

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kondisi tanah di Indonesia sangat beragam karena terdiri dari berbagai jenis tanah yang dipengaruhi oleh iklim, topografi, dan bahan induk tanah. Tetapi Adapun permasalahan tanah yang sering terjadi di Indonesia, salah satunya yaitu seringnya terjadi kelongsoran atau tanah longsor. Kelongsoran tanah atau tanah longsor adalah fenomena geologi yang cukup umum terjadi di Indonesia, mengingat topografi negara ini yang berbukit dan sering dilanda hujan deras. Suatu peristiwa dimana lereng mengalami pergerakan atau runtuh akibat pengaruh tekanan air pori yang meningkat. Peningkatan tekanan air pori ini menyebabkan penurunan tegangan efektif tanah, yang pada akhirnya memicu kelongsoran lereng dan dapat mengakibatkan kerusakan infrastruktur seperti bangunan rumah, jembatan, dan saluran air.

Lokasi penelitian ini berada di Tana Toraja atau lebih tepatnya berada di Bandara Pongtiku, Kelurahan Padangiring, Kecamatan Rantetayo, Kabupaten Tana Toraja, Sulawesi Selatan. Secara geografis, Tana Toraja, yang terletak di bagian selatan Sulawesi, Indonesia, dicirikan oleh medan yang terjal dan ketinggian yang tinggi, berkisar antara 600 hingga lebih dari 3.000 meter di atas permukaan laut. Iklim tropis di wilayah ini, dengan curah hujan yang tinggi, mendukung tumbuh-tumbuhan dan pertanian yang subur, termasuk penanaman padi dan kopi. Namun, lerengnya yang curam dan tanah vulkanik membuatnya rentan terhadap erosi dan tanah longsor, yang memengaruhi keindahan alamnya dan tantangan yang dihadapi oleh masyarakatnya.

Sebelum adanya pembangunan perkuatan lereng disekitar bandara Pongtiku, lereng disekitar lokasi merupakan lereng alami yang stabil dimana lereng diperkuat dengan adanya pohon dan semak yang memiliki akar yang memperkuat stabilitas lereng. Dikarenakan adanya kebutuhan untuk menjaga kestabilan lereng jangka panjang maka, pada tahun 2017 pihak otoritas bandara melakukan perbaikan dan perlindungan lereng berupa perbaikan geometri lereng dan perkuatan lereng menggunakan material bronjong/gabion yang dipasang untuk menutupi badan lereng untuk memperkuat sekaligus untuk mencegah terjadinya erosi permukaan pada lereng. Geometri lereng dibagian yang relative tinggi dibuat secara bertahap untuk menjadikan lereng tidak terlalu terjal.

Peristiwa kelongsoran lereng disekitar Landasan Pacu (runway) Banadara Pongtiku Tanah Toraja pada tanggal 11 April 2024, menyebabkan kerusakan lereng yang cukup parah. Gerakan tanah yang terjadi berupa longsor rotasi, yang ditandai dengan terjadinya retakan dan penurunan tanah. Arah umum pergerakan tanah dari arah Selatan ke Utara yang menimbulkan longsor talud sekitar lebar 30 meter dimana massa tanah bergerak kearah kaki lereng hingga menutup lembah dikaki lereng.

Sebelum terjadi kelongsoran, selama bulan April terjadi hujan lebat ekstrim dengan intensitas diatas 600 mm. Khusus pada tanggal 9 dan 10 terjadi intensitas curah hujan harian sebesar 70 – 90 mm dengan durasi yang cukup lama di daerah Tanah Toraja dan Toraja Utara yang menyebabkan terjadinya peristiwa lonsor diberbagai lokasi

di Tanah Toraja dan Toraja Utara yang banyak menimbulkan kerugian baik material seperti kerusakan infrastruktur Jalan dan Bangunan serta kematian beberapa orang penduduk setempat. Kerusakan berupa kelongsoran lereng dan Talud pengamanan disekitar Bandara Pongtiku Tanah Toraja merupakan salah satu infrastruktur yang terdampak. Maka dari itu, tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis tentang peristiwa kelongsoran tersebut berdasarkan pengambilan data dan pengambilan sampel tanah di lokasi longsor.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan yang telah dikemukakan pada latar belakang, maka beberapa masalah yang dapat dirumuskan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Karakteristik Mekanis Tanah?
2. Apa Penyebab Kelongsoran Lereng di Bandara Pongtiku Tana Toraja?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui karakteristik mekanis tanah
2. Untuk menganalisis penyebab kelongsoran lereng di bandara pongtiku tana toraja.

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Manfaat penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor-faktor penyebab terjadinya kelongsoran lereng di Bandara Pongtiku Tana Toraja dan mengetahui karakteristik mekanis tanahnya.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Agar penelitian berjalan dengan baik dan terarah, maka penulis memberikan batasan masalah dalam melaksanakan penelitian, sebagai berikut:

1. Ruang Lingkup Wilayah

Penelitian ini dilakukan di Bandara Pongtiku Tana Toraja, Kecamatan Rantetayo, Kabupaten Tana Toraja, Provinsi Sulawesi Selatan.

2. Ruang Lingkup Materi

Penelitian ini membahas mengenai kelongsoran yang terjadi di Bandara Pongtiku Tana Toraja dan menganalisis penyebab terjadinya kelongsoran lereng juga karakteristik mekanis tanah di Bandara Pongtiku Tana Toraja.

1.6 Teori

1.6.1 Definisi Tanah

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat dan butiran mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk menjadi berpartikel padat disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah terbentuk dari terjadinya pelapukan batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil akibat proses mekanis dan kimia. Pelapukan mekanis disebabkan oleh memuai dan menyusutnya batuan akibat perubahan panas dan dingin secara terus menerus yang akhirnya menyebabkan hancurnya batuan tersebut. Tiga bagian yang membentuk tanah, yaitu udara, air, dan partikel-partikel tanah itu sendiri kemudian membentuk suatu gumpalan yang mempunyai massa total tanah (Simanjuntak, 2011).



Gambar 1. Tanah

1.6.1.1 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok berdasarkan pemakaiannya (Subiyanti dkk, 2011). Klasifikasi bertujuan untuk membagi tanah menjadi beberapa golongan tanah dengan kondisi dan sifat yang serupa diberi simbol nama yang sama. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastis. Ada dua buah sistem klasifikasi tanah yang biasa digunakan, yaitu sistem klasifikasi AASHTO dan sistem klasifikasi USCS (Simanjuntak, 2011).

- a. Sistem Klasifikasi Unified Soil Classification System (USCS) Casagrande memperkenalkan sistem klasifikasi ini yang disusun pada tahun 1942, yang pada awalnya dikenal dengan Airfield Classification System (AC). Namun pada tahun

1960 terdapat perubahan dalam pengembangannya dan dikenal pada saat ini dengan Unified Classification System (USCS) yang dapat digunakan tidak hanya untuk perkerasan jalan tetapi juga untuk kebutuhan pondasi tanah, bendungan, maupun konstruksi lainnya. Sistem klasifikasi USCS mengelompokkan jenis tanah berdasarkan ukuran distribusi partikel, batas cair, tingkat keplastisitas, dan konsentrasi bahan organik di dalamnya. Saat ini, hampir semua pekerjaan geoteknik menggunakan sistem tersebut. Sistem klasifikasi USCS ini, merupakan sistem klasifikasi yang membagi tanah menjadi 2 golongan tanah, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar, yaitu lebih dari 50% persentase tanah yang tertahan pada ayakan No. 200. Dimana jenis tanah yang termasuk di dalam kategori ini merupakan tanah berkerikil (gravel) dan tanah berpasir (sand).
2. Tanah berbutir halus, yaitu 50% atau lebih tanah yang lolos pada ayakan No. 200. Dimana jenis tanah yang termasuk dalam kategori ini yaitu tanah lanau, tanah lempung, tanah lempung organik atau tanah lanau organik, dan tanah gambut.

Unified Soil Classification System (USCS) merupakan sistem klasifikasi yang di dalamnya terdapat simbol-simbol yaitu :

1. W : Well graded atau tanah dengan gradasi baik
2. P : Poorly graded atau tanah dengan gradasi buruk
3. L : Low plasticity atau tanah yang memiliki plastisitas rendah (batas cair kurang dari 50)
4. H : High plasticity atau tanah yang memiliki plastisitas tinggi (batas cair lebih dari 50)

Untuk pemahaman lebih jelas mengenai sistem klasifikasi USCS ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

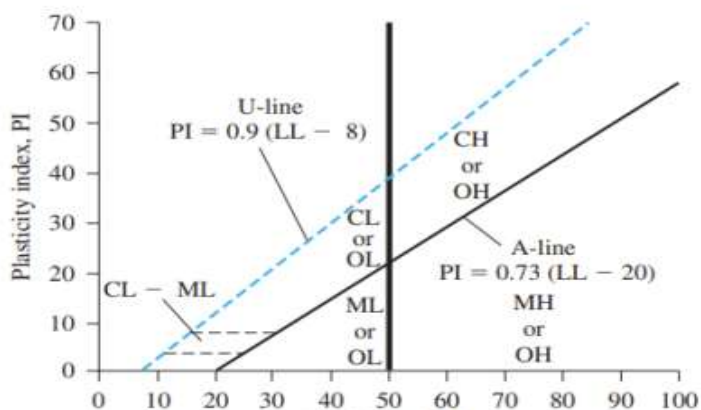
Pembagian Jenis		Nama Jenis	Simbol
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari setengah materialnya lebih kasar dari ayakan no 200	Kerikil Lebih dari setengah fraksi kasar dari ayakan no 4	Kerikil bersih (tanpa atau sedikit mengandung bahan halus)	GW
		Kerikil dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)	GP
		Kerikil lanauan, kerikil campur pasir atau lanau	GM
		Kerikil lempungan, kerikil campur pasir atau lempung	GC

	Pasir Lebih dari setengah fraksi halus dari ayakan no 4	Pasir bersih (tanpa atau sedikit mengandung bahan halus)	Pasir, pasir kerikilan bergradasi baik tanpa atau dengan sedikit bahan halus	SW
			Pasir, pasir kerikilan bergradasi buruk tanpa atau dengan sedikit bahan halus	SP
		Pasir dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)	Pasir kelanauan, pasir campur lanau	SM
			Pasir kelepungan, pasir campur lempung.	SC
Tanah Berbutir Halus Lebih dari setengah materialnya lebih halus dari ayakan no 200	Lanau dan Lempung	Batas cair kurang dari 50%	Lanau organik dan pasir sangat halus, tepung batu, pasir halus kelanauan atau kelepungan atau lanau kelepungan sedikit plastis	ML
			Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung kerikilan, lempung pasir, lempung lanauan, lempung humus,	CL
			Lempung organik dan lempung lanauan organik dengan plastisitas rendah	OL
		Batas cair lebih dari 50%	Lempung anorganik, tanah pasir halus atau tanah lanauan mengandung mika atau lanauan mengandung mika atau diatome lanau elastis	MH
			Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung ekspansif	CH
			Gambut dan tanah organik lainnya	OH
		Tanah Organik		Gambut dan tanah organik lainnya

Tabel 2. Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS (Lanjutan)

KRITERIA KLASIFIKASI LABORATORIUM

Klasifikasi berdasarkan pada persentase butiran halus 50% atau kurang: GW, GP, SW, SP Lebih dari 12% GM, GC, SM, SC 5% - 12% Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol ganda	$U_c = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 4 $U_c' = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ bernilai antara 1 - 3	
	Tidak sesuai dengan kriteria GW	
	Batas Atterberg terletak dibawah garis A atau Index plastisitas < dari 4	Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsir diagram dibawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan penggolongan
	Batas Atterberg terletak diatas garis A dan Index plastisitas > 7	
	$U_c = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 4 $U_c' = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ bernilai antara 1 - 3	
	Tidak sesuai dengan kriteria SW	
	Batas Atterberg terletak dibawah garis A atau Index plastisitas < dari 4	Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsir diagram dibawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan penggolongan
	Batas Atterberg terletak diatas garis A dan Index plastisitas > 7	



Gambar 2. Menunjukkan kisaran batas cair dan indeks plastisitas

- b. Sistem Klasifikasi American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

Klasifikasi material untuk Subgrade dan Jalan Tipe Granular dari the Highway Research Board's Committee on Classification of Materials pertama kali mengembangkan Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO pada tahun 1945. Klasifikasi ini berdasarkan distribusi ukuran butiran, batas cair, dan indeks plastisitas, tanah dapat dikategorikan ke dalam delapan kelompok besar, A-1 hingga A-8, berdasarkan versi terkini dari metode ini. Material berbutir kasar pada tanah yang masuk ke dalam kelompok A-1, A-2, dan A-3 berbeda dengan material berbutir halus pada kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Kotoran, gambut, dan tanah yang sangat organik lainnya masuk ke dalam kategori A-8. Tanah-tanah tersebut dapat dikenali dengan melihatnya. Sistem klasifikasi ini meliputi beberapa kualifikasi sebagai berikut :

1. Ukuran butiran

Kerikil : Butiran lolos ayakan dengan lubang 75 mm dan tertahan ayakan No.10 (2 mm)

Pasir : Butiran lolos ayakan No.10 (2 mm) dan tertahan di ayakan No.200 (0,074 mm)

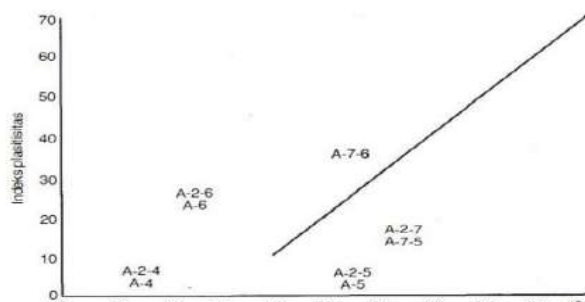
Lumpur dan lempung : Butiran lolos ayakan No.200

2. Plastisitas :

- Dikatakan lumpur apabila butiran tanah memiliki indeks plastisitas 10 atau kurang.
- Dikatakan lempung apabila butiran tanah mempunyai indeks plastisitas 11 atau lebih.

3. Batu : Ukurannya lebih besar dari 75 mm tidak dikategorikan dalam klasifikasi ini

(Sumber : Djatmiko, 1993)



Gambar 3. Batas Cair dan Indeks Plastisitas

Tabel 3. Sistem Klasifikasi tanah American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

Klasifikasi Umum	Bahan-Bahan (35% atau kurang melalui No.200)							Bahan-Bahan Lanau-Lempung (Lebih dari 35% melalui No.200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analisa saringan : Persen melalui : No.10 No.40 No.200	50 maks 30 maks 15 maks	50 maks 25 maks	51 maks 10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Karakteristik fraksi Melalui : No.40 Batas cair Indeks plastisitas	6 maks		N.P.	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 maks 10 maks	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 10 maks	41 maks 11 min
Indeks kelompok	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Fragmen batuan, Kerikil, dan pasir		Pasir Halus	Kerikil dan pasir Berlanau dan berlempung				Tanah berlanau			Tanah berlempung
Tingkatan umum Sebagian tanah dasar	Sangat baik baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

Catatan untuk A-8, gambut dan rawang ditentukan dengan klasifikasi visual dan tidak termuat dalam tabel
Untuk : A-7-5 : PI LL-30 NP = Non Plastis | Untuk : A-7-6 : PI LL-30

Tabel 4. Perbandingan Sistem Klasifikasi USCS dan Sistem Klasifikasi AASHTO

Kelompok Tanah Sistem Unified	Kelompok Tanah yang Sebanding Dalam Sistem AASHTO		
	Sangat Mungkin	Mungkin	Kemungkinan kecil
GW	A-1-a	-	A-2-4, A-2-5, A-2-6,A-2-7
GP	A-1-a	A-1-b	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GM	A-1-b, A-2-4 A-2-5, A-2-7	A-2-6	A-4, A-5, A-6, A-7-5
GC	A-2-6, A-2-7	A-2-4, A-6	A-4, A-7-6, A-7-5
SW	A-1-b	A-1-a	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SP	A-3, A-1-b	A-1-a	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SM	A-1-b, A-2-4 A-2-5,A-2-7	A-2-6, A-4 A-5	A-6, A-7-6 A-7-6, A-1-a
SC	A-2-6, A-2-7, A-4, A-7-6	A-2-4, A-6\	A-7-5
ML	A-4, A-5	A-6, A-7-5	-
CL	A-6, A-7-6	A-4	-
OL	A-4, A-5	A-6, A-7-5	-
MH	A-7-5, A-5	-	A-7-6
CH	A-7-6	A-7-5	-
OH	A-7-5, A-5	-	A-7-6
PT	-	-	-

(Sumber : Hardiyatmo, 1993)

Tabel 5. Perbandingan Sistem Klasifikasi AASHTO dan Sistem Klasifikasi USCS

Kelompok Tanah Sistem Klasifikasi AASHTO	Kelompok Tanah yang Sebanding Dalam Sistem Klasifikasi Unified		
	Sangat Mungkin	Mungkin	Kemungkinan kecil
A-1-a	GW, GP	SW, SP	GM, SM
A-1-B	SW, SP, GM, SM	GP	-
A-3	SP	-	SW, GP
A-2-4	GM, SM	GC, SC	GW, GP, SW, SP
A-2-5	GM, SM	-	GW, GP, SW, SP
A-2-6	GC, SC	GM, SM	GW, GP, SW, SP
A-2-7	GM, GC, SM, SC	-	GW, GP, SW, SP
A-4	ML, OL	CL, CM, SC	GM, GC
A-5	OH, MH, ML, OL	-	SM, GM
A-6	CL	ML, OL, SC	GC, GM, SM
A-7-5	OH, MH	ML, OL, CH	GM, SM, GC, SC
A-7-6	CH, CL	ML, OL, SC	OH, MH, GC, SM

(Sumber : Hardiyatmo, 1993)

1.6.2 Definisi Lereng

Permukaan tanah tidak selalu membentuk bidang datar atau mempunyai perbedaan elevasi antara tempat yang satu dengan yang lain sehingga membentuk suatu lereng (slope). Lereng merupakan suatu kondisi topografi yang banyak dijumpai pada berbagai pekerjaan konstruksi sipil. Lereng adalah bidang miring yang menghubungkan bidang-bidang lain yang mempunyai elevasi yang berbeda. Lereng terbentuk secara alamiah maupun dengan bantuan manusia (O. C. P. R. Turangan & Monintja, 2014).

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 mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak ke arah bawah yang disebut dengan gaya potensial gravitasi yang menyebabkan terjadinya longsor (Chasanah, 2012).

Lereng adalah suatu bidang di permukaan tanah yang menghubungkan permukaan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah. Lereng dapat terbentuk secara alami dan dapat juga dibuat oleh manusia. Lereng adalah meningkatnya tegangan geser, menurunnya kuat geser pada bidang longsor atau keduanya secara simultan (V. G. M. P. A. E. Turangan & Sompie, 2014).



Gambar 4. Lereng

Menurut (Simanjuntak, 2011) lereng merupakan bagian dari permukaan bumi yang memiliki sudut kemiringan tertentu dengan bidang datar (horizontal). Lereng dapat terjadi secara alami ataupun karena buatan manusia dengan tujuan tertentu membagi lereng menjadi 3 macam ditinjau dari segi terbentuknya, yaitu:

- a. Lereng alam, yaitu lereng yang berbentuk karena peristiwa alam, misalnya lereng suatu bukit.
- b. Lereng yang dibuat dari tanah asli, misalnya tanah yang dipotong untuk pembuatan jalan atau saluran air untuk irigasi.
- c. Lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan, misalnya tanggul untuk jalan atau bendungan tanah.

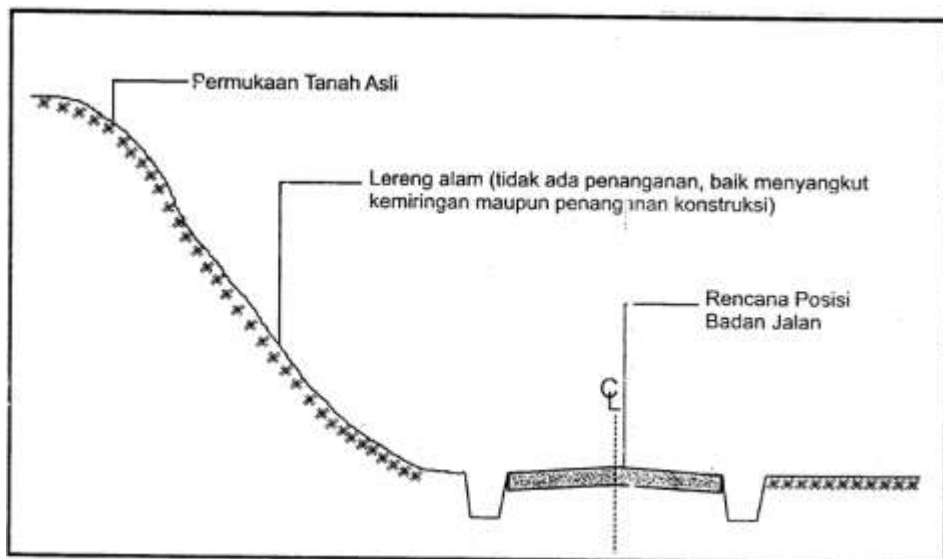
Lereng buatan dibuat karena adanya persyaratan perubahan ketinggian guna keperluan proyek yang telah ditetapkan, misalnya pembuatan gedung, lapangan udara, dan juga jalan raya. Gaya-gaya yang bekerja pada lereng dapat menyebabkan stabilitas tanah terganggu (Prasetyo dkk, 2017). Apabila tahanan geser tanah lebih kecil dari tegangan geser yang terjadi, maka akan terjadi longsoran tanah. Perbedaan elevasi pada permukaan tanah seperti lereng dapat mengakibatkan pergerakan massa tanah daribidang dengan elevasi yang tinggi menuju bidang elevasi yang lebih rendah, pergerakan ini diakibatkan oleh gravitasi. Pergerakan massa tanah tersebut juga dapat dipengaruhi oleh air dan gaya gempa. Pergerakan atau gaya tersebut akan menghasilkan tegangan geser yang berfungsi sebagai gaya penahan dan apabila berat massa tanah yang bekerja sebagai gaya pendorong itu lebih besar dari tegangan geser tersebut maka akan mengakibatkan kelongsoran (Simanjuntak, 2011).

Permukaan tanah mempunyai topografi yang berbeda sehingga membentuk suatu lereng (slope). Lereng merupakan bagian dari topografi permukaan tanah yang memiliki sudut kemiringan tertentu (Anwar dkk, 2018). Lereng dapat saja terjadi secara alami ataupun buatan, lereng yang terbentuk secara alami misalnya lereng perbukitan dan tebing-tebing sungai, sedangkan lereng buatan dapat berupa bendung, tanggul sungai dan tambang terbuka. Salah satu akibat dari perbedaan sudut kemiringan tersebut dapat mempengaruhi kestabilan lereng tersebut. (Haryadi dkk, 2018).

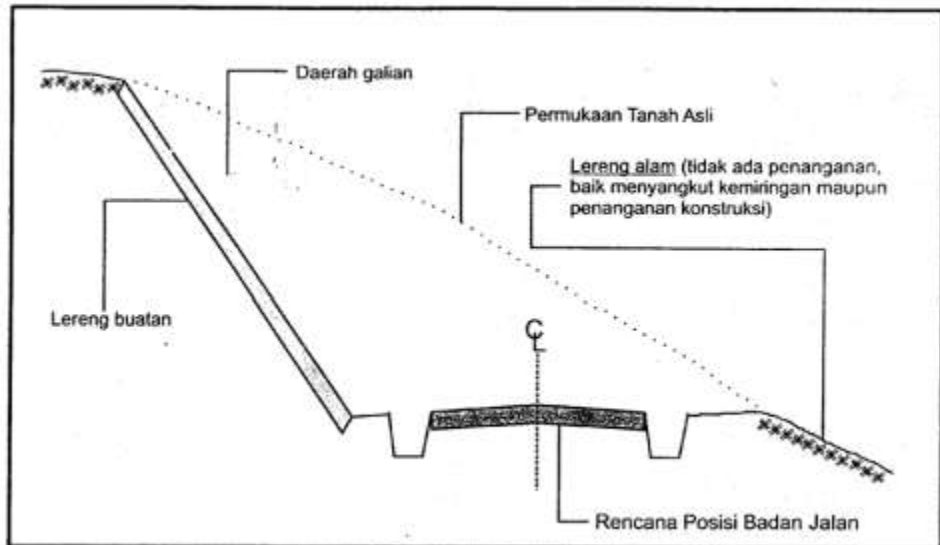
1.6.2.1 Jenis-Jenis Lereng

a. Lereng Alam

Lereng alam (natural slope) merujuk pada lereng yang terbentuk secara alami sebagai hasil dari proses geologi. Dalam konteks perencanaan teknik jalan, lereng alam sering ditemukan di daerah dengan topografi berbukit dan pegunungan, di mana badan jalan berada pada elevasi tanah asli (existing ground) yang terletak di sisi bukit, atau badan jalan berada pada lereng bukit yang sebagian digali/dipotong untuk posisi badan jalan. Pada daerah dengan topografi datar, keberadaan lereng alam relatif sulit ditemui. Dalam konteks panduan ini, lereng alam mengacu pada kondisi di mana tidak ada perlakuan atau penanganan khusus terhadap lereng tersebut, baik itu dalam bentuk perubahan kemiringan atau penambahan struktur konstruksi tertentu. Kestabilan lereng alam dipengaruhi oleh sifat, karakteristik, dan struktur tanah, serta bentuk alami lereng tersebut. Ilustrasi visual yang menggambarkan keberadaan lereng alam dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 berikut.



Gambar 5. Ilustrasi Keberadaan Lereng Alam Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Badan Jalan Berada Pada Samping Lereng Alam



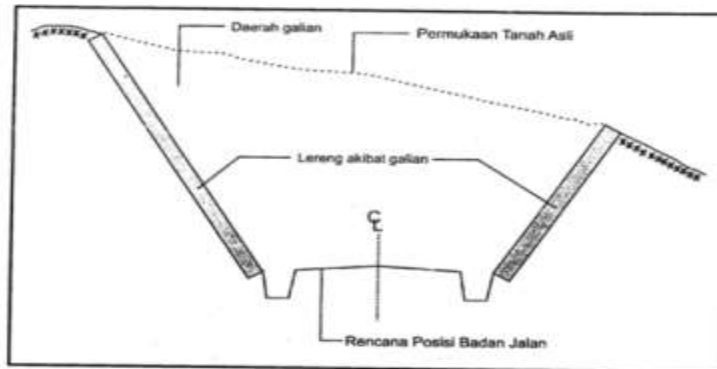
Gambar 6. Ilustrasi Keberadaan Lereng Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Badan Jalan Berada Pada Daerah Galian

b. Lereng Buatan

Lereng buatan (man-made slope) adalah lereng yang terbentuk sebagai hasil dari proses perencanaan geometrik jalan yang melibatkan penggalian atau penimbunan tanah. Lereng buatan dapat berupa lereng yang dibuat dengan perlakuan konstruksi, baik menggunakan struktur maupun tanpa struktur, atau lereng buatan tanpa perlakuan konstruksi, di mana kestabilan lereng hanya mengandalkan kemiringan dan tinggi kritis berdasarkan karakteristik tanah yang membentuk lereng tersebut. Secara umum, lereng buatan dapat terjadi dalam semua kondisi topografi, baik itu datar, berbukit, maupun pegunungan.

c. Lereng Akibat Galian

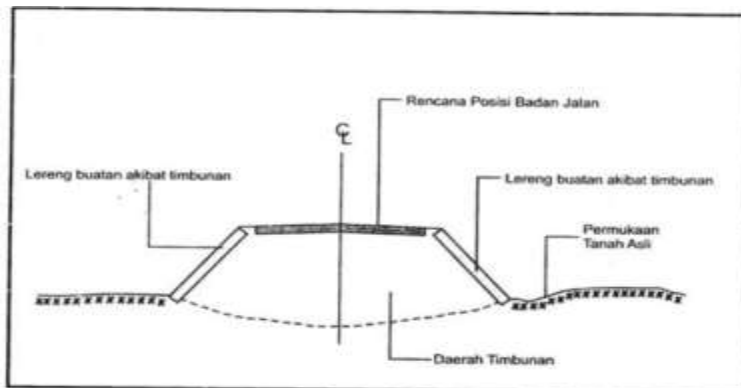
Dalam perencanaan Teknik jalan, lereng buatan akibat galian terjadi karena kebutuhan desain geometrik jalan yang mengharuskan badan jalan berada di bawah elevasi tanah asli. Lereng buatan akibat galian dapat terjadi dalam berbagai kondisi topografi, baik datar, berbukit, maupun pegunungan. Kemiringan dan penanganan lereng buatan akibat galian ditentukan oleh perencana dengan mempertimbangkan faktor-faktor teknis seperti geometri jalan, topografi, karakteristik tanah, geologi, geoteknik, sistem drainase, dan kondisi lingkungan sekitarnya. Ilustrasi visual yang menunjukkan contoh lereng buatan akibat galian dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Ilustrasi Keberadaan Lereng Akibat Galian Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Permukaan Badan Jalan Berada Di Bawah Permukaan Tanah Asli

d. Lereng Akibat Timbunan

Dalam konteks perencanaan teknis jalan, lereng buatan akibat timbunan terjadi karena kebutuhan desain geometrik jalan yang mengharuskan badan jalan berada di atas elevasi tanah asli. Lereng buatan akibat timbunan dapat terjadi dalam berbagai kondisi topografi, termasuk datar, berbukit, maupun pegunungan. Kemiringan dan penanganan lereng buatan akibat timbunan ditentukan oleh perencana berdasarkan pertimbangan teknis, yang mencakup geometri jalan, topografi, karakteristik tanah timbunan untuk badan jalan, geologi, geoteknik, sistem drainase, dan kondisi lingkungan sekitarnya. Ilustrasi visual yang menunjukkan contoh lereng buatan akibat timbunan dapat dilihat pada Gambar 8 berikut ini.

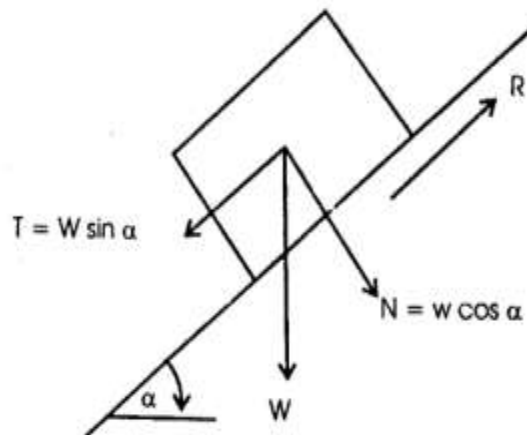


Gambar 8. Ilustrasi Keberadaan Lereng Bentukan / Buatan Akibat Timbunan Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Permukaan Badan Jalan Berada Di Atas Permukaan Tanah Asli

1.6.2.2 Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng merupakan suatu faktor yang sangat penting dalam pekerjaan yang berhubungan dengan galian dan penimbunan tanah, batuan dan bahan galian, karena menyangkut persoalan keselamatan manusia (pekerja), keamanan peralatan serta kelancaran produksi. Keadaan ini berhubungan dengan terdapat dalam bermacam-macam jenis pekerjaan, misalnya pada pembuatan jalan, bendungan, penggalian kanal, penggalian untuk konstruksi, penambangan dan lain-lain. Dalam operasi penambangan masalah stabilitas lereng ini akan ditemukan pada penggalian tambang terbuka, bendungan untuk cadangan air kerja, tempat penimbunan limbah buangan (tailing disposal) dan penimbunan bijih (stockyard). Apabila lereng-lereng yang terbentuk sebagai akibat dari proses penambangan (pit slope) maupun yang merupakan sarana penunjang operasi penambangan (seperti bendungan dan jalan) tidak stabil, maka akan mengganggu kegiatan produksi.

Teori stabilitas lereng pada dasarnya adalah teori mekanisme gerak suatu benda yang terletak pada bidang miring, dimana benda yang menjadi obyek tinjauan adalah butir-butir tanah, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 9 yang menganalisis mekanisme gerak benda pada bidang miring serta gaya-gaya yang mempengaruhinya. (Departemen Pekerjaan umum, 2005)



Gambar 9. Keseimbangan Benda Pada Bidang Miring

Dari Mekanisme gerak yang diilustrasikan pada gambar 2.5 tersebut dapat diambil kesimpulan beberapa kemungkinan yang terjadi berkaitan dengan kestabilan butir tanah yaitu :

$R/T < 1$ benda akan diam (stabil)

$R/T = 1$ benda dalam keadaan seimbang (tidak bergerak)

$R/T > 1$ benda akan diam (stabil)

Teori dasar dalam konsep kestabilan lereng menerapkan dan menganalogikan mekanisme gerak untuk memahami stabilitas tanah terhadap longsor dan gaya-gaya

lateral yang mempengaruhi tanah. Ini mencakup analisis mekanisme gerak yang dihasilkan oleh gaya-gaya internal dan eksternal yang bekerja pada tanah, serta parameter-parameter yang mempengaruhi terjadinya longsor. Dalam konteks stabilitas terhadap longsor, hal-hal yang diperhatikan meliputi lokasi, kedalaman, dan dimensi bidang longsor. Sedangkan untuk stabilitas terhadap gaya-gaya lateral, hal-hal yang diperhatikan meliputi mekanisme gaya lateral yang terjadi dan pengaruhnya terhadap stabilitas. Parameter dan faktor yang memengaruhi stabilitas terhadap longsor dan gaya lateral termasuk kuat geser tanah, tekanan air pori, berat isi tanah, faktor gempa, dan faktor keamanan. Semua faktor ini perlu dianalisis dan dipertimbangkan untuk memahami dan mencegah potensi longsor dan mengamankan stabilitas lereng.

1.6.2.3 Penyebab Kelongsoran Lereng

Pada penjelasan di depan telah disebutkan dua penyebab utama kelongsoran lereng yaitu akibat pengaruh dalam (internal effect) dan akibat pengaruh luar (external effect). Namun secara rinci beberapa penyebab kelongsoran suatu lereng adalah sebagai berikut:

1. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban oleh air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenang di permukaan tanah dan beban dinamis oleh tumbuh-tumbuhan yang tertipu angin dan lain-lain.
2. Penggalian dan pemotongan tanah pada kaki lereng.
3. Penggalian yang mempertajam kemiringan lereng.
4. Perubahan posisi muka air secara cepat (rapid drawdown) (pada bendungan, sungai dan lain-lain).
5. Kenaikan tekanan 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.

Keruntuhan lereng dapat terjadi disebabkan oleh pengurangan kuat geser dan penambahan tegangan geser pada lapisan tanah pembentuk lereng (Suryolelono, 2003). Peningkatan tegangan geser terjadi disebabkan adanya fenomena variasi gaya intragranuler yang diakibatkan oleh kadar air dalam tanah yang menimbulkan tekanan air pori dalam tekanan hidrostatik dalam tanah meningkat. Bertambahnya berat beban

pada lereng yang disebabkan air hujan yang berinfiltrasi ke dalam tanah di bagian lereng yang terbuka menyebabkan kandungan air dalam tanah meningkat, sehingga berat volume tanah bertambah dan berat pada lereng semakin besar. Pengaruh gempa juga menyebabkan kondisi lereng yang sebelumnya stabil menjadi labil. Kondisi ini terjadi akibat guncangan pada lapisan tanah di bumi, sehingga menimbulkan perubahan pada struktur tanah. Akibat pengaruh gempa, tekanan air pori (μ) dalam lapisan tanah pasir ini meningkat, mengakibatkan tegangan efektif tanah menurun. Hal ini berarti tanah kehilangan kuat dukung tanah, berakibat tanah pembentuk lereng di atas lapisan ini runtuh maka timbul masalah tanah longsor.

1.6.3 Definisi Longsor

(Allan Takwin dkk, 2017) Longsoran merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi pada lereng- lereng alami maupun buatan. Kelongsoran lereng kebanyakan terjadi pada saat musim penghujan. Itu terjadi akibat peningkatan tekanan air pori pada lereng. Hal ini berakibat pada terjadinya penurunan kuat geser tanah (c) dan sudut geser dalam (ϕ) yang selanjutnya menyebabkan kelongsoran (V. G. M. P. A. E. Turangan & Sompie, 2014).

Pengertian longsor (landslide) dengan gerakan tanah (mass movement) mempunyai kesamaan. Untuk memberikan definisi longsor perlu penjelasan keduanya. Gerakan tanah ialah perpindahan massa tanah/batu pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula. Gerakan tanah mencakup gerak rayapan dan aliran maupun longsor. Menurut definisi ini longsor adalah bagian gerakan tanah (Purbohadiwidjojo, dalam Pangular, 1985). Jika menurut definisi ini perpindahan massa tanah/batu pada arah tegak adalah termasuk gerakan tanah, maka gerakan vertikal yang mengakibatkan bulging (lendutan) akibat keruntuhan fondasi dapat dimasukkan pula dalam jenis gerakan tanah. Dengan demikian pengertiannya menjadi sangat luas (Zakaria, 2009).

Menurut Varnes (1978, dalam Hansen, 1984) longsor (landslide) dapat diklasifikasikannya menjadi: jatuhan (fall), jungkiran (topple), luncuran (slide) dan nendatan (slump), aliran (flow), gerak bentang lateral (lateral spread), dan gerakan majemuk (complex movement). Berdasarkan definisi dan klasifikasi longsor (Varnes, 1978; Tabel 3), maka disimpulkan bahwa gerakan tanah (mass movement) adalah gerakan perpindahan atau gerakan lereng dari bagian atas atau perpindahan massa tanah maupun batu pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula. Longsor (landslide) merupakan bagian dari gerakan tanah, jenisnya terdiri atas jatuhan (fall), jungkiran (topple), luncuran (slide), nendatan (slump), aliran (flow), gerak horisontal atau bentangan lateral (lateral spread), rayapan (creep) dan longsor majemuk (Zakaria, 2009).

Tanah longsor (longsoran) adalah pergerakan massa tanah atau batuan ke arah miring, mendatar, atau vertikal pada salah satu lereng (Simanjuntak, 2011). Kerusakan yang ditimbulkan oleh tanah longsor ada 2 macam yaitu langsung dan tidak langsung yaitu rusaknya fasilitas, lahan pertanian dan korban jiwa (langsung) dan juga melumpuhnya kegiatan ekonomi dan pembangunan.

Hasil Tanah longsor merupakan bentuk dari beberapa fenomena seperti runtuhnya tanah dan batuan maupun gerak massa batuan/tanah yang terjadi secara tiba-tiba kemudian bergerak ke arah bawah yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan

turun dari lapisan yang kedap air (bidang luncur). Oleh karena itu tanah 144 Panduan Teknis Konservasi dan Rehabilitasi sebagai Upaya Menyelamatkan Lahan longsor dapat juga dikatakan sebagai bentuk erosi yang besar. Longsor merupakan batuan atau massa tanah penyusun lereng atau kombinasi dari keduanya sebagai penguraian yang menuruni atau keluar dari lereng, akibat terganggunya kekonsistenan tanah atau batuan penyusunnya.

Longsor atau pergerakan tanah merupakan proses perpindahan massa tanah secara alami dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah. Definisi diatas dapat menunjukkan bahwa pergerakan massa yang bergerak dapat berupa massa tanah, massa batuan ataupun kombinasi keduanya (Haryadi dkk, 2018). Longsor terjadi karena terganggunya keseimbangan lereng akibat pengaruh gaya-gaya yang berasal dari dalam lereng seperti gaya gravitasi bumi, tekanan air pori dalam tanah atau lereng, dan gaya dari luar lereng seperti getaran kendaraan dan pembebanan kendaraan (Simanjuntak, 2011):

1.6.3.1 Jenis-Jenis Longsor

Pergerakan tanah atau biasa dikenal dengan sebutan tanah longsor adalah sebuah bencana yang disebabkan oleh peristiwa geologi karena adanya gerakan masa tanah atau batuan dengan berbagai macam tipenya dan bisa terjadi karena beberapa faktor seperti jatuhnya bebatuan serta adanya gumpalan tanah. Tanah longsor umumnya terjadi dikawasan pegunungan, perbukitan dan juga diwilayah yang memiliki ketinggian curam. Longsor terbagi menjadi 6 jenis, diantaranya yaitu :

a. Longsor Translasi

Longsor ini terjadi karena bergesernya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau gelombang landai



Gambar 10. Longsor Translasi

b. Longsor Rotasi

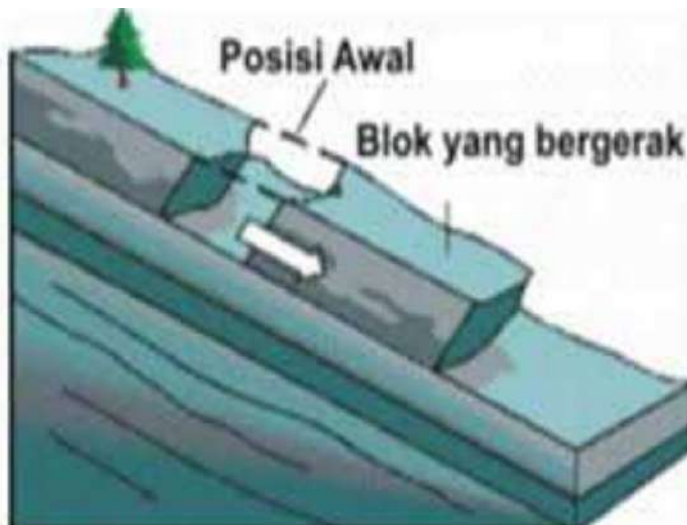
Longsor ini muncul akibat Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung.



Gambar 11. Longsor Rotasi

c. Pergerakan Blok

Pergerakan blok terjadi karena perpindahan batuan yang bergerak pada bidang gelincir berbentuk rata. Longsor jenis ini disebut juga longsor translasi blok batu.



Gambar 12. Pergerakan Blok

d. Runtuhan Batu

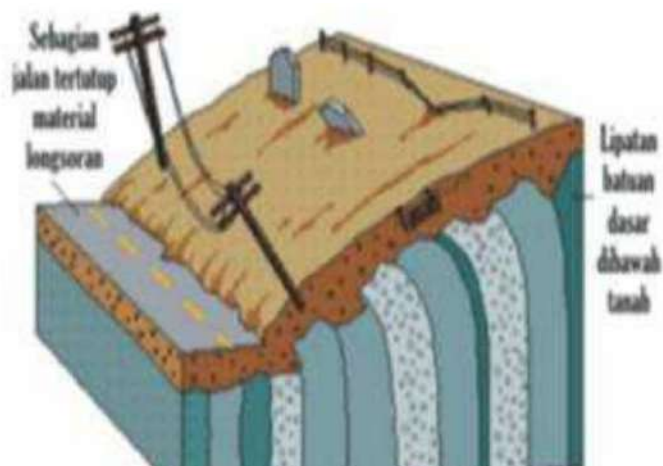
Runtuhan batu terjadi saat sejumlah besar batuan atau material lain bergerak ke bawah dengan cara jatuh bebas. Biasanya, longsor ini terjadi pada lereng yang terjal sampai menggantung, terutama di daerah pantai. Runtuhan batu-batu besar dapat menyebabkan kerusakan.



Gambar 13. Runtuhan Batu

e. Rayapan Tanah

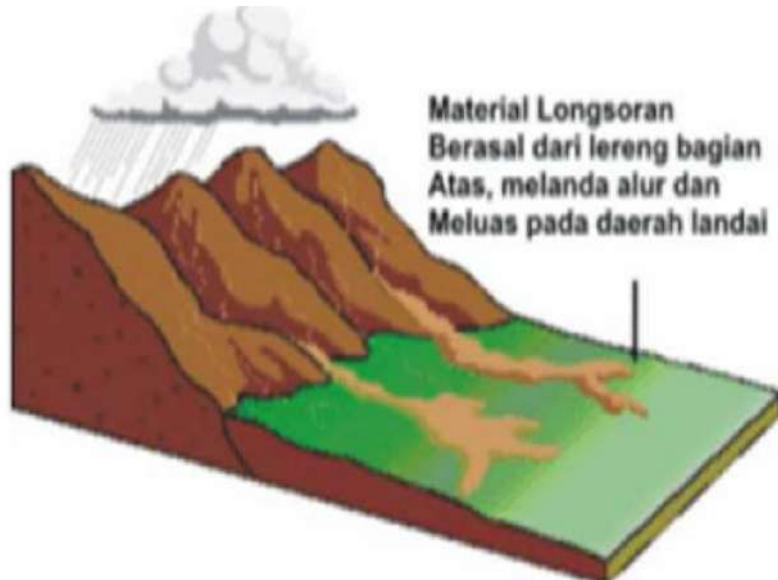
Longsor ini bergerak lambat serta jenis tanahnya berupa butiran kasar dan halus. Longsor ini hampir tidak dikenal. Setelah beberapa lama terjadinya longsor jenis rayapan, posisi tiang-tiang telepon, pohon-pohon, dan rumah akan miring ke bawah.



Gambar 14. Rayapan Tanah

f. Aliran Bahan Rombakan

Longsoran ini terjadi ketika massa tanah bergerak di dorong oleh air dan terjadi di sepanjang lembah yang mencapai ratusan meter jauhnya. Kecepatan bergantung pada kemiringan lereng, volume air, tekanan air, dan jenis materialnya.



Gambar 15. Aliran Bahan Rombakan

1.6.4.1 Kadar Air

Kadar air adalah persentase air yang ada dalam bahan atau tanah yang diteliti, dalam satuan berat berdasarkan berat basahnya atau berdasarkan berat keringnya (Hardiyatmo, 2012). Ditunjukkan dalam Persamaan (1).

$$\text{Kadar Air Tanah } (w) = \frac{W_w}{W_s} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \%$$

dengan,

W_2 = Berat cawan + tanah basah (gram)

W_3 = Berat cawan + tanah kering (gram)

W_1 = Berat cawan kosong (gram)

$W_2 - W_3$ = Berat air/ W_w (gram)

$W_3 - W_1$ = Berat tanah kering/ W_s (gram)

1.6.4 Sifat Fisik

Sifat fisis tanah adalah sifat-sifat tanah berdasarkan bentuk tanah, ukuran tanah, warna tanah, bau tanah. Sedangkan sifat mekanik tanah adalah kekuatan tanah. Studi

ini merupakan studi pendahuluan terhadap material urugan alternatif yang akan digunakan untuk pembuatan badan jalan dasar (Fathurrozi, 2016). Pengujian sifat fisik dilakukan sebagai berikut:

1.6.4.2 Berat Isi

Pengujian berat volume bertujuan untuk mendapatkan berat isi tanah atau volume tanah, yaitu perbandingan antara berat tanah basah dengan volumenya dalam gr/cm³. Pengujian ini dilakukan bersamaan dengan pengujian sifat fisik tanah lainnya di laboratorium dengan menggunakan metode silinder tipis yang dimasukkan ke dalam tanah. Berat volume atau berat isi tanah dapat dihitung menggunakan rumus persamaan (2).

$$\text{Berat isi tanah basah : } \gamma_b = \frac{(W_2 - W_1)}{V}$$

$$\text{Berat isi tanah kering : } \gamma_d = \frac{\gamma_b}{(1+w)}$$

Dengan,

W : kadar air (%)

W₁: berat cincin (garam)

W₂: berat cincin + tanah (gram)

V : volume tanah = volume dalam cincin (cm³)

1.6.4.3 Berat Jenis

Berat jenis (Specific Weight) adalah rasio relatif densitas suatu zat (tanah sebagai bahan uji) dan densitas air terhadap volumenya. Untuk mengetahui berat jenis tanah ini melalui pengujian dengan piknometer yang terdapat di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram. Jenis tanah juga dapat ditentukan berdasarkan hasil uji berat jenis tanah (Kusuma et al., 2016). Ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$G = \frac{\text{Berat butir}}{\text{Berat air dan volume yang sama}} = \frac{W}{Ww}$$

$$G = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$$

Dengan,

G : Berat jenis tanah

W₁ : berat piknometer kosong (gram)

W₂ : berat piknometer + tanah kering (gram)

W₃ : berat piknometer + tanah + air (gram)

W₄ : berat piknometer + air (gram)

1.6.4.4 Analisa Saringan dan Hidrometer

Analisa saringan tanah adalah Menentukan persentase massa partikel dalam unit saringan, dari ukuran pori tertentu. (Hardiyatmo, 2012). Dalam analisis saringan, beberapa saringan dengan ukuran pori yang berbeda disusun dengan yang lebih besar di atas yang lebih kecil. Filtrasi merupakan metode yang umum digunakan secara langsung untuk penentuan ukuran partikel 23 berdasarkan batas bawah ukuran pori yang digunakan (Kusuma et al., 2016). Analisis hidrologi adalah metode yang digunakan untuk menghitung distribusi ukuran partikel tanah berdasarkan pengendapan tanah dalam air. Analisis hidrologi digunakan untuk menentukan distribusi ukuran partikel tanah berbutir halus.

1.6.4.5 Batas Atterberg

Atterberg, menyediakan cara untuk menggambarkan batas kepadatan tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kadar air tanah. Batas-batas ini adalah plastis (plastic limit), batas cair (liquid limit) batas dan batas susut (shrinkage limit).

a. Batas plastis (PL)

Yaitu kadar air dimana tanah berubah dari keadaan plastis menjadi keadaan semi padat. Batas plastis dihitung berdasarkan persentase berat air terhadap berat tanah kering pada benda uji. Pada metode pengujian ini bahan tanah yang lolos saringan 0,425 mm atau saringan nomor 40 digunakan sebagai bahan uji kemudian dicampur dengan air suling atau air mineral sampai menjadi cukup plastis untuk digoyang/membentuk bujur. bentuk untuk mencapai diameter 3 mm. Metode pengadukan dapat dilakukan dengan telapak tangan atau dengan alat pengaduk yang dibatasi plastik (prosedur alternatif). Sampel dengan retakan setelah mencapai diameter 3 mm diukur kadar airnya. Kadar air yang diperoleh dari pengujian merupakan batas plastis tanah (Kusuma et al., 2016).

b. Batas cair tanah

Yaitu kadar air minimum di mana sifat-sifat tanah berubah dari keadaan cair ke keadaan plastis. Batas cair digunakan untuk menentukan sifat dan klasifikasi tanah. Konsistensi lempung dan tanah kohesif lainnya sangat dipengaruhi oleh kelembaban tanah. Tanah yang lolos saringan nomor 40 dicampur dengan akuades, kemudian dimasukkan ke dalam wadah casagrande, kemudian 24 memutar alat Liquid Limit dan menghitung jumlah sapuan yang diperlukan untuk menutup celah tanah, kemudian mengambil sebagian tanah dan meletakkannya. dalam oven selama 24 jam untuk menghitung kadar airnya (Kusuma et al., 2016).

c. Indeks Plastisitas (PI)

Ini adalah perbedaan antara batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (4).

$$IP = LL - PL$$

Dengan,

IP = Indeks Plastis

LL = Batas cair

PL = Batas plastis

d. Batas susut

Batas susut (SL) didefinisikan sebagai kadar air antara padatan dan padatan, yaitu persentase air dimana penurunan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume padatan tanah. Percobaan dilakukan di laboratorium dengan cawan porselen dengan diameter 44,4 mm dan tinggi 12,7 mm. Bagian dalam cangkir dilapisi dengan pelumas dan diisi dengan tanah yang sangat kaya. Kemudian dikeringkan dalam oven. Volume ditentukan dengan cara merendamnya dengan air raksa (Hardiyatmo., 2012). Batas susut dapat dihitung sesuai dengan rumus (5).

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

Dengan,

SL : Batas susut (%)

m_1 : Berat tanah basah dalam cawan (gram)

m_2 : Berat tanah kering, oven (gram)

v_1 : Volume tanah basah dalam cawan (cm^3)

v_2 : Volume tanah kering, oven (cm^3)

γ_w : Berat volume air (gram/cm^3)

1.6.5 Sifat Mekanis

Pengujian sifat mekanis ini dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah. Adapun untuk uji mekanis yang dilakukan yaitu uji kuat geser tanah (Direct Shear Test). Pengujian kuat geser merupakan pengujian yang dilakukan untuk menentukan parameter kekuatan geser tanah, yaitu **kohesi (c)** dan **sudut geser dalam (ϕ)**. Uji ini memberikan gambaran tentang seberapa kuat tanah dapat menahan gaya geser sebelum terjadi kelongsoran atau pergeseran. Pengujian ini sangat penting dalam desain teknik geoteknik, seperti analisis kestabilan lereng, desain fondasi, dan konstruksi

dinding penahan tanah. Tanah yang digunakan untuk Uji Direct Shear Test adalah tanah tidak terganggu (undisturbed). Tanah tidak terganggu dimaksudkan agar tanah yang diambil untuk pengujian sesuai dengan kondisi di lapangan. Untuk uji karakteristik tanah maka tanah diusahakan untuk benar-benar tidak terganggu. Pengambilan tanah tidak terganggu di lapangan dilakukan dengan alat exturder. Hipotesa pertama mengenai kuat geser tanah diuraikan oleh Coulomb dengan rumus (6):

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

Yaitu untuk menentukan nilai **cohesi (c)** dan **sudut geser dalam (ϕ)**.

1.6.6 Faktor Keamanan Lereng

Analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep umum keseimbangan batas (General Limit Equilibrium) untuk menghitung faktor keamanan (SF) yang melawan gaya runtuh pada stabilitas lereng tersebut. Faktor keamanan digambarkan dimana pergeseran tanah harus dikurangi dengan menempatkan massa tanah pada daerah batas keseimbangan 7 sepanjang daerah longsoran. Pada umumnya nilai faktor keamanan lebih besar sama dengan satu ($SF \geq 1$) adalah desain normal untuk memberikan perkiraan faktor keamanan dalam analisis stabilitas lereng. Hal ini penting untuk meyakinkan bahwa desain lereng aman dan untuk mencegah faktor yang tidak terduga selama analisis dan konstruksi seperti data yang salah, kesalahan analisis, kecakapan kerja dan pengawasan di lapangan yang kurang.

Parameter yang dihasilkan dalam analisis stabilitas lereng adalah bentuk bidang keruntuhan dan faktor keamanan. Faktor keamanan digunakan untuk mengidentifikasi stabilitas lereng yang didefinisikan sebagai perbandingan antara kuat geser dan tegangan geser yang bekerja pada massa tanah. Banyak rumus perhitungan Faktor Keamanan lereng (material tanah) yang diperkenalkan untuk mengetahui tingkat kestabilan lereng ini. Rumus dasar Faktor Keamanan (Safety Factor, F) lereng yang diperkenalkan oleh Fellinius, Bishop dan kemudian dikembangkan adalah : (Lambe & Whitman, 1969; Parcher & Means, 1974) yaitu sebagai berikut (7):

Rumus dasar Faktor keamanan lereng: $\tau = c + \sigma \tan \theta$

$$Fk = \frac{\text{Gaya penahan}}{\text{Gaya penggerak}} =$$

Faktor Keamanan (FK) lereng terhadap longsoran tergantung pada ratio antara kekuatan geser tanah (τ_f) dan tegangan geser yang bekerja (τ_d).

$$FK = \frac{\tau_f}{\tau_d} > 1 \text{ stabil} \ \& \ > 1 \text{ longsor}$$

Tabel 6. Faktor Keamanan Berdasarkan Studi Keruntuhan Lereng

No.	Faktor Keamanan (SF)	Kondisi
1.	$SF < 1,07$	Longsor terjadi biasa/sering (lereng labil)
2.	$1,07 < SF < 1,25$	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
3.	$SF > 1,25$	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

Sumber: (Bowles, 1993)

Dalam mendesain penanggulangan lereng, penting untuk melakukan penyederhanaan dan membuat berbagai asumsi karena lereng terbentuk oleh material yang sangat beragam dan terdapat banyak faktor ketidakpastian. Secara teoritis, gerakan massa tanah dapat dihentikan dengan meningkatkan faktor keamanan.

Dalam menentukan kriteria faktor keamanan, hal-hal yang perlu dipertimbangkan adalah risiko yang dihadapi, kondisi beban, dan parameter yang digunakan dalam analisis kemantapan lereng. Risiko yang dihadapi dapat dikategorikan menjadi tiga tingkatan, yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Pada analisis kemantapan lereng, juga perlu mempertimbangkan kondisi beban yang meliputi gempa dan tanpa gempa (beban normal).

Penentuan faktor keamanan harus dilakukan dengan hati-hati, dengan mempertimbangkan semua faktor dan aspek yang relevan. Dalam kasus risiko yang tinggi atau beban yang signifikan, faktor keamanan yang lebih tinggi dapat digunakan untuk memberikan margin keamanan yang lebih besar. Namun, dalam kondisi beban yang lebih rendah atau risiko yang lebih rendah, faktor keamanan yang lebih konservatif mungkin tidak diperlukan.

Pemilihan faktor keamanan yang tepat adalah bagian penting dari desain penanggulangan lereng yang efektif, yang memperhitungkan semua faktor yang mempengaruhi stabilitas dan meminimalkan risiko potensial. Parameter yang digunakan menyangkut hasil pengujian dengan harga batas atau sisa dengan mempertimbangkan ketelitiannya. Tabel. 7 memperlihatkan faktor keamanan terendah berdasarkan hal-hal tersebut diatas (Badan Standarisasi Nasional, 2017).

Tabel 7. Faktor Keamanan Minimum Kemantapan Lereng

Resiko *)	Kondisi Beban	Parameter Kekuatan Geser **)			
		Maksimum		Sisa	
		Teliti	Kurang Teliti	Teliti	Kurang Teliti
Tinggi	Dengan Gempa	1,50	1,75	1,35	1,50
	Tanpa Gempa	1,80	2,00	1,60	1,80

Menengah	Dengan Gempa	1,30	1,60	1,20	1,40
	Tanpa Gempa	1,50	1,80	1,35	1,50
Rendah	Dengan Gempa	1,10	1,25	1,00	1,10
	Tanpa Gempa	1,25	1,40	1,10	1,20

Keterangan :

*)

- Resiko tinggi bila ada konsekuensi terhadap manusia cukup besar (ada pemukiman), dan atau bangunan sangat mahal, dan atau sangat penting.
- Resiko menengah bila ada konsekuensi terhadap manusia tetapi sedikit (bukan pemukiman), dan atau bangunan tidak begitu mahal dan atau tidak begitu penting.
- Resiko rendah bila tidak ada konsekuensi terhadap manusia dan terhadap bangunan (sangat murah).

**)

- Kekuatan geser maksimum adalah harga puncak dan dipakai apabila massa tanah / batuan yang potensial longsor tidak mempunyai bidang diskontinuitas (perlapisan, rekahan, sesar, dan sebagainya) dan belum pernah mengalami gerakan.

Kekuatan geser residual dipakai apabila : (1) massa tanah / batuan yang potensial bergerak mempunyai bidang diskontinuitas, dan atau (ii) pernah bergerak (walaupun tidak mempunyai bidang diskontinuitas).

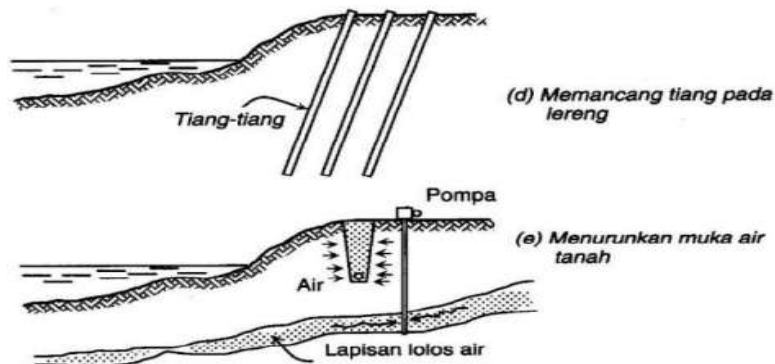
1.6.7 Perbaikan Lereng

Metode untuk menangani lereng-lereng yang tak stabil terutama bergantung kepada sifat tanah yang dijumpai. Jenis tanah dan jenis formasi tanah yang berbahaya di atas merupakan lapisan-lapisan yang tersusun atas schist yang lapuk atau lempung lunak yang berupa serpihan, lempung kaku yang retak, lempung yang mengandung pasir atau lanau, dan massa tanah kohesif yang mengandung lapisan-lapisan atau kantung-kantung lanau atau pasir yang berair. Banyak cara dapat dilakukan untuk menambah stabilitas lereng, antara lain: pemotongan lereng, pembuatan berm, menurunkan muka air tanah, pemasangan tiang-tiang dan lain-lainnya (Hardiyatmo, 2003:391).

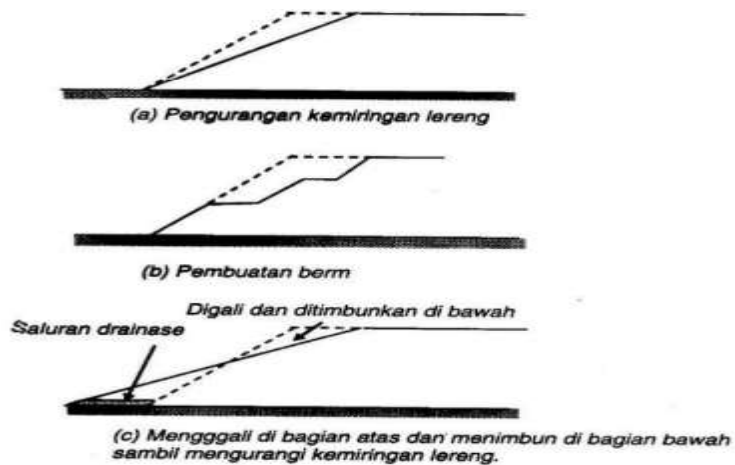
Menurut Hardiyatmo metode perbaikan stabilitas lereng dibagi tiga kelompok, yaitu:

1. Metode geometri yaitu perbaikan lereng dengan cara mengubah geometri lereng. Contoh dari aplikasi metode tersebut bisa dilihat pada Gambar 16 dan Gambar 18.

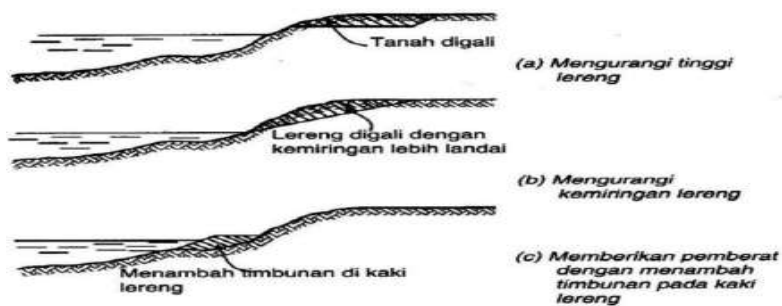
2. Metode hidrologi yaitu dengan cara menurunkan muka air tanah atau menurunkan kadar air tanah pada lereng. Contohnya bisa dilihat pada Gambar 17.



Gambar 16. Perbaikan Stabilitas Lereng (Sumber: Hardiyatmo, HC. 2003. Mekanika Tanah II)



Gambar 17. Perbaikan Stabilitas Lereng 2 (Sumber: Hardiyatmo, HC



Gambar 18. Perbaikan Stabilitas Lereng 2 (Sumber: Hardiyatmo, HC. 2003. Mekanika Tanah II)

1.6.8 Kekuatan Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Keruntuhan geser (Shear failure) tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butir-butir tanah tersebut tetapi karena adanya gerak relatif antara butir-butir tanah tersebut. Pada peristiwa kelongsoran suatu lereng berarti telah terjadi pergeseran dalam butir-butir tanah tersebut. Kekuatan geser yang dimiliki oleh suatu tanah disebabkan oleh :

- Pada tanah berbutir halus (kohesif) ,misalnya lempung kekuatan geser yang dimiliki tanah disebabkan karena adanya kohesi atau lekatan antara butir-butir tanah (c soil).
- Pada tanah berbutir kasar (non kohesif), kekuatan geser disebabkan karena adanya gesekan antara butir-butir tanah sehingga sering disebut sudut gesek dalam (ϕ soil).
- Pada tanah yang merupakan campuran antara tanah halus dan tanah kasar (c dan ϕ soil), kekuatan geser disebabkan karena adanya lekatan (karena kohesi) dan gesekan antara butir- butir tanah (karena ϕ).

1.6.8.1 Faktor-faktor Penyebab Peningkatan Tegangan Geser

Berikut adalah faktor-faktor yang menyebabkan peningkatan tegangan geser sebagai berikut :

- a. Kehilangan dukungan (lateral dan vertical)
 - Erosi oleh Sungai
 - Proses pelapukan
 - Penggalian permukaan oleh manusia
 - Penambangan
- b. Beban permukaan dan beban lain
 - Pelaksanaan penimbunan
 - Beban bangunan dan konstruksi sipil yang lain
 - Vegetasi
 - Air hujan yang merembes kedalam tanah atau rekahan
 - Tekanan rembesan

Sedangkan faktor-faktor yang menyebabkan penurunan kuat geser adalah adanya perubahan kadar air, desintegrasi fisis dari batuan. Didalam stabilitas lereng pada suatu daerah lereng kekuatan geser tanah menjadi tinjauan utama sebab keruntuhan-keruntuhan yang terjadi pada lereng yang ditimbulkan pada akibat gaya-gaya pergerakan diatas permukaan lereng.

1.6.9 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Dalam prakteknya, analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas (limit plastic equilibrium). Adapun maksud analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, atau (8):

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d}$$

Keterangan :

τ = tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah (kN/m²)

τ_d = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m²)

SF = Faktor Aman

Menurut teori Mohr-Coulomb, tahanan geser (τ) yang dapat dikerahkan oleh tanah, di sepanjang bidang longsohnya, dinyatakan oleh (9):

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi$$

Keterangan :

τ = tahanan geser (kN/m²)

c = kohesi (kN/m²)

σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)

φ = sudut geser dalam tanah (°)

Nilai-nilai c dan φ adalah parameter kuat geser tanah di sepanjang bidang longsor.

Dengan cara yang sama, dapat dituliskan persamaan tegangan geser yang terjadi (τ_d) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsohnya (10):

$$\tau_d = c_d + \sigma \tan \varphi_d$$

Dengan c_d dan φ_d adalah kohesi dan sudut geser dalam yang terjadi atau yang dibutuhkan untuk keseimbangan pada bidang longsohnya.

Jika persamaan 9 dan 10 disubstitusikan ke persamaan 8, akan diperoleh persamaan faktor aman:

$$SF = \frac{c + \sigma \tan \varphi}{c_d + \sigma \tan \varphi}$$

Yang dapat dituliskan juga dalam bentuk :

$$c_d + \sigma \tan \varphi = \frac{c}{F} + \sigma \frac{\tan \varphi}{F}$$

Untuk maksud memberikan faktor aman terhadap masing-masing komponen kuat geser, faktor aman dapat dinyatakan oleh:

$$SF_c = \frac{c}{c_d}$$

$$SF_\varphi = \frac{an \varphi}{an \varphi_d}$$

Keterangan :

SF_c = faktor aman pada komponen kohesi

SF_φ = faktor aman pada komponen gesekan

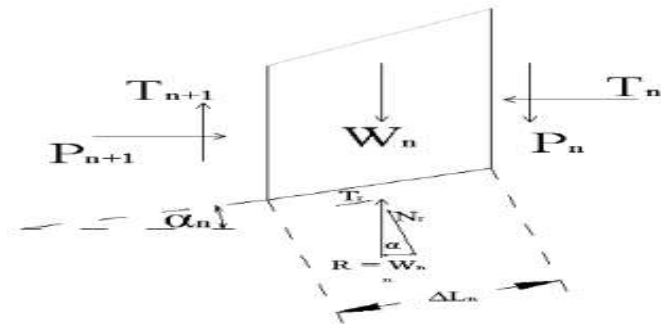
1.6.10 Metode Stabilitas Lereng

Gerakan tanah merupakan proses perpindahan massa tanah atau batuan dengan arah tegak, mendatar, atau miring terhadap kedudukan semula karena pengaruh air, gravitasi, dan beban luar. Kelongsoran lereng umumnya terjadi dalam suatu bidang lengkung. Dalam perhitungan stabilitas, lengkungan yang riil ini dianggap sebagai lingkaran spiral logaritmis. Bidang ini disebut bidang gelincir. Kemantapan lereng (slope stability) sangat dipengaruhi oleh kekuatan geser tanah untuk menentukan kemampuan tanah menahan tekanan tanpa mengalami keruntuhan.

Adapun maksud analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Ada beberapa dasar-dasar teori yang dipakai untuk menyelesaikan masalah tentang stabilitas lereng menggunakan teori Metode Irisan (Method of Slice), metode Bishop (Bishop Method), Metode Fellinius, Metode Janbu, dan Metode Elemen Hingga. Berikut akan dijelaskan mengenai metode-metode untuk menganalisis stabilitas lereng secara manual.

1.6.10.1 Metode Irisan (Method of Slice)

Analisis stabilitas dengan menggunakan metode irisan dapat dijelaskan dengan Gambar (19), dimana busur AC adalah sebuah lengkungan dari lingkaran yang menunjukkan permukaan bidang longsor. Tanah yang berada di atas bidang longsor dibagi menjadi beberapa irisan tegak. Lebar dari setiap irisan tidak harus sama. Dengan meninjau satu sauan tebal tegak lurus irisan melintang lereng seperti Gambar (19), gaya-gaya yang bekerja pada irisan tertentu (irisn no. n) ditunjukkan pada Gambar (20). W_n adalah berat irisan. Gaya-gaya N_r dan T_r adalah komponen tegak dan sejajar dari reaksi R . P_n dan P_{n+1} adalah gaya normal yang bekerja pada sisi-sisi irisan. Demikian pula, gaya geser yang bekerja pada sisi irisan adalah T_n dan T_{n+1} . Secara sederhana,



Gambar 20. Gaya yang bekerja pada irisan nomor n

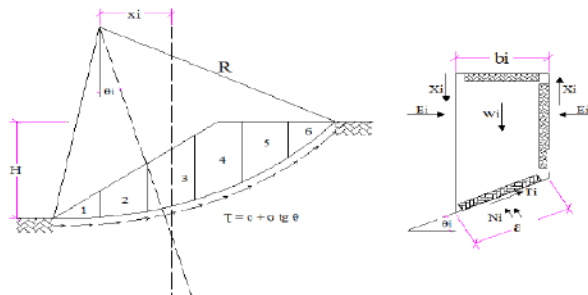
1.6.10.2 Metode Fellenius

Pada tahun 1936 metode ini dikembangkan oleh Fellenius bahwa gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan faktor keamanan dihitung dengan keseimbangan momen. Pada metode ini gaya-gaya pada sisi tepi irisan tidak diperhitungkan. Fellenius mengemukakan metodenya dengan menyatakan asumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P bekerja di tengah-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.

Jadi total asumsi yang dibuat oleh metode ini adalah :

- a. Posisi gaya normal P terletak di tengah alas irisan : n
- b. Resultan gaya antar irisan sama dengan nol : n - 1
- c. Total : 2n - 1

Dengan anggapan-anggapan ini maka dapat diuji persamaan keseimbangan momen untuk seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi dan diperoleh suatu nilai Faktor Keamanan.



Gambar 21. Lereng dengan busur lingkaran bidang longsor

Pada Gambar 21, diperlihatkan suatu lereng dengan sistem irisan untuk berat sendiri massa tanah (W) serta analisis komponen gaya – gaya yang timbul dari berat massa tanah tersebut, yang terdiri dari gaya – gaya antar irisan yang bekerja di samping kanan irisan (E_r dan X_t). Pada bagian alas irisan, gaya berat (W) diuraikan menjadi gaya reaksi normal P_w yang bekerja tegak lurus alas irisan dan gaya tangensial T_w yang bekerja sejajar irisan. Besarnya lengan gaya (W) adalah $x = R \sin \alpha$, dimana R adalah jari-jari lingkaran longsor dan sudut adalah sudut pada titik O yang dibentuk antara garis vertikal dengan jari-jari lingkaran longsor.

Dengan menggunakan prinsip dasar serta asumsi-asumsi yang telah dikemukakan di atas, maka selanjutnya dapat diuraikan analisis Faktor Keamanannya sebagai berikut : Kriteria Keruntuhan Mohr-Coulomb (16):

$$s = c' + \sigma' \tan \phi'$$

Dengan :

s = kuat geser tanah

c' = kohesi tanah aktif

σ = tegangan normal efektif

ϕ = sudut geser dalam tanah efektif

1.6.10.3 Metode Elemen Hingga

Dalam metode ini, parameter kekuatan geser tanah yang tersedia berturut-turut direduksi secara otomatis hingga kelongsoran terjadi. Sehingga faktor aman (SF) stabilitas lereng menjadi (17):

$$\begin{aligned} \sum M_{sf} &= \tan \phi_{input} / \tan \phi_{reduksi} \\ &= C_{input} / C_{reduksi} \\ SF &= \frac{\text{kekuatan geser yang tersedia}}{\text{kekuatan geser saat longsor}} \\ &= \text{Nilai } \sum M_{sf} \text{ pada saat longsor} \end{aligned}$$

Dengan :

C_{input} = kohesi tanah (kN/m^2)

ϕ_{input} = sudut geser dalam tanah ($^\circ$)

$C_{reduksi}$ = kohesi tanah tereduksi (kN/m^2)

$\phi_{reduksi}$ = sudut geser dalam tereduksi ($^\circ$)

Metode elemen hingga adalah prosedur perhitungan yang dipakai untuk mendapatkan pendekatan dari permasalahan matematis yang sering muncul pada rekayasa 18 teknik. Inti dari metode tersebut adalah membuat persamaan matematis

dengan berbagai pendekatan dan rangkaian persamaan aljabar yang melibatkan nilai-nilai pada titik-titik diskrit pada bagian yang dievaluasi. Persamaan metode elemen hingga dibuat dan dicari solusinya dengan sebaik mungkin untuk menghindari kesalahan pada hasil akhirnya.

1.6.10.4 Metode Bishop

Cara analisis yang dibuat oleh A.W. Bishop (1955) menggunakan cara elemen dimana gaya yang bekerja pada tiap elemen ditunjukkan seperti pada Gambar (22). Persyaratan keseimbangan yang diterapkan pada elemen yang membentuk lereng tersebut. Faktor keamanan terhadap keruntuhan didefinisikan sebagai perbandingan kekuatan geser maksimum yang dimiliki tanah di bidang longsoran ($S_{tersedia}$) dengan tahanan geser yang diperlukan untuk keseimbangan (S_{perlu}) (18).

$$FK = \frac{S_{tersedia}}{S_{perlu}}$$

Bila kekuatan geser tanah adalah (19):

$$S_{tersedia} = c' + (\sigma - \mu) \tan\phi' = c' + \sigma' \tan\phi'$$

Maka tahanan geser yang diperlukan untuk keseimbangan adalah (20):

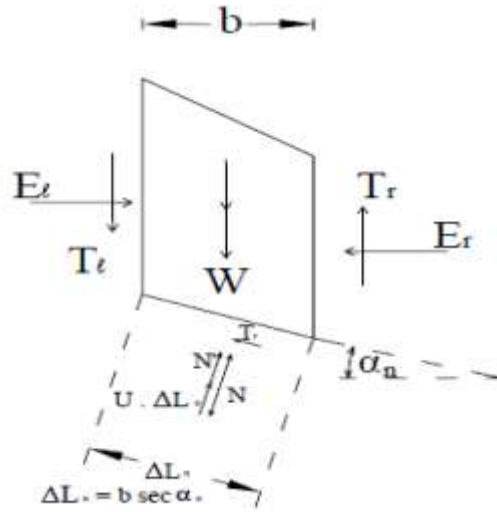
$$S_{perlu} = \frac{1}{FK} (c' + (\sigma - \mu) \tan\phi')$$

Faktor keamanan dihitung berdasar rumus (21):

$$FK = \frac{\sum \frac{1}{m} (c' l + (W - \mu.l) \tan\phi')}{W \sin\alpha}$$

Cara penyelesaian merupakan coba ulang (trial dan error) harga faktor keamanan FK di ruas kiri persamaan (21), dengan menggunakan Gambar (22) untuk mempercepat perhitungan (SKBI-2.3.06, 1987).

Faktor keamanan menurut cara ini menjadi tidak sesuai dengan kenyataan, terlalu besar, bila sudut negatif (-) di lereng paling bawah mendekati 30 (Gambar 22). Kondisi ini bisa timbul bila lingkaran longsor sangat dalam atau pusat rotasi yang diandaikan berada dekat puncak lereng. Faktor keamanan yang diperoleh dengan cara ini lebih besar daripada dengan cara Fellenius (SKBI-2.3.06, 1987).



Gambar 22. Suatu gaya pada suatu elemen menurut Bishop

$$S = c' \cdot \Delta L_n + \Delta L_n \cdot \sigma \tan \phi$$

1.6.10.5 Metode Janbu

Janbu (1954) mengembangkan suatu cara analisis stabilitas lereng yang dapat diterapkan untuk semua bidang longsor. Besaran-besaran yang akan dicari adalah : F (yang berhubungan dengan T, N, E dan S). Berdasarkan keseimbangan gaya vertikal (22) dan (23):

$$N \cdot \cos \theta = W + \Delta S - T \sin \theta$$

$$N = (W + \Delta S) \sec \theta - T \tan \theta$$

Jumlah gaya-gaya tegak lurus maupun tangensial terhadap bidang dasar irisan adalah nol. Sehingga persamaannya adalah (24), (25) dan (26):

$$S = y \frac{dE}{dx} - \frac{d}{dx} (Ey_1)$$

$$\Delta N = (\Delta W - \Delta S) \cos \theta + \Delta E \sin \theta$$

$$\Delta T = (\Delta W - \Delta S) \sin \theta + \Delta E \cos \theta$$

Kriteria longsor Mohr-Coulomb adalah (27):

$$\Delta T = \frac{c \Delta x \sec \theta + \Delta N (\tan \theta)}{F}$$

Dengan menggabungkan persamaan (25), (26), (27) dan memisalkan (28) $x = 0$,

$$\frac{dE}{dx} \left(1 + \frac{\tan \theta}{F} - \frac{dy}{dx} \right) + \frac{dS}{dx} \left(\frac{\tan \theta}{F} - \frac{dy}{dx} \right) = -\frac{c}{F} \left[1 + \left(\frac{dy^2}{dx^2} \right) \right] + \frac{dW}{dx} \left(\frac{\tan \theta}{F} + \frac{dy}{dx} \right)$$

Persamaan (25) merupakan persamaan diferensial, yang digunakan untuk menentukan E, S, y_t . Untuk melengkapi sistem persamaan tersebut, dimisalkan :

$$S = \lambda f(x) E$$

Dimana $f(x)$ adalah suatu fungsi dari x , dan $\lambda =$ konstanta.

λ dan F dapat dipecahkan dengan persamaan (24) dan (28).

$F(x)$ dimisalkan linier dengan menentukan suatu angka tertentu dapat ditentukan harga λ yang memenuhi persamaan-persamaan tersebut (SKBI-2.3.06, 1987).

1.6.11 Aplikasi Geoslope/W

Selain perhitungan manual, stabilitas lereng dapat juga dianalisis menggunakan software komputer. Ada beberapa macam software yang telah dikembangkan, akan tetapi untuk penelitian ini menggunakan software Geoslope/W. Geoslope merupakan software dengan kemampuan untuk mengetahui kestabilan lereng akibat beban luar, angker atau perkuatan tanah dengan geotekstil. Menghitung faktor keamanan lereng yang bertanah heterogen di atas tanah keras, dengan lapisan lempung. Menganalisis contoh tanah yang berbeda jenis dan tipe, straticgraphic dan longsor serta kondisi tekanan air pori dalam tanah yang berubah menggunakan bagian besar contoh tanah.

Geoslope mampu memodelkan kondisi-kondisi sebagai berikut :

- a. Lapisan tanah yang komplek.
- b. Kondisi tekanan air pori yang sangat tidak beraturan.
- c. Beberapa model kuat geser tanag, Mohr-Coloumb, Anisotropic, dll.
- d. Parameter kuat geser pada kondisi tidak jenuh.
- e. Pendekatan bentuk bidang gelincir dengan atau tanpa tension crack.
- f. Beban merata dan beban gempap.
- g. Perkuatan dengan struktur.

Pada dasarnya Geoslope terdiri dari tiga (3) bagian pengerjaan (langkah kerja) yaitu sebagai berikut :

- 1) Define, yaitu pendefinisian model. Langkah-langkah pada bagian ini adalah :
 - a. Mengatur batas area yang digunakan.
 - b. Mengatur skala dan satuan yang digunakan untuk mempermudah pengerjaan.
 - c. Menginput data material (data tanah).
 - d. Meng-sketsa permasalahan (lereng) dengan menggunakan icons garis lurus, lengkungan atau lingkaran.
 - e. Menentukan bagian-bagian gambar dengan mendefinisikan kembali setelah data terinput.
- 2) Solve

Pada tahapan ini diperoleh nilai dari hasil perhitungan, dengan menekan start pada kotak dialog.

3) Countour

Tahapan ini memperlihatkan gambar hasil perhitungan yang berupa :

- a. Memperlihatkan skesta hasil stabilitas tanah menggunakan metode Bishop, Ordinary, dan Janbu
- b. Terdapat icon-icon untuk memunculkan hasil seperti potongan dengan diagram free body dan force polygon.
- c. Memperlihatkan grafik hubungan antara jarak dan kekuatan, dan yang lainnya.
- d. Memperoleh data slide mass.

Slope/W merupakan alat yang kuat untuk analisis stabilitas lereng, yang digunakan oleh insinyur geoteknik untuk memahami, memprediksi, dan mengelola risiko terkait dengan kemantapan lereng dalam berbagai proyek rekayasa sipil dan geoteknik. Lapisan tanah yang kompleks.

1.6.11.1 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Aplikasi Geoslope

gunakan Aplikasi Geoslope

Program Geoslope adalah sebuah aplikasi untuk pemodelan geoteknik. Software ini mempunyai sifat terintegrasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu produk ke produk lain. Fitur yang kuat memperluas jenis masalah yang dapat dianalisis dan memberikan fleksibilitas untuk memperoleh modul seperti yang dibutuhkan untuk bangunan yang berbeda (Chasanah Uswatun, 2012).

Langkah-langkah untuk menyelesaikan analisis stabilitas lereng menggunakan geoslope sebagai berikut :

- 1) Setelah diketahui dari hasil uji laboratorium diketahui : y = Beban yang didapat, c = Kohesi, dan O = Sudut Geser dalam Tanah
- 2) Menggambar penampang profil sketsa sumbu x dan y .
- 3) Menggambar Entry and Exit Location
- 4) Mengecek material yang telah diinput.
- 5) Melihat hasil perhitungan berbagai metode.
- 6) Melihat output hasil grafik
- 7) Melihat Multiple surface.

BAB 2 METODE PENELITIAN/PERANCANGAN

2.1 Kerangka Kerja Penelitian

Prosedur penelitian dijelaskan pada Langkah-langkah berikut ini.

1. Perumusan masalah

Melakukan perumusan dengan berdiskusi Bersama dosen pembimbing sehingga mendapatkan tema dari tugas akhir ini.

2. Studi literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan referensi dari buku dan jurnal ilmiah yang relevan dengan topik pembahasan dan pemahaman terhadap materi. Beberapa referensi ini didapatkan dari buku, jurnal, tugas akhir, *website*, dan sebagainya.

3. Pengumpulan dan pengolahan data

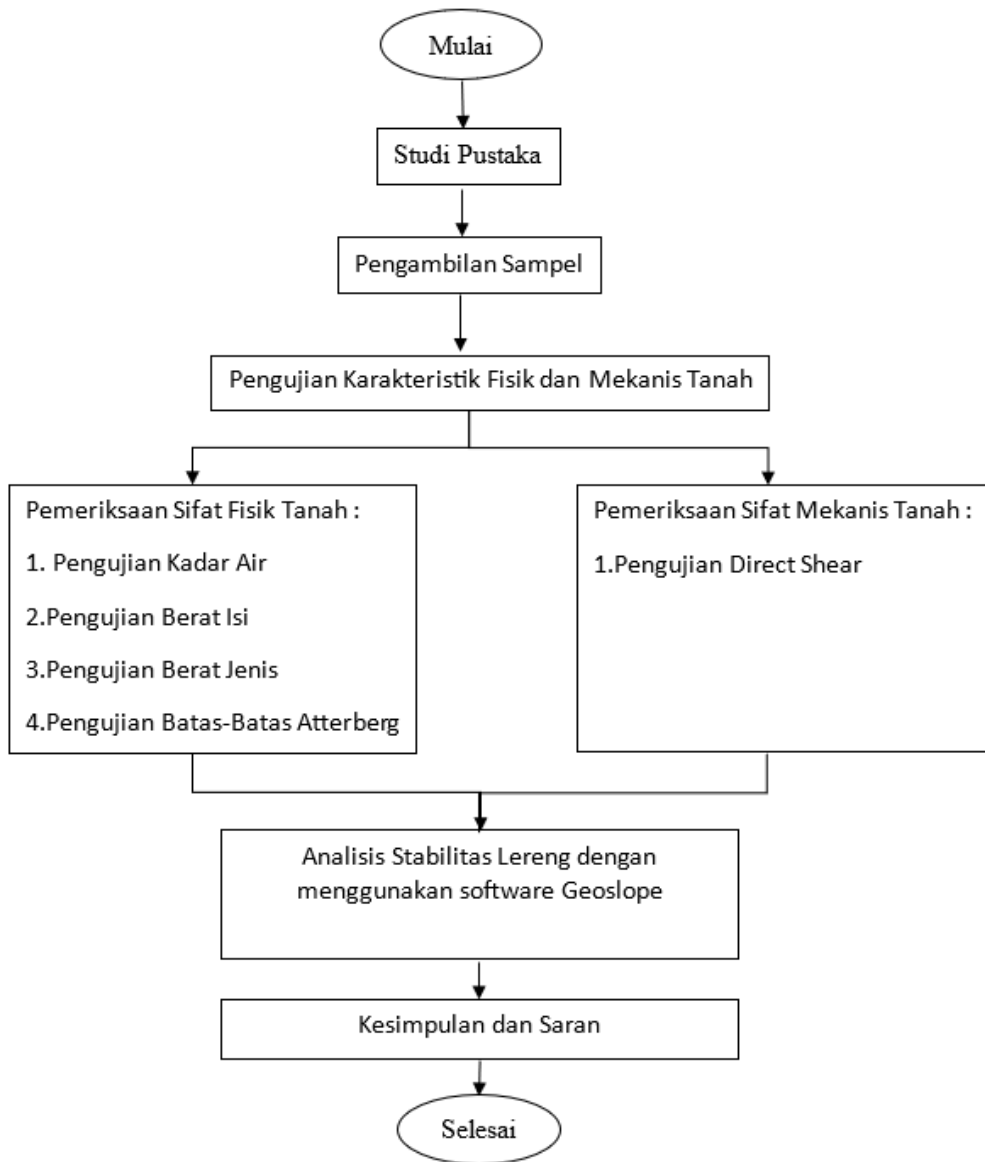
Data-data diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan (Data Primer) yang sesuai dengan objek pada tugas akhir ini. Data yang diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir ini berupa data sampel tanah, laboratorium, dan aplikasi.

4. Analisa data

Data yang telah dikumpulkan kemudian menjadi bahan untuk Analisa berikut beberapa tahapnya, yaitu sebagai berikut :

a. Analisa data awal : pengolahan data sampel tanah.

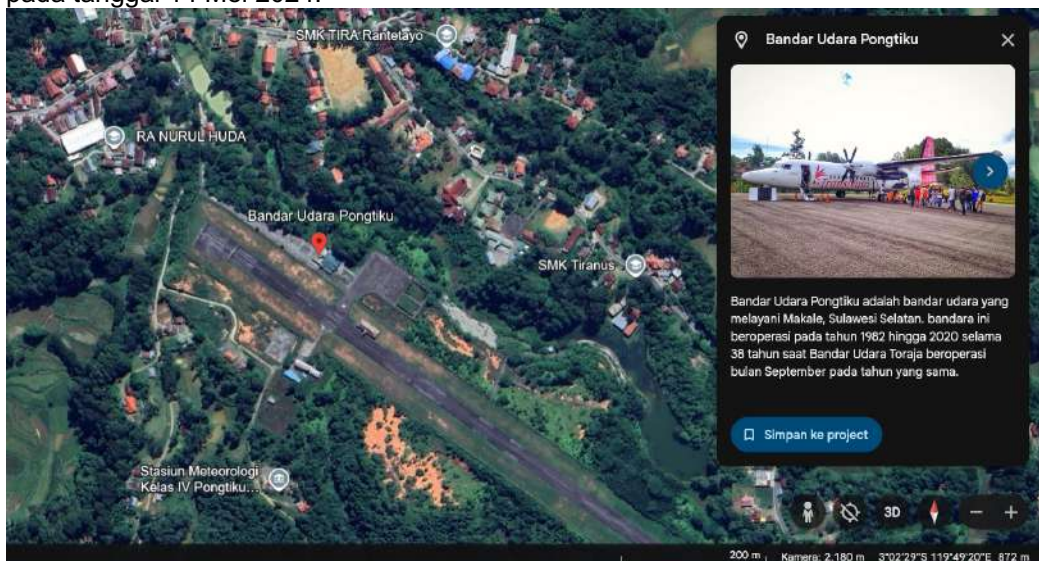
b. Analisa Geoslope : Analisa lereng menggunakan metode Bishop yang akan menghasilkan analisis data lereng. Setelah mendapatkan analisa data lereng tersebut maka selanjutnya melakukan perbandingan kondisi sebelum dan setelah longsor



Gambar 23. Flowchart Penelitian

2.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Tana Toraja atau lebih tepatnya berada di Bandara Pongtiku, sekitar Landasan Pacu (runway) Kelurahan Padangiring, Kecamatan Rantetayo, Kabupaten Tana Toraja, Sulawesi Selatan. Waktu penelitian dilaksanakan pada tanggal 14 Mei 2024.



Gambar 24. Lokasi Penelitian

2.3 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini yaitu, dilakukan pengambilan sampel tanah lalu di lakukan pengujian di laboratorium untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanis tanah pada lereng, terutama pada bagian yang longsor untuk mengetahui perilaku tanah pada kondisi normal dan kondisi ekstrim jika terjadi penjuhan akibat peristiwa hujan lebat. Pengujian ini meliputi kadar air, berat isi, berat jenis, batas-batas Atterberg, analisa saringan dan terakhir pengujian sifat mekanis tanah dilakukan yaitu uji kuat geser (direct shear). Hasil analisis data teknis tanah hasil pengujian karakteristik fisik dan mekanis tanah kondisi normal dan kondisi jenuh air terhadap keamanan lereng eksisting yang mengalami kelongsoran menggunakan analisa numerik dengan menggunakan software GeoStudio.

2.4 Peralatan Laboratorium


Tabel 8. Alat yang digunakan dalam pengujian sifat fisis

No	Nama Alat	Gambar
1	Pengujian Kadar Air	
2	Pengujian Berat Isi	
3	Pengujian Berat Jenis	
4	Pengujian Batas-batas Atterberg	

-
- 5 Pengujian Analisa
Saringan



Tabel 9. Alat yang digunakan dalam pengujian sifat mekanis

No	Nama Alat	Gambar
1	Pengujian Direct Shear	

2.5 Standar Pengujian

2.5.1 Uji Sifat Fisis

Uji fisis tanah diantaranya meliputi kadar air, berat isi, berat jenis dan batas-batas Atterberg yang bertujuan untuk menentukan karakteristik fisik tanah. Data ini kemudian akan digunakan untuk mengidentifikasi tanah dan untuk mengetahui karakteristik fisik tanah.

Tabel 10. Standar Pengujian Sifat Fisis Tanah

Jenis Pengujian	Standar Pengujian
Kadar Air (%)	ASTM D-2216-71 SNI 1965:2019
Batas Plastis (%)	ASTM D-424-74 SNI 1966:2008
Indeks Plastisitas (%)	ASTM D-4318 SNI 1966:2008
Berat Isi (%)	ASTM C-29 SNI 1964:2008
Berat Jenis	ASTM D-162 SNI 1964:2008

2.5.2 Uji Sifat Mekanis

Pengujian sifat mekanis ini dilakukan untuk mengetahui daya dukung tanah. Adapun untuk uji mekanis yang dilakukan yaitu uji kuat geser (Direct Shear Test). Pengujian direct shear merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan geser tanah, yaitu hambatan terbesar yang dapat ditahan tanah saat digeser. Hasil uji ini dapat digunakan untuk berbagai analisis geoteknik, seperti: Analisis kestabilan lereng, Analisis daya dukung pondasi, Analisis dinding penahan. Tujuan dari pengujian Direct Shear ini yaitu untuk mendapatkan kuat geser tanah. Hasil uji geser langsung dapat digunakan untuk analisis kestabilan dalam bidang geoteknik, di antaranya untuk analisis kestabilan lereng, daya dukung pondasi, analisis dinding penahan, dan lain- lain.

Tabel 11. Standar Pengujian Mekanis Tanah

Jenis Pengujian	Standar Pengujian
Uji <i>Direct Shear</i>	D-3080-04 SNI 2813-2008

2.6 Prosedur Pengujian Tanah

Pengujian sampel tanah dibagi menjadi dua yaitu uji sifat fisis dan uji sifat mekanis tanah. Kedua jenis pengujian tersebut akan dilakukan pada setiap sampel tanah yang digunakan.

2.6.1 Pengujian Sifat Fisis Tanah

Dalam penelitian ini, pengujian sifat fisik tanah meliputi analisis saringan dan hydrometer, berat jenis, kadar air, berat isi dan batas-batas atterberg. Tujuan dari uji sifat fisis tanah adalah untuk mengetahui karakteristik fisik yang diperlukan untuk menentukan parameter karakteristik tanah.

a. Pengujian Kadar Air

Untuk menguji kadar air suatu sampel tanah, cara yang dilakukan yaitu menimbang cawan kosong terlebih dahulu, kemudian masukkan sampel tanah yang ingin diuji ke dalam cawan. Timbang cawan yang berisi sampel tanah. Kemudian masukkan cawan dan tanah ke dalam oven dengan suhu $105^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ tergantung kondisi tanahnya, biarkan cawan dalam keadaan terbuka selama 16-24 jam di dalam oven. Jika sampel telah kering oven, keluarkan sampel dari oven dan timbang tanah kering oven jika telah mencapai suhu ruangan.

b. Pengujian Berat Jenis

Pengujian berat jenis dilakukan dengan cara yang sangat sederhana. Isi piknometer dengan tanah setelah menimbang tanah kosong terlebih dahulu. Setelah itu tambahkan air hingga tanah terendam seluruhnya, vakum piknometer dan terus panaskan di atas kompor hingga gelembung udara menghilang. Lalu isi piknometer sampai penuh dengan air, lalu ditimbang. Setelah kosong dan

dibersihkan, piknometer diisi dengan air, ditutup, dan ditimbang dengan timbangan ketelitian 0,01 gram.

c. Pengujian Berat Isi

Untuk menguji berat isi, cara yang dilakukan yaitu Pertama, bersihkan ring berat isi yang akan digunakan. Ukur diameter dalam dan tinggi ring tersebut dengan menggunakan jangka sorong, kemudian hitung volumenya. Setelah itu, timbang ring dengan ketelitian 0,01 gram (W_1) dan timbang juga cawan yang akan digunakan dengan ketelitian yang sama (W_2). Berikan nomor atau tanda pada ring menggunakan label. Selanjutnya, keluarkan contoh tanah menggunakan ekstruder dan cetak tanah tersebut ke dalam ring. Pastikan tanah memenuhi volume ring dan ratakan kedua permukaannya. Terakhir, timbang kembali ring yang berisi tanah beserta cawan (W_3) untuk mendapatkan berat total. Setelah proses sebelumnya, masukkan cawan yang berisi ring dan sampel tanah ke dalam oven pada suhu $\pm 110^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Setelah selesai dioven, biarkan cawan dan tanah berada di suhu ruangan sampai dingin. Timbang cawan dengan ring yang sudah berisi tanah kering (W_4). Terakhir, lakukan analisis perhitungan untuk memperoleh hasil yang diinginkan.

d. Pengujian Batas-Batas Atterberg

1. Prosedur Pengujian Batas Plastis (Plastic Limit)

Dalam melakukan pengujian batas plastis, hal yang dilakukan pertama kali yaitu menyiapkan sampel tanah yang telah lolos saringan 35 No.40, sampel tanah kemudian dicampur dengan air secukupnya lalu aduk hingga air dan tanahnya homogen. Setelah itu, campuran tanah dan air tersebut diambil dan diletakkan di atas lempengan kaca. Kemudian gulunggulung menggunakan tangan sampai diameter hasil gulungan telah mencapai 3 mm dan terlihat ada sedikit retakan pada sampel. Lalu masukkan ke dalam tinbox dan ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam oven kurang lebih 24 jam, setelah sampel uji telah kering oven, keirngkan hingga suhu ruang kemudian timbang Kembali untuk mengambil nilai kadar airnya.

2. Prosedur Pengujian Batas Cair (Liquid Limit)

Pada pengujian batas cair, ambil sampel tanah kurang lebih 150-200 gram yang telah disaring dengan saringan No.40. Tanah tersebut dituankan air sedikit demi sedikit hingga homogen. Sampel tanah kemudian ditaruh ke dalam cawan Casagrande, dan ratakan

permukaan sampel hingga sejajar dengan alas, lalu buat alur pada Tengah dengan menggunakan alat grooving tool secara tegak lurus. Setelah itu putar tuas pada alat Casagrande untuk menyalakannya dengan kecepatan 2 putaran/detik sampai alur sudah tertutup sepanjang $\pm 1,25$ cm dan hitung berapa ketukan yang dibutuhkan. Ambil contoh tanah untuk diperiksa kadar air. Ulangi hingga 4 kali percobaan dengan kadar air yang berbeda.

3. Prosedur Pengujian Batas Susut (Shrinkage Limit)

Pada pengujian batas susut yang dilakukan pertama kali adalah mengambil contoh tanah pada cawan porselin kemudian diberi air sedikit sampai campuran tanah dapat dicetak pada cawan penguap. Tanah dicetak kemudian diketok-ketok agar menghilangkan rongga udara pada tanah. Setelah itu, timbang kemudian di oven selama kurang lebih 24 jam. Setelah tanah kering, timbang Kembali beratnya. Siapkan air raksa secukupnya, dan tuangkan pada mangkok kaca yang dibawahnya diberi alas agar dapat menampung air raksa yang keluar dari cawan, tanah yang telah kering oven kemudian diambil dan dimasukkan kedalam cawan yang telah berisi air raksa lalu ditekan dan digeser-geser dengan lempengan kaca sehingga kelebihan air raksa akan tumpah, air raksa akan tumpah ke dalam cawan 36 kaca yang telah diketahui beratnya sebelumnya. Terakhir, air raksa dan cawan ditimbang.

2.6.2 Pengujian Sifat Mekanis Tanah

Uji sifat mekanis yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian Kuat Geser Tanah (Direct Shear). Pengujian sifat mekanis tanah dilakukan untuk mengetahui kekuatan ataupun daya dukung tanah. Hal pertama yang dilakukan pada 36 pengujian Direct Shear adalah dengan mengukur diameter dan volume ring menggunakan jangka sorong serta menimbang massanya dengan ketelitian 0,01 gram. Benda uji dikeluarkan menggunakan ekstruder, dicetak pada ring, diratakan, dan ditimbang bersama ring. Selanjutnya, benda uji dimasukkan ke dalam kotak geser yang sudah dipasang batu perpori dilapisi kertas saring di bagian atas dan bawah, kemudian dikencangkan dengan baut pengunci.

2.7 Prosedur Penggunaan Software Geostudio

1. Tekan new pada halaman awal Geoslope lalu tekan add dan klik 2D pada halaman define project.
2. Klik add dan pilih SLOPE/W Analysis dan pilih Limit Equilibrium.
3. Pilih Analysis type menggunakan metode bishop pada halaman Slope Stability lalu klik close pada pojok kanan halaman define project.
4. Klik sketch lalu klik axes untuk memunculkan angka koordinat jarak pada lembar kerja.
5. Klik sketch lalu klik lines untuk menggambar sketsa dari lereng lokasi penelitian sesuai dengan data ketinggian dan kemiringan lereng yang telah diperoleh.
6. Langkah selanjutnya ialah memasukkan data tanah yang diperoleh ke dalam program dengan klik define lalu klik materials.
7. Klik add lalu dalam tabel slope stability, pilih mohr coulomb dalam tabel material model.
8. Masukkan data tanah dalam kondisi derajat kejenuhan 75% pada halaman material model, jika sudah klik close.
9. Selanjutnya klik draw lalu pilih regions untuk menggambar daerah dari jenis tanah.
10. Klik draw lalu klik materials untuk menentukan area dari tanah yang sudah diinputkan datanya, setelah itu klik daerah atau regions yang sudah digambar sebelumnya.
11. Selanjutnya klik draw, lalu klik slip surface dan klik entry and exit untuk menentukan daerah lereng yang akan dianalisis kestabilannya.
12. Langkah selanjutnya klik start dalam tabel solve manager untuk menjalankan analisa kestabilan lereng.
13. Hasil analisa akan muncul setelah menjalankan analisa.