS* (*Apparent Opening Size*) atau *EOS* (*Equi-valent Opening Size*) di laboratorium. *AOS* dan *EOS* didefinisikan sebagai nomer saringan standar Amerika yang mempunyai lubang (pori-pori) yang paling mendekati dengan lubang yang dipunyai oleh geotekstil. Prosedur pengujian tercantum dalam ASTM D 4751.

3.3.2 Perinsip Kerja Geotekstil

Tegangan geser yang terjadi oleh gesekan pada bidang kontak dinyatakan pada persamaan (3.28).

$$\tau = C + \sigma_v \times \operatorname{tg} \varphi \quad (3.28)$$

dengan,

τ = tegangan geser yang bekerja di permukaan bidang kontak antara tulangan dan butiran-butiran tanah (kN/m^2)

C = Kohesi (kN/m^2)

σ_v = tegangan normal pada bidang kontak (*interface*) tanah-tulangan (kN/m^2)

φ = sudut gesek antara tanah dan tulangan ($^\circ$)

Gaya-gaya tarik yang bekerja pada tulangan dinyatakan dalam persamaan (3.29)

$$T_a = \tau \times b \times L \times \text{tg } \varphi \quad (3.29)$$

Dengan,

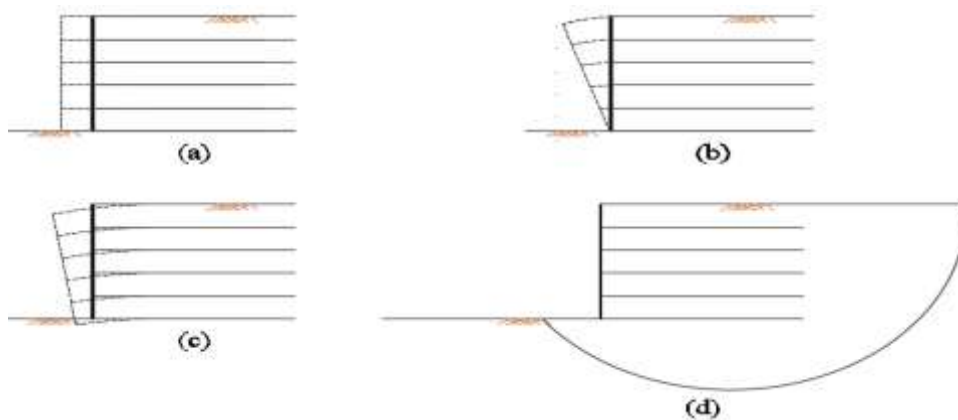
T_a = gaya tarik pada tulangan (kN/m)

b = lebar tulangan (tegak lurus pada bidang gambar) (m)

L = Panjang tulangan (m)

3.3.3 Stabilitas Ekstern

Dalam perhitungan ekstern, struktur dinding tanah bertulang ditinjau terhadap mekanisme-mekanisme seperti Gambar 3.10.



Gambar 3.4 Analisis Stabilitas Lereng

- a. Penggeseran
 - b. Penggulingan
 - c. Keruntuhan kapasitas dukung tanah
 - d. Keruntuhan lereng menyeluruh
- (Sumber : Hardiyatmo, 2008)

1. Pergeseran terhadap dinding.(Gambar 3.10a)

Lebar dasar struktur dinding tanah bertulang harus sedemikian hingga struktur terhindar dari resiko penggeseran pada dasarnya. Umumnya factor aman diambil sama dengan 1.5.

Tanah urug berupa tanah granuler ($c=0$). Tekanan tanah aktif total yang ditimbulkan oleh tanah di belakang struktur, dinyatakan oleh persamaan-persamaan (3.30), (3.31) dan (3.32) (lihat Gambar 3.10)

$$P_a = P_s + P_q = 0.5 \times H^2 \times \gamma b \times K_a + q \times H \times K_a \quad (3.30)$$

Gaya lawan pada dasar dinding tanah :

$$R_h = L \times H \times \gamma b \times \tan \delta b \quad (3.31)$$

Faktor aman terhadap penggeseran dinyatakan oleh persamaan :

$$SF = \frac{L \times H \times \gamma b \times \tan \delta b}{0.5 \times H^2 \times \gamma b \times K_a + q \times H \times K_a} \quad (3.32)$$

dengan,

L = lebar dasar dinding tanah atau panjang tulangan (m)

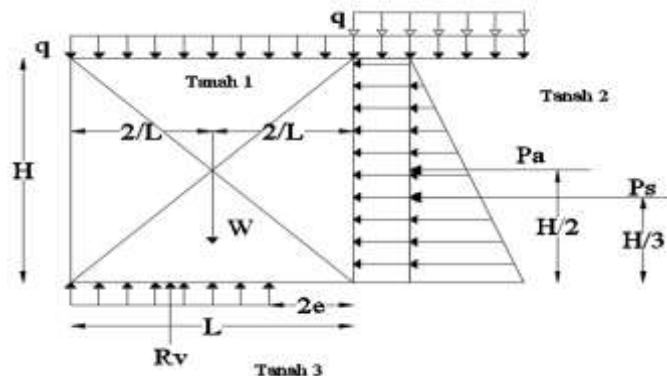
K_a = koefisien tekanan tanah aktif

q = beban merata (kN/m²)

H = tinggi dinding tanah (m)

δb = sudut gesek antara tanah pondasi dan dasar struktur (derajat)

γ = berat volume tanah (kN/m³)



Gambar 3.5 Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Analisis Stabilitas Lereng
(Sumber : Hardiyatmo, 2008)

2. Faktor aman terhadap guling (Gambar 3.10b).

Faktor aman terhadap penggulingan dinyatakan oleh persamaan (3.33), (3.34) dan (3.35) (lihat Gambar 3.11)

$$SF = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MD} = \frac{\text{Momen melawan}}{\text{Momen penggulingan}} \geq 1.5 \quad (3.33)$$

$$\Sigma M_R = 0.5 \times W \times L = 0.5 \times \gamma b \times H \times L^2 \quad (3.34)$$

$$\Sigma M_D = 0.5 \times P_q \times H + \left(\frac{1}{3}\right) \times P_s \times H \quad (3.35)$$

dengan,

ΣM_R = jumlah momen lawan (kN.m)

ΣM_D = jumlah momen penggulingan (kN.m)

W = berat struktur (kN/m)

L = lebar struktur (m)

P_q = gaya horizontal total akibat beban terbagi rata (kN/m)

P_s = resultan gaya horizontal akibat tekanan tanah di belakang struktur (kN/m).

Untuk keamanan, dalam hitungan momen penggulingan, beban terbagi rata (q) tidak diperhitungkan menambah berat dari dinding tanah bertulang. Umumnya faktor aman terhadap penggulingan (SF) sama dengan 1.5-2.

3. Stabilitas Eksentrisitas

Eksentrisitas (e) diperoleh dengan mengambil jumlah momen terhadap pusat dasar dinding sama dengan nol. Untuk kondisi pembebanan seperti pada Gambar 3.11 dapat dilihat dipersamaan (3.36)

$$e = \frac{\Sigma MD}{R_v} = \frac{(P_q \times \frac{1}{2}H) + (P_s \times \frac{1}{3}H)}{(H \times \gamma b \times L) + (q \times L)} \quad (3.36)$$

dengan,

R_v = beban vertical total termasuk beban terbagi rata (kN/m)

$$= W + qL$$

W = berat struktur per meter (tegak lurus bidang gambar) (kN/m)

P_q = $K_a \times q \times H$ (kN/m²)

P_s = $0.5 \times K_a \times H^2 \times \gamma$ (kN/m)

4. Terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah dasar (Gambar 3.10c).

Kapasitas dukung tanah di bawah struktur dinding tanah bertulang harus cukup sehingga tidak akan terjadi keruntuhan akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah diambil minimum sama dengan 2. Faktor aman diambil lebih rendah dari biasanya (yaitu SF = 3), karena sifat struktur yang fleksibel dan

kemampuan struktur untuk menyesuaikan diri bila terjadi penurunan tak seragam, dapat dilihat di persamaan (3.37), (3.38) dan (3.39).

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{H \times \gamma_b \text{ timb.} + q} \quad (3.37)$$

$$q_{ult} = i_c \times c \times N_c + 0.5 \times L \times \gamma \times N_\gamma \quad (3.38)$$

$$\sigma_{ult} = q_{ult} \times SF \quad (3.39)$$

5. Stabilitas terhadap kelongsoran lereng (3.11d)

Analisis stabilitas dilakukan dengan menggunakan teori stabilitas lereng untuk tanah tak bertulang, seperti metode bishop, Felinius, Janbu, dan lain-lain, dengan faktor aman yang dapat dilihat dipersamaan (3.40).

$$SF = \frac{\Sigma MR}{\Sigma MD} \geq 1.5 \quad (3.40)$$

dengan,

ΣM_R = momen penahan

ΣM_D = momen yang menggerakkan

3.3.4 Stabilitas Internal

1. Panjang overlapping

Panjang overlap atau panjang lipatan (L_o) pada bagian penutup permukaan dinding yang diperkuat dengan geotekstil dihitung dengan persamaan (3.41).

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \times S_v \times SF}{2 \times \gamma_b \times z_i \times \text{tg } \emptyset} \geq 1 \quad (3.41)$$

dengan,

z = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m)

σ_{hc} = tekanan horizontal rata-rata pada lipatan,

SF = factor aman

S_v = jarak tulangan arah vertical (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

2. Panjang efektif geotekstil

Rumus dapat dilihat dipersamaan (3.42)

$$Le = \frac{\sigma_{hc} \times S_v \times SF}{2 \times \gamma \times z} \geq 1 \quad (3.42)$$

dengan,

z = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ketanah (m)

σ_{hc} = tekanan horizontal rata-rata pada lipatan,

SF = factor aman

S_v = jarak tulangan arah vertical (m)

γ = berat volume tanah (kN/m³)

3.5 PLAXIS

PLAXIS merupakan salah satu perangkat lunak yang berdasarkan analisis menggunakan metode elemen hingga. Pengembangan PLAXIS dimulai pada tahun 1987 di Universitas Teknik Delft (*Technical University of Delft*) inisiatif Departemen Tenaga Kerja dan Pengelolaan Sumber Daya Air Belanda (*Dutch department of public work and water management*). Pemodelan yang digunakan yaitu Mohr-Coulomb. Model Mohr-Coulomb adalah model elastis-plastis yang terdiri dari lima parameter yaitu E dan ν untuk memodelkan elastis tanah; ϕ dan c untuk memodelkan plastisitas tanah dan α sebagai sudut dilatasi (Brinkgreve, 2007). Model Mohr-Coulomb disarankan untuk digunakan dalam analisis awal dari masalah yang dihadapi karena relatif sederhana, cepat dan saat tidak diperoleh data tanah yang memadai. Titik-titik kritis permodelan Mohr-Coulomb memiliki nilai yang berdekatan dengan titik-titik kritis tanah sebenarnya di sepanjang bidang kelongsoran. Oleh karena itu pemodelan Mohr-Coulomb sangat cocok untuk menganalisa stabilitas lereng. Kelebihan metode elemen hingga dengan metode kesimbangan batas (D.V Griffiths, P.A. Lane, 1999) yaitu :

1. Asumsi bidang longsor tidak diperlukan. Longsoran terjadi secara natural melalui zona dalam massa tanah di mana kekuatan geser tanah tidak dapat menahan tegangan geser yang ada,

2. Tidak adanya konsep irisan (*slice*) pada pendekatan elemen hingga sehingga tidak perlu adanya asumsi gaya-gaya yang terjadi pada tiap irisan (*slice side force*). Metode elemen hingga menjaga keseimbangan global hingga kelongsoran terjadi,
3. Jika terdapat data *soil compressibility*, metode elemen hingga dapat memberikan informasi deformasi yang terjadi, dan
4. Metode elemen hingga dapat memantau progressive failure termasuk shear failure secara keseluruhan.

Model material yang digambarkan pada program Plaxis adalah bentuk persamaan matematika yang menggambarkan hubungan antara tegangan dan regangan. Model material ini sering diekspresikan dalam bentuk pertambahan tegangan dan pertambahan regangan.

Pemodelan Plaxis dapat dianalisa dalam kondisi *plane strain* maupun *axisymmetry*. *Plane strain* digunakan untuk menganalisis struktur yang memiliki potongan melintang dengan pembebanan dan kondisi tegangan yang seragam dan perpindahan pada arah ini dianggap nol, sedangkan pemodelan *axisymmetry* digunakan untuk analisa struktur lingkaran yang memiliki potongan radial dan pembebanan seragam terhadap pusat, dengan deformasi dan tegangan yang besarnya dianggap sama pada arah radialnya. Untuk mendapatkan hasil analisis metode elemen hingga yang akurat diperlukan pemodelan tanah yang sesuai dengan keadaan sesungguhnya di lapangan (Hendroatmo, 2008).

3.5.1 Parameter Input Untuk Program Plaxis v. 8.2

Pada tugas akhir ini model tanah yang digunakan adalah model Mohr-Coulomb, dengan parameter-parameter berupa: kohesi tanah (c), sudut geser dalam (ϕ). Seperti yang dikutip dari peneliti sebelumnya (Hendroatmo, 2008), analisis data dengan program Plaxis dilakukan dengan memasukkan data berupa parameter-parameter dasar yang meliputi:

1. Bentuk kemiringan lereng dan kondisi muka air tanah

Input data ini memberikan gambaran dari lereng yang akan dianalisis. Gambaran lereng akan ditampilkan dengan memasukkan koordinat-koordinat lereng tersebut. Data muka air tanah diinput untuk kemiringan lereng. Jika

tekanan air pori sama dengan nol, maka opsi untuk kondisi permukaan air tanah diabaikan.

2. Data *mesh generation*

Data *mesh generation* merupakan informasi berupa titik noda koordinat, jumlah titik noda, dan titik tegangan yang ada untuk semua elemen yang dipakai.

3. Data Tanah

a. Berat isi tanah (γ)

Perhitungan berat tanah basah dan berat kering mengacu pada berat isi tanah pada parameter ini. Berat isi kering digunakan untuk material diatas garis *phreatic*, sedangkan berat isi basah digunakan untuk material yang berada dibawahnya. Untuk material *nonporous* paling sesuai menggunakan berat isi kering. Sebenarnya tidak ada tanah yang benar-benar kering. Tanah diatas garis *phreatic* bersifat jenuh karena sifat kapiler tanah, sedang diatasnya lagi sebagian jenuh.

b. Konstanta modulus Young (E_{ref})

Plaxis menggunakan modulus Young sebagai modulus kekakuan dalam model elastik pada model Mohr-Coulomb. Namun Plaxis juga memberikan dua alternatif modulus lainnya, yaitu modulus geser G atau modulus oedometer E_{oed} . Harga dari parameter kekakuan memerlukan perhatian khusus karena banyak material tanah menunjukkan sifat non linier pada kondisi pembebanan. Dari *test triaxial*, dapat ditentukan besarnya modulus Young E , yang didapat dari kemiringan awal grafik tegangan regangan.

c. Rasio Poisson

Pada awal pembebanan aksial dalam tes triaksial, akan dihasilkan perubahan volume yang cukup besar, sehingga harga rasio poisson yang didapat cukup kecil. Harga rasio poisson ini disebut dengan harga elastik murni (ν_0). Pada kasus dan beberapa kasus geoteknik lainnya, harga ini cukup realistis untuk digunakan. Akan tetapi, apabila menggunakan model tanah Mohr-Coulomb, disarankan untuk memakai harga rasio poisson yang lebih besar.

d. Kohesi (c)

Dimensi kohesi sama dengan dimensi tegangan. Plaxis dapat menjalankan material yang tidak memiliki kohesi misalnya seperti pasir ($c=0$) tetapi tidak akan berjalan dengan baik. Sebaiknya digunakan nilai kohesi yang kecil untuk prosedur nonlinear agar lebih efektif (gunakan $c>0$). Dalam praktek di lapangan, material yang tidak memiliki kohesi sama sekali terkadang ditemui. Kohesi yang kecil diperlukan untuk mencocokkan pengukuran kuat geser dari test triaxial pada tingkat tegangan yang berbeda. Dalam hal ini parameter kohesi didapat dari analisa balik.

e. Sudut gesek (ϕ)

Parameter sudut geser dinyatakan dalam derajat dan merupakan pertambahan dari kuat geser dengan level tegangan. Sudut geser yang besar sering ditemukan pada pasir padat, dan cenderung menurun ketika tanah mengalami deformasi geser yang terus menerus. Sudut geser konstan pada pemodelan Mohr-Coulomb, lebih cocok menggunakan ϕ_{cv} (sudut geser kritis) dibandingkan dengan nilai yang lebih besar yang menghasilkan regangan yang kecil. Dalam hal ini parameter sudut geser didapat dari analisis balik. Penggunaan sudut geser yang besar dapat meningkatkan beban komputasi, sehingga waktu eksekusi akan meningkat secara eksponensial.

f. Sudut dilatasi (ψ)

Tanah lempung biasanya menunjukkan dilatasi yang kecil ($\psi \approx 0$). Dilatasi pada pasir tergantung pada kerapatandan sudut gesernya, selain material lapisan *over consolidated*, lempung dan lanau biasanya memiliki sudut dilatasi yang kecil ($\psi \approx 0$). Sudut dilatasi pada pasir tergantung kepadatan dan sudut gesernya. Untuk pasir kuarsa $\psi = \phi - 30^\circ$. Nilai negatif yang kecil untuk ψ hanya realistis untuk pasir sangat lepas.

3.5.2 Analisis Data Program Plaxis v 8.2

Setelah memasukkan semua data yang diperlukan seperti diatas, maka proses analisis dapat dilakukan. Program Plaxis akan melakukan pencarian nilai faktor keamanan dari lereng sesuai dengan data yang dimasukkan. Proses dari

analisis program Plaxis dalam mencari nilai faktor keamanan adalah dengan menggunakan *phi-c reduction procedure*.

Untuk menghitung angka keamanan ini digunakan *opsi load advancement number of steps* pada fase perhitungan dengan memasukkan *increment* Msf yang akan diambil. Pada kalkulasi c dan φ akan dikurangi sesuai dengan *increment* Msf yang dimasukkan. Selama kalkulasi berlangsung, berlaku persamaan kekuatan tanah yang dapat dilihat di persamaan (3.38)

$$\tan \varphi_r = \frac{\tan \varphi}{\Sigma - Msf}$$

(3.37)

$$c_r = \frac{c}{\Sigma - Msf} \quad (3.38)$$

Pada kondisi keruntuhan, besarnya angka keamanan sama dengan $\Sigma - Msf$. Pengurangan nilai parameter kekuatan tanah dan hasil perhitungannya hanya berarti jika telah dicapai kondisi keseimbangan (*steady state*). Kondisi keseimbangan ini ditunjukkan dari kurva $\Sigma - Msf$ vs perpindahan yang cukup datar dimana pada kondisi inilah besarnya angka keamanan didapat yaitu pada saat terjadi keseimbangan antara gaya yang meruntuhkan dan gaya tahan dari kuat geser tanah pada lereng tersebut. Dengan perhitungan *phi-c reduction*, nilai-nilai $\Sigma - Msf$ lain sebelum dicapai kondisi keseimbangan dan nilai perpindahan tidak memiliki arti fisik yang berarti. Nilai-nilai tersebut hanya digunakan untuk proses *numeric*. Untuk lebih jelasnya, akan dijelaskan pada bab IV (metode penelitian).