BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Tanah

Tanah selalu mempunyai peranan penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Menurut R.F. Craig dan Budi Susilo S. (1994), tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antara partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuannya. Diantara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori (*void space)* yang berisi air dan/atau udara. Ikatan yang lemah antara partikel-partikel tanah disebabkan oleh pengaruh karbonat atau oksida yang tersenyawa di antara partikel-partikel tersebut, atau dapat juga disebabkan oleh adanya material organik.

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). Menurut Suyono Sosrodarsono dan Kazuto Nakazawa (2000), tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan, atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri, seperti tanggul atau bendungan, atau kadang-kadang sebagai sumber penyebab gaya luar pada bangunan pada tembok atau dinding penahan tanah.

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (bedrock). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel (Hardiyatmo, 2010).

2.2 Klasifikasi Tanah

Secara umum tanah dapat diklasifikasikan menjadi 3 berdasarkan sifat lekatnya, yaitu tanah kohesif, tanah tidak kohesif (*granular*) dan tanah organik tanah. Sifat-sifat tanah kohesif adalah sebagai berikut:

2.2.1 Tanah Kohesif

Tanah Kohesif adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir - butirnya, sehingga memiliki daya kohesi atau nilai c, dimana hal ini umumnya ditemui pada tanah lempung. Kohesi ini terjadi akibat daya tarik menarik antar butiran lempung atau gaya lekat tanah dengan sifat-sifat dari air yang diserap pada permukaan partikel, sehingga kekuatan geser tanah dipengaruhi oleh jenis dan kondisinya, termasuk kadar air tanah. Tanah berbutir halus adalah tanah yang sebagian besar butir tanahnya berupa lempung (*clay*) dan lanau (*silt*). Tanah berbutir halus disebut juga sebagai tanah kohesif, contoh tanah berbutir halus adalah lempung, lempung lanau, dan lempung bercampur pasir dengan kerikil. Sifat keteknikan yang mencolok dari tanah berbutir halus ini adalah:

1. Memiliki kuat geser yang rendah.
2. Plastis dan mudah dimampatkan (compressible).
3. Kehilangan sebagian ketahanan gesernya akibat pembasahan dan akibat adanya ganguan.
4. Mengalami deformasi secara plastis dibawah beban konstan.
5. Kembang susut: mengembang bila basah dan mengerut bila kering.
6. Tidak baik sebagai material karena bertekanan lateral tinggi.
7. Tidak untuk bahan timbunan tanggul, karena tahanan gesernya rendah dan sulit dipadatkan.
8. Sangat kedap air (partically impeurous).
9. Deskripsi tanah berbutir halus contoh (lempung dan lanau) berpotensi rawan terhadap bencana longsor.

2.2.2 Tanah *Non-kohesif*.

Tanah *Non-kohesif* adalah tanah yang tidak memiliki daya Tarik menarik antara partikel, sehingga sering diasumsikan nilai C=0, dan hal ini umumnya dijumpai pada pasir. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang sebagian besar butirbutir tanahnya berupa pasir (*sand*) dan kerikil (*gravel*). Pasir halus merupakan perkecualian, karena sifat mekaniknya merupakan sifat transisi antara

tanah 7 berbutir kasar dengan tanah berbutir halus. Tanah berbutir kasar memiliki sifat keteknikan yang mencolok, yaitu:

1. Sangat baik berfungsi sebagai material penyangga bangunan atau jalan raya, kecuali pasir lepas (*loose sands*). Tanah berbutir kasar umumnya mempunyai daya dukung tinggi dengan penurunan (*settlement)* kecil dan berlangsung dalam waktu pendek setelah pembebanan.
2. Sangat baik sebagai material urugan untuk tembok penahan lereng (retaining walls), tembok alas (basement walls), hanya sedikit saja sebagai penyebab tekanan lateral, mudah dipadatkan, dan mudah dialiri (sebagai drainase yang baik).
3. Tidak baik digunakan untuk tanggul penahan air, reservoir (waduk) karena permeabilitas tinggi. Penggalian tanah seperti ini di bawah permukaan memerlukan pemompaan air (dewatering) yang baik.
4. Sangat peka terhadap penurunan akibat beban bergetar, misalnya di bawah bangunan pabrik bermesin yang terus bergetar.

Sifat tanah berbutir kasar ditentukan oleh beberapa factor, yaitu:

1. Ukuran butir dan distribusi besar butir dilihat dari pengaruh gaya geser butiran tanahnya, tanah berbutir halus lebih mudah menggelinding dibanding dengan tanah berbutir kasar, hal ini diakibatkan karena butiran tanah yang lebih kasar lebih kuat untuk saling mengikat.
2. Kepadatan Ketahanan geser dan kompresibilitas tanah berbutir kasar sangat berhubungan dengan kepadatan butir penyusunnya, yang dideskripsi sebagai lepas (*loose*), menengah (*medium, firm*), dan padat (*compact, dense*).

Deskripsi tanah berbutir kasar:

2.2.3 Tanah Organik

Tanah Organik adalah tanah yang sifatnya sangat dipengaruhi oleh bahan-bahan organik (sifat tidak baik) seperti sisa-sisa hewani maupun tumbuh-tumbuhan.

2.3 Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah secara umum adalah suatu sistem pengaturan berapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok berdasarkan pemakainnya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (Das, 1995).

Sistem klasifikasi tanah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang karakterristik dan sifatsifat fisik tanah serta mengelompokannya sesuai dengan perilaku umum dari tanah tersebut. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi lebih terinci mengenai keadaan tanah seperti karateristik pemadatan, daya dukung tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1998).

Jenis dan sifat tanah yang sangat bervariasi ditentukan oleh perbandingan banyak fraksi-fraksi (kerikil, pasir, lanau, dan lempung), sifat plastisitas butir halus. Ada dua cara klasifikasi yang umum digunakan yaitu sistem klasifikasi AASTHO dan sistem klasifikasi USCS.

2.3.1 Sistem Klasifikasi *AASHTO*

Sistem klasifikasi *AASHTO* (*American Association of State Higway and Transpotation Offical*) dikembakan pada tahun 1929 dan mengalami beberapa kali revisi hingga tahun 1945 dan dipergunakan hingga sekarang, yang diajukan oleh *comite on clasification of Material for Subgrade and Granular Type Road of teh Hagway ResearchBoard* (*ASTN* Standar No. D-3282, *ASSHTO* model M145).

Berdasarkan sifat tanahnya dapat di kelompokan menjadi 2 kelompok besar yaitu:

Kode	Karateristik Tanah

A-1	Tanah yang terdiri dari kerikil dan pasir kasar dengan sedikit atau tanpa butir halus, dengan atau tanpa sifat plastis.
A-2	Terdiri dari pasir halus dengan sedikit sekali butir halus lolos saringan no.200 dan tidak plastis.
A-3	Kelompok batas tanah berbutir kasar dan halus dan merupakan campuran kerikil/pasir dengan butiran halus cukup banyak (<35%)

1. Kelompok Tanah Berbutir Kasar (<35% Lolos Saringan No. 200)

Tabel 2. 1 Tanah Butiran Kasar

2. Kelompok Tanah Berbutir Halus (>35% Lolos Saringan No.200)

Tabel 2. 2 Tanah Butiran Kasar

Kode	Karateristik Tanah
A-4	Tanah lanau dengan sifat palastis rendah
A-5	Tanah lanau yang mengandung lebih banyak butir-butir plastis, sehingga sifat plastisnya lebih besar dari a-4
A-6	Tanah lempung yang masih mengandung butiran pasir dan kerikil, tetapi sifat perubahan volumenya cukup besar.
A-7	Tanah lempung yang lebih bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan yang cukup besar.

Adapun sistem klasifikasi AASHTO ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut:

1. Ukuran Butiran

Tabel 2. 3 Ukuran Butiran Sistem Klaasifikasi *AASHTO*

Kerikil	tanah yang lolos ayakan 75 mm (3in) dan yang tertahan pada ayakan no.10 (2mm)

Pasir	tanah yang lolos ayakan no.10 (2mm) dan yang tertahan pada ayakan no.200 (0,075mm)
Lanau dan Lempung	tanah yang lolos saringan no.200 (0,075mm)

2. Plastisitas

   Merupakan kemampuan tanah yang dapat menyesuaikan bentuk pada volume konstan yang tanpa retak-retak ataupun remuk. Hal itu bergantung 10 pada kadar air, tanah dapt berbentuk cair, plastis, semi plastis, semi padat, atau padat. Lanau dipakai apabila bagian-bagian halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 10 atau kurang, sedangkan lempung dipakai jika bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.

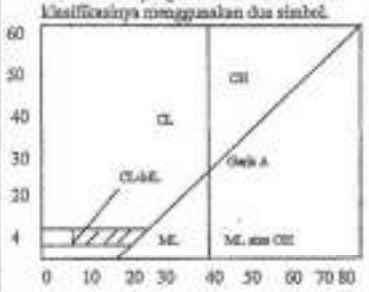
2.3.2 *Unified Classification System* (USCS)

Sistem klasifikasi tanah *Unified* atau *Unified Classification System* (USCS) diajakun pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya di kembangkan oleh *United Crops of Enginee*r (USACE). Kemudian *American Society for testing and materials* (ASTM) memakai USCS sebagai metode standar untuk mengklasifikasikan tanah. Sistem ini banyak digunakan dalam bidang geoteknik. Sistem ini dapat dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Tanah butiran kasar, <50% lolos saringan no.200 sifat teknis tanah ini ditentukan oleh ukuran butir dengan gradasi butiran. Tanah bergradasi baik /seimbang memberikan kepadatan yang lebih baik dari pada tanah yang berbutir seragam.
2. Tanah berbutir halus, >50% lolos sarigan no.200 Tanah ini di tentukan oleh sifat plastis tanah, sehingga pengelompokan berdasar plastisitas dan ukuran butir.

Tabel 2. 4 *Unified Standart Classification System*

Divisi Utama			Simbol	Nama Umum		Kriteria Klasifikasi
Tanah berbutir kasar ≥ 50% butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil 50%≥ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus ; Kurang dari 5% lolos saringan no.200; SM, SC, 5% - 12% lolos	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$; $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D10 \times D60}$ Antara 1 dan 3
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau		Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI < 4 ; Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI > 7 ; Bila batas *Atterberg* berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	Pasir≥ 50% fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SC	Pasir bergradasi-baik , pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$; $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D10 \times D60}$ Antara 1 dan 3
			SW			Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI < 4 ; Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI > 7 ; Bila batas *Atterberg* berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
				Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200		Lanau dan lempung batas cair ≤ 50%	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung		Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas *Atterberg* yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.
			CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (*lean clays*)		
			OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
		Lanau dan lempung batas cair ≥ 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis		
			CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (*fat clays*)		
			OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi		
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi			PT	*Peat* (gambut), *muck*, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi		Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488



Sumber : Hary Christady, 2010.

2.4 Parameter Tanah

2.4.1 Parameter Tanah Berdasarkan Data Sondir

Menentukan jenis tanah dan parameter menggunakan data sondir (CPT) dan korelasi (Bowles,1984). Cara penentua dapat dilihat sebagai berikut:

1. Data sondir (CPT)

Tabel 2. 5 data sondir (CPT)

No.	Depth (m)	Cw (kg/cm²)	Tw (kg/cm²)
1	0.00	-	-
2	0.20	50	60
3	0.40	30	35
4	0.60	35	40

(sumber: data lapangan, 2021)

2. Hasil hitungan data sondir

Tabel 2. 6 Hasil Analisis Data Lapngan

Kw (kg/cm²)	qc (kg/cm²)	Lf (kg/cm)	Lf x 20 (kg/cm)	JHP (kg/cm)	Fr (%)	Perkiraan Jenis Tanah
-	-	-	-	-	-	-
10	50	0.9	18.00	18.00	1.80	Pasir
5	30	0.45	9.00	27.00	1.50	Pasir
5	35	0.45	9.00	36.00	1.29	Pasir

(sumber: Analisis data, 2021)

3. Korelasi parameter data sondir

Tabel 2. 7 Hasil Korelasi Data sondir

KORELASI PARAMETER TANAH TERHADAP DATA SONDIR								
Kedalaman	Qc rata-rata (kg/cm2	Qc rata-rata (kpa)	Fr (%)	Klasifikasi tanah	N-SPT	ϕ (°)	C (kn/m^2)	γ (Kn/m3)
0.00 - 0,60	30	2942	1.53	Pasir Kelanauan agak padat	8	30.3	15.0	15.0
0,60 - 1,00	25	2452	3.60	Lempung Kelanauan	10	43.3	12.5	16.9
1,00 - 2,00	38	3727	1.23	Pasir Kelanauan agak padat	10	31.7	19.0	15.8

Dari pengujian alat sondir di lapangan, didapatkan data berupa tekanan konus (pk/qc) dan jumlah perlawanan (jp) dan dari data tersebut dapat diketahui hambatan pelekat (hl/fs). Parameter tanah dapat cari dengan pendektan secara empiris dari sumber-sumber penilitian lain. Seperti yang ditunjukan dalam table-tabel di bawah ini.

Tabel 2. 8 Klasifikasi tanah dari data sondir (CPT)

Hasil Sondir		**Klasifikasi**
Qc	Fs	
6,0	0,15 – 0,40	Humus, lempung sangat lepas
6,0 – 10,0	0,20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas
	0,20 – 0,60	Lempung lembe, lempung kelanauan lembek
10,0 – 30,0	0,10	Kerikil lepas
	0,10 – 0,40	Pasir lepas
	0,40 – 0,80	Lempung atau lempung kelanauan
	0,80 – 2,00	Lempung agak kenyal
30 – 60	1,50	Pasir kelanauan, pasir agak padat
	1,0 – 3,0	Lempung atau lempung kelanauan kenyal
60 – 150	1,0	Kerikil kepasiran lepas
	1,0 – 3,0	Pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat dan lempung kelanauan
	3,0	Lempung kerikil kenyal
150 – 300	1,0 – 2,0	Pasir padat, pasir kekerikilan, pasir kasar pasir pasir kelanauan sangat padat

(Sumber: Mekanika TanahBraja M. Das, Jilid 1, 1995)

Dari nilai qc, dapat dikorelasikan terhadap konsistensi tanah pada suatu lapisan tanah. Hubungan antara konsistensi terhadap tekanan konus dan *undrained cohesion* adalah sebanding dimana semakin tinggi nilai c dan qc, maka semakin keras tanah tersebut sebagai berikut:

Tabel 2. 9 Hubungan Antara Konsistensi(C) Dengan Tekanan Konus(qc)

Konsistensi tanah	**Tekanan Konus qc**	***Undrained Cohesion***
	(kg/cm^2)	**(T/m^2)**
Very Soft	< 2,50	< 1,25
Soft	2,50 - 5,0	1,25 - 2,50
Medium Stiff	5,0 - 10,0	2,50 - 5,0
Stiff	10,0 - 20,0	5,0 - 10,0
Very Stiff	20,0 - 40,0	10,0 - 20,0
Hard	> 40,0	> 20,0

(Sumber: Begeman, 1965)

Begitupun hubungan antara kepadatan dengan *relative density*, nilai NSPT, qc dan ϕ adalah sebanding.

Tabel 2. 10 Hubungan Antara Kepadatan, *Relative Density*, Nilai N SPT, qc dan ϕ

Kepadatan	***Realtif density***	**Nilai NSPT**	**Tekanan konus qc**	**Sudut gesek**
	(γd)		**(kg/cm^2)**	**(Ø)**
Very Loose (sangat lepas)	< 0,2	< 4	< 20	< 30
Loose (lepas)	0,2 - 0,4	4 - 10	20 - 40	30 - 35
Medium Dense (agak kompak)	0,4 - 0,6	10 - 30	40,0 - 120	35 - 40
Dense (kompak)	0,6 - 0,8	30 - 50	120 - 200	40 - 45
Very Dense (sangat kompak)	0,8 - 1,0	> 50	> 200	> 45

(Sumber: Mayerhof, 1965)

Tabel 2. 11 Hubungan Antara Sudut Gesek Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	**Sudut Geser Dalam**
Kerikil Kepasiran	(35 - 40) º
Kerikil Kerakal	(35 - 40) º
Kerikil Padat	(35 - 40) º
Pasir Lepas	30º
Lempung Kelanauan	(25 - 30) º
Lempung	(20 - 25) º

Sumber: Mekanika Tanah Braja M.das Jilid 1, 1995)

2.4.2 Berat Jenis Tanah Sebagai Pendekat

Jika data laboratorium tidak ada, dapat menggunakan korelasi dari tabel table-tabel korelasi seperti di bawah ini.

Tabel 2. 12 Korelasi Berat Jenis Tanahm(γ) Untuk Tanah Kohesif dan non kohesif

	Cohesionless Soil												
N	0	-	10	11	-	30	31	-	50		>	50	
Unit Wiegth γ, kN/m3	12	-	16	14	-	18	16	-	20	18	-	23	
Angle Of Friction ϕ	25	-	32	28	-	36	30	-	40		>	35	
State	*Loose*			*Medium*			*Dense*			*Very Dense*			
	Cohesive												
N		<	4	4	-	6	6	-	15	16	-	25	> 25
Unit Wiegth γ, kN/m3	14	-	18	16	-	18	16	-	18	16	-	20	> 20
Angle Of Friction ϕ		<	25	20	-	50	30	-	60	40	-	200	> 100

State	*State*	*Soft*	*Medium*	*Stiff*	*Hard*

(Sumber: Whilliam T., Whitman, Robert V., (1962))

Tabel 2. 13 Korelasi Berat Jenis Tanah Jenuh (γsat) Untuk Tanah Kohesif

Description	*Very Loose*	*Loose*	*Medium*	*Danse*	*Very Danse*
N SPT					
Fine	1-2	3-6	7-15	16-30	
Medium	2-3	4-7	8-20	21-40	>40
Coarse	3-6	5-9	10-25	26-45	>45
Φ					
Fine	26-28	28-30	30-34	33-38	
Medium	27-28	30-32	32-36	36-42	<50
Coarse	28	30-34	33-34	40-50	
γwet (kN/m3)	11-16	14-18	17-20	17-22	20-23

(Sumber: Whilliam T., Whitman, Robert V., (1962))

2.5 Pengertian Longsor

Gerakan tanah adalah suatu gerakan menuruni lereng oleh massa tanah dan atau batuan penyusun lereng. Definisi di atas dapat menunjukkan bahwa massa yang bergerak dapat berupa massa tanah, massa batuan ataupun percampuran antara keduanya. Varnes (1978) secara definitif juga menerapkan istilah longsoran ini untuk seluruh jenis gerakan tanah.

Gerakan tanah dapat diidentifikasi melalui tanda-tanda sebagai berikut: munculnya retak tarik dan kerutan-kerutan di permukaan lereng, patahnya pipa dan tiang listrik, miringnya pepohonan, perkerasan jalan yang terletak pada timbunan mengalami amblas, rusaknya perlengkapan jalan seperti pagar pengaman dan saluran drainase, tertutupnya sambungan ekspansi pada pelat jembatan, hilangnya kelurusan dari fondasi bangunan, tembok bangunan retak-retak, dan dinding penahan tanah retak serta miring ke depan. Kerentanan lereng terhadap gerakan tanah didefinisikan sebagai kecenderungan lereng dalam suatu

wilayah atau zona untuk mengalami gerakan, tanpa mempertimbangkan resikonya terhadap kerugian jiwa atau ekonomi. Apabila aspek risiko terhadap manusia diperhitungkan, maka lebih tepat diterapkan istilah “kerawanan”.

2.6 Gerakan Tanah/Longsoran

Gerakan tanah/longsoran adalah perpindahan massa tanah/batuan pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula. Definisi ini termasuk juga deformasi lambat atau jangka panjang dari suatu lereng yang biasa disebut rayapan (*creep*).

Umumnya longsoran antara lain disebabkan oleh lemahnya kuat geser tanah pembentuk lereng akibat peningkatan beban luar atau kondisi hidrolis dan tingginya kadar air (Turnbull dan Hvorslev, 1997). Analisis stabilitas lereng tidak mudah, karena terdapat banyak faktor yang sangat mempengaruhi hasil-hasil hitungan. Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lainya

Terzaghi (1950) Penyebab longsoran lereng terjadi karena, pengaruh dalam (*internal effec*) dan pengaruh luar (*external effect*). Pengaruh luar, yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser tanah. Contohnya, akibat perbuatan manusia mempertajam kemiringan tebing atau memperdalam galian tanah dan erosi sungai. Pengaruh dalam, yaitu longsoran yang terjadi dengan tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi. Contoh yang umum untuk kondisi ini adalah pengaruh bertambahnya tekanan air pori didalam lereng.

Kelongsoran lereng alam dapat terjadi akibat penambahan beban pada lereng, penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng, penggalian yang mempertajam kemiringan lereng, perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid draw down*) pada bendungan atau sungai, kenaikan tekanan lateral oleh air, air mengisi retakan akan mendorong tanah ke arah lateral, gempa bumi, 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

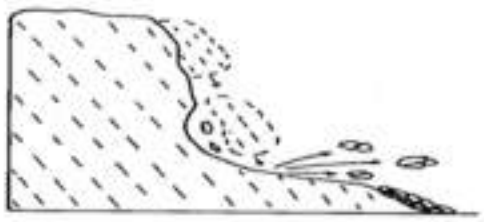
lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain (Hardiyatmo, 2007).

2.6.1 Klasifikasi Gerakan Tanah

Gerakan tanah dikelompokkan menurut klasifikasi *Highway Research Board* 1958 dan 1978. Kriteria yang digunakan dalam pengelompokan ini pertama adalah tipe gerakan tanah dan kedua jenis materialnya. Tipe gerakan tanah dibagi menjadi lima kelompok utama yaitu: runtuhan, jungkiran, longsoran, penyebaran lateral dan aliran. Kelompok keenam adalah majemuk yaitu kombinasi dua atau lebih tipe gerakan tersebut. Adapun keenam tipe gerakantanah dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Runtuhan

Runtuhan merupakan gerkan tanah yang disebabkan pengaruh gravitasi yang menarik kebawah sehingga material jatuh bebas. Pada tipe runtuhan ini massa tanah atau batuan lepas dari suatu lereng atau tebing curam dengan sedikit atau tanpa terjadi pergeseran (tanpa bidang longsoran) kemudian meluncur sebagian besar di udara seperti jatuh bebas, loncat atau menggelundung.



Gambar 2. 1. Pergerakan Tanah Tipe Runtuhan

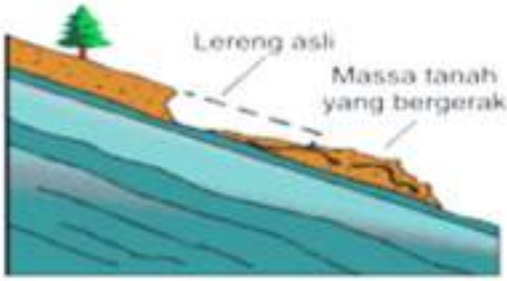
2. Jungkiran

Jungkiran adalah jenis gerakan memutar ke depan dari satu atau beberapa blok tanah/batuan terhadap titik pusat putaran di bawah massa batuan oleh gaya gravitasi dan atau gaya dorong dari massa batuan di belakangnya atau gaya yang ditimbulkan oleh tekanan air yang mengisi rekahan batuan. Jungkiran ini biasanya terjadi pada tebing-tebing yang curam dan tidak mempunyai bidang longsoran.

Gambar 2. 2. Gerakan Tanah Jenis Jungkiran

3. Longsor translasi

Longsor ini terjadi karena bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau menggelombang landai.



Gambar 2. 3. Tipe Longsor Tranlasi

Sumber: subowo (2003)

4. Longsor Rotasi

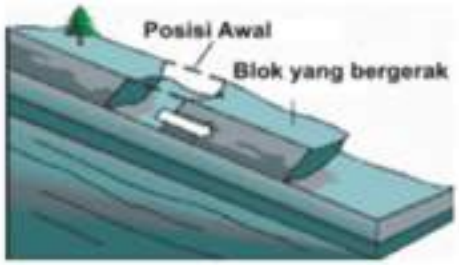
Longsoran ini muncul akibat bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung.

Gambar 2. 4. Longsor Rotasi

Sumber: subowo (2003)

5. Pergerakan Blok

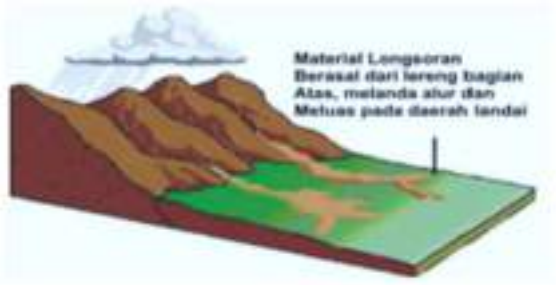
Pergerakan blok terjadi karena perpindahan batuan yang bergerak pada bidang gelincir berbentuk rata. Longsor jenis ini disebut juga longsor translasi blok batu.



Sumber: subowo (2003)

6. Aliran Bahan Rombakan

Longsor ini terjadi ketika massa tanah bergerak didorong 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 2. 6. Aliran Bahan Rombakan

Sumber: subowo (2003)

Tabel 2. 14 Klasifikasi Tipe Gerakan Tanah

<table>
<tr><th colspan="3" rowspan="3">JENIS GERAKAN</th><th colspan="3">JENIS MATERIAL</th></tr>
<tr><th rowspan="2">BATU</th><th colspan="2">TANAH</th></tr>
<tr><th>BUTIR KASAR</th><th>BUTIR HALUS</th></tr>
<tr><td colspan="3">Runtuhan</td><td>Runtuhan Batu</td><td>Runtuhan Bahan Rombakan</td><td>Runtuhan Tanah</td></tr>
<tr><td colspan="3">Jungkiran</td><td>Jungkiran Batu</td><td>Jungkiran Bahan Rombakan</td><td>Jungkiran Tanah</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Gelinciran</td><td>Rotasi</td><td>Sedikit</td><td>Nendatan Batu</td><td>Nendatan bahan rombakan</td><td>Nendatan Tanah</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Translasi</td><td rowspan="2">Banyak</td><td>Gelincir Bongkahan batu</td><td>Gelinciran bahan bongkahan rombakan</td><td>Gelinciran bongkahan tanah</td></tr>
<tr><td>Gelincir batu</td><td>Gelinciran bahan rombakan</td><td>Gelinciran bongkahan tanah</td></tr>
<tr><td colspan="3">Gerakan Lateral</td><td>Gerakan lateral Batu</td><td>Gerakan Lateral Bahan rombakan</td><td>Gerakan Lateral Tanh</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">Aliran</td><td rowspan="2">Aliran batu</td><td>Aliran bahan rombakan</td><td>Aliran Tanah</td></tr>
<tr><td colspan="2">Rayapan tanah</td></tr>
<tr><td colspan="3">Majemuk</td><td colspan="3">abungan dua atau lebih tipe gerakan</td></tr>
</table>

2.6.2 Penyebab Longsor

Penyebab longosoran di bagi menjadi dua yaitu longsor yang disebabkan oleh faktor alam dan longsor yang disebabkan oleh faktor manusia.

1. Faktor alam

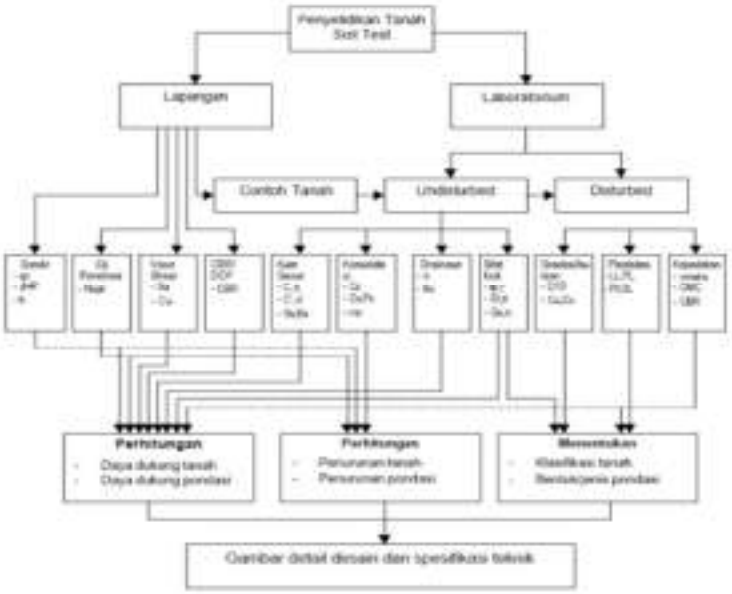
a. Kondisi geologi: batuan lapuk, kemiringan lapisan, sisipan lapisan batu lempung, struktur sesar dan kekar, gempa bumi, stratigrafi, dan gunung berapi.
b. Iklim: curah hujan yang tinggi
c. Keadaan topografi: lereng yang curam
d. Keadaan air: kondisi drainase yang tersumbat, akumulasi massa air, erosi dalam, pelarutan dan tekanan hidrostatika.
e. Tutup lahan yang mengurangi tahan geser, misalnya tanah kritis.
f. Getaran yang diakibatkan oleh gempa bumi, ledakan, getaran mesin, dan getaran lalu lintas kendaraan.

2. Faktor Manuia (*Human Eror*)
   a. Pemotongan tebing pada penambangan batu di lereng yang terjal.
   b. Penimbunan tanah urugan di daerah lereng.
   c. Kegagalan struktur dinding penahan tanah.
   d. Penggundulan hutan.
   e. Budidaya kolam ikan diatas lereng.
   f. Sistem pertanian yang tidak memperhatikan irigasi yang aman.
   g. Pengembangan wilayah yang tidak diimbangi dengan kesadaran masyarakat, sehingga rencana umum tata ruang wilayah tidak ditaati yang akhirnya merugikan diri sendiri.
   h. Sistem drainase daerah lereng yang tidak baik.

2.7 Penyelidikan Tanah (*Soil investigation*)

Penyelidikan tanah (*soil Investigation*) merupakan serangkaian kegiatan penyelidikan tanah untuk mempelajari karateristik tanah dan parameter-parameter tanah suatu area. Secara umum kegiatan penyelidikan tanah dibagi menjadi penyelidikan lapangan dan penyelidikan labortorium.

Penyelidikan lapangan adalah proses pengambilan data contoh tanah di suatu daerah untuk kemudian dianalisis. Tanah yang di ambil kemudian digunakan untuk pengujian lebih lanjut di laboratorium, sehinga menghasilkan parameterparameter tanah yang lebih teliti. Parameter-parameter tanah yang dimaksud adalah: sifat fisik tanah *(w, g, e, n, Gs, Sr)*, sifat plastisitas tanah *(LL, PL, PI, SL, SI, Ac, LI)*, sifat consolidasi tanah *(mv, Cc, Cr, Cs, Ca, Cv, Pc)*, sifat kuat kuat geser tanah *(c, j , c' , j' , Su, qu, St, Es)*, sifat *compaction* tanah timbunan (g mak, *OMC, CBR, Rd)*. Alur penyelidikan tanah dapat diliihat pada



Gambar 2. 7 .Gambar Diagram Alir Penyelidikan Tanah
Lapngan Dan Laboratorium

Gambar 2.7.

2.7.1 *Cone Penetration Test* (CPT)

Standar ini menetapkan cara uji penetrasi lapangan dengan alat sondir, untuk memperoleh parameter-parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah di lapangan, dengan alat sondir (*penetrasi quasi statik*). Parameter tersebut berupa perlawanan konus (qc), perlawanan geser (fs), angka banding geser (Rf), dan geseran total tanah (Tf), yang dapat digunakan untuk interpretasi perlapisan tanah yang merupakan bagian dari desain fondasi.

Standar ini menguraikan tentang prinsip-prinsip cara uji penetrasi lapangan dengan alat sondir meliputi: sistem peralatan uji penetrasi di lapangan dan perlengkapan lainnya; persyaratan peralatan dan pengujian; cara uji; perhitungan parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah; laporan uji; dan contoh uji. Cara uji ini berlaku baik untuk alat penetrasi konus tunggal maupun ganda yang ditekan secara mekanik (hidraulik) (SNI 2827:2008).

2.7.2 Rumus Perhitungan Data Sondir

Prinsip dasar dari uji penetrasi statik di lapangan adalah dengan anggapan berlaku hukum Aksi Reaksi (persamaan 10), seperti yang digunakan untuk perhitungan nilai perlawanan konus dan nilai perlawanan geser di bawah ini.

1. Perlawanan konus (qc) Nilai perlawanan konus (qc) dengan ujung konus saja yang terdorong, dihitung dengan menggunakan persamaan:

$P\ Konus = P\ Geser$ ..... (1)

$qc \times Ac = Cw \times Api$

$qc = Cw \times Api / Ac$ ..... (2)

$Ac = \pi (Dpi)^2 / 4$ ..... (3)

$Ac = \pi Dpi^2 / 4$ ..... (4)

2. Perlawanan geser (fs)

   Nilai perlawanan geser lokal diperoleh bila ujung konus dan bidang geser terdorong bersamaan, dan dihitung dengan menggunakan persamaan:

P Konus + P Geser = P Piston ..... (5)

$(qc \times Ac) + (fs \times As) = Tw \times Api$

$(Cw \times Api) + (fs \times As) = Tw \times Api$

$fs = Kw \times Api / As$ ..... (6)

$As = \pi\ Ds\ Ls$ ..... (7)

$Kw = (Tw - Cw)$ ..... (8)

3. Angka banding geser (Rf)

Angka banding geser diperoleh dari hasil perbandingan antara nilai perlawanan geser lokal (fs) dengan perlawanan konus (qs), dan dihitung dengan menggunakan persamaan:

Rf = (fs / qs) x 100 .....(9)

4. Geseran total (Tf)

   Nilai geseran total (Tf) diperoleh dengan menjumlahkan nilai perlawanan geser lokal (fs) yang dikalikan dengan interval pembacaan, dan dihitung dengan menggunakan persamaan:

Tf = (fs x interval pembacaan) .....(10)

Dengan:

Cw : pembacaan manometer untuk nilai perlawanan konus (kPa);
Tw : pembacaan manometer untuk nilai perlawanan konus dan geser (kPa);
Kw : selisih dengan (kPa);
Pkonus : gaya pada ujung konus (kN);
Ppiston : gaya pada piston (kN);
Qc : perlawanan konus (kPa);
Fs : perlawanan geser lokal (kPa);
Rf : angka banding geser (%);
Tf : geseran total (kPa);
Api : luas penampang piston (cm^2);
Dpi : diameter piston (cm);
Ac : luas penampang konus (cm^2);
Dc = Ds : diameter konus sama dengan diameter selimut geser (cm);
As : luas selimut geser (cm^2);
Ds : diameter selimut geser (cm);
Ls : panjang selimut geser (cm);

2.8 Analisis Kestabilan Lereng

nalisa kestabilan lereng dilakukan untuk menilai tingkat kestabilan suatu lereng. Istilah kestabilan lereng dapat didefinisikan sebagai ketahanan blok di atas

suatu permukaan miring (diukur dari garis horizontal) terhadap runtuhan (*collapsing*) dan gelinciran (*sliding*).

Kestabilan lereng harus dinilai berdasarkan dari struktur geologi, kondisi air tanah dan faktor pengontrol lainnya yang terjadi pada suatu lereng. Suatu cara yang umum untuk menyatakan kestabilan suatu lereng batuan adalah dengan faktor keamanan. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang membuat lereng tetap stabil, dengan gaya penggerak yang menyebabkan terjadinya longsor.

Dalam analisis stabilitas lereng metode yang di pakai yaitu metode analisis lereng dilakukan dengan `memakai metode yang dikembangkan oleh Fellenius (*Ordinay metohod of slice*), Bishop, Janbu, Mogenstern-Price, Spancer dan Sarma.

2.8.1 Evaluasi dan Interpretasi Parameter

ahapan ini menjelaskan evaluasi kondisi detail topografi, geologi, kekuatan geser, kondisi muka air dan beban – beban eksternal yang dibutuhkan untuk analisis stabilitas lereng.

2.8.2 Statigrafi Penampang Lereng

Statigrafi penampang lereng adalah suatu penampang yang menunjukkan urutan lapisan tanah/ batuan sepanjang yang dikehendaki dari muka tanah sampai batas kedalaman penyelidikan berdasarkan jenis, sifat fisik dan teknik lapisan tanah/ batuan. Penampang ini dihasilkan dari korelasi lapisan yang didapat dari beberapa penyelidikan berdasarkan jenis, sifat fisik dan teknik lapisan tanah/ batuan. Penampang ini dihasilkan dari korelasi lapisan yang didapat dari beberapa penyelidikan pemboran mesin atau pemboran tangan. Gambaran dan bentuk lapisan tanah hasil korelasi dari titik– titik pemboran, sangat ditentukan oleh kondisigeologi setempat, jarak titik penyelidikan, metode penyelidikan, cara dan kecermatan pelaksanaan penyelidikan. Stratifikasi penampang lereng dibuat pada

sepanjang as keruntuhan lereng atau penampang lain yang dikehendaki dengan menggunakan peta geoteknik, peta topografi dan profil bor.

2.8.3 Metode Bishop Disederhanakan (*Sinzplifted Bishop Method*)

Metode Bishop disederhanakan (Bishop, 1955) menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Persamaan kuat geser dalam tinjauan tegangan efektif yang dapat dikerahkan tanah. hingga tercapainya kondisi keseimbangan batas dengan memperhatikan faktor aman. adalah:

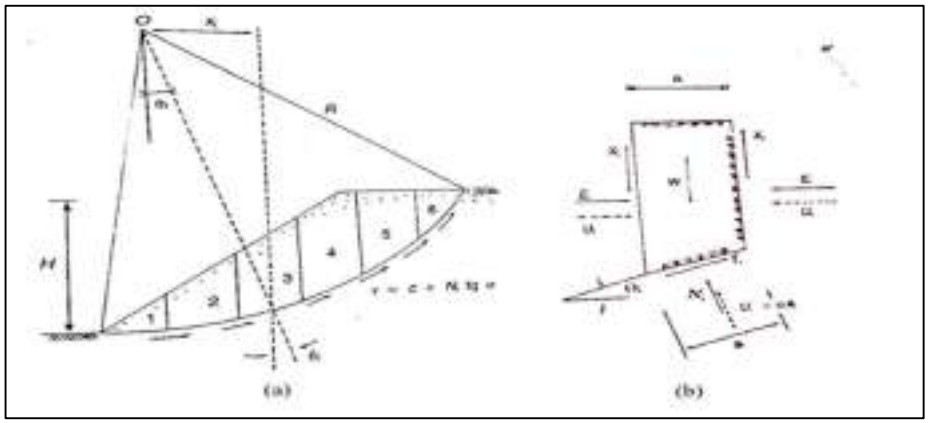
$$\tau = \frac{c'}{F} + (\sigma - u)\frac{tg\varphi'}{F} \quad \text{.....(2.1)}$$

Dengan 0 adalah tegangan normal total pada bidang longsor dan u adalah tekanan air pori.

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

$$T = \frac{c' a_i}{F} + (N_i - U_i a_i)\frac{tg\varphi'}{F} \quad \text{.....(2.2)}$$

Kondisi keseimbangan momen dengan pusat rotasi 0 antara berat massa tanah yang akan longsor dengan gaya geser total yang di kerahkan tanah pada dasar bidang longsor, dinyatakan oleh persamaan (Gambar 2.8).



Gambar 2. 8 Gaya-gaya yang Bekerja Pada Irisan

$$\Sigma W_i x_i = \Sigma\, T_i\, R \quad \text{.....(2.3)}$$

Dengan x_i adalah jarak $W_i$ke pusat rotasi 0. Dari Persamaan (2.1.) dan Persamaan (2.2.), dapat diperoleh:

$$F = \frac{R\sum_{i=1}^{i=n}[c'a_i+(N_i-u_ia_i)tg\,\varphi'}{\sum_{i=n}^{i=n}W_ix_i} \quad \text{.....(2.4)}$$

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

$Ni\cos\theta_i + T\sin\theta_i = W_i + Xi - X(i+1)$

$$N_i = \frac{W_i+X_i-X_{1+1}T_i/\sin\theta_i}{cos\,\theta_i} \quad \text{.....(2.5)}$$

Dengan $N_i' = N_i - u_ia_i$, subtitusi Persamaan (2.2.) ke Persamaan (2.5.), dapat diperoleh persamaan:

$$N_i = \frac{W_i+X_{i+1}-u_ia_i\,cos\,\theta_i-c'^{a_i}\,sin\,n_F^{\theta_i}}{co\quad_i+sin\,\theta_i\frac{tg\varphi'}{F}} \quad \text{.....(2.6)}$$

Subtitusi Persamaan (2.6) ke Persamaan (2.4), diperoleh:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n}\left((c'a+tg\,\varphi'\quad\frac{w_i+X_i-X_{(i+1)}-u_ia_i\,co\quad_i-c'a_i\,sin\,n_F^{\theta_i}}{cos\,\theta_i+sin\,\theta_i tg\frac{\varphi'}{F}}\right)}{\sum_{i=1}^{i=n}W_iX_i} \quad \text{.....(2.7)}$$

Untuk penyederhanaan dianggap $X_i - X_{i+1} = 0$ dan dengan mengambil:

$$X_i = R\,sin\,\theta_i \quad \text{.....(2.8)}$$

$$b_i = a_i\,cos\,\theta_i \quad \text{.....(2.9)}$$

Subtitusikan Persamaan (2.8) dan (2.9) ke Persamaan (2.7), sehingga diperleh persamaan faktor aman:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n}[c'b_i+(W_i-u_ib_i)tg\,\varphi']\left(\frac{1}{co\quad_i+\left(1\,tg\,\theta_i(tg\frac{\varphi'}{F})\right)}\right)}{\sum_{i=1}^{i=n}W_i\,sin\,\theta_i} \quad \text{.....(2.10)}$$

Dengan:

F = Faktor aman

c' = kohesi tanah efektif (kN/m²)

φ' = sudut gesek dalam tanah efiktif (derajat)

b_i = sudut gesek dalam tanah efiktif (derajat)

θ_i = sudut yang didefinisikan dalam Gambar 2.8

u_i = tekanan air pori pada irisan ke-i (KN/m²)

Rasio tekanan pori (*pore presure ratio*) di definisikan sebagai:

$$r_u = \frac{ub}{w} = \frac{u}{yh} \quad \text{.....(2.11)}$$

Dengan:

r_u = rasio tekanan pori

u = Tekan Air Pori

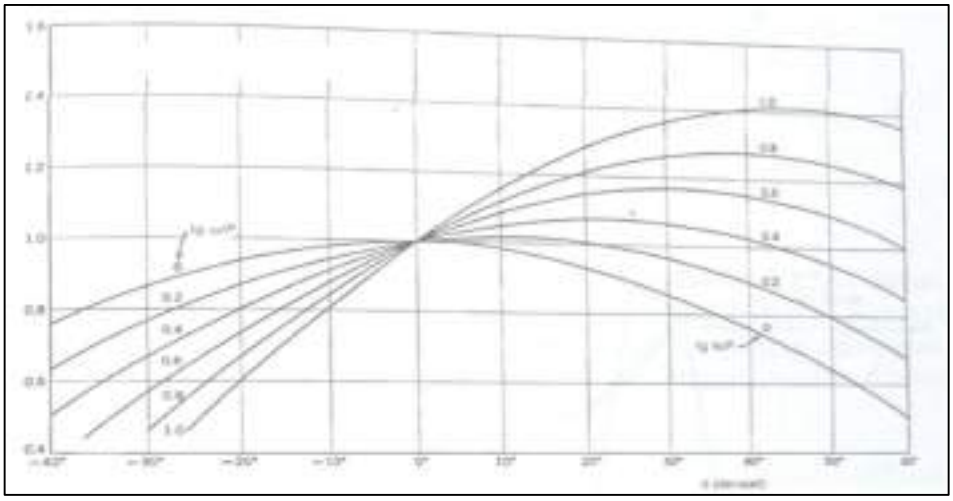
b = Lebar isirasan (m)

γ = berat volume tanah (KN/m^2)

Dari subtitusi Persamaan (2.11) ke Persamaan (2.10) bentuk lain dari persamaan faktor aman untuk analisis stabilitas lereng cara Bishop):

$$F = \left(\sum_{i=1}^{i=n} \frac{[c'b_i + W_i(1-r_u)tg\,\varphi'] \left(\frac{1}{\left(\cos\theta_1 \left(1 + tg\,\theta_1 tg\frac{\varphi'}{F}\right)\right)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin\theta_i} \right) \quad \text{.....(2.12)}$$

Persamaan faktor aman Bishop ini lebih sulit pemakainnya dibandingkan dengan metode Fellinius. Lagi pula membutuhkan cara coba-coba (*trial and eror*), karena nilai faktor aman *F* nampak di kedua sisi persamaannya. Akan tetapi cara ini telah terbukti mengahasilakan nilai faktor aman yang mendekati hasil hitungan dengan cara lain yang lebih teliti. Untuk dapat mempermudah hitungan secara manual, Gambar 2.9 dapat digunakan untuk menentukan nilai fungsi M_i, dengan:

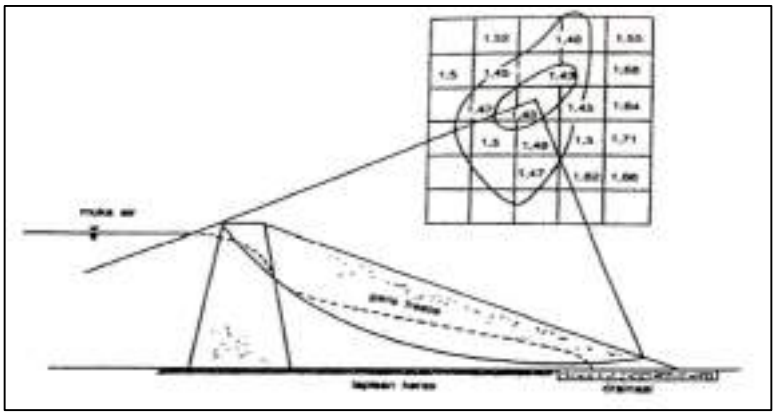


Gambar 2. 9 Diagram untuk menentukan M (Janbu dkk.,1955)

$$M_i = cos(\theta_i(1 + tg\theta_i tg\,\frac{\varphi'}{F} \quad \text{.....(2.13)}$$

Lokasi lingkaran longsor kritis dari metode Bishop (1955), biasanya mendekati dengan hasil pengamatan di lapangan. Karena itu, walaupun metode Bishop (1955) lebih disukai.

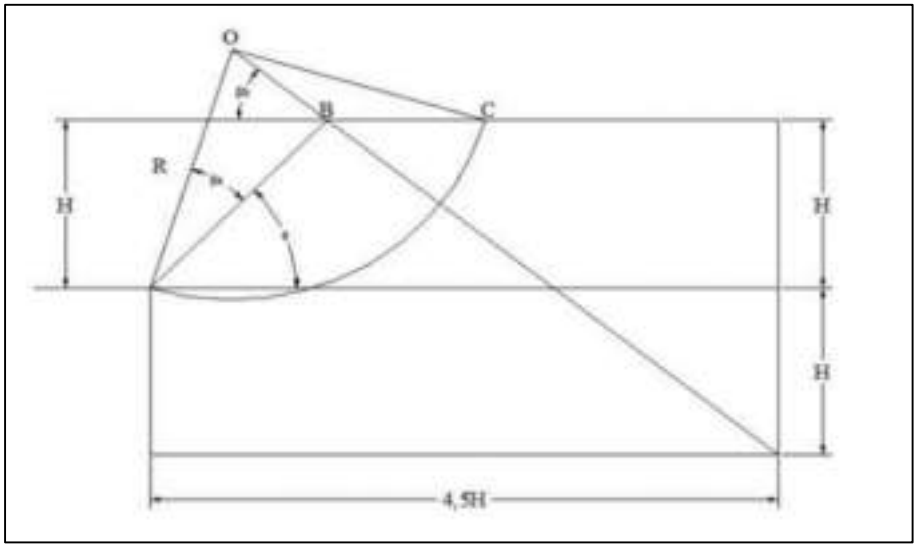
Dalam paraktik, diperlukan cara coba-coba dalam menemukan bidang longsor dengan nilai faktor aman yang terkecil. Jika bidang longsor dianggap lingkaran, maka lebih baik kalo dibuat kotak-kotak dimana tiap titik potong garis-garinya merupakan tempat kedudukan pusat lingkaran longsor. Pada titik-titik potong garis yang merupakan pusat lingkaran longsor, di tuliskan nilai faktor aman terkecil pada titik tersebut (Gambar 2.10). Perlu diketahui bahwa pada tiap titik pusat lingkaran harus dilakukan pula hitungan faktor aman untuk menentukan nilai faktor aman yang terkecil dari bidang longsor dengan pusat lingkaran pada titik tersebut, yaitu dengan cara mengubah jari-jari lingkarannya. Kemudian, setelah faktor aman terkecil pada tiap-tiap titik kontaknya di peroleh, digambarkan garis kotor kontur yang menunjukan tempat kedudukan dari titik-titik pusat lingkarannya yang mempunyai faktor aman yang sama. Gambar 2.10 menunjukan contoh kontur-kontur faktor aman yang sama. Dari kontur faktor aman tersebut dapat tentukan letak kira-kira dari pusat lingkaran yang menghasilakan faktor aman terkecil.



Gambar 2. 10 Contoh Kontur Faktor Aman

2.8.4 Metode Fellenius

Untuk memudahkan cara trial and error terhadap stabilitas lereng maka titik-titik pusat bidang longsor yang berupa busur lingkaran harus ditentukan dahulu melalui suatu pendekatan seperti gambar 2.11. Sedangkan untuk menentukan titik-titik *O1, O2, O3…..On* lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.12. Fellenius memberikan sudut-sudut petunjuk untuk menentukan lokasi titik pusat busur longsor kritis yang melalui tumit suatu lereng pada tanah kohesif (*c-*



Gambar 2. 11 Lokasi Pusat Busur Longsor Kritis Pada Tanah Kohesif

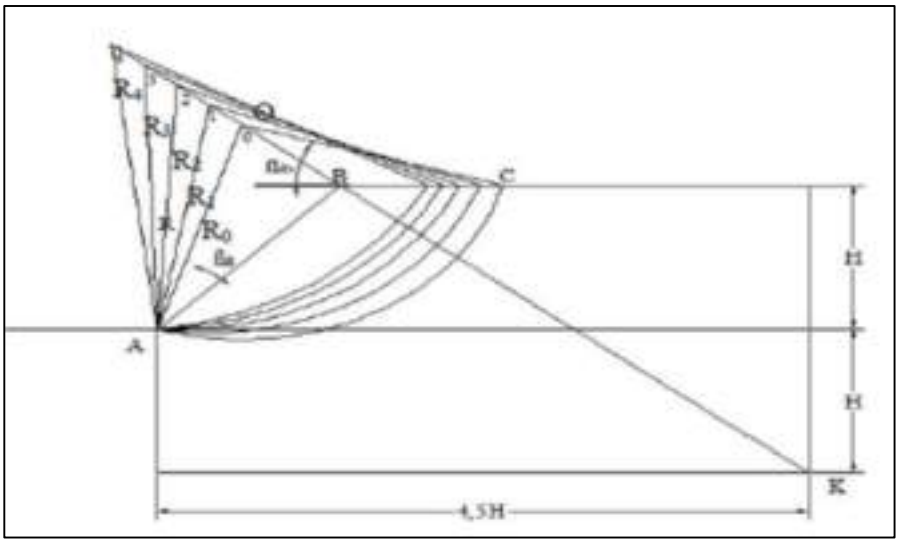
soil) seperti pada Tabel 2.12.

Tabel 2. 15 Sudut-sudut petunjuk menurut Fellenius

Lereng	**Sudut Lereng**	**Sudut Setunjuk**	
1: n	(º)	βa	βb
√3: 1	60º	~28º	~38º
1: 1	45º	~26º	~35º
1: 1,5	33º 41'	~25º	~35º
1: 2	25º 34'	~25º	~35º

1: 3	18º 26'	~25º	~35º
1: 5	11º 19'	~25º	~37º

Pada tanah Ø – c untuk menentukan letak titik pusat busur lingkaran sebagai bidang longsor yang melalui tumit lereng dilakukan secara coba-coba dimulai dengan bantuan sudut-sudut petunjuk Fellenius untuk tanah kohesif (Ø = 0). Grafik Fellenius menunjukkan bahwa dengan meningkatnya nilai sudut geser (Ø) maka titik pusat longsor akan bergerak naik dari Oo yang merupakan titik pusat busur longsor tanah c (Ø=0) sepanjang garis Oo-K yaitu *O1, O2, O3,.....,On.* Titik K merupakan koordinat pendekatan dimana X = 4,5H dan Y = 2H, dan pada sepanjang garis Oo-K inilah diperkirakan terletak titik pusat bidang longsor. Dan dari busur longsor tersebut dianalisis masing-masing angka keamanannya untuk memperoleh nilai FK (*Safety Faktor*) yang paling minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis, untuk lebih jelasnya lihat Gambar



Gambar 2. 12 Posisi Titik Pusat Busur Longsor Pada Garis O0-K

Analisis kestabilan lereng dengan cara Fellenius (1927), didasarkan pada asumsi bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol (R=0) pada arah tegak lurus bidang longsornya. Dengan

anggapan ini, keseimbangan arah vertical dari gaya-gaya yang bekerja dengan memperhitungkan tekanan air pori, adalah:

$N_i + U_i = W_i . \cos \theta_i$

$Atau\, N_i = W_i . cos\, \theta_i - U_i$

$Maka\, N_i = W_i . cos\, \theta_i - U_i . a_i$ ..... (Persamaaan 2.6a)

Faktor keamanan menurut Fellenius, didefinisikan sebagai:

$$F = \frac{\text{Jumlah Momen Dari Tahanan Geser Sepanjang Bidang Longsor}}{\text{Jumlah Momen Dari Berat Massa Tanah Yang Longso}}$$

$$F = \frac{\sum M_r}{\sum M_d}$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah = R.sinϕ, maka momen dorong yang terjadi adalah:

$\sum Md = R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \, sin\, \theta$ ..... (Persamaaan 2.6b)

Yang mana: $R =$ jari – jari lingkaran bidang longsor

$n =$jumlah irisan

$W_i =$berat massa tanah irisanke - i

$\theta_i =$ sudut yang didefinisikan pada gambar 2.8a

Dengan cara yang sama, momen yang menahan tanah yang akan longsor adalah:

$\Sigma Mr = R \Sigma_{i=1}^{i=n} (cai + Ni\, tg\, \theta)$ ..... (Persamaaan 2.6c)

karena itu, persamaan untuk faktor amannya menjadi,

$F = \frac{\Sigma_{i=1}^{i=n} (cai + Ni\, tg\, \theta)}{\Sigma_{i=1}^{i=n} Wi\, sin}$ ..... (Persamaaan 2.6d)

Bila terdapt muka air pada lerengnya, tekanan air pori pada bidang longsor tidak berpengaruh pada Md, karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Subtitusi persamaan (Pesamaan 2.6a) ke persamaan (Pesamaan 2.6d).

$F = \frac{\Sigma_{i=1}^{i=n} ca_i + (Wi \cos \theta i - uia\,) tg\Phi}{\Sigma (i=1)^{i=n} W_i \, sin\, \theta i}$ ..... (Persamaaan 2.6e)

Dengan,

F = faktor aman

C = kohesi tanah

ø = sudut gesek dalam tanah

ai = Panjang bagian lingkaran pada irisan ke i

ai = Panjang bagian lingkaran pada irisan ke i

ui = tekanan air pori pada irisan ke-i

θi = sudu yang di definisikan pada Gambar 2.8a

2.8.5 Sudut Gesek Dalam Tanah

Secara teoritis nilai faktor keamanan lereng (FS) adalah sebagai berikut: Lereng stabil jika, FS ≥ 1; kritis FS = 1; labil FS < 1. Bowles menjelaskan bahwa dalam paraktek lereng dikatakan stabil jika, FS > 1.5; kritis 1.07<FS< 1.07.

2.9 Suvey Topografi

Topografi (berasal dari kata "topos" yang berarti tempat dan "grapho" yang berarti menulis) adalah studi tentang bentuk permukaan bumi dan benda langit lain, seperti planet, satelit (alami, seperti bulan), dan asteroid. Hal itu juga termasuk penggambarannya di peta. Ada dua teknik yang dapat membantu studi topografi ini, yaitu survey secara langsung dan penginderaan jarak jauh (*remote sensing*). Kali ini, kita akan membahas tentang survey secara langsung atau lebih dikenal dengan nama survey topografi.

Survei topografi adalah suatu metode untuk menentukan posisi tanda-tanda (*features*) buatan manusia maupun alamiah diatas permukaan tanah. Survei topografi juga digunakan untuk menentukan konfigurasi medan (*terrain*). Kegunaan survei topografi adalah untuk mengumpulkan data yang diperlukan untuk gambar peta topografi. Gambar peta dari gabungan data akan membentuk suatu peta topografi. Sebuah topografi memperlihatkan karakter vegetasi dengan memakai tanda-tanda yang sama seperti halnya jarak horizontal diantara beberapa features dan elevasinya masing-masing diatas datum tertentu.

Proses pemetaan topografi sendiri adalah proses pemetaan yang pengukurannya langsung dilakukan di permukaan bumi dengan peralatan survei teristris. Teknik pemetaan mengalami perkembangan sesuai dengan perkembangan ilmu dan teknologi. Dengan perkembangan peralaatan ukur tanah secara elektronis, maka proses pengukuran menjadi semakin cepat dengan tingkat ketelitian yang tinggi, dan dengan dukungan teknologi GIS maka langkah dan

proses perhitungan menjadi semakin mudah dan cepat serta penggambarannya dapat dilakukan secara otomatis.

2.9.1 Pengertian dan Istilah

Ada beberapa pengertian dan istilah, yaitu:

Azimuth : Sudut yang dibentuk dari garis arah utara terhadap garis arah Suatu titik yang besarnya diukur searah jarum jam.

BM : titik ikat di lapangan yang ditandai oleh patok yang dibuat dari beton dan besi dan telah diketahui koordinatnya hasil pengukuransebelumnya.

Datum : titik perpotongan antara ellipsoid referensi dengan geoid (*datum relatif*). Pusat ellipsoid referensi berimpit dengan pusat bumi (*datum absolut*).

Fotogrametri : ilmu pengetahuan dan teknologi yang mempelajari mengenai geometris fotofoto udara yang diperoleh dari pemotretan menggunakan pesawat terbang.

Geodesi : ilmu pengetahuan dan teknologi yang mempelajari dan menyajikan informasi bentuk permukaan bumi dengan ºmemperhatikan kelengkungan bumi.

Geodesic : kurva terpendek yang menghubungkan dua titik pada permukaan *ellipsoida*.

Geometri : ilmu yang mempelajari bentuk matematis di atas permukaan bumi.

Gradien : besarnya nilai perbandingan sisi muka terhadap sisi samping yang membentuk sudut tegak lurus (90º).

Horisontal : garis atau bidang yang tegak lurus terhadap garis atau bidang yang menjauhi pusat bumi.

Interpolasi : metode perhitungan ketinggian suatu titik di antara dua titik yang dihubungkan oleh garis lurus.

Intersection: nama lain dari pengikatan ke muka, yaitu pengukuran titiktunggal dari dua buah titik yang telah diketahui koordinatnya dengan menempatkan alat theodolite di atas titik-titik yang telahdiketahui koordinatnya.

Galat : selisih antara nilai pengamatan dengan nilai sesungguhnya

GIS : (*Geographical Information System*) suatu sistem informasi yang mampu mengaitkandatabase grafisdengan data base tekstualnyayang sesuai.

GPS : (*Global Positioning System*) : sistem penentuan posisi global menggunakan satelit. Sistem ini menggunakan 24 satelit yang mengirimkan gelombang mikro ke bumi, lalu diterima oleh GPS yang ada di bumi.

Gravitasi : gaya tarik bumi yang mengarah ke pusat bumi dengan nilai 9,81 m/s^2.

Interpolasi : suatu rumusan untuk mencari ketinggian suatu titik yang diapit oleh dua titik lain dengan konsep segitiga sebangun.

Jalon : batang besi seperti lembing berwarna merah dan putih dengan panjang + 1, 5meter sebagai target bidikan arah horizontal.

Kompas : alat yang digunakan untuk menunjukkan arah suatu garis terhadap utara magnet yang dipengaruhi magnet bumi.

Kontur : garis khayal di permukaan bumi yang menghubungkan titik-titik dengan ketinggian yang sama dari permukaan air laut rata-rata (MSL). Garis di atas peta yang menghubungkan titik-titik dengan ketinggian yang sama dari permukaan air laut rata-rata dan kerapatannya bergantung pada ukuran lembar penyajian (skala

Koordinat : posisi titik yang dihitung dari posisi nol sumbu X dan posisi nol sumbu Y

Polygon : serangkaian garis-garis yang membentuk kurva terbuka atau tertutup untuk menentukan koordinat titik-titik di ataspermukaan bumi.

Profil : potongan gambaran turun dan naiknya permukaan tanah baik memanjang atau melintang.

Topografi : peta yang menyajikan informasi di atas permukaan bumi baik unsur alam maupun unsur buatan manusia dengan skala sedang dan kecil.

Total Station : alat ukur theodolite yang dilengkapi dengan perangkat elekronis untuk menentukan koordinat dan ketinggian titik detail secara otomatis digitalmenggunakan gelombang elektromagnetis.

Transversal : proyeksi peta yang sumbu putar buminya tegak lurus (membentuk sudut 9º) dengan garis normal bidang perantara (datar, kerucut, silinder).

Trace : serangkaian garis yang merupakan garis tengah suatu bangunan (jalan, saluran, jalur lintasan).

Triangulasi : serangkaian segitiga yang diukur sudut-sudutnya untuk menentukan koordinat titik-titik di lapangan.

Trivet : bagian terbawah dari alat sipat datar dan theodolite yang dapat dikuncikan pada statif.

Unting-unting : bentuk silinder-kerucut terbuat dari kuningan yang digantung di bawah alat waterpass atau theodolite sebagai penunjuk arah titik nadir atau pusat bumi yang mewakili titik patok.

UTM : (*Universal Transverse Mercator*) sistem proyeksi peta global yang memiliki lebar zona 6o sehingga jumlah zona UTM seluruh dunia: 60 zona. Bidang perantara yang digunakan: *silinder* dengan posisi *transversal* (sumbu putar bumi tegak lurus terhadap garis normal silinder), informasi geometrik yang dipertahankan sama: sudut (*konform*) dan *secant*.

Peta topografi: peta dengan skala tinggi dan detail, dan biasanya menggunakan garis-garis kontur dalam peta modern.

Kompas : alat navigasi penunjuk arah sesuai dengan magnetik bumi secara akurat.

Vertikal : garis atau bidang yang menjauhi pusat bumi.

Waterpass : alat atau metode yang digunakan untuk mengukur tinggi garis bidik di atas permukaan bumi yang berkategori bermedan datar (*slope* < 8 %).

2.9.2 Survey Topografi

Proses perpindahan bentuk bumi dan permukaannya membutuhkan sebuah keahlian khusus, yang dimiliki oleh seorang surveyor, sedangkan pekerjaan seorang surveyor biasa disebut survey topografi. Survey topografi adalah survey yang bertujuan untuk mencari informasi permukaan tanah. Informasi tersebut dapat berupa tinggi rendah hingga keadaan fisik dan posisi suatu benda, baik yang berupa alamiah maupun buatan manusia, di permukaan lahan yang akan dipetakan. Survey ini sangat berguna dalam pembuatan peta topografi.

Walaupun penginderaan jarak jauh (*remote sensing*) sudah menggunakan teknologi yang sangat maju, survey secara langsung masih dibutuhkan untuk mendapatkan hasil/informasi yang lebih akurat mengenai keadaan suatu permukaan lahan. Survey atau surveying didefinisikan sebagai pengumpulan data yang berhubungan dengan pengukuran permukaan bumi dan digambarkan melalui peta atau digital. Sedangkan pengukuran didefinisakan peralatan dan metode yang berhubungan dengan kelangsungan survey tersebut. jadi, surveying adalah segala sesuatu yang berhubungan dengan pengumpulan data. Mulai dari pengukuran permukaan bumi hingga penggambaran bentuk bumi. Sedangkan pengukuran adalah segala sesuatu yang berhubungan dengan penggunaan alat mulai dari pita ukur hingga pengukuran jarak dengan metode elektro magnetik.

Survey umumnya dilakukan pada bidang datar, yaitu dengan tidak memperhitungkan kelengkungan bumi. Dalam proyek surveying, kelengkungan buminya kecil, jadi pengaruhnya dapat diabaikan, dengan menggunakan perhitungan yang rumusnya disederhanakan. Sedangkan pada proyek yang

memiliki jarak jauh, kelengkungan bumi tidak dapat diabaikan, karena keadaan ini termasuk surveying geodesi.

2.9.1.1. Alat dan Bahan

1. Alat

   Alat-alat yang digunakan pada survey topografi:

   a. Peta topografi, Pita atau tali ukur, GPS, Kamera, Kompas, Waterpass, Total station, Tripod, dan Rambu ukur

2. Bahan

   Bahan yang diperlukan pada survey topografi antara lain:

   a. *Benck Mrk* (BM): adalah patok beton yang dibuat dan ditanam ada dua jenis, yang pertama patok beton yang berukuran 20 cm x 20 cm x 100 cm

   b. *Control Point* (CP): adalah patok beton yang mempunyai ukuran 10 cm x 10 cm x 80 cm atau yang lebih sering disebut dengan *Control Point* (CP).

2.9.1.2. Methode Pengukuran

1. Pengukuran Pengikatan

   Salah satu kegiatan survei topografi adalah pengukuran pengikatan yaitu pengukuran untuk mendapatkan titik-titik referensi posisi horisontal dan posisi vertikal.

   a. Peralatan

      Peralatan yang digunakan untuk kegiatan survei pengukuran pengikatan adalah:

      1) 1 *unit* T*heodolite* T2 (untuk posisi horisontal)
      2) 1 *unit* waterpass NAK (untuk posisi vertikal)
      3) 1 buah pita baja 50 m
      4) 2 set bak ukur

   b. set bak ukur

      1) Titik Referensi Posisi Horisontal/Koordinat (X, Y)

Untuk pekerjaan ini dibuat dua buah BM. Dalam proses pemetaan BM.1 dipakai sebagai referensi horisontal (X, Y). BM ini harus diikatkan terlebih dahulu terhadap BM yang ada dilapangan yang sudah memiliki nilai koordinat global. BM yang lain diikatkan terhadap BM.1 ini. Titik-titik referensi ini dilalui atau termasuk dalam jaringan pengukuran poligon, sehingga merupakan salah satu titik poligon.

2) Titik Referensi Posisi Vertikal (Z)

Sebagai referensi ketinggian digunakan elevasi yang sudah tersimpan pada BM di lapangan, yang juga digunakan pada pekerjaan terdahulu, yang mempunyai datum (elevasi 0.00 m) pada *Lowest Low Water Level* (LLWL) pasang surut.

Menentukan jenis tanah dan parameter menggunakan data sondir (CPT) dan korelasi (Bowles,1984). Cara penentua dapat dilihat sebagai berikut:

2.10 Pengoperasian Software Geo 5 (Slope Stability)

Geo 5 merupakan salah satu program aplikasi yang cepat digunakan untuk membantu memecahkan permasalahan geoteknik. Geo 5 lebih mudah digunakan, karena dari tampilan yang disajikan oleh *Software* ini lebih mudah dipahami.

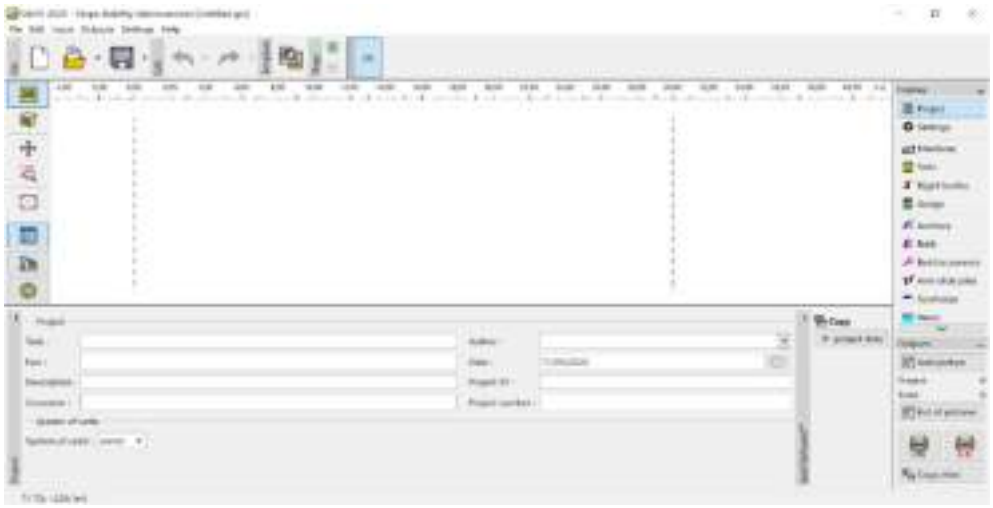
Dalam menganalisis kestabilan lereng digunakan *Slope Stability* yang menggunakan metode Bishop Disederhanakan dan Fellinius. Berikut adalah cara menggunakan Software Geo 5 (*Slope Stability*):

2.10.1. Langkah-langkah kerja pada Software Geo 5 (Slope Stability)

Cara menganalisis kasus pada Geo 5 2020 (Slope Stability) adalah:

1. Mengatur *Project* dan *Units* pada lembar kerja yang akan di analisis Pada saat *software* Geo 5 2020 mulai dijalankan maka akan muncul tampilan seperti di bawah ini. *Select Project* untuk mengatur pekerjaan atau tugas yang akan di kerjakan dan *select Units* untuk mengatur satuan yang akan di gunakan sesuai dengan yang di gunakan dilapangan contohnya berat (kg) dan panjang (m).

Gambar 2. 13 tampilan awal geo 5
(sumber: *software geo 5*, 2020)

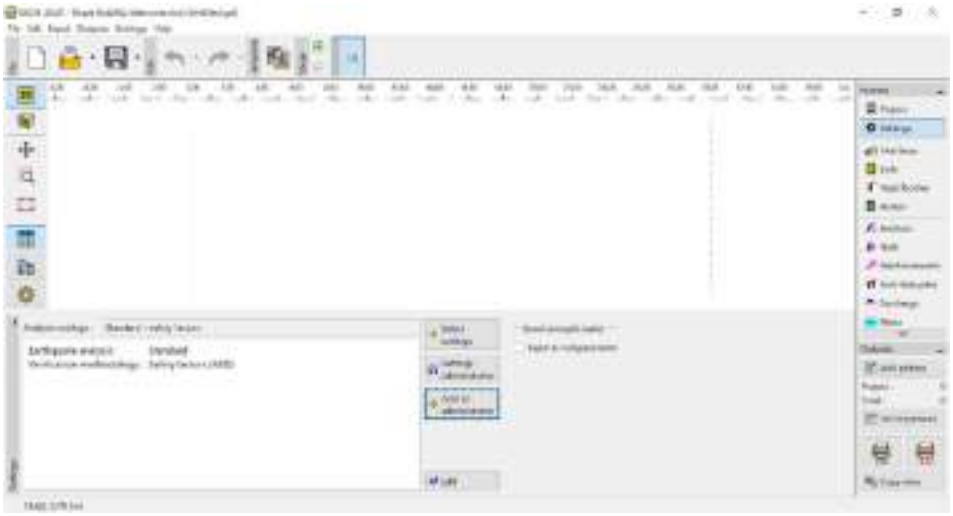


Gambar 2. 14 *Settings Project* dan *Units*

(Sumber: *Software Geo 5,* 2020)

2. Mengatur Standar Faktor keamanan untuk Analisis

Untuk mengatur Standar Faktor Keamanan yang akan di gunakan pilih *Settings* lalu klik *Add to Administrator*. Setelah klik *Add to Administrator* lalu pilih *Stability Analysis* dan selanjutnya silahkan mengatur Standar Faktor Keamanan yang akan di gunakan.



Gambar 2. 15 tampilan *seting* dan *add administrator*

(Sumber: *Software Geo 5,* 2020)

Setelah masuk pada tampilan Add Administrator lalu pilih Stability Analysis untuk mengatur berapa faktor keamanan lereng yang akan di gunakan pada analisis. Pada tampilan ini kita bisa mengatur berapa nilai faktor keamanan pada kondisi desain situasi Permanen, desain situasi

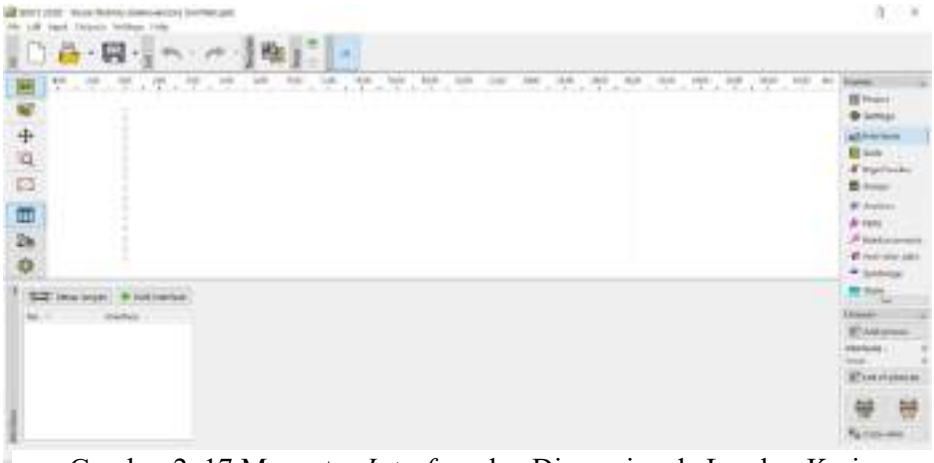
Gambar 2. 16 Tampilan *Stability Analysis*

(Sumber: *Software Geo 5,* 2020)

transisi, desain situasi aksidental dan desain situasi gempa.

3. Mengatur Interface dan Dimensi pada lembar kerja

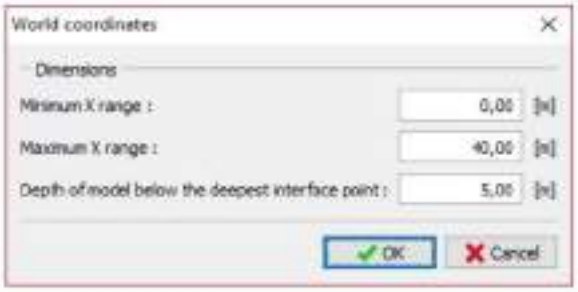
Ketika langkah pertama untuk mengatur Faktor Keamanan yang akan di gunakan pada analisis selesai maka akan kembali pada tampilan awal seperti pada gambar di bawah ini



Gambar 2. 17 Mengatur *Interface* dan Dimensi pada Lembar Kerja

(Sumber: *Software Geo 5,* 2020)

Untuk pengaturan *Setup Ranges* dan *add Interface* ini silahkan sesuaikan dengan data yang didapatkan dari lapangan dengan melakukan Topografi. *Setup Ranges* untuk mengatur panjang (m) dan Kedalaman (m) Lereng yang pada lokasi yang di analisis dan *Add Interface* untuk memodelkan lapisan atau lebih tepatnya Stratigrafi menggunakan koordinat yang sudah didapatkan dari data topografi dan stratigrafi dari data tanah yang di dapatkan dengan cara uji Sondir di lapangan.



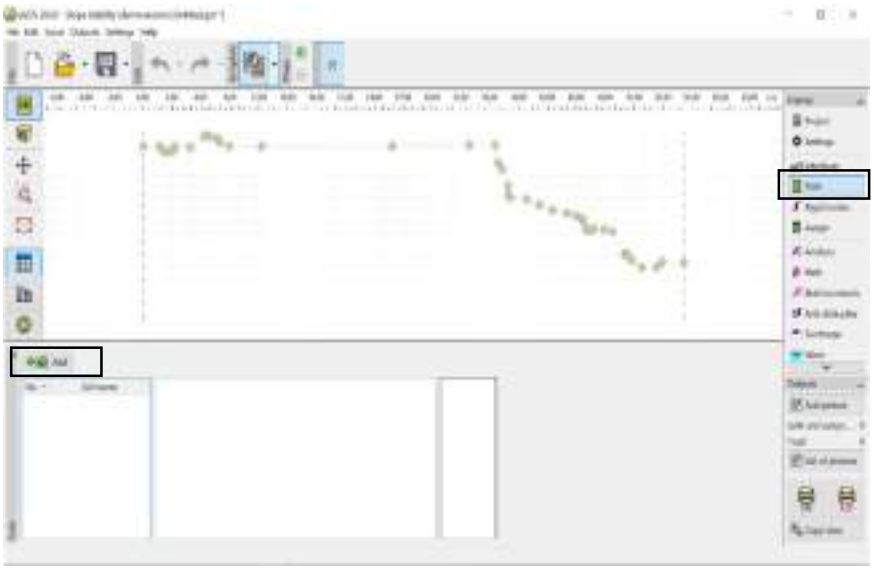
Gambar 2. 18 Mengatur *Setup Ranges*
(Sumber: *Software Geo 5,* 2020)

Gambar 2. 19 Mengatur *Add Interfacet*
(Sumber: *Software Geo 5,* 2020)

4. Menentukan Parameter Tanah yang di *Input*

Setelah mengatur *Interface* dan dimensi pada lembar kerja maka akan muncul tampilan seperti pada Gambar 2.14. Klik *Soils* pada menu bar lalu klik *Add*. Ganti nama Lapisan tanah tersebut pada *Identification* agar lebih mudah mengenali lapisan-lapisan tanah yang akan di input. Menu

ini dapat mengatur parameter tanah pada *Basic Data* isikan *unit Weight, Cohesion, angel of internal friction* dan *Street State.* Pada *Uplift Pressure* di isi *Calc. Mode uplift* dan *Standard saturated unit weight.* dan pada *Foliation* di isi *Soil Foliation.* Setelah mengatur parameter tanah

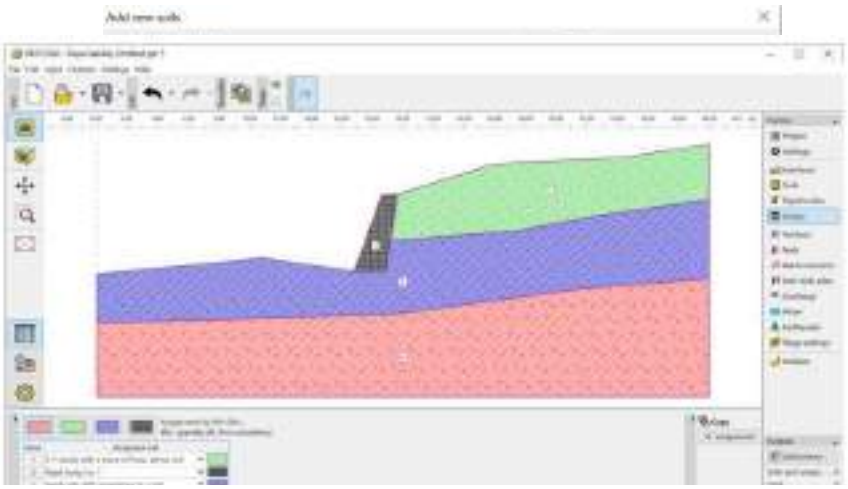


Gambar 2. 20 Langkah awal mengatur Parameter Tanah
(Sumber: *Software Geo 5,* 2020)

perlapisannya maka selanjut adalah mengatur jenis tanah pada lapisan-lapisannya dan juga mengatur warna serta pola jenis tanah perlapisan.

5. Menetapkan parameter Tanah sesuai dengan Lapisan

Pada menu ini kita menetapkan parameter tanah yang ada pada Gambar 2.20 pada lapisan-lapisan sesuai dengan nama lapisan dan data parameter



Gambar 2. 22 Mengatur *Assing*
(Sumber: *Software Geo 5,* 2020)

yang telah di input. Klik *Assigr* lalu silahkan masukan data parameter perlapisan sesuai dengan urutan yang sudah ada.

6. Mengatur Beban Tambahan pada lokasi analisis

Pada langkah berikutnya, setelah mengatur Assigr maka akan kembali ke tampilan awal seperti pada gambar 2.20. Klik Surchage untuk tentukan beban tambahan dalam menu New Surcharges yang dianggap permanen dengan lokasinya di permukaan tanah. Klik Surchage lalu klik add textually maka akan muncul menu seperti pada gambar dibawah ini.

Gambar 2. 23 mengatur *New Surchages*
(Sumber: *Software Geo 5,* 2020)

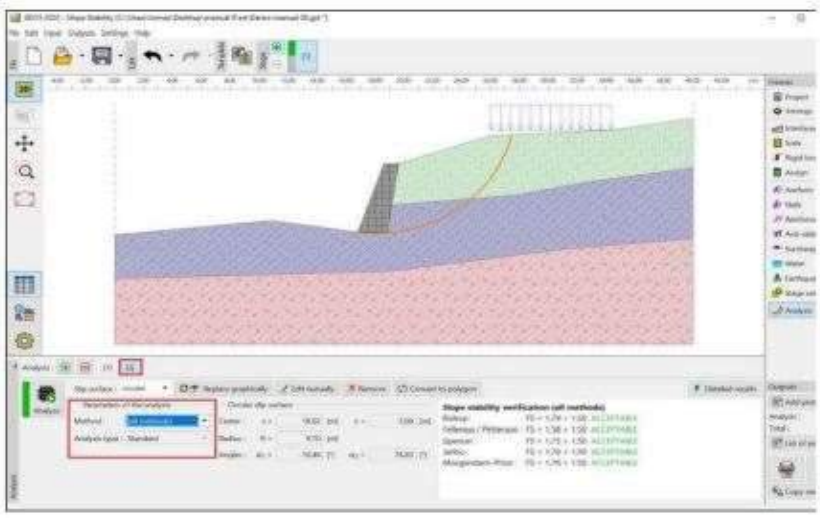
Gambar 2. 24 Mengatur *Design Situation* pada menu *Stage Settings*
(Sumber: *Software Geo 5,* 2020)

Setelah mengatur beban tambahan pada *Surchage* selanjutnya pilih menu *Stage Settings* untuk mengatur *Design Situation*.

7. Analisis kasus

Setelah menginput data yang dibutuhkan untuk menganalisis kestabilan lereng pada lokasi **pada Sungai Abheale Distrik Sentani Kabupaten Jayapura**. Maka sekarang buka menu *Analysis*, dimana kita dapat memasukan permukaan gelincir awal menggunakan koordinat dari pusat (x, y) dan jari-jarinya atau menggunakan *mouse* dengan klik *Surface*

untuk memasukan tiga titik yang di lalui oleh permukaan gelincir. Setelah memasukan permukaan gelincir awal, pilih metode analisis dan



Gambar 2. 25 Mengatur *Analysis*

(Sumber: Software Geo 5, 2020)

kemudian atur jenis analisis untuk *Optimization* kemudian klik pada *Analysis* untuk menganalisis kestabilan lereng dengan metode yang di gunakan

Setelah menganalisis dengan metode yang digunakan pada awal Analisis di atas maka kita buat perbandingan analisis dengan metode analisis yang berbeda. Sekarang tambahkan analisis lain dengan dengan klik pada sudut kiri bawah menu *Analysis.*

Gambar 2. 26 Tambah Metode Analisis yang berbeda

(Sumber: *Software Geo 5,* 2020)

2.10.2. Penggambaran Stratigrafi Penampang Lereng

Dalam penggambaran stratifikasi penampang tanah harus mengikuti statifikasi yang telah diplotkan terlebihi dahulu berdasarkan data yang tersedia berupa jarak dan tebal lapisan-lapisan tanah atau gambar potongan melintang yang telah di buat di *Autocad*. Kemudian setelah penggambaran selesai lapisan-lapisan tanah tersebut di isi dengan model material yang telah di buat. Setelah itu tentukan beban-beban luar seperti jalan, tekanan air pori dan lainnya. Lalu perkirakan daerah titik pusat longsoran dan radius bidang gelincir dan kemudian pada akhirnya *Analysis* tunggu hingga program bekerja selesai. Program *geo 5* (*Slope Stability*) telah selesai menganalisis lereng dan kemudian memunculkan faktor keamanan lereng tersebut