

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah adalah yang 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 dari 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*) untuk menentukan debit aliran yang lewat struktur tanah.
3. Untuk mengevaluasi stabilitas tanah yang miring, yaitu dengan menentukan kuat geser tanah. Dari sini kemudian disubstitusikan dalam rumus stabilitas lereng.

Dalam banyak masalah teknis (semacam perencanaan perkerasan jalan, bendungan dalam urugan, dan lain-lain) pemilihan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda, tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya akan sangat membantu. Pemilihan tanah tersebutlah yang dinamakan klasifikasi tanah. Klasifikasi tanah sangat membantu perancang dalam memberikan pengarahannya melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman telah lalu.

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

A. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and transportation Officials*) berguna untuk menentukan kualitas 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 dibawah ini:

a. Ukuran butir.

Kerikil: bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3in) 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: bagian tanah yng 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 bilamana 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, persentase dari batuan tersebut harus dicatat.

Tabel 2. 1 Klasifikasi AASHTO

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

Catatan:

Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)

Untuk PL > 30, klasifikasinya A-7-5

Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6

Np = Nonplastis

(Sumber: Christady, Hady: 1992)

Pada embung kedung gogor sebagai objek studi ini tanah yang digunakan sebagai bahan timbunan termasuk golongan tanah A-2.

B. Sistem Klasifikasi Unified

Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam 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 atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir. Tanah berbutir kasar ditandai dengan kelompok, seperti: GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, dan SC. Bilaman persentase 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 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 dengan gradasi buruk)
- L= *Low Plasticity* (plastisitas rendah) ($LL < 50$)
- H= *High Plasticity* (plastisitas tinggi) ($LL > 50$)

Tabel 2. 2 Klasifikasi Unified

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0.075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar ter-tahan saringan no. 4 (4,75 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk GW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk SW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus	
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung	
	Pasir lebih dari 50 % fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau	
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0.075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50 % atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays")	
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair > 50 %	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
			Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488	
Tanah dengan kadar organik tinggi	P _t	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi		

(Sumber: Christady, Hady: 1992)

Pada embung kedung gogor sebagai objek studi ini tanah yang digunakan sebagai bahan timbunan termasuk golongan tanah MH, SW, dan GW.

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)

<i>PI</i>	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non Kohesif
< 7	Plastis rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
7-17	Plastis sedang	Lempung dan Lanau	Kohesif
> 17	Plastis tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber: Christady, Hady: 1992)

Pada embung kedung gogor sebagai objek studi ini tanah yang digunakan sebagai bahan timbunan menggunakan bahan pasir dan lempung yang nilai indeks plastisitas untuk pasir adalah 0, yang merupakan tanah non kohesif. Sedangkan untuk lempung nilai indeks plastisitas untuk lempung adalah > 17, yang merupakan tanah kohesif.

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:

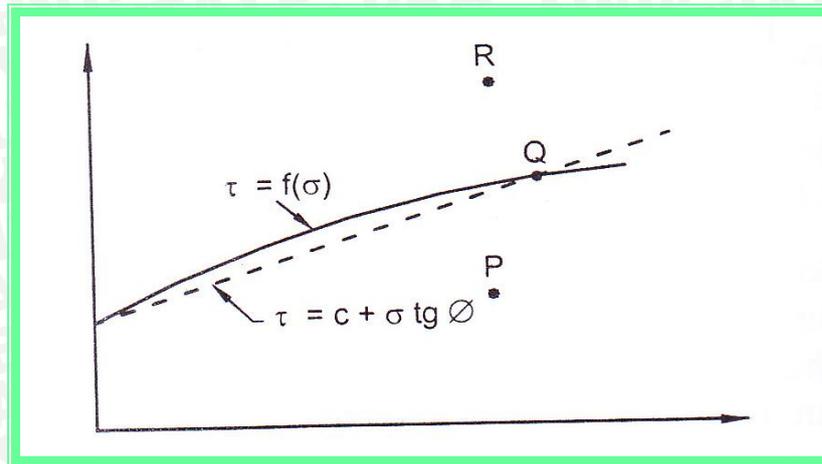
1. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. Gerakan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang geser.

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: Sumber : Christady, Hady: 1992)

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

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

dimana:

τ = kekuatan geser (kN/m²)

c = kohesi tanah (kN/m²)

φ = sudut geser dalam tanah (°)

σ = tegangan normal total yang bekerja pada bidang geser (kN/m²)

Dari persamaan 2.1.2 itulah yang dimaksud dengan kriteria keruntuhan atau kegagalan Mohr-coulomb, 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 P, keruntuhan tanah akibat geser tidak akan terjadi. Keruntuhan tanah akibat geser akan terjadi, jika tegangan-tegangan mencapai titik Q yang terletak pada garis selubung kegagalan (*failure envelope*). Kedudukan tegangan yang ditunjukkan oleh titik R tidak akan pernah terjadi, karena sebelum tegangan yang terjadi mencapai titik R, bahan sudah mengalami keruntuhan.

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

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



dimana $\sigma' = \sigma - u$

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)

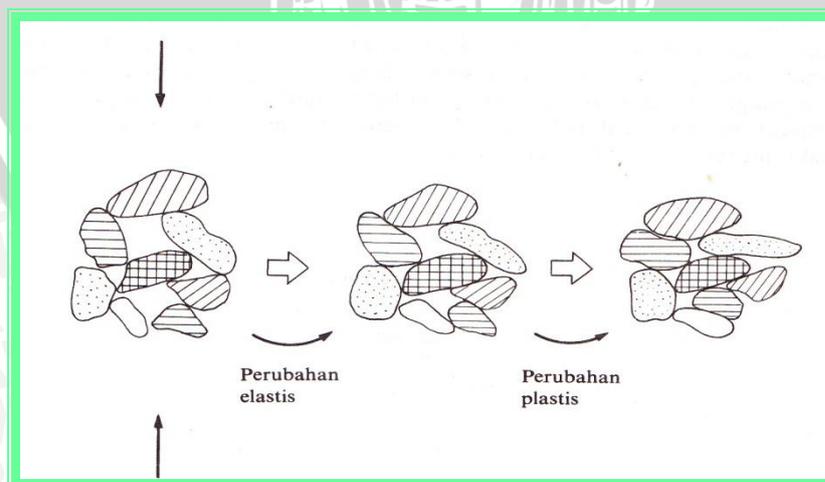
u = tegangan air pori.

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 Kemampatan Dan Konsolidasi Tanah

Tanah mempunyai sifat kemampatan yang sangat besar jika dibandingkan bahan konstruksi seperti baja dan beton. Baja dan beton adalah bahan konstruksi yang tidak mempunyai pori, itulah sebabnya volume pemampatan baja dan beton adalah sangat kecil, sehingga dalam keadaan tegangan biasa baja dan beton tidak mempunyai masalah. Sebaliknya karena tanah mempunyai pori yang besar, maka pembebanan biasa akan mengakibatkan deformasi tanah yang sangat besar. Hal ini tentu akan mengakibatkan penurunan pondasi yang akan merusak konstruksi

Karakteristik tanah itu didominasi oleh karakteristik mekanisnya seperti permeabilitas atau kekuatan geser yang berubah-ubah sesuai dengan pembebanan. Mengingat kemampatan butir-butir tanah atau air itu secara teknis sangat kecil sehingga dapat diabaikan, maka proses deformasi tanah akibat beban luar dapat dipandang sebagai suatu gejala penyusutan pori.



Gambar 2. 2 Perubahan dalam Struktur Butiran

(sumber: Sosrodarsono, Suyono dan Nakazawa, Kazuto; 1980)

Gambar 2.2 diatas menunjukkan, bahwa akibat dari beban yang bekerja pada tanah, susunan butir-butir tanah berubah atau kerangka struktur butir-butir tanah berubah sehingga angka perbandingan pori (*void ratio*) menjadi kecil yang mengakibatkan deformasi kemampatan. Jika beban yang bekerja pada tanah kecil, maka deformasi itu terjadi tanpa pergeseran pada titik-titik sentuh antara butir-butir tanah. Deformasi pemampatan tanah yang terjadi memperlihatkan gejala yang elastis, sehingga bila beban itu diiadakan, tanah akan kembali pada entuk semula. Umumnya beban-beban yang bekerja mengakibatkan pergeseran titik-titik sentuh antara butir tanah, yang mengakibatkan perubahan susunan butir-butir tanah, sehingga terjadi deformasi kemampatan. Deformasi seperti itu disebut deformasi plastis, karena bila mana beban diiadakan, tanah itu tidak akan kembali pada bentuk semula.

Air dalam pori pada tanah yang jenuh air perlu dialirkan supaya penyusutan pori itu sesuai dengan deformasi atau sesuai dengan perubahan struktur butir-butir, seperti yang diperlihatkan **gambar 2.2** diatas. Permeabilitas tanah kohesif yang lebih kecil dari permeabilitas tanah pasiran, maka pengaliran keluar air itu membutuhkan waktu yang lama. Sehingga untuk mencapai keadaan deformasi yang tetap sesuai dengan beban yang bekerja, diperlukan suatu jangka waktu yang lama. Gejala sedemikian disebut konsolidasi.

Jika suatu embung atau bangunan akan dibangun pada suatu tanah dasar yang lembek, maka yang sering terjadi adalah bahwa tanah dasar itu tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul embung atau bangunan tersebut, sehingga sering terjadi kelongsoran.

Daya dukung yang diperlukan untuk tanah yang seperti itu dapat ditingkatkan agar tidak terjadi kelongsoran dengan cara konsolidasi bertahap pada tanah dasar itu dalam jangka waktu yang lama melalui pembangunan embung atau bangunan yang bertahap. untuk mempercepat konsolidasi bertahap ini, maka pada tanah dasar dapat dilakukan tindakan khusus tertentu. Dalam masalah seperti ini yang penting adalah meramalkan besarnya proses konsolidasi itu dan besarnya penurunan tanah selama proses konsolidasi.

Kemampatan tanah berbeda-beda besarnya tergantung dari jenis tanahnya dan kondisi awal dari tanah tersebut. Hal ini sangat berpengaruh terhadap daya dukung tanah. Seberapa besar kemungkinan akan teradi longsor pada suatu bangunan tergantung dari daya dukung tanah tersebut dan gaya yang ditimbulkan oleh tanah untuk melawan gaya bangunan itu sendiri. Apabila daya dukung atau gaya yang ditimbulkan

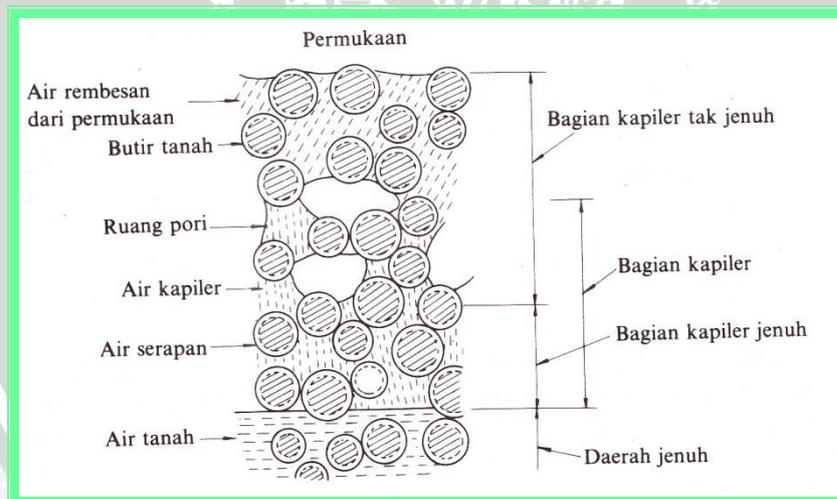
tanah itu lebih besar daripada gaya yang ditimbulkan oleh bangunan, maka tidak akan terjadi kelongsoran. Sebaliknya apabila daya dukung dan gaya yang ditimbulkan oleh tanah lebih kecil daripada gaya yang ditimbulkan oleh bangunan, maka akan terjadi kelongsoran.

2.1.5 Permeabilitas Tanah

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

Air yang merembes melalui bendungan urugan atau tanggul adalah air bergerak karena gravitasi. Air yang mengalir dengan gravitasi didalam 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.



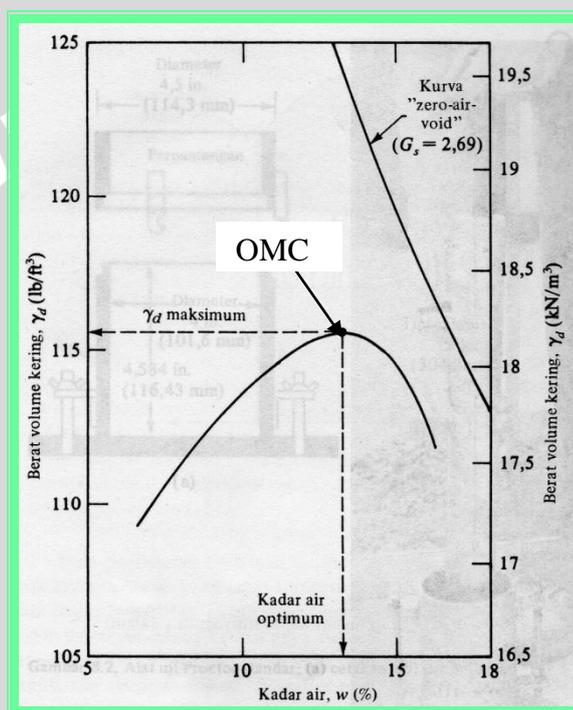
Gambar 2. 3 Air didalam tanah

(sumber: Sosrodarsono, Suyono dan Nakazawa, Kazuto; 1980)

2.1.6 Pemadatan Tanah (Compaction of Soil)

Dengan adanya pemadatan tanah, berat isi dan kekuatan tanah akan meningkat sedangkan permeabilitas tanah akan berkurang. Meskipun dalam pemadatan menggunakan energi yang sama, akan tetapi nilai kepadatan tanah akan berbeda-beda

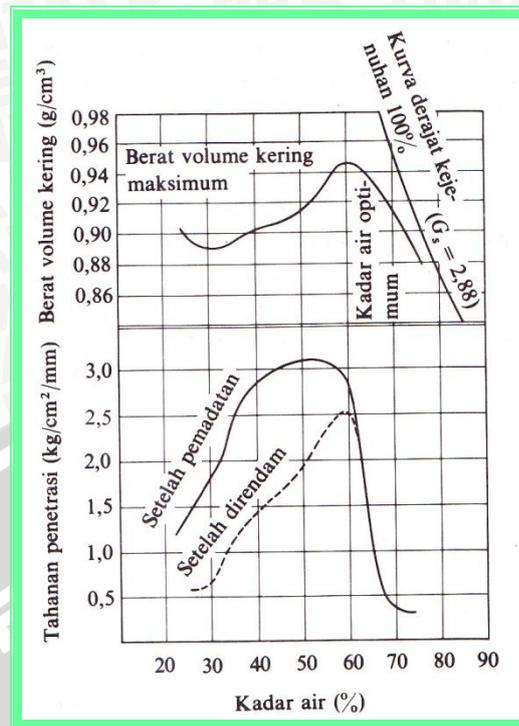
tergantung pada kadar air (*water content*) dari tanah tersebut. **Gambar 2.4** menunjukkan bahwa hubungan antara berat isi kering (*dry density*) dari tanah yang dipadatkan dengan kadar air adalah berubah-ubah secara parabolis. Harga maksimum dari berat isi kering yang disebut dengan berat isi kering 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. 4 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. 5 Kekuatan tanah yang dipadatkan
(sumber: Sosrodarsono, 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, karena karakteristik ini akan menentukan stabilitas bangunan-bangunan tersebut.

2.2 Lereng

Lereng adalah suatu tepian yang terletak antara landasan dan tanjakan, berdasarkan macamnya lereng dibagi menjadi 3 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

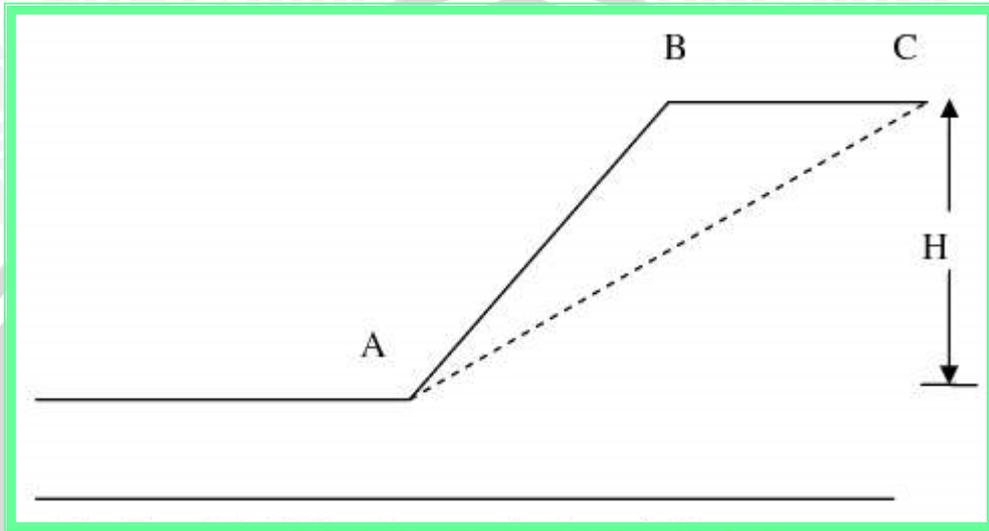
Tanah yang dipadatkan untuk tanggul-tanggul jalan raya atau bendungan urugan tanah.

2.3 Definisi Longsor

2.3.1 Pengertian lonsor

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



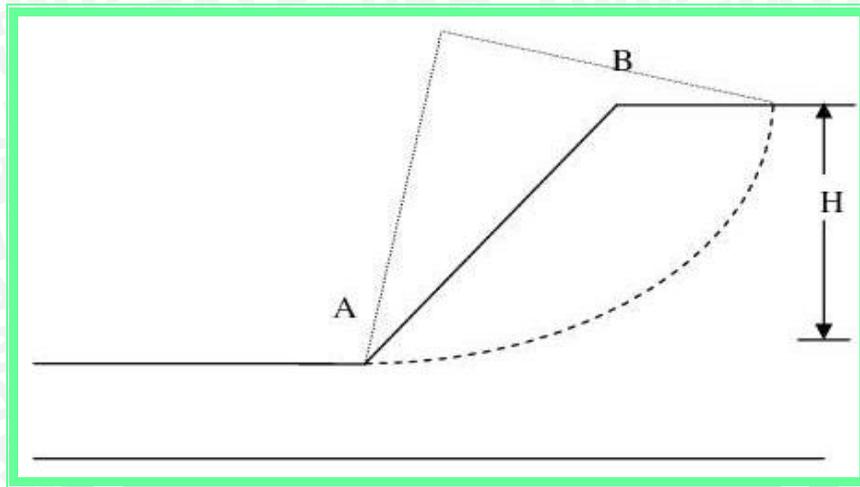
Gambar 2. 6 Bidang longsor berbentuk datar

(sumber: Suroso, 2006)

Sebuah lereng yang mempunyai bidang longsor berupa garis lurus dengan kemiringan tertentu. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat di **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 Lonsor berbentuk Lingkaran

Sebuah lereng yang mempunyai bidang longsor menyerupai sebuah lingkaran. Pada gambar 2.7 dibawah ini, dapat dilihat bahwa suatu lereng dengan ketinggian H, dan mempunyai bidang kelengkungan dimana bidang yang melengkung adalah suatu contoh bidang longsor suatu longsor suatu lereng yang berbentuk lingkaran



Gambar 2. 7 Bidang longsor berbentuk lingkaran

(sumber: Suroso, 2006)

2.3.2 Klasifikasi Longsor

Beberapa ahli telah mengusulkan klasifikasi yang sesuai untuk longsor seperti Savarebski dari Soviet (1939) membagi kelongsoran kedalam 3 kelompok sebagai berikut:

1. Longsor Aseqvent

Longsor aseqvent terjadi pada tanah kohesif yang homogen dan bidang longsohnya hampir mendekati lingkaran

2. Longsor Conseqvent

Longsor conseqvent terjadi bilamana tanah bergerak diatas bidang lapis atau geser (joint).

3. Longsor Insiqvent

Pada longsor jenis ini tanah biasanya bergerak secara transversal terhadap lapisan dan umumnya memiliki ukuran yang luas serta bidang runtuhnya panjang dan menembus kedalam tanah.

Sekitar 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 ke dalam kategori ini.

4. Tanggal (*Fall*)

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

Untuk ketepatan suatu analisis keamanan dan pengamanan suatu lereng terhadap bahaya longsor perlu dilakukan diagnosis terhadap faktor-faktor diatas. Maka dapat diketahui lebih rinci penyebab terjadinya longsor, antara lain:

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.
2. 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.
3. 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 didaerah tebing, misalnya seperti: jalan, gedung, dll.
4. Perubahan kadar air, baik karena air hujan maupun resapan air tempat lain dalam tanah. Akan segera meningkatkan kadar air tanah dan menurunkan kekuatan geser dalam lapisan tanah.
5. Aliran air tanah akan mempercepat terjadinya longsor, karena air bekerja sebagai pelumas. Bidang kontak antra butir akan melemah karena air dapat menurunkan tingkat kelekatan butir.
6. Pengaruh getaran berupa gempa, ledakan, dan getaran mesin dapat mengganggu kekuatan geser dalam tanah.
7. Penggundulan daerah tebing yang menyebabkan perubahan kandungan air tanah dalam rongga dan akan menurunkan stabilitas tanah. Fakor air sangat berpengaruh

terhadap keseimbangan dalam tanah. Disamping itu, kestabilan lapisan tanah juga bergantung adanya penggundulan.

8. Pengaruh pelapukan secara teknis dan kimia akan merubah sifat kekuatan tanah dan batuan, sehingga mengganggu kestabilan suatu lereng

2.4 Konsepsi Kestabilan Lereng

Beberapa hal yang perlu dibahas meliputi konsep kestabilan lereng dan metode analisisnya berdasarkan pengalaman, komputasi, dan grafik.

- a) Parameter penting yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng adalah kuat geser tanah (batuan). Keruntuhan geser pada tanah (batuan) terjadi akibat gerak relatif antar butiran, sehingga kekuatannya bergantung pada gaya yang bergerak antar butiran.

- b) Kuat geser tanah (batuan) terdiri atas:

- 1) Bagian yang bersifat kohesif yang bergantung pada jenis tanah (batuan) dan ikatan butir tanah.
- 2) Bagian yang bersifat gesekan yang sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang geser.

- c) Kekuatan geser tanah jenuh air dinyatakan dalam rumus :

$$S = c' + ((\sigma - u) \tan \phi') \dots \dots \dots (2.4.1)$$

Dengan :

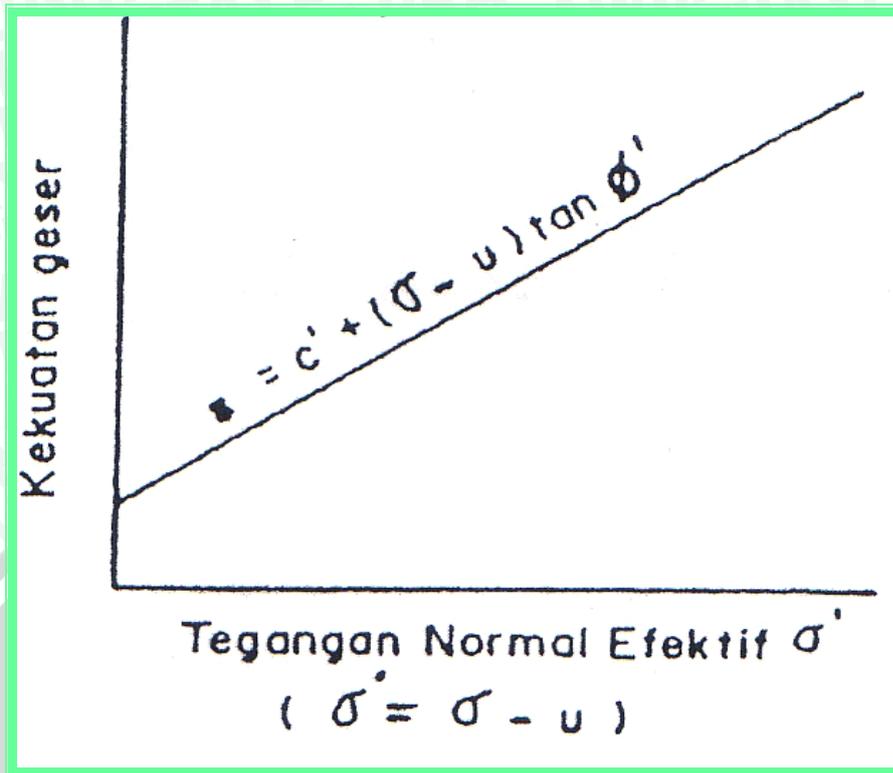
- S : kekuatan geser,
- c' : tegangan total pada bidang geser,
- σ : tekanan air pori,
- u : kohesi efektif,
- ϕ' : sudut geser dalam efektif.

- d) Analisis kestabilan lereng didasarkan pada mekanisme longsor suatu benda yang terletak pada bidang longsor seperti diperlihatkan pada **Gambar 2.8** dan **2.9**.

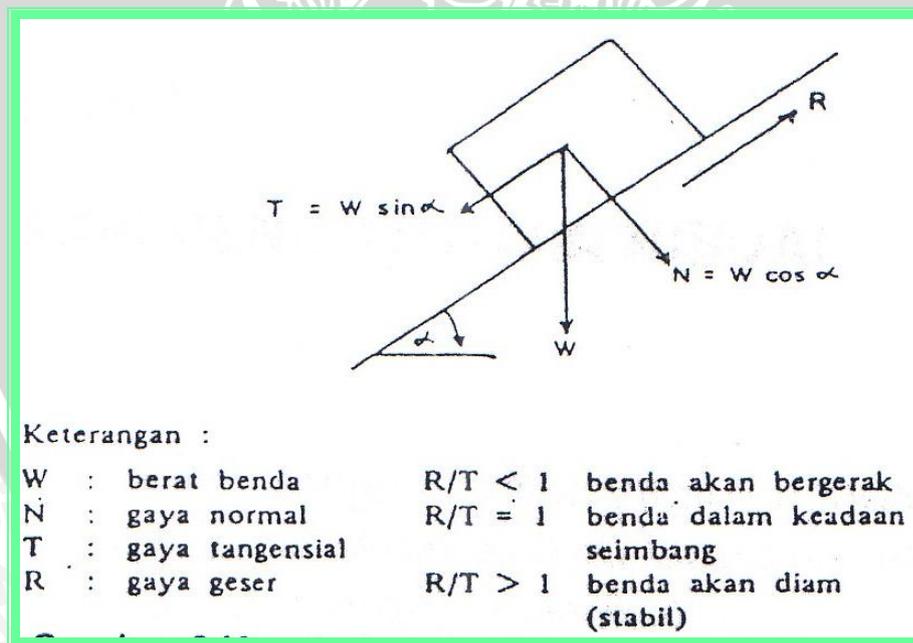
R/T < 1, benda akan bergerak

R/T = 1, benda dalam keadaan seimbang

R/T > 1, benda akan diam



Gambar 2. 8 Kekuatan geser tanah/batuan
(sumber : Metode Analisis Stabilitas Lereng, Balai Bendungan : 2009)



Gambar 2. 9 Keseimbangan benda pada bidang miring
(sumber : Metode Analisis Stabilitas Lereng, Balai Bendungan : 2009)

Tabel 2. 4 Cara Analisis Kestabilan Lereng

No	Analisis	Cara	Bidang Longsor (*)	Tanah (**)	Batu (**)	Keterbatasan
I	Berdasarkan pengamatan visual	Membandingkan kestabilan lereng yang ada	L, P, B	o	o	1. Kurang Teliti 2. Bergantung pada pengalaman seseorang 3. Disarankan untuk digunakan jika tidak ada resiko
II	Menggunakan komputasi	Fellenius	L	o	x	fellenius kurang teliti, hanya dapat menghitung faktor keamanan tetapi tidak dapat menghitung deformasi
		Bishop Janbu	L, P, B L, P, B	o o	o o	
III	Menggunakan Grafik	Cousins	L	o	x	1. Material homogen 2. Pada umumnya struktur sederhana
		Janbu	L	o	o	
		Duncan Hoek & Bray	P P, B	o x	o o	
keterangan :						
*) L : Lingkaran P : Planar B : Baji			**) o : digunakan x : tidak digunakan			

(sumber : Metode Analisis Stabilitas Lereng, Balai Bendungan : 2009)

2.5 Analisa Stabilitas Lereng

Analisis 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 lereng. 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 aman yang ada.

Dalam perhitungan stabilitas lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: adanya faktor gempa dan adanya rembesan yang melalui embung. Faktor tersebut harus diperhitungkan pada keadaan embung tertentu yang nantinya sangat mempengaruhi tingkat keamanan dari embung.

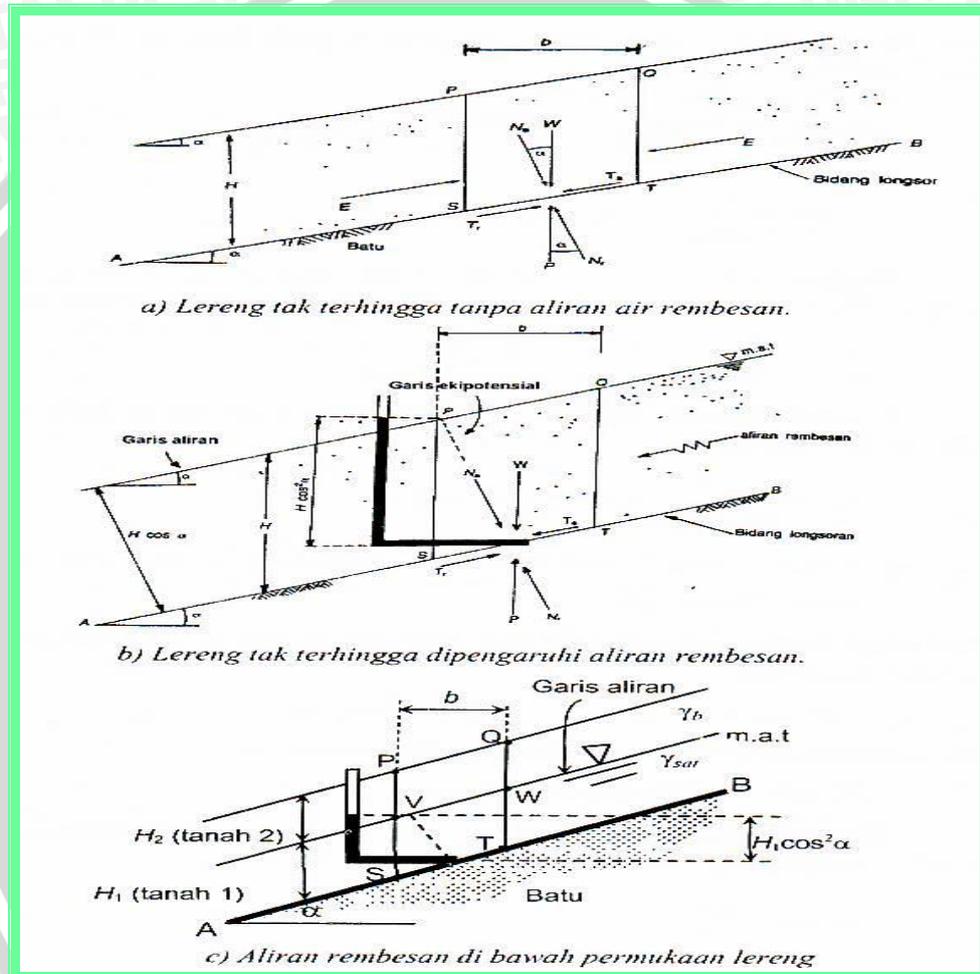
Analisa Stabilitas Lereng dibagi menjadi 2 macam, yaitu:

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

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

Lereng tak terbatas adalah suatu kondisi di mana panjang permukaan bidang miring dari lereng lebih panjang dari kedalamannya. Hal ini dapat dilihat pada **gambar**

2.10 yang memperlihatkan suatu kondisi tanah dengan tebal H yang mempunyai permukaan miring, terletak di atas lapisan batu dengan kemiringan permukaan yang sama. Lereng semacam ini disebut lereng tak terhingga karena mempunyai panjang yang sangat lebih besar dibanding dengan 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. 10 Analisa stabilitas lereng tak terhingga

(Sumber:Christady, Hady: 1992)

2.5.2 Analisa Stabilitas Lereng Terbatas (Finite Slope)

Lereng terbatas (*finite slope*) 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.

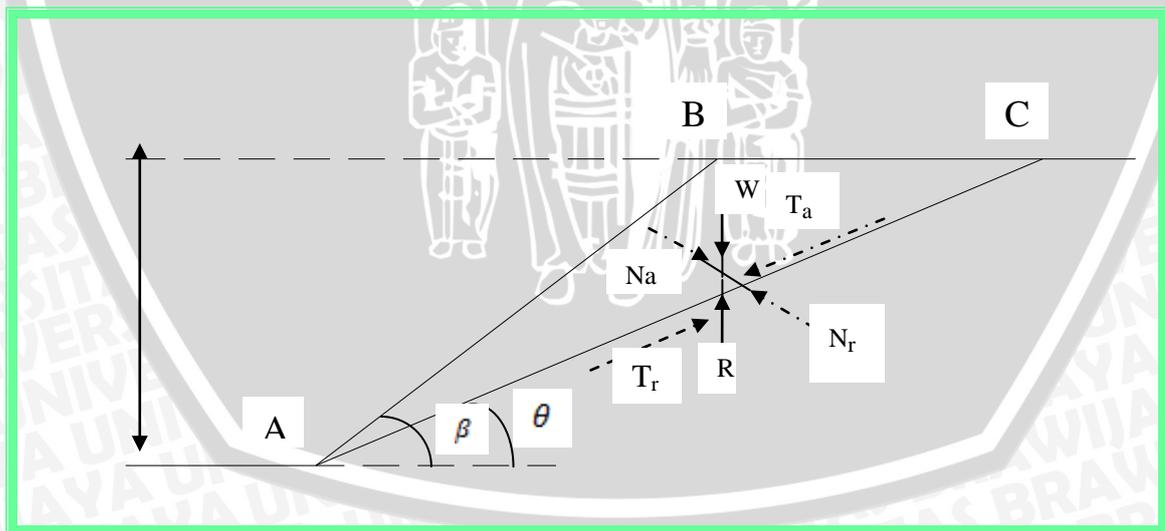
Pada awalnya tahun 1875 Culman menyatakan keruntuhan lereng yang mendekati bidang potensial adalah terjadi pada bidang datar. Angka Keamanan (F) dari pendekatan Culmann memberikan hasil yang cukup bagus hanya untuk lereng yang mendekati vertikal. Setelah melalui penelitian keruntuhan lereng yang cukup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

Dengan itu, 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

A. Analisa Stabilitas Lereng Dengan Bidang Keruntuhan Datar

Analisa Stabilitas lereng ini didasarkan pada anggapan bahwa keruntuhan lereng terjadi sepanjang bidang, bila tegangan geser rata-rata yang cenderung menyebabkan slip lebih besar dari kuat geser tanah.



Gambar 2. 11 Analisa Stabilitas Lereng Dengan Bidang Keruntuhan Datar

(sumber: Suroso: 2006)

B. Analisa Stabilitas Lereng Dengan Bidang Keruntuhan Lingkaran Silindris

Pada umumnya keruntuhan lereng dengan bidang keruntuhan silindris terjadi mengikuti salah satu pola sebagai berikut:

1. Bidang longsor memotong lereng pada dasar atau di atasnya, hal tersebut disebut keruntuhan lereng (*slope failure*).
2. Bidang longsor melalui bawah ujung dasar lereng, hal tersebut disebut keruntuhan dasar (*base failure*).

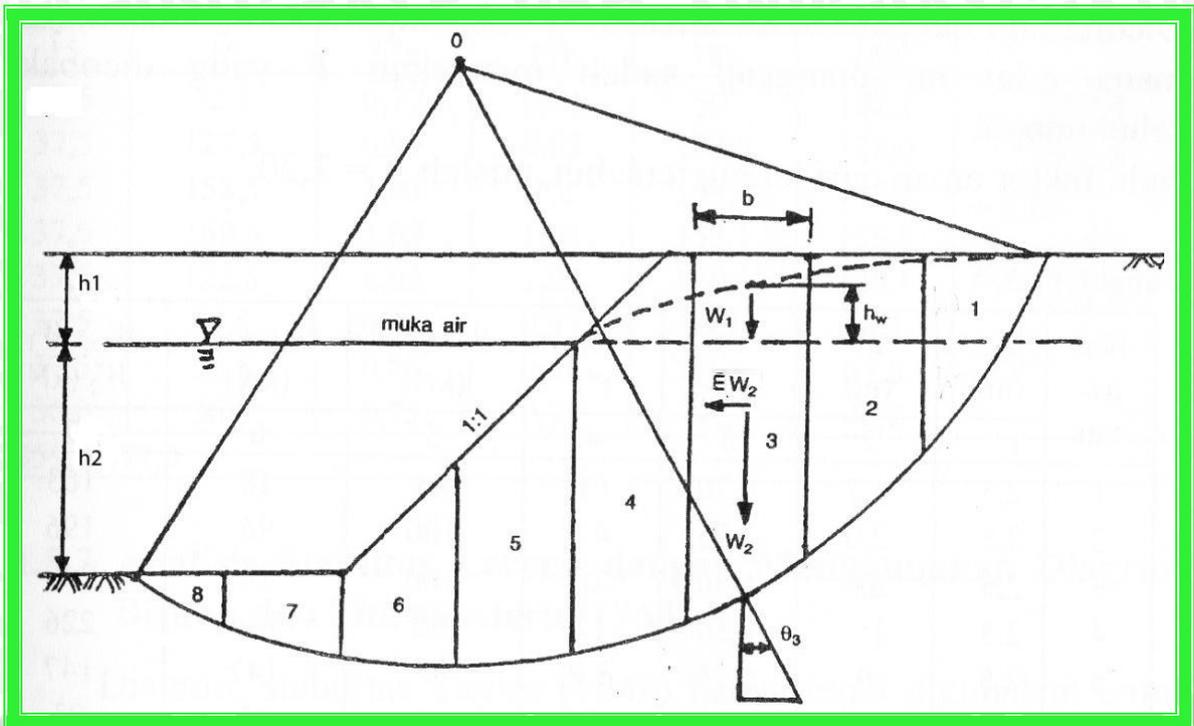
Untuk itu ada berbagai prosedur untuk menganalisa stabilitas lereng, secara umum dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) kelompok:

1. Prosedur massa (*massa procedure*). Dalam hal ini, massa tanah di atas bidang longsor diambil sebagai suatu unit kesatuan. Prosedur ini akan sangat berguna bila tanah yang membentuk lereng adalah homogen.
2. Cara irisan (*method of slices*). Dalam prosedur ini, tanah di atas bidang longsor dibagi dalam sejumlah irisan sejajar vertikal. Pada cara ini bila tanah tidak homogen dan ada tekanan air pori dapat diperhitungkan.

Dalam studi ini dipakai cara irisan dengan menggunakan metode *Janbu* dan metode irisan *fellenius*.

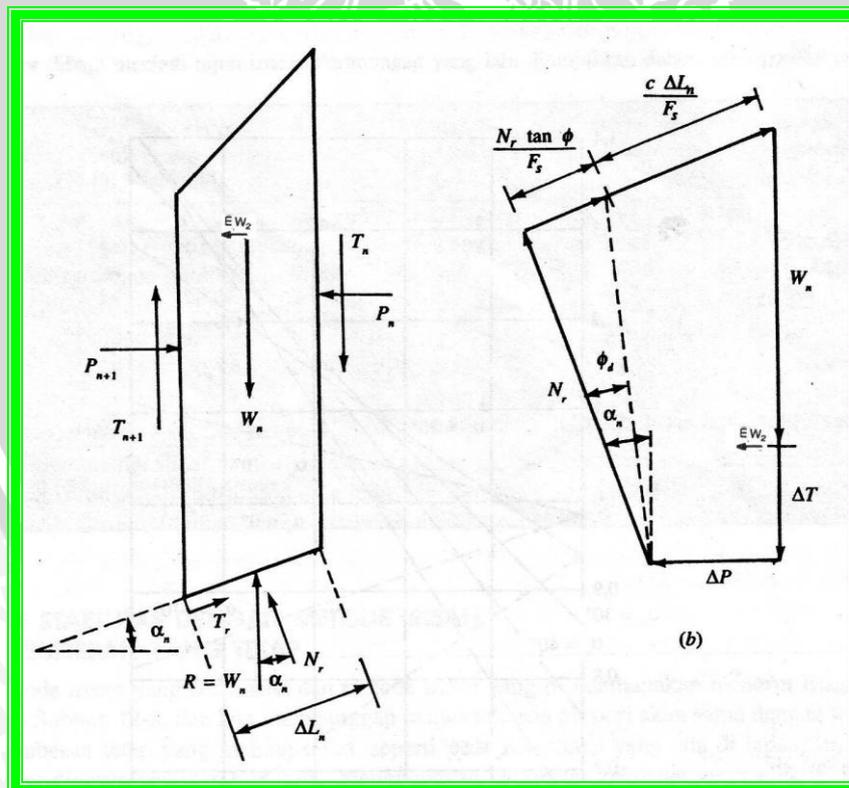
1. Analisis Stabilitas Lereng Metode Janbu

Janbu (1954) memperhatikan kesetimbangan gaya dan momen pada pias vertikal dan kesetimbangan gaya pada massa pelongsor (*sliding mass*) yang dianggap sebagai satu kesatuan. Dengan menggunakan kesetimbangan keseluruhan dalam arah horizontal sebagai kriteria kestabilan.



Gambar 2. 12 Sketsa Sederhana Analisa Stabilitas Lereng Metode Janbu

(Sumber : google.com)



Gambar 2. 13 Metode Janbu yang disederhanakan;

(a) Gaya – gaya yang bekerja pada irisan nomor n , (b) Poligon gaya untuk keseimbangan

(Sumber : google.com)



Pada gambar diatas dapat dilihat gaya-gaya yang dapat menahan lereng dan juga gaya-gaya yang dapat menghancurkan lereng. Apabila gaya yang menahan lereng lebih kecil daripada gaya yang melawan atau yang menghancurkan, akan terjadi kelongsoran. Pada Gambar 2.12 dan Gambar 2.13 dapat dilihat resultan gaya yang menahan beban lereng adalah:

1. $W_n \cos \alpha_n$ = Berat total irisan
2. $N_r = u \times \Delta L_n$ = Gaya normal pada irisan
3. T_r = Gaya geser pada dasar
4. P_n dan P_{n+1} = Gaya normal antar Irisan
5. T_n dan T_{n+1} = Gaya geser antar Irisan
6. $e = k$ (gempa)

Sedangkan resultan gaya yang melongsorkan lereng adalah:

1. $W_n \sin \alpha_n$.

Dihasilkan rumus untuk angka keamanan sebagai berikut :

$$F = \frac{\sum b_n S \sec^2 \alpha_n}{\sum (W_n + dT) \tan \alpha_n} \dots\dots\dots(2.5.1)$$

Dimana,

dT adalah perbedaan gaya – gaya tangensial atau geser pada dua pias yang beraturan dan

$$S = \frac{\left[c + \left(\frac{W_n + dT}{b_n} - u \right) \right] \tan \phi}{1 + \frac{\tan \alpha_n \tan \phi}{F}} \dots\dots\dots(2.5.2)$$

Pada metode *Janbu Simplified*, Janbu et al (1956) memberikan versi angka keamanan yang merupakan modifikasi dari persamaan (2.4.2) jika gaya – gaya antar pias diabaikan :

$$F = \frac{\sum b_n S \sec^2 \alpha_n}{\sum W_n \tan \alpha_n} \dots\dots\dots(2.5.3)$$

$$S = \frac{\left[c + \left(\frac{W_n}{b_n} - u \right) \right] \tan \phi}{1 + \frac{\tan \alpha_n \tan \phi}{F}} \dots\dots\dots(2.5.4)$$

Dengan mendistribusikan persamaan kedalam, maka didapatkan persamaan angka keamanan sebagai berikut :

$$F = \frac{\sum [(cb_n \sec \alpha_n + (W_n - ub_n) \sec \alpha_n \tan \phi) / m_{\alpha_n}]}{\sum W_n \tan \alpha_n} \dots\dots\dots(2.5.5)$$

$$F = \frac{\sum [(cb_n \sec \alpha_n + (W_n - ub_n) \sec \alpha_n \tan \phi) / m_{\alpha_n}]}{\sum W_n \tan \alpha_n W \cos \alpha_k} \dots\dots\dots(2.5.6)$$

Dimana,

$$m_{\alpha_n} = \frac{1 + \tan \alpha_n \tan \phi}{F \cos \alpha_n} \dots\dots\dots(2.5.7)$$

(Sumber : Masrevaniah, Aniek; 2010)

Keterangan:

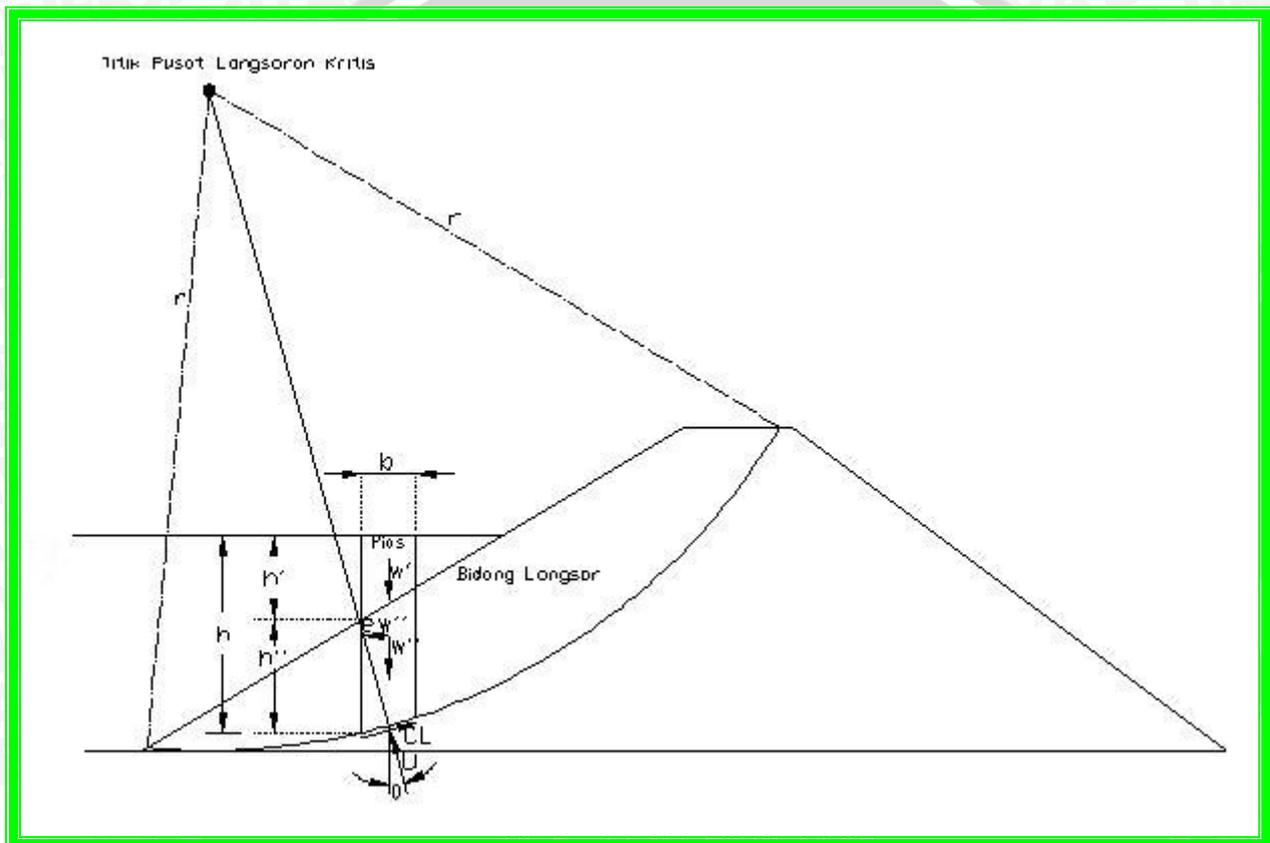
1. W_n = Berat total irisan
2. c = Kohesi tanah
3. b_n = Lebar irisan
4. ϕ = Sudut geser tanah
5. α_n = Sudut irisan
6. $m_{\alpha(n)}$ = Bilangan tak berdimensi
7. e = k

2. Analisis Stabilitas Lereng Metode Irisan Fellenius

Analisis stabilitas dengan menggunakan metode irisan *Fellenius* dalam analisisnya mengabaikan keseimbangan gaya dan menganggap kedua sisi pias dan tanah yang akan runtuh menjadi satu kesatuan. Penggunaan metode irisan *fellenius* ini untuk tanah dengan $\Phi_u = 0$, dengan kondisi tak terdrainase (short-term), resultan gaya antar irisan tanah = 0, tidak ada gaya seepage ($J_s = 0$). Metode ini akurat untuk analisis lereng dengan lapisan tanah yang homogen ataupun tidak homogen bersudut geser nol dan diasumsikan bidang slip berbentuk lingkaran.

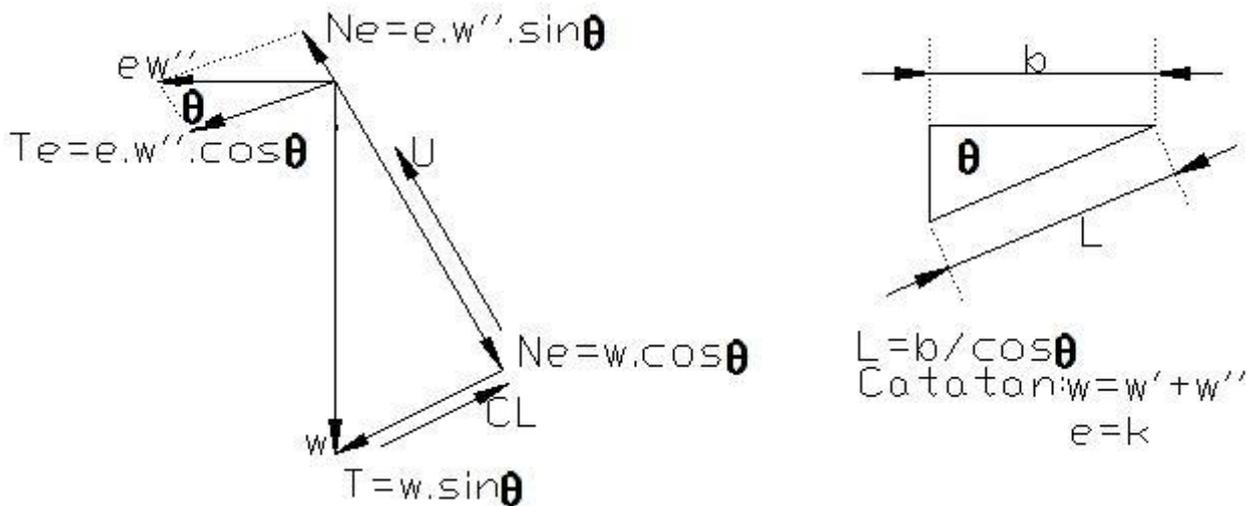
Analisa stabilitas lereng dengan metode irisan *fellenius* dapat dijelaskan dengan memperhatikan **Gambar 2.14** dengan AC merupakan lengkungan lingkaran sebagai permukaan bidang longsor percobaan. Tanah yang berada di atas bidang longsor percobaan di bagi dalam beberapa irisan tegak. Lebar dari tiap – tiap irisan tidak harus sama. Perhatikan suatu satuan tebal tegak lurus irisan melintang talud seperti gambar.

Gaya – gaya yang bekerja pada irisan tertentu (irisan no n) ditunjukkan dalam **Gambar 2.15**. W_n adalah berat irisan. Gaya – gaya N_r dan T_r adalah komponen tegak dan sejajar dari reaksi R . P_n dan P_{n+1} adalah gaya normal yang bekerja pada sisi – sisi irisan. Demikian juga, gaya geser yang bekerja pada sisi irisan adalah T_n dan T_{n+1} . Untuk memudahkan, tegangan air pori di anggap sama dengan nol. Gaya P_n dan T_n adalah sama besar dengan resultan P_{n+1} , dan T_{n+1} , dan juga garis – garis kerjanya segaris.



Gambar 2. 14 Sketsa sederhana analisis stabilitas lereng metode *Fellenius*

(Sumber : Adolf Tommy M. Sitompul ;Praktek Kerja Nyata; 1985)



Gambar 2. 15 Irisan untuk analisis stabilitas lereng metode *Fellenius*

(a) Gaya – gaya yang bekerja pada irisan nomor n ,

(b) Poligon gaya untuk keseimbangan

(Sumber : Adolf Tommy M. Sitompul ;*Praktek Kerja Nyata*; 1985)

Pada gambar diatas dapat dilihat gaya-gaya yang dapat menahan lereng dan juga gaya-gaya yang dapat menghancurkan lereng. Apabila gaya yang menahan lereng lebih kecil daripada gaya yang melawan atau yang menghancurkan, akan terjadi kelongsoran. Pada **gambar 2.14** dan **gambar 2.15** dapat dilihat gaya yang menahan

1. W_n = Berat total irisan
2. $N = W_n \cos \alpha_n$ = Berat komponen vertikal yang timbul dari berat setiap irisan
3. $N_e = e \cdot \gamma \cdot W_n \sin \alpha_n$ = Komponen vertikal beban seismis yang bekerja pada tiap irisan
4. U = beban dari tekanan hidrostatis yang bekerja pada dasar irisan

Sedangkan gaya yang melawa gaya yang melongsorkan beban lereng adalah:

1. $T = \gamma \cdot W_n \sin \alpha_n$ = Berat komponen tangensial yang timbul dari berat setiap irisan
2. $T = e \cdot \gamma \cdot W_n \cos \alpha_n$ = Komponen tangensial beban seismis yang bekerja pada tiap irisan

Untuk pengamatan keseimbangan

$$N_r = W_n \cdot \cos \alpha_n \quad \dots \dots \dots (2.5.8)$$

Gaya geser perlawanan dapat dinyatakan sebagai berikut

$$T_r = \tau_d (\Delta L_n) = \frac{\tau_f (\Delta L_n)}{F_s} = \frac{1}{F_s} (c + \sigma \tan \phi) \Delta L_n \quad \dots \dots \dots (2.5.9)$$

Tegangan normal σ dalam persamaan di atas adalah sama dengan

$$\frac{N_r}{\Delta L_n} = \frac{W_n \cos \alpha_n}{\Delta L_n} \dots\dots\dots(2.5.10)$$

Untuk keseimbangan blok percobaan *ABC*, momen gaya dorong terhadap titik *O* adalah sama dengan momen gaya perlawanan terhadap titik *O*, atau

$$\sum_{n=1}^{n=p} W_n r \sin \alpha_n = \sum_{n=1}^{n=p} \frac{1}{F_s} \left(c + \frac{W_n \cos \alpha_n}{\Delta L_n} \tan \phi \right) (\Delta L_n)(r) \dots\dots\dots(2.5.11)$$

atau

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \Delta L_n + W_n \cos \alpha_n \tan \phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \dots\dots\dots(2.5.12)$$

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \Delta L_n + W_n \cos \alpha_n \tan \phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n + (W_n \cos \alpha_n k)} \dots\dots\dots(2.5.13)$$

(sumber: Bendungan Tipe Urugan: 1981)

dimana ΔL_n pada persamaan di atas sama dengan $\frac{b_n}{\cos \alpha_n}$ dengan b_n = lebar potongan irisan ke *n*.

Perhatikan bahwa harga α_n bisa negatif atau positif. Harga α_n positif bila talud bidang longsor yang merupakan sisi bawah dari irisan, berada pada kwadran yang sama dengan talud maka tanah yang merupakan sisi atas dari irisan. Untuk mendapatkan angka keamanan yang minimum yaitu angka keamanan untuk lingkaran kritis beberapa percobaan dibuat dengan cara mengubah letak pusat lingkaran yang dicoba.

2.6 Angka Keamanan

Faktor keamanan (*F*) didefinisikan sebagai perbandingan dari kekuatan geser yang diperlukan agar setimbang terhadap kekuatan geser material yang tersedia.

$$F = \frac{t_a}{t_m}$$

dimana:

t_a = kekuatan geser material yang tersedia

t_m = kekuatan geser material yang diperlukan agar tepat setimbang

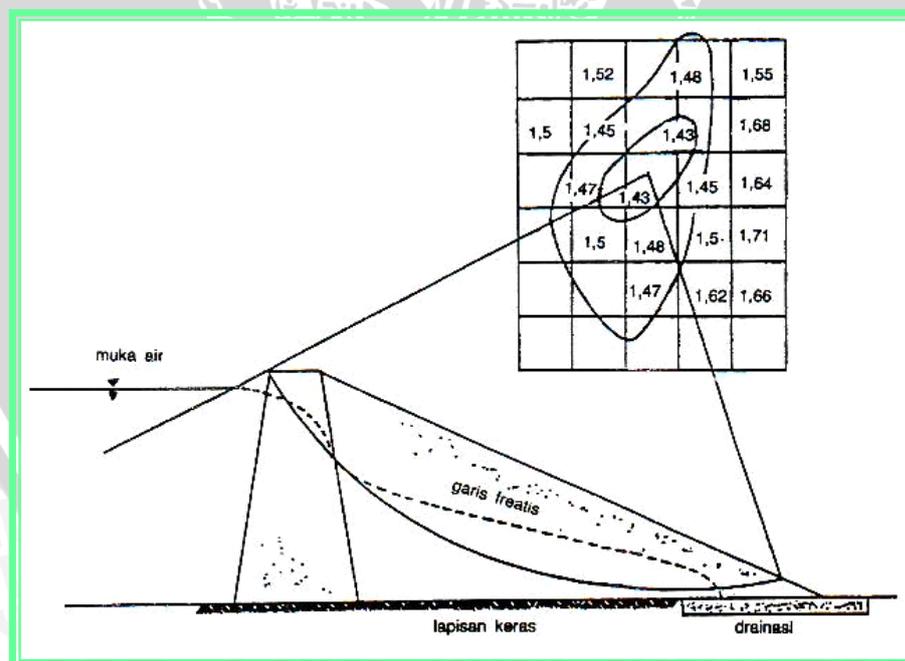
Tabel 2. 5 Faktor aman minimum untuk bendungan urugan (Lambe dan itman 1969 dan Sherad et al., 1963)

Kondisi perancangan	Faktor aman minimum	Keterangan
1. Akhir pelaksanaan	1,3*	Lereng hulu dan hilir
2. Penurunan air cepat (<i>sudden drawdown</i>) dari kondisi air penuh	1,0**	Hanya lereng hulu
3. Penurunan air cepat (<i>sudden drawdown</i>) dari puncak bendungan elak (<i>spill way</i>)	1,2**	Hanya lereng hulu
4. Muka air parsial saat rembesan tetap (<i>steady seepage</i>)	1,5	Hanya lereng hulu
5. Rembesan tetap dengan muka air maksimum	1,5	Lereng hilir
6. Gempa bumi (kasus 1, 4, 5 dengan beban gempa)	1,0	Lereng hulu dan hilir

* Untuk tinggi tmbunan 15 m atau fondasi relatif lunak gunakan faktor aman $F = 1,4$.

** Faktor aman minimum harus 1,5, jika dalam hitungan stabilitas lereng kecepatan turunnya air dan tekanan air pori ditentukan dari jaring arus (*flow net*).

(sumber: Cristady, Hady: 1992)



Gambar 2. 16 Contoh kontur faktor aman

(sumber: Cristady, Hady: 1992)

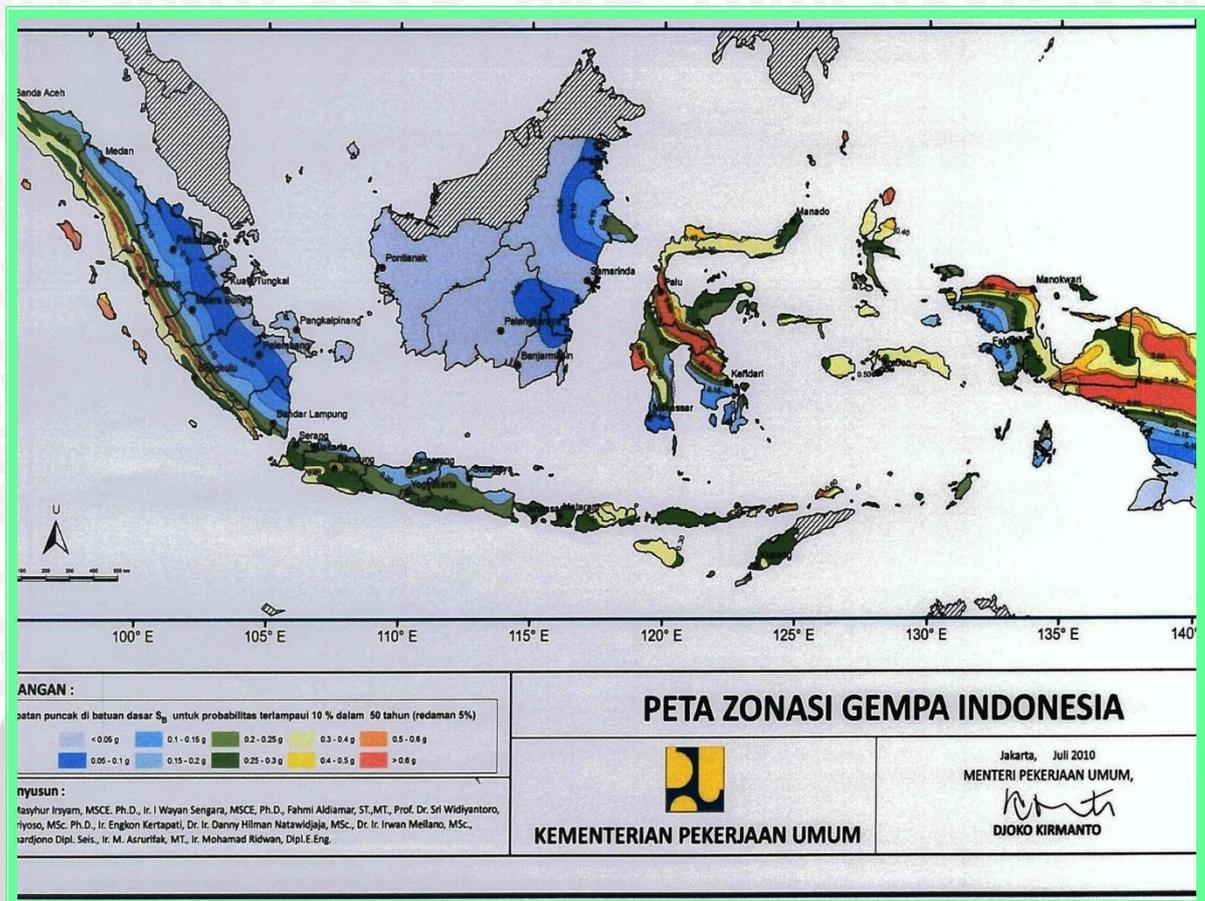
2.7 Pengaruh Gempa

Gempa bumi dapat mengakibatkan gerakan dan keruntuhan lereng alam maupun buatan. Oleh karena itu perlu diperhatikan dalam hitungan faktor aman stabilitas lereng. Akibat lain dari gempa bumi adalah adanya:

- 1) Liquefaction pada massa tanah (terutama pada tanah-tanah granuler).
- 2) Perubahan tekanan air pori dan tegangan efektif dalam massa tanah.
- 3) Timbulnya retak-retak vertikal yang dapat mereduksi kuat geser tanah.

Untuk memperhitungkan pengaruh gravitasi akibat gempa, hal yang sering dilakukan dalam analisis stabilitas lereng adalah dengan menggunakan konstanta numerik yang biasanya disebut koefisien gempa (k_g). Koefisien ini diberikan dalam persen dari gravitasi. Sebagai contoh, koefisien gravitasi 10% ($0,1g$) sering digunakan dalam hitungan. Jadi, gaya-gaya dinamis dianggap sebagai gaya statis, yang kadang-kadang disebut pseudostatic analysis. Pemakaian koefisien gempa $0,1g$ hanyalah didasarkan pada pertimbangan empirik yang tanpa dasar pembenaran. Menurut Cernica (1994), belum ada data hasil analisis yang menunjukkan ketepatan hasil analisis yang didasarkan pada asumsi tersebut.

Penyelidikan di Universitas California, Berkeley (Seed et al., 1964) dan yang lain, titik lemah dari analisis gempa di atas adalah belum mengakomodasi adanya pengaruh-pengaruh deformasi, macam tanah dan geometri lereng. Sebagai contoh, tanah pasir halus dapat mengalami liquefaction, sedang pasir kasar tidak. Pasir kasar, biasanya mengalami deformasi yang terkonsentrasi pada zone geser yang tipis di dekat permukaan lereng. Selain itu, bila pembebanan secara berulang-ulang (gempa), nilai kohesi dan sudut gesek dalam efektif, pada kebanyakan tanah-tanah kohesif, nilainya berbeda secara signifikan dari nilai yang diperoleh dari uji statis di laboratorium.

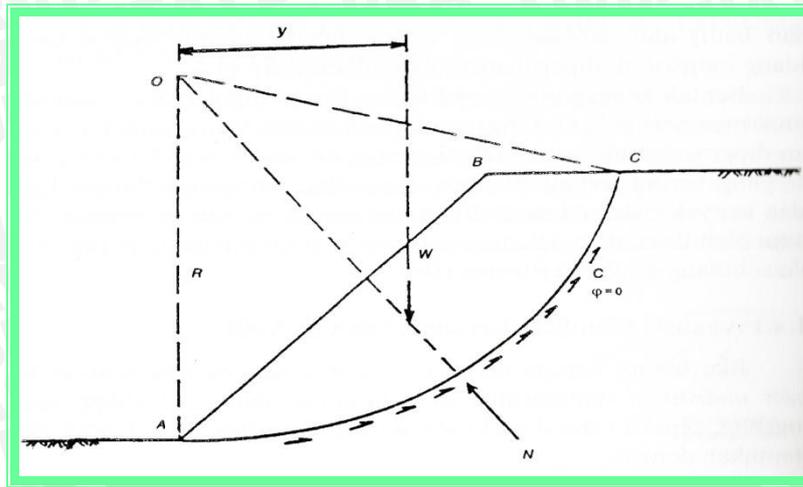


Gambar 2. 17 Peta Zonasi Gempa Indonesia

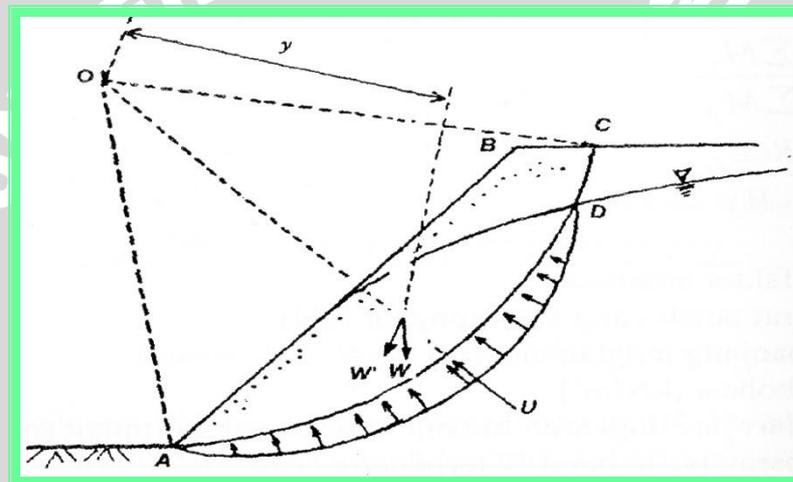
(Sumber : <http://www.google.com>)

2.8 Rembesan pada Struktur Embung

Dalam merencanakan sebuah embung perlu diperhatikan stabilitasnya terhadap bahaya longsor, erosi lereng dan kehilangan air akibat rembesan yang melalui tubuh embung. Baik tubuh embung maupun pondasinya diharuskan mampu mempertahankan diri terhadap gaya – gaya yang di timbulkan oleh adanya air filtrasi yang mengalir melalui celah – celah antara butiran – butiran tanah pembentuk tubuh embung dan pondasi tersebut. Metode diberikan untuk menentukan besarnya rembesan yang melewati embung tipe urugan, yaitu metode Casagrande (Christady, 1992).



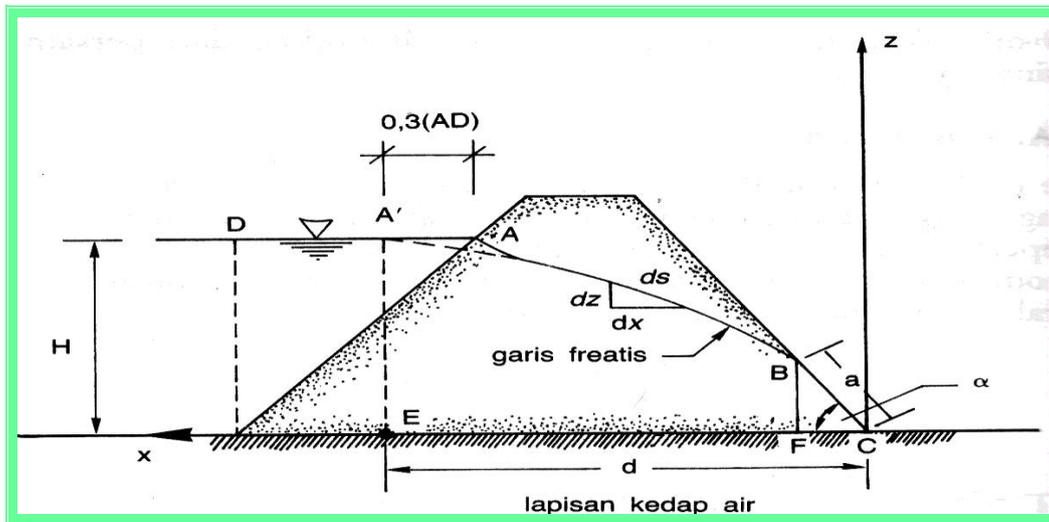
Gambar 2. 18 Analisa stabilitas lereng tanah tanpa pengaruh rembesan
(Sumber : Christady, Hady; 1992)



Gambar 2. 19 Analisa stabilitas lereng tanah dengan pengaruh rembesan
(Sumber : Christady, Hady; 1992)

2.8.1 Metode A. Casagrande

A.Cassagrande (1937) memberikan cara untuk menghitung rembesan lewat tubuh bendungan yang berasal dari pengujian model. Parabola AB berawal dari titik A' seperti yang diperlihatkan pada gambar, dengan $A'A = 0,3 \times AD$. Pada modifikasi ini, nilai d yang digunakan dalam persamaan akan merupakan jarak horizontal antara titik E dan C .



Gambar 2. 20 Hitungan rembesan cara *Cassagrande*

(Sumber : Christady, Hady; 1992)

Persamaan diperoleh dengan didasarkan pada anggapan cara Dupuit dimana gradien hidrolik (i) sama dengan dz/dx . Casagrande menyarankan hubungan ini melalui pendekatan pada kondisi dalam kenyataannya. Dalam gambar di atas

$$i = \frac{dz}{ds} \dots\dots\dots(2.8.1)$$

Untuk kemiringan sebelah hilir α lebih besar dari 30° , deviasi dari anggapan Dupuit menjadi kenyataan. Di dasarnya pada persamaan, debit rembesan $q = kiA$.

Pada segitiga BCF

$$i = \frac{dz}{ds} = \sin \alpha; A = \overline{BF} \times 1 = a \sin \alpha \dots\dots\dots(2.8.2)$$

maka,

$$q = k \frac{dz}{ds} z = ka \sin^2 \alpha \dots\dots\dots(2.8.3)$$

atau

$$\int_{a \sin \alpha}^H z dz = \int_a^s a \sin^2 \alpha ds \dots\dots\dots(2.8.4)$$

Dimana s adalah panjang dari kurva A'BC



Penyelesaian dari persamaan di atas menghasilkan

$$a^2 - 2as + \frac{H^2}{\sin^2 \alpha} = 0 \dots\dots\dots(2.8.5)$$

diperoleh,

$$a = s - \sqrt{\left(s^2 - \frac{H^2}{\sin^2 \alpha}\right)} \dots\dots\dots(2.8.6)$$

Dengan kesalahan sebesar kira – kira 4 – 5 %, s dapat dianggap merupakan garis lurus A'C, maka,

$$S = \sqrt{(d^2 + H^2)} \dots\dots\dots(2.8.8)$$

kombinasi persamaan memberikan

$$a = \sqrt{(d^2 + H^2)} - \sqrt{(d^2 - H^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha)} \dots\dots\dots(2.8.9)$$

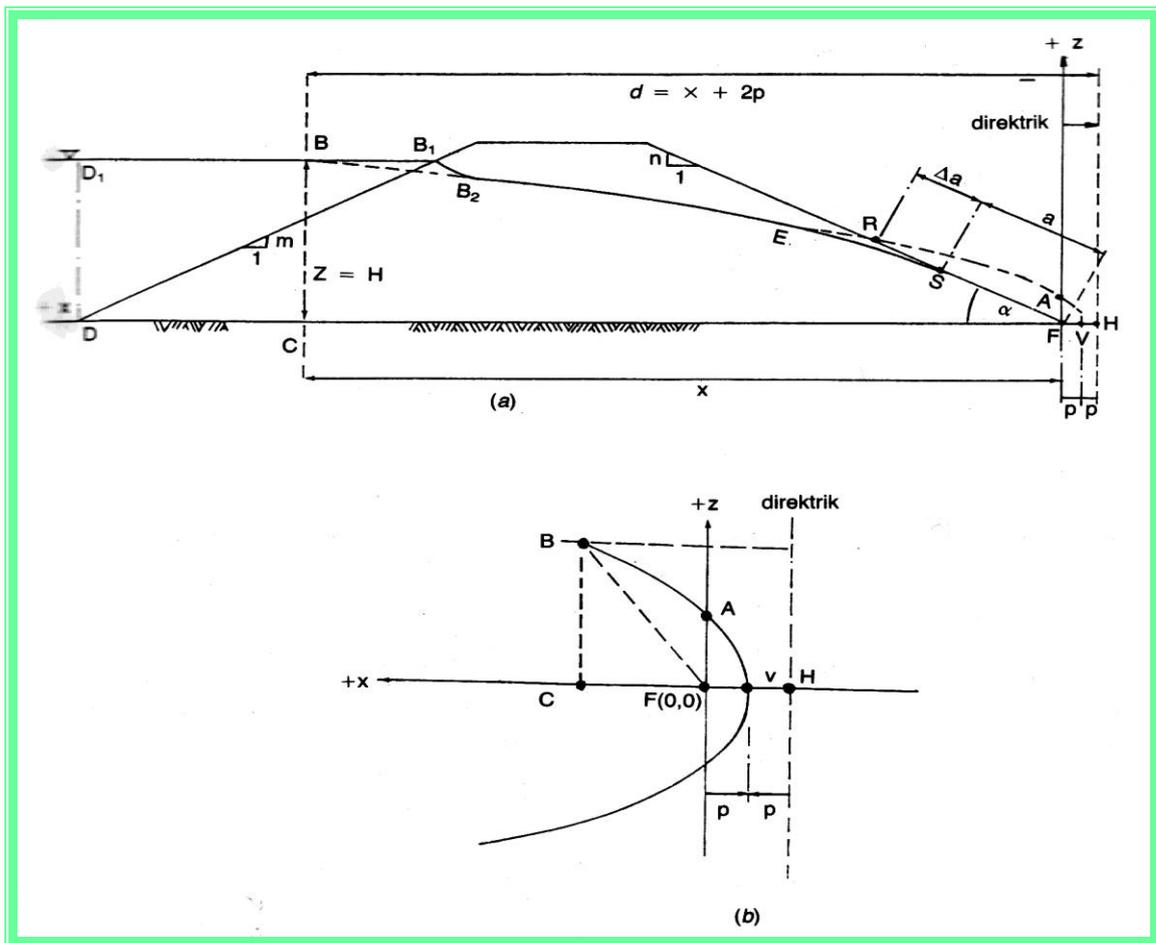
besarnya debit rembesan dapat ditentukan dengan persamaan

$$q = ka \sin^2 \alpha \dots\dots\dots(2.8.10)$$

2.8.2 Penggambaran Garis Rembesan Secara Grafis

Jika bentuk dan posisi garis rembesan paling atas B_1B_2ES pada potongan melintang bendungan diketahui, besarnya rembesan air dapat dihitung. Bentuk garis rembesan kecuali dapat ditentukan secara analitis, dapat juga ditentukan secara grafis atau dari pengamatan laboratorium dari sebuah model bendungan sebagai prototype, ataupun juga secara analogi elektrik.

Seperti pada penjelasan sebelumnya bahwa pengamatan meunjukkan bahwa garis rembesan yang melalui bendungan berbentuk kurva parabolis. Akan tetapi, penyimpangan kurva terjadi pada daerah hulu dan hilirnya. Bentuk parabola rembesan BB_2ERAV disebut juga parabola dasar. Penggambaran secara grafis didasarkan pada sifat khusus dari kurva parabola. Untuk itu harus diketahui satu titik pada parabola (titik B) dan posisi fokus F dari parabolanya. Menurut Cassagrande, letak titik B (x, z) dengan $z = H$ adalah pada permukaan air di hulu bendungan dengan jarak 0,3 kali B_1D_1 diihitung dari titik B_1 atau $BB_1 = 0,3 D_1B_1$.



Gambar 2. 21 Parabola rembesan secara grafis (Casagrande, 1932)

(sumber: Cristady, Hady: 1992)

Posisi fokus F dari parabola biasanya dipilih pada perpotongan batas terendah garis aliran (yang dalam hal ini adalah garis horizontal) dan permukaannya. Perlu diperhatikan bahwa sebelum parabola dapat digambarkan, parameter p harus diketahui terlebih dahulu. Dari geometri gambar

$$FV = HV = p \dots \dots \dots (2.8.11)$$

dan,

$$HC = 2p + x \dots \dots \dots (2.8.12)$$

jadi,

$$\sqrt{(x^2 + z^2)} = x + 2p \dots \dots \dots (2.8.13)$$

dan



$$p = \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{(x^2 + z^2)} - x \right\} \dots \dots \dots (2.8.14)$$

Pada $x = d$ dan $z = H$, maka

$$p = \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{(d^2 + H^2)} - d \right\} \dots \dots \dots (2.8.15)$$

Dari persamaan 2.7.15, p dapat dihitung. Untuk menggambar parabola dasar, persamaan dapat diubah menjadi

$$x = \frac{z^2 - 4p^2}{4p} \dots \dots \dots (2.8.16)$$

Dengan p yang diketahui nilai x untuk berbagai nilai z dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.8.16).

2.8.3 Penggambaran Parabola Dasar Untuk Kemiringan Hilir $\alpha > 30^\circ$

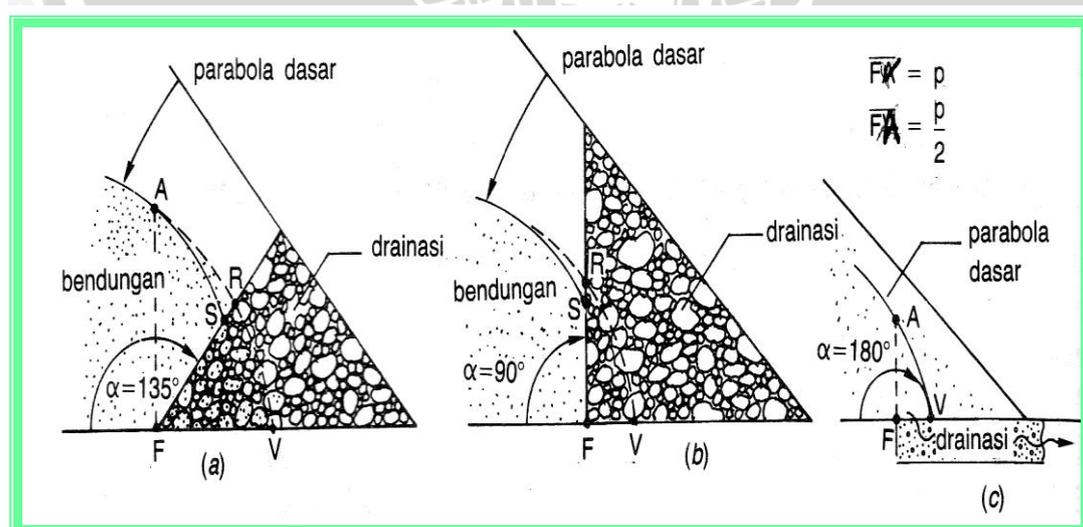
Perpotongan parabola dasar dengan permukaan hilir bendungan titik R (**Gambar 2.22**) dihitung menurut cara A. Casagrande, yaitu sebesar $(a + \Delta a)$ dengan $a = FS$. Perhatikan bahwa panjang Δa adalah panjang SR dengan

$$\frac{RS}{RF} = \frac{\Delta a}{a + \Delta a} = c \dots \dots \dots (2.8.17)$$

adalah fungsi dari α , dimana α adalah sudut kemiringan bendungan bagian hilir.

$$\overline{FA} = p; \overline{FV} = p/2 \dots \dots \dots (2.8.18)$$

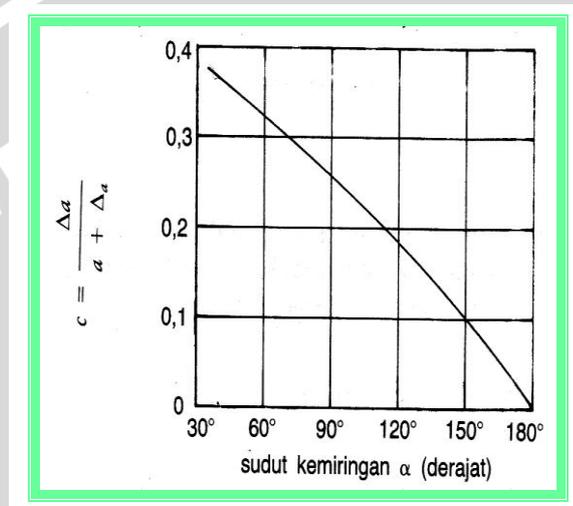
$$\overline{FS} = a; \overline{SR} = \Delta a \dots \dots \dots (2.8.19)$$



Gambar 2. 22 Kemiringan sudut dengan variasi drainasinya

(sumber: Cristady, Hady: 1992)

Pada bendungan yang terlihat pada **Gambar 2.22**, air dapat keluar melalui sisi luar bagian hilir bendungannya. Bila di bagian hilir dibangun sistem drainasi pada kaki bendungannya, seperti yang diperlihatkan pada gambar, maka besarnya sudut kemiringan seperti yang diperlihatkan dalam **Gambar 2.22 (a) dan 2.22 (b)** di bawah α dari permukaan air keluar berturut – turut akan sama dengan 90° dan 135° . Bila bangunan drainasi seperti pada **Gambar 2.22 (c)**, sudut kemiringan α dari permukaan air keluar adalah 180° . Sudut kemiringan diukur menurut arah jarum jam. Perhatikan bahwa titik F adalah fokus dari parabolanya.



Gambar 2. 23 Grafik nilai c (Casagrande, 1937)
(sumber: Cristady, Hady: 1992)

Nilai c untuk berbagai macam α diberikan oleh Casagrande untuk sembarang kemiringan α dari 30° sampai 180° . Dengan diketahuinya sudut α yang berasal dari gambar penampang potongan bendungan, nilai c dapat ditentukan dari **Gambar 2.23**.

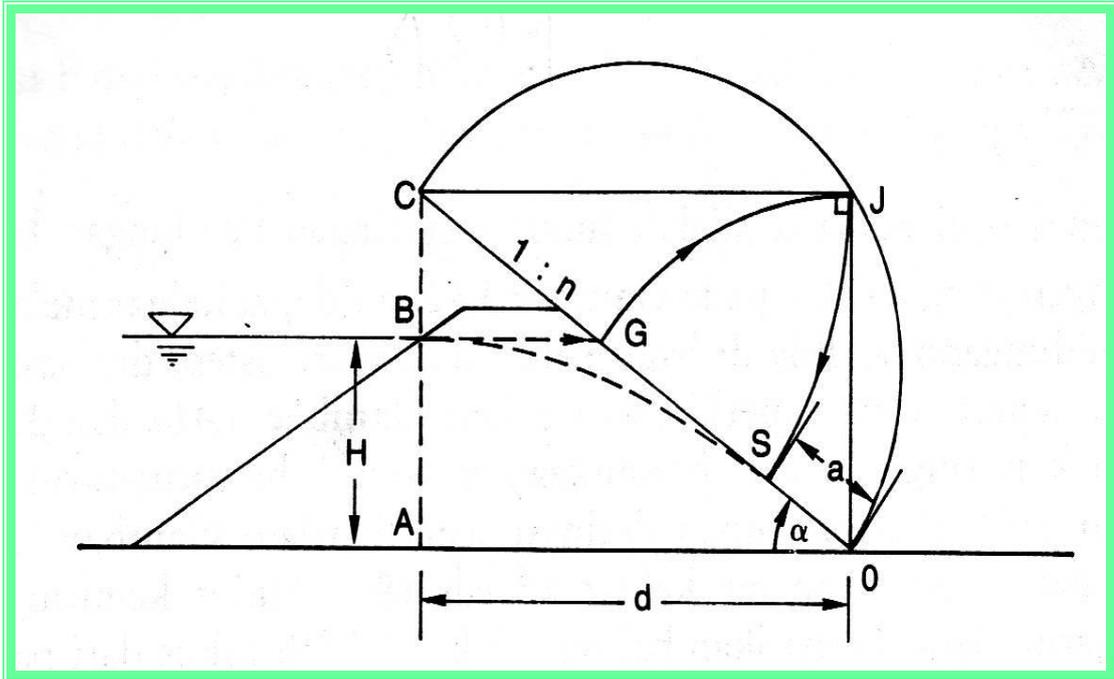
Adapun persamaan untuk menghitung besarnya Δa adalah

$$\Delta a = (a + \Delta a) c \dots \dots \dots (2.8.20)$$

Dari nilai Δa ini, kemudian dapat ditentukan posisi titik S , dimana tinggi ordinat $S = h$.

2.8.4 Penggambaran Parabola Dasar Untuk Kemiringan Hilir $\square \square < 30^\circ$

Posisi titik S dapat ditentukan secara grafis yang didasarkan pada persamaan (2.7.16) . Prosedur grafis Schafferank untuk menentukan panjang a adalah sebagai berikut (**Gambar 2.24**) :



Gambar 2. 24 Penggambaran parabola rembesan untuk $\alpha < 30^\circ$

(Sumber : Christady, Hady; 1992)

1. Gambarkan kemiringan hilir bendungan ke arah atas
2. Gambarkan garis vertikal AC lewat titik B
3. Gambarkan setengah lingkaran OJC dengan diameter OC
4. Gambarkan garis horizontal BG
5. Dengan O sebagai pusat dan OG sebagai jari – jari, gambar bagian lingkaran GJ
6. Dengan C sebagai pusat dan CJ sebagai jari – jari, gambar bagian lingkaran JS
7. Ukur panjang OS yang merupakan panjang a

BAB II	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tanah	4
2.1.1 Klasifikasi Tanah	4
2.1.2 Indeks Plastisitas (Plasticity Index)	7
2.1.3 Kekuatan Geser Tanah (Shear Strenght)	8
2.1.4 Kemampatan Dan Konsolidasi Tanah	10
2.1.5 Permeabilitas Tanah	12
2.1.6 Pemadatan Tanah (Compaction of Soil)	12
2.2 Lereng	14
2.3 Definisi Longsor	15
2.3.1 Pengertian lonsor	15
2.3.2 Klasifikasi Longsor	16
2.4 Konsepsi Kestabilan Lereng	18
2.5 Analisa Stabilitas Lereng	20
2.5.1 Analisa Stabilitas Lereng Tak Terbatas (Infinite Slope)	20
2.5.2 Analisa Stabilitas Lereng Terbatas (Finite Slope)	21
2.6 Angka Keamanan	29
2.7 Pengaruh Gempa	31
2.8 Rembesan pada Struktur Embung	32
2.8.1 Metode A. Casagrande	33
2.8.2 Penggambaran Garis Rembesan Secara Grafis	35
2.8.3 Penggambaran Parabola Dasar Untuk Kemiringan Hilir $\alpha > 30^\circ$	37
2.8.4 Penggambaran Parabola Dasar Untuk Kemiringan Hilir $\alpha < 30^\circ$	38
Tabel 2. 1 Klasifikasi AASHTO	6
Tabel 2. 2 Klasifikasi Unified	7
Tabel 2. 3 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah (Jumikis,1962)	8
Tabel 2. 4 Cara Analisis Kestabilan Lereng	20
Tabel 2. 5 Faktor aman minimum untuk bendungan urugan (Lambe dan itman 1969dan Sherad et al., 1963)	30
Gambar 2. 1 Kriteria kegagalan Mohr dan Coloumb	9
Gambar 2. 2 Perubahan dalam Struktur Butiran	10
Gambar 2. 3 Air didalam tanah	12
Gambar 2. 4 Pemadatan Tanah Mencapai Titik OMC	13
Gambar 2. 5 Kekuatan tanah yang dipadatkan	14
Gambar 2. 6 Bidang longsor berbentuk datar	15
Gambar 2. 7 Bidang longsor berbentuk lingkaran	16
Gambar 2. 8 Kekuatan geser tanah/batuan	19
Gambar 2. 9 Keseimbangan benda pada bidang miring	19
Gambar 2. 10 Analisisa stabilitas lereng tak terhingga	21
Gambar 2. 11 Analisa Stabilitas Lereng Dengan Bidang Keruntuhan Datar	22
Gambar 2. 12 Sketsa Sederhana Analisa Stabilitas Lereng Metode <i>Janbu</i>	24
Gambar 2. 13 Metode <i>Janbu</i> yang disederhanakan;	24
Gambar 2. 14 Sketsa sederhana analisis stabilitas lereng metode <i>Fellenius</i>	27
Gambar 2. 15 Irisan untuk analisis stabilitas lereng metode <i>Fellenius</i>	28
Gambar 2. 16 Contoh kontur faktor aman	30

Gambar 2. 17	Peta Zonasi Gempa Indonesia	32
Gambar 2. 18	Analisa stabilitas lereng tanah tanpa pengaruh rembesan	33
Gambar 2. 19	Analisa stabilitas lereng tanah dengan pengaruh rembesan	33
Gambar 2. 20	Hitungan rembesan cara <i>Cassagrande</i>	34
Gambar 2. 21	Parabola rembesan secara grafis (<i>Casagrande</i> , 1932)	36
Gambar 2. 22	Kemiringan sudut dengan variasi drainasinya	37
Gambar 2. 23	Grafik nilai <i>c</i> (<i>Casagrande</i> , 1937)	38
Gambar 2. 24	Penggambaran parabola rembesan untuk $\alpha < 30^\circ$	39

