

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel pada tersebut. Butiran-butiran mineral yang membentuk tanah, merupakan hasil dari pelapukan batuan. Ukuran setiap butiran padat tersebut sangat bervariasi dan sifat-sifat fisik dari tanah banyak tergantung dari faktor-faktor ukuran, bentuk, dan komposisi kimia butiran. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik dan juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan.

2.1.1 Klasifikasi Tanah

Penentuan klasifikasi tanah banyak dijumpai dalam masalah teknis yang berhubungan dengan tanah. Hasil dari penyelidikan sifat-sifat ini kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah-masalah tertentu seperti :

1. Penentuan penurunan bangunan, yaitu dengan menentukan kompresibilitas tanah. Dari sini, selanjutnya digunakan dalam persamaan penurunan yang didasarkan pada teori konsolidasi misalnya teori Terzaghi.
2. Penentuan kecepatan air yang mengalir lewat benda uji guna menghitung koefisien permeabilitas. Dari sini kemudian dihubungkan dengan Hukum Darcy dan jaring arus (*flownet*) menentukan debit aliran yang lewat struktur tanah.
3. Untuk mengevaluasi stabilitas tanah yang miring, yaitu dengan menentukan kuat geser tanah. Dari sini disubstitusikan dalam rumus stabilitas lereng.

Dalam banyak masalah teknis (semacam perencanaan perkerasan jalan, bendungan dalam urugan, perencanaan pembangunan perumahan, dan lain-lain) pemilihan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda, tetapi mempunyai

sifat yang serupa kedalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya akan sangat membantu. Pemilihan tanah tersebut yang dinamakan klasifikasi tanah. Klasifikasi tanah sangat membantu perancang dalam memberikan pengarahan melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang sebelumnya.

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang sering digunakan, *Unified Soil Classification System* (USCS) dan *American of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO). Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks yang sederhana, seperti distribusi ukuran butiran, batas cair, dan index plastisitas.

2.1.1.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and transportation Officials*) berguna untuk menentukan tanah dalam perencanaan jalan, *subbase*, dan *subgrade*.

Pada sistem ini tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar, A-1 sampai dengan A-7 merupakan sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg.

Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah granuler. Tanah A-1 adalah tanah granuler bergradasi baik, sedang tanah A-3 adalah pasir bersih bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granuler, dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan no.200 yang masih mengandung lanau dan lempung. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai dengan A-7, yaitu sebagian besar mengandung tanah lempung dan lanau. Sistem klasifikasi AASHTO didasarkan pada kriteria di bawah ini:

a. Ukuran butir :

Kerikil: bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75mm (3inch) dan tertahan pada ayakan no.20 (2mm)

Pasir: bagian tanah yang lolos ayakan no.10 dan tertahan pada ayakan no.200 (0,075 mm).

Lanau dan lempung: bagaian tanah yang lolos ayakan no.200

b. Plastisitas.

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (*Plasticity Index (PI)*) sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.

c. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, presentase dari batuan tersebut harus dicatat.

Tabel 2.1 Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi umum	Material granuler (< 35% lolos saringan no. 200)							Tanah-tanah lanau-lempung (< 35% lolos saringan no. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisis saringan (% lolos) 2,00 mm (no. 10) 0,425 mm (no. 40) 0,075 mm (no. 200)	50 maks 30 maks 15 maks	- 50 maks 25 maks	- 51 min 10 maks	- 35 maks	- 35 maks	- 35 maks	- 35 maks	- 36 min	- 36 min	- 36 min	- 36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40 Batas cair (LL) Indeks plastis (PI)	- 6 maks	- 6 maks	- Np	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min
Indeks kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kenkil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

(Sumber : Christady, Hady : 1992)

2.1.1.2 Sistem Klasifikasi Unified

Sistem ini mengelompokkan tanah kedalam dua kelompok besar yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu : tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no.200 simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G dan S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) dan S adalah untuk pasir (*sand*). Tanah berbutir kasar ditandai dengan kelompok, seperti : GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM< dan SC. Jika presentase butiran yang lolos ayakan no.200

adalah antara 5% sampai dengan 12% diperlukan simbol ganda seperti: GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW-SM, SW-SC, SP-SM, dan SP-SC.

2. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no.200 simbol dari kelompok tanah ini dimulai dari huruf awal M untuk tanah lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), *muck*, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi. Klasifikasi tanah berbutir halus dengan simbol ML, CL, OL, MH, CH, dan OH didapat dengan cara menggambar batas cair dan indeks plastisitas tanah yang bersangkutan.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi tanah Unified adalah :

- W = *Well Graded* (tanah gradasi baik)
- P = *Poorly Graded* (tanah gradasi buruk)
- L = *Low Plasticity* (plastisitas rendah) ($LL < 50$)
- H = *High Plasticity* (plastisitas tinggi) ($LL > 50$)

Tabel 2.2 Klasifikasi Unified

Klasifikasi umum		Simbol klasifikasi	Nama jenis	Kriteria klasifikasi	
Tanah berbutir kasar, lebih dari 50% tertahan pada ayakan 4,76 mm	Kerikil bersih	GW	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, campuran kerikil dan pasir, sedikit atau tanpa butiran halus	$U_c = D_{60}/D_{10}$ $U_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ lebih besar dari 4 bernilai antara 1-3	
		GP	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, campuran kerikil dan pasir, sedikit atau tanpa butiran halus		
	Kerikil berikat butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil, pasir dan lanau	Batas Atterberg terletak di bawah garis A atau Index Plastisitas < 4 Batas Atterberg terletak di atas garis A dan Index Plastisitas > 4	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil, pasir dan lempung		
	50% atau lebih pasir kasar dari butiran kasar lolos melalui ayakan 4,76 mm	Pasir bersih	SW	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus	$U_c = D_{60}/D_{10}$ $U_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ lebih besar dari 6 bernilai antara 1-3
			SP	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus	
Pasir berikat butiran halus		SM	Pasir berlanau, campuran pasir dan lanau	Batas Atterberg terletak di bawah garis A atau Index Plastisitas < 4 Batas Atterberg terletak di atas garis A atau Index Plastisitas > 4	
SC	Pasir berlempung, campuran pasir dan lempung				
Tanah berbutir halus lebih dari 50% lolos ayakan 75 µ	Lanau dan lempung LL ≤ 50	ML	Lanau inorganik, pasir sangat halus, debu pada, pasir halus berlanau atau berlempung		
		CL	Lempung inorganik dengan plastisitas rendah atau sedang, lempung dari kerikil		
	Lanau dan lempung LL > 50	OL	Lanau organik dengan plastisitas sedang dan lempung berlanau organik		
		MH	Lanau inorganik, pasir halus atau lanau dari mika atau ganggang (diatomae), lanau elastis		
		CH	Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung dengan viskositas tinggi		
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi		
Tanah dengan kadar organik tinggi	PT	Gambut, lumpur hitam dan tanah berkadar organik tinggi lainnya	Dapat dibedakan dengan mata dan tangan ASTM lihat D 2488-66T.		

(Sumber : Sosorodarsono, Suyono dan Nakazawa, Kazuto : 1980)

2.1.2 Indeks Plastisitas (Plasticity Index)

Indeks Plastisitas (*PI*) adalah selisih batas cair dan batas plastis. Indeks Plastisitas (*PI*) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai (*PI*) tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika (*PI*) rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air mengakibatkan tanah menjadi kering.



Tabel 2.3 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah (Jumikis, 1962)

PL (%)	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non <u>Plastis</u>	<u>Pasir</u>	Non <u>Kohesi</u>
< 7	<u>Plastisitas Rendah</u>	<u>Lanau</u>	<u>Kohesi Sebagian</u>
7 - 17	<u>Plastisitas Sedang</u>	<u>Lempung Berlanau</u>	<u>Kohesi</u>
> 17	<u>Plastisitas Tinggi</u>	<u>Lempung</u>	<u>Kohesi</u>

(Sumber : Christady, Hady : 1992)

2.1.3 Kekuatan Geser Tanah (*Shear Strenght*)

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

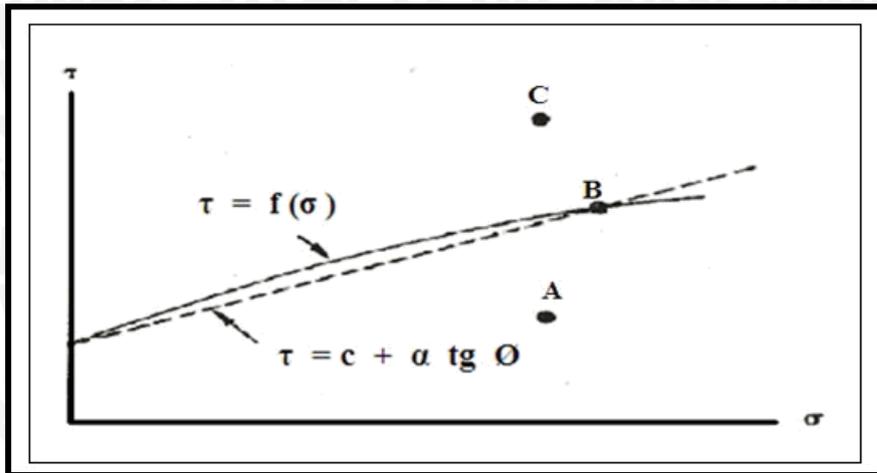
1. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. Gerakan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang geser.

Nilai kekuatan geser tanah antara lain diperlukan untuk menghitung daya dukung tanah atau untuk menghitung tekanan tanah yang bekerja pada tembok penahan tanah dan juga untuk menyatakan kondisi runtuh.

Menurut teori Mohr (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser, sehingga dapat diambil hubungan fungsi antar tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya. Adapun persamaan yang menyatakan hubungan fungsi tersebut adalah :

$$\tau = f(\sigma) \dots\dots\dots(2.1.1)$$

dengan τ adalah tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan dan σ adalah tegangan normal pada saat kondisi tersebut. Garis kegagalan yang ditunjukkan pada persamaan 2.1.1 diatas adalah kurva yang ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Kriteria Kegagalan Mohr dan Coloumb
(Sumber : M.Das, Braja : 1994)

Coloumb (1776) mendefinisikan $f(\sigma)$ sebagai:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \dots\dots\dots(2.1.2)$$

dengan :

- τ = kekuatan geser (kN/m^2)
- c = kohesi tanah (kN/m^2)
- φ = sudut geser dalam tanah ($^\circ$)
- σ = tegangan normal total yang bekerja pada bidang geser (kN/m^2)

Dari persamaan 2.1.2 itulah yang dimaksud dengan kriteria keruntuhan atau kegagalan Mohr-coloumb, dimana garis selubung kegagalan dari persamaan tersebut dilukiskan dalam bentuk garis lurus pada Gambar 2.1

Pengertian dari keruntuhan suatu bahan dapat diterangkan dengan melihat Gambar 2.1, yaitu: Jika kedudukan tegangan-tegangan baru mencapai titik A, keruntuhan tanah akibat geser tidak akan terjadi. Keruntuhan tanah akibat geser akan terjadi, jika tegangan-tegangan mencapai titik B yang terletak pada garis selubung kegagalan (*failure envelope*). Kedudukan tegangan yang ditunjukkan oleh titik C tidak akan pernah terjadi, karena sebelum tegangan yang terjadi mencapai titik C, bahan sudah mengalami keruntuhan.

Tegangan efektif yang terjadi di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh tekanan pori. Terzaghi (1935) mengubah persamaan Coloumb dengan bentuk tegangan efektif sebagai berikut :

$$\tau = c' + \sigma' \tan \varphi' \dots\dots\dots(2.1.3)$$

dengan, $\sigma' = \sigma - u$

τ = kekuatan geser (kN/m^2)

c' = kohesi tanah (kN/m^2)

φ' = sudut geser dalam tanah ($^{\circ}$)

σ = tegangan normal total yang bekerja pada bidang geser (kN/m^2)

u = tegangan air pori

Persamaan 2.1.2 menghasilkan data yang relatif kurang tepat, nilai-nilai c dan φ yang diperoleh sangat tergantung dari pengujian yang dilakukan. Persamaan 2.1.3 menghasilkan data untuk nilai-nilai c' dan φ' yang relatif lebih tepat. Kelebihan tekanan pori juga berpengaruh pada kuat geser tanah, karena tekanan pori merupakan tekanan air pori akibat dari tambahan tekanan yang mendadak. Tekanan air pori bekerja ke segala arah sama besar dan akan bekerja pada seluruh bidang permukaan butiran, tapi dianggap tidak mengubah volume butiran.

Tegangan geser hanya dapat ditahan oleh butiran-butiran tanah, yaitu oleh gaya-gaya yang berkembang pada bidang singgung antar butiran. Tegangan normal yang bekerja, ditahan oleh tanah melalui penambahan gaya antar butirannya. Jika tanah dalam keadaan jenuh sempurna, air yang mengisi ruang pori dapat juga menahan tegangan normal, dengan akibatnya akan terjadi kenaikan tekanan air pori. Pada tanah granuler, seperti tanah pasir dan kerikil, secara fisik tegangan efektif kadang-kadang disebut tegangan intergranuler. Luas bidang kontak antar butiran sangat kecil, dimana untuk butiran bulat kontak antar butirnya berupa sebuah titik.

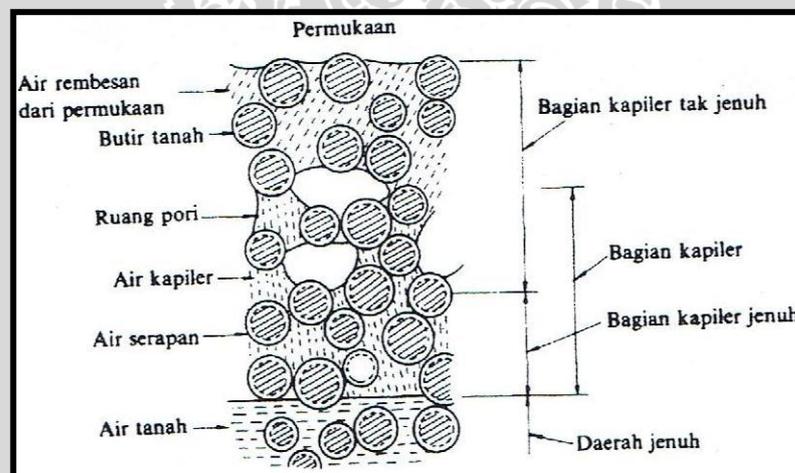
Ada bermacam-macam percobaan untuk menentukan kekuatan geser tanah (*Direct Shear*), misalnya saja pengujian triaxial (*Triaxial Test*), pengujian geser langsung, dan pengujian kekuatan geser *unconfined*.

2.1.4 Permeabilitas Tanah

Air yang terdapat didalam tanah, dapat dibedakan atas air absorpsi yakni air yang diabsorpsi oleh permukaan butiran-butiran tanah, air kapiler adalah air yang tertahan dalam pori oleh tegangan permukaan dan air gravitasi adalah air yang bergerak sepanjang pori oleh gravitasi. Air dalam tanah adalah air yang bebas dalam *zone* jenuh (*saturation zone*) yang selanjutnya dapat dibedakan atas air tanpa tekanan dengan permukaan yang bebas dan air tanah yang terkekang tanpa permukaan bebas.

Air yang merembes melalui tanah adalah air yang bergerak karena gravitasi. Air yang mengalir dengan gravitasi di dalam tanah dipengaruhi oleh energi-energi sebagai berikut :

- Energi potensial yang disebabkan oleh posisi atau perbedaan tinggi.
- Energi tekanan yang disebabkan oleh berat air atau tekanan lain.
- Energi kinetis yang disebabkan oleh kecepatan aliran.



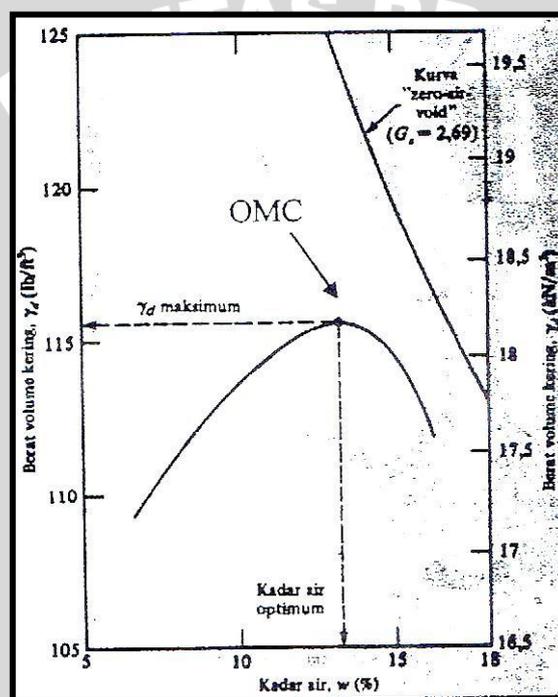
Gambar 2.2 Air Didalam Tanah

(Sumber : Sosrodarsono, Suyono dan Nakazawa, Kazuto : 1980)

2.1.5 Pemadatan Tanah (*Compaction of Soil*)

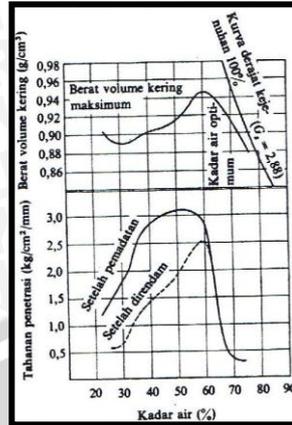
Dengan adanya emadatan tanah, berat isi dan kekuatan tanah akan meningkat sedangkan permeabilitas tanah berkurang. Meskipun dalam pemadatan menggunakan energi yang sama, akan tetapi nilai kepadatan tanah akan berbeda-beda tergantung pada kadar air (*water content*) dari tanah tersebut. Gambar 2.3 menunjukkan bahwa hubungan antara berat isi kering

(*dry density*) dari tanah yang dipadatkan dengan kadar air adalah berubah-ubah secara parabolis. Harga maksimum dari berat isi kering yang disebut dengan berat isi maksimum (*maximum dry density*) dan kadar air yang diperoleh dari pemadatan disebut dengan kadar air optimum (*optimum water content*). Bila pada pori-pori tanah sudah tidak ada udaranya lagi, yaitu pada saat dimana derajat kejenuhan tanah sama dengan 100% jadi berat volume kering maksimum (teoritis) pada suatu kadar air tertentu dengan kondisi *zero air voids* (pori-pori tanah tidak mengandung udara sama sekali.)



Gambar 2.3 Pemadatan Tanah Mencapai Titik OMC
(Sumber : M, Braja: 1991)

Untuk menguji kekuatan tanah yang dipadatkan biasanya dilakukan uji tahanan penetrasi. Pada umumnya kekuatan tanah segera setelah pemadatan selesai menunjukkan harga maksimum pada kadar air yang sedikit lebih rendah dari kadar air optimum. Pada kadar air optimum kekuatan-kekuatan tanah berkurang sedikit. Tetapi jika tanah itu kemudian menyerap air, tanah yang dipadatkan dengan kadar air yang agak kurang dari kadar air optimum akan mengembang menjadi agak lembek sehingga kekuatannya berkurang.



Gambar 2.4 Kekuatan Tanah Yang Dipadatkan

(Sumber : Sosorodarsono, Suyono dan Nakazawa, Kazuto : 1980)

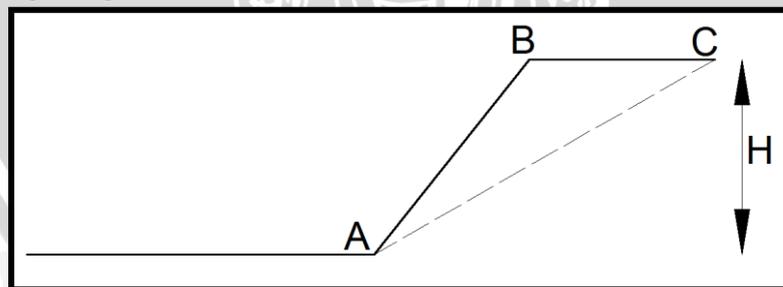
Karakteristik-karakteristik ini merupakan sifat-sifat yang penting bagi bangunan-bangunan tanah yang terganggu oleh permeabilitas seperti bendungan-bendungan urugan, tanggul-tanggul sungai, serta bangunan di sempadan sungai, karena karakteristik ini akan menentukan stabilitas bangunan-bangunan tersebut.

2.2 Definisi Longsor

2.2.1 Pengertian Longsor

Yang dimaksud dengan longsor adalah suatu pergerakan tanah dari atas ke bawah pada ketinggian tertentu. Pada umumnya suatu longsor mempunyai bidang kelongsoran, dan pada umumnya terdapat dua macam bentuk bidang longsor, yaitu :

1. Bidang Longsor Berbentuk Datar



Gambar 2.5 Bidang Longsor Berbentuk Datar

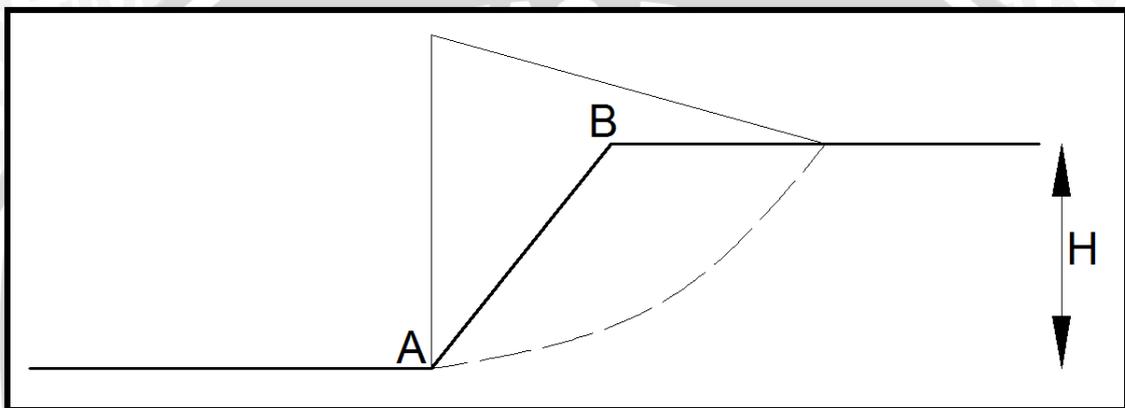
(Sumber : Suroso : 2006)

Sebuah lereng yang mempunyai bidang longsor berupa garis lurus dengan kemiringan tertentu. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.6 diatas yang menunjukkan sebuah lereng dengan ketinggian H, dan mempunyai

kemiringan lereng berupa garis AB dan garis AC merupakan salah satu contoh bidang longsor suatu lereng yang berbentuk datar.

2. Bidang Longsor berbentuk Lingkaran

Sebuah lereng yang mempunyai bidang longsor menyerupai lingkaran pada Gambar 2.6 di bawah ini, dapat dilihat bahwa suatu lereng dengan ketinggian H dan mempunyai bidang kelengkungan dimana bidang yang melengkung adalah suatu contoh bidang longsor suatu lereng yang berbentuk lingkaran.



Gambar 2.6 Bidang Longsor Berbentuk Lingkaran

(Sumber : Suroso : 2006)

2.2.2 Klasifikasi Longsor

Beberapa ahli telah mengusulkan klasifikasi yang sesuai untuk longsor, seperti pada tahun 1972, tiga orang ahli lain yang berasal dari cecoslowakia bernama Nemcok, Pasek, dan Rybar telah mengusulkan untuk memperbaiki klasifikasi dan terminology longsor. Mereka mengusulkan pengelompokan berdasarkan mekanisme dan kecepatan pergerakan. Pengelompokan ini berdasarkan empat kategori dasar, yaitu :

1. Rangkak (*Creep*)

Rangkak meliputi berbagai pergerakan yang lambat dari rangkakan talud sampai pergerakan lereng gunung akibat gravitasi dalam waktu yang sangat panjang.

2. Aliran

Bila tanah longsor terbawa longsor banyak mengandung air, maka perilaku longsor seperti aliran. Contoh: Aliran tanah (*earthflow*) atau aliran lumpur (*mudflow*).

3. Gelincir (*Sliding*)

Untuk pergerakan tanah yang relative cepat sepanjang bidang longsor yang dikelompokkan dalam kategori ini

4. Tanggal (*Fall*)

Kategori keempat ini adalah pergerakan buatan yang cepat dengan sifat utamanya tanggal bebas (*free fall*)

Menurut Varnes (1978), dan Hansen (1984) longsor (*landslide*) dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Jatuhan (*Fall*)

Jatuhan atau massa batuan bergerak melalui udara, termasuk gerak jatuh bebas, meloncat dan penggelindingan bongkah batu dan bahan rombakan tanpa banyak bersinggungan satu dengan yang lain. Termasuk jenis gerakan ini adalah runtuhan (urug, lawina, *avalanche*) batu, bahan rombakan maupun tanah.

2. Longsor-longSORan gelinciran (*Slides*)

Gerakan yang disebabkan oleh keruntuhan melalui satu atau beberapa bidang yang dapat diamati atau diduga. *Slides* dibagi lagi menjadi dua jenis. Disebut luncuran (*slide*) bila dipengaruhi gerak translasional dan susunan materialnya yang banyak berubah. Bila longSORan gelinciran dengan susunan materialnya tidak banyak berubah dan umumnya dipengaruhi gerak rotasional, maka disebut nendatan (*slump*), termasuk longSORan gelinciran adalah: luncuran bongkah tanah maupun bahan rombakan, dan nendatan tanah.

3. Aliran (*Flow*)

Gerakan yang dipengaruhi oleh jumlah kandungan atau kadar air tanah, terjadi pada material tak terkonsolidasi. Bidang longSOR antara material yang bergerak umumnya tidak dapat dikenali. Termasuk dalam jenis gerakan aliran kering adalah *sandrun* (larian pasir), aliran fragmen batu. Sedangkan jenis

gerakan aliran basah adalah aliran pasir-lanau, aliran tanah cepat, aliran tanah lambat, aliran lumpur, dan aliran bahan rombakan.

4. Longsor majemuk (*Complex landslide*)

Gabungan dari dua atau tiga jenis gerakan di atas. Pada umumnya longsor majemuk terjadi di alam, tetapi biasanya ada salah satu jenis gerakan yang menonjol atau lebih dominan.

2.2.3 Penyebab Longsor

Tanah longsor adalah perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau keluar lereng.

Faktor-faktor penyebab Longsor dapat dikategorikan sebagai berikut :

1. Perubahan lereng suatu tebing, secara alami karena erosi dan lain-lain atau secara disengaja akan mengganggu stabilitas yang ada. Karena secara logis dapat dikatakan semakin terjal suatu lereng, maka akan semakin besar kemungkinan untuk longsor.
3. Perubahan tinggi suatu tebing, secara alami karena erosi dan lain-lain atau disengaja juga akan merubah stabilitas suatu lereng. Semakin tinggi lereng akan semakin besar kemungkinan untuk longsor.
4. Peningkatan beban permukaan ini akan meningkatkan tegangan dalam tanah termasuk meningkatnya tegangan air pori. Hal ini akan menurunkan stabilitas lereng dan sering terjadi karena adanya pembangunan di daerah tebing, misalnya seperti: jalan, gedung, perumahan, dll.
5. Perubahan kadar air, baik karena hujan maupun resapan air tempat lain dalam tanah. Akan segera meningkatkan kadar air tanah dan menurunkan kekuatan geser dalam lapisan tanah.
6. Aliran air tanah akan mempercepat terjadinya longsor, karena air bekerja sebagai pelumas. Bidang kontak antara butir akan melemah karena air dapat menurunkan tingkat kelekatan butir.
7. Pengaruh getaran berupa gempa, ledakan, dan getaran mesin dapat mengganggu kekuatan geser dalam tanah.

8. Penggundulan daerah tebing yang menyebabkan perubahan kandungan air tanah dalam rongga dan akan menurunkan stabilitas tanah. Faktor air sangat berpengaruh terhadap keseimbangan dalam tanah. Disamping itu, kestabilan lapisan tanah juga bergantung adanya penggundulan.
9. Pengaruh pelapukan secara teknis dan kimia akan merubah sifat kekuatan tanah dan batuan, sehingga mengganggu kestabilan suatu lereng.

2.3 Lereng

Lereng adalah suatu tepian yang terletak antara landasan dan tanjakan, berdasarkan macamnya lereng dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Lereng Alam
Lereng yang terbentuk karena proses alam, misalnya lereng suatu bukit.
2. Lereng Buatan Tanah Asli
Lereng yang dibuat dengan tanah asli dengan memotong tanah tersebut untuk pembuatan jalan atau saluran air untuk irigasi.
3. Lereng Buatan Tanah yang Dipadatkan
Tanah yang dipadatkan untuk tanggul-tanggul jalan raya tanggul perumahan.

2.4 Analisa Stabilitas Lereng

Analisa stabilitas lereng merupakan suatu perhitungan analisis yang dilakukan pada daerah lereng suatu konstruksi bangunan atau pada kondisi tanah asli untuk memberikan gambaran mengenai tingkat kestabilan lereng yang sering kali dinyatakan dalam suatu koefisien dengan membandingkan jumlah gaya atau momen yang mendorong dan jumlah gaya atau momen yang menahan. Koefisien tersebut adalah angka keamanan lereng. Kondisi gagal biasanya diasumsikan sebagai kondisi dimana gaya yang mendorong lebih besar daripada gaya yang menahan. Gambaran didapatkan dari analisis ini akan digunakan untuk menentukan desain lereng yang aman berdasarkan angka keamanan yang ada.

Dalam perhitungan stabilitas lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: adanya faktor beban dan adanya rembesan yang melalui tanah. Faktor

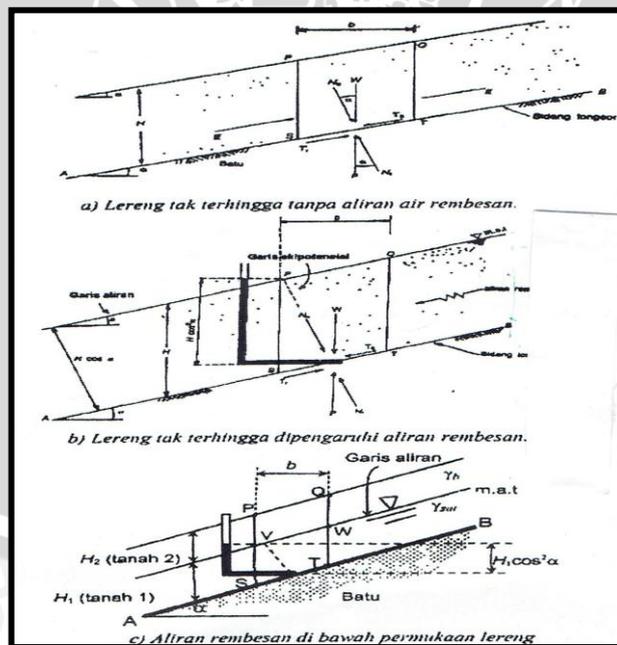
tersebut harus diperhitungkan pada keadaan lereng tertentu yang nantinya sangat mempengaruhi tingkat keamanan dari lereng tersebut.

Analisa Stabilitas Lereng dibagi menjadi 2 macam, yaitu :

1. Analisa Stabilitas Lereng Tak Terbatas (*Infinite Slope*)
2. Analisa Stabilitas Lereng Terbatas (*Finite Slope*)

2.4.1 Analisa Stabilitas Lereng Tak Terbatas (*Infinite Slope*)

Lereng tak terbatas adalah suatu kondisi dimana panjang permukaan bidang miring dari lereng lebih panjang dari kedalamannya. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.7 yang memperlihatkan suatu kondisi tanah dengan tebal H yang mempunyai permukaan miring, terletak diatas lapisan batu dengan kemiringan permukaan yang sama. Lereng semacam ini disebut lereng tak terhingga karena mempunyai panjang yang lebih besar dibanding kedalamannya (H). Jika diambil elemen tanah selebar h , gaya-gaya yang bekerja pada dua bidang vertikalnya mendekati sama, karena pada lereng tak terhingga gaya-gaya yang bekerja di setiap sisi bidangnya dapat dianggap sama.



Gambar 2.7 Analisa Stabilitas Lereng Tak Terhingga

(Sumber : Christady, Hady : 1992)

2.4.2 Analisa Stabilitas Lereng Terbatas (*Finite Slope*)

Lereng terbatas adalah suatu lereng jika harga tinggi kritis (H_{cr}) mendekati tinggi lereng. Analisa stabilitas lereng terbatas pada tanah homogen disederhanakan dengan anggapan bentuk umum dari bidang keruntuhan yang potensial. Namun ada pertimbangan bahwa keruntuhan lereng biasanya terjadi pada bidang kelongsoran lengkung.

Pada awalnya tahun 1875 Culman menyatakan keruntuhan lereng yang mendekati bidang potensial adalah terjadi pada bidang datar. Angka keamanan (F_s) dari pendekatan Culman memberikan hasil yang cukup bagus hanya untuk lereng yang mendekati vertikal. Setelah melalui penelitian keruntuhan lereng yang cukup mendalam pada tahun 1920-an, *Swedish Geotechnical Commison* merekomendasikan bahwa bidang kelongsoran. Sejak saat itu analisa stabilitas bidang konvensional mengaggap bidang kelongsoran potensial adalah busur lingkaran. Namun, ada beberapa keadaan tertentu misalnya pada perumahan, pondasi yang terletak pada tanah lembek dimana analisa stabilitas menggunakan kelongsoran bidang datar dianggap lebih tepat dan menghasilkan hasil yang bagus.

Dengan demikian analisa stabilitas lereng terbatas berdasarkan bidang keruntuhannya dibagi menjadi 2 macam yaitu, :

1. Analisa Stabilitas Lereng Dengan Bidang Keruntuhan Datar
2. Analisa Stabilitas Lereng Dengan Bidang Keruntuhan Lingkaran Silindris.

2.5 Rembesan

Air pada keadaan statis di dalam tanah, akan mengakibatkan tekanan hidrostatis yang arahnya ke atas (*uplift*). Akan tetapi jika air mengalir lewat lapisan tanah, aliran air akan mendesak partikel tanah sebesar tekanan rembesan hidrodinamis yang bekerja menurut arah alirannya. Besarnya tekanan rembesan akan merupakan fungsi dari gradien hidrolis (i).

Menurut Hary Christady H (2010) besarnya gaya tekanan air dapat dinyatakan sebagai fungsi dh , sebagai berikut :

$$dp = \gamma_w dh$$

dengan γ_w adalah berat volume air dan dp adalah gaya hidrodinamis yang disebut dengan *gaya rembesan*.

2.5.1 Pengaruh Tekanan Air Terhadap Stabilitas Tanah

Tekanan hidrodinamis mempunyai pengaruh besar pada stabilitas tanah. Tergantung pada arah aliran, tekanan hidrodinamis dapat mempengaruhi berat volume tanah. .

2.6 Angka Keamanan

Faktor keamanan (F_s) didefinisikan sebagai perbandingan dari kekuatan geser yang diperlukan agar seimbang terhadap kekuatan geser material yang ada.

Menurut Suyono Sosrodarsono faktor keamanan dirumuskan sebagai berikut :

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

dengan :

F_s = Angka keamanan terhadap kekuatan tanah

τ_f = Kekuatan geser rata-rata tanah

τ_d = Tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor.

$F_s = 1$, maka tanah dalam keadaan akan longsor. Umumnya, harga 1,5 untuk angka keamanan terhadap kekuatan geser dapat diterima untuk merencanakan stabilitas suatu lereng.

2.7 Pengujian Sifat Material pada Lereng Perumahan

2.7.1 Umum

Salah satu parameter sifat mekanis yang didapat dari pengujian dilaboratorium adalah parameter kuat geser tanah. Beberapa cara metode pengujian di laboratorium yang umum dilakukan untuk mendapatkan parameter kuat geser, tanah antara lain pengujian geser langsung (*direct shear test*), pengujian triaksial (*triaxial test*), pengujian tekan bebas (*unconfined compression test*).

2.7.1.1 Uji Kekuatan geser tanah

Kekuatan geser suatu massa tanah merupakan perlawanan internal tanah tersebut per satuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud. Untuk menganalisis masalah stabilitas tanah seperti daya dukung, stabilitas lereng, dan tekanan tanah kesamping pada turap maupun tembok penahan tanah

2.7.1.2 Uji Triaksial

Uji laboratorium ini sering dilakukan untuk mengetahui nilai-nilai dari parameter kekuatan geser tanah yaitu nilai kohesi (C) serta nilai sudut perlawanan geser (ϕ) dengan cara memvisualisasikan grafik lingkaran Mohr, lalu tegangan geser ini digunakan untuk mengetahui bidang keruntuhan tanah yang diuji. Kelebihan-kelebihan yang dimiliki oleh jenis uji ini adalah kondisi pengaliran yang dapat dikontrol, tekanan pori yang dapat diukur dan tanah dapat dikondisikan menjadi jenuh dan terkonsolidasi. Pengujian triaksial ini dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu pengujian dengan cara *unconsolidated-undrained* (tanpa terkonsolidasi-tanpa drainase / UU), *consolidated-undrained* (terkonsolidasi-tanpa drainase / CU), dan *consolidated-drained* (terkonsolidasi dengan drainase / CD).

2.7.1.3 Uji Direct Shear (Uji Kuat Geser Langsung)

Harga parameter-parameter kekuatan geser tanah dapat ditentukan dengan pengujian uji kuat geser langsung. Pengujian ini hanya dilakukan pada tanah yang mempunyai sifat tanah *non kohesif* atau tanah berpasir. Uji geser ini dapat dilakukan dengan cara uji tegangan terkendali dan uji regangan terkendali.

Uji tegangan terkendali (*stress controlled*), tegangan geser diberikan dengan menambahkan beban mati secara bertahap, dengan penambahan yang sama besar setiap kali, sampai runtuh. Keruntuhan akan terjadi sepanjang bidang bagi tersebut.

Uji regangan terkendali (*strain controlled*) suatu kecepatan gerak mendatar tertentu dilakukan pada bagian belahan atas dari pergerakan geser horisontal tersebut. Kelebihan pengujian dengan cara regangan terkendali adalah pada

pasir padat, dimana tahanan geser puncak dan juga pada tahanan geser maksimum yang lebih kecil dapat diamati dan dicatat.

2.7.1.4 Uji Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)

Uji tekan bebas termasuk hal yang khusus dari uji triaksial *unconsolidated-undrained, UU* (tak terkonsolidasi – tak terdrainase). Pengujian ini hanya cocok untuk jenis tanah lempung jenuh, dimana pada pembebanan cepat, air tidak sempat mengalir ke luar dari benda uji. Pada lempung jenuh, tekanan air pori dalam benda uji pada awal pengujian negatif (tegangan kapiler).

Tegangan aksial yang diterapkan diatas benda uji berangsur-angsur ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan. Hasil uji tekan bebas biasanya tidak begitu meyakinkan bila digunakan untuk menentukan nilai parameter kuat geser tanah tak jenuh.

2.7.2 Metode untuk Menentukan Faktor Keamanan pada Lereng

2.7.2.1 *Limit Equilibrium Method (LEM)*

LEM atau Limit Equilibrium Method adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya. Metode analisis ini pertama-tama mengasumsikan bidang kelongsoran yang dapat terjadi. Terdapat dua asumsi bidang kelongsoran yaitu :

- Bidang Kelongsoran berbentuk *circular*
- Bidang kelongsoran berbentuk *non-circular* atau bisa juga disebut *planar*

Perhitungan dilakukan dengan membagi-bagi tanah yang berada dalam bidang longsor dalam irisan-irisan. karena itu metoda ini dikenal juga dengan nama metoda irisan (*method of slice*). Analisa menggunakan metode irisan ini digunakan pada tanah tidak homogen dan aliran rembesan terjadi di dalam tanah tidak menentu. Berbagai solusi yang berbeda untuk metode irisan ini telah dikembangkan selama bertahun-tahun dimulai dari Fellenius, Taylor, Bishop, Morgenstern-Price hingga Sarma dan lainnya. Perbedaan antara cara yang satu dengan yang lainnya tergantung pada persamaan kesetimbangan batas dan asumsi gaya kekuatan antar irisan (*interslice force*) yang diperhitungkan.

2.7.2.2 Metode Irisan *Fellenius*

Fellenius merupakan orang pertama yang mempublikasikan metoda irisan ini dan merupakan cara yang paling sederhana. Pada cara Fellenius semua gaya antar irisan diabaikan dan hanya memperhitungkan kesetimbangan momen.

Analisis stabilitas metode ini menggunakan lengkungan lingkaran sebagai permukaan bidang longsor. Tanah yang berada di atas bidang longsor dibagi dalam beberapa irisan tegak. Lebar tiap-tiap irisan tidak harus sama, tetapi bidang longsor pada tiap irisan hanya terdiri dari satu jenis material, karena masing-masing material mempunyai fisik dan mekanik yang berbeda.

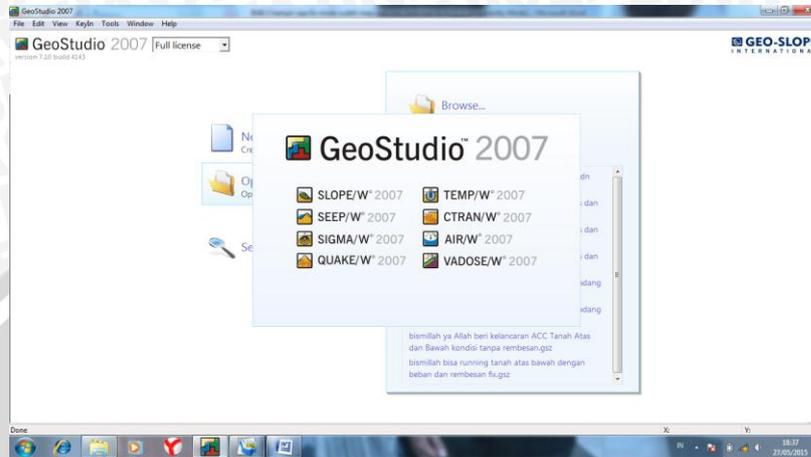
2.7.2.3 Metode *Bishop*

Bishop mengembangkan cara yang lebih kompleks lagi dengan memasukkan gaya yang bekerja di sekitar bidang irisan, namun tetap melakukan perhitungan dengan kesetimbangan momen. Cara analisa yang dibuat oleh A. W. Bishop (1995) menggunakan cara elemen dimana gaya yang bekerja pada setiap elemen merupakan metode yang paling sering digunakan dalam analisa stabilitas lereng dikarenakan perhitungannya sederhana, cepat dan memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup teliti. Kesalahan metode ini dibandingkan metode lainnya jarang yang lebih dari 5%. Metode ini sangat cocok digunakan untuk pencarian secara otomatis bidang runtuh kritis yang berbentuk busur lingkaran untuk mencari faktor keamanan terkritis. Metode ini juga memperhitungkan komponen gaya-gaya (horizontal dan vertikal) dengan memperhatikan keseimbangan momen dari masing-masing potongan, dimana dapat juga digunakan dalam menganalisa tegangan efektif. Faktor keamanan terhadap longSORan didefinisikan sebagai perbandingan kekuatan geser maksimum yang dimiliki tanah di bidang longSOR dengan tahanan geser yang diperlukan untuk keseimbangan.

2.7.3 Program *Geostudio SLOPE/W 2007*

GEO-SLOPE Office adalah sebuah paket aplikasi untuk pemodelan geoteknik dan geo-lingkungan. Software ini melingkupi SLOPE/ W, SEEP / W, SIGMA / W, QUAKE/ W, TEMP / W, dan CTRAN / W. Yang sifatnya terintegrasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu

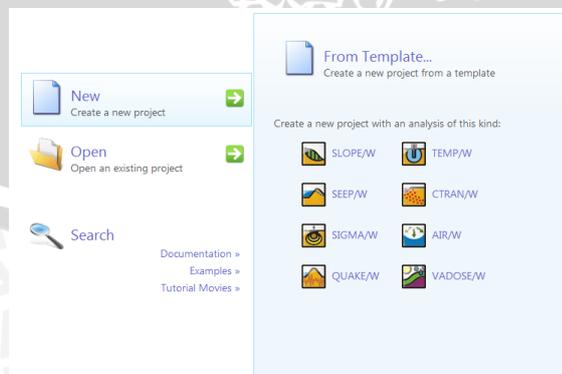
produk ke dalam produk lain. Fitur ini unik dan sangat kuat dalam memperluas jenis masalah yang dapat dianalisis dan memberikan fleksibilitas untuk memperoleh modul seperti yang dibutuhkan untuk proyek yang berbeda.



Gambar 2.8 Geostudio SLOPE/W 2007 Starting Icon

(Sumber : www.geo-slope.com)

SLOPE / W merupakan produk perangkat lunak untuk menghitung faktor keamanan tanah dan kemiringan batuan. Dengan *SLOPE / W*, kita dapat menganalisis masalah baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan batas untuk berbagai permukaan yang miring, kondisi tekanan air pori, sifat tanah dan beban terkonsentrasi. Kita dapat menggunakan elemen tekanan air pori yang terbatas, tegangan statis, atau tekanan dinamik pada analisis kestabilan lereng. Anda juga dapat melakukan analisa probabilistik.



Gambar 2.9 Pemilihan menu *SLOPE/W*

(Sumber : www.geo-slope.com)