

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Embung

1. Definisi Embung

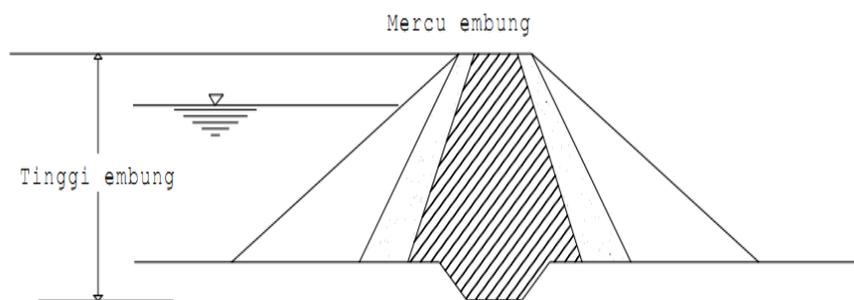
Embung adalah bangunan konservasi air berbentuk kolam untuk menampung air hujan dan air limpasan serta sumber air lainnya untuk mendukung usaha pertanian, perkebunan dan peternakan terutama pada saat musim kemarau. Embung merupakan cekungan yang dalam di suatu daerah perbukitan. Air embung berasal dari limpasan air hujan yang jatuh di daerah tangkapan. Embung adalah bangunan penyimpan air yang dibangun di daerah depresi, biasanya di luar sungai.

Tujuan pembuatan embung adalah:

1. Menyediakan air untuk pengairan tanaman di musim kemarau.
2. Meningkatkan produktivitas lahan, masa pola tanam dan pendapatan petani di lahan tadah hujan.
3. Mengaktifkan tenaga kerja petani pada musim kemarau sehingga mengurangi urbanisasi dari desa ke kota.
4. Mencegah/mengurangi luapan air di musim hujan dan menekan resiko banjir.

2. Tinggi Embung

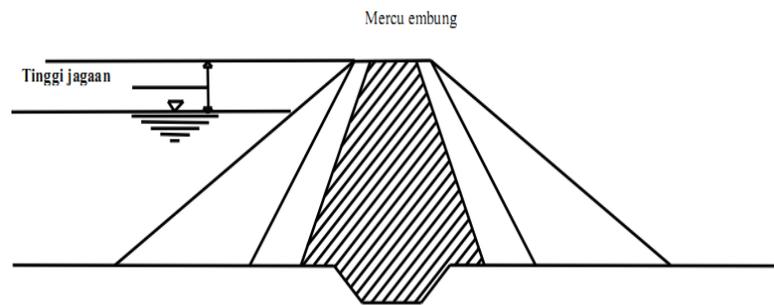
Tinggi embung adalah perbedaan antara elevasi permukaan pondasi dan elevasi mercu embung. Apabila pada embung dasar dinding kedap air atau zona kedap air, maka yang dianggap permukaan pondasi adalah garis perpotongan antara bidang vertikal yang melalui hulu mercu embung dengan permukaan pondasi alas embung tersebut. Tinggi maksimal untuk embung adalah 20 m (Loebis, 1984).



Gambar 1. Tinggi Embung

3. Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan adalah perbedaan antara elevasi permukaan maksimum rencana air dalam embung dan elevasi mercu embung. Elevasi permukaan air maksimum rencana biasanya merupakan elevasi banjir rencana embung.



Gambar 2. Tinggi Jagaan pada Meru Embung

Tinggi jagaan dimaksudkan untuk menghindari terjadinya peristiwa pelimpasan air melewati puncak bendungan sebagai akibat diantaranya dari:

- a. Debit banjir yang masuk embung.
- b. Gelombang akibat angin.
- c. Pengaruh pelongsoran tebing-tebing di sekeliling embung.
- d. Gempa.
- e. Penurunan tubuh bendungan.
- f. Kesalahan di dalam pengoperasian pintu.

Tabel 1. Tinggi jagaan tubuh embung

Tipe tubuh embug	Tinggi Jagaan (m)	Sketsa penjelasan
1. Urugan homogen dan majemuk	0,50	
2. Pasangan batu/beton	0,00	
3. Komposit	0,50	

Sumber : *Kriteria Desain Embung, 1994*

Tinggi jagaan adalah jarak vertikal antara puncak bendungan dengan permukaan air reservoir. Tinggi jagaan normal diperoleh sebagai perbedaan antara elevasi puncak bendungan dengan elevasi tinggi muka air normal di embung. Tinggi jagaan minimum diperoleh sebagai perbedaan antara elevasi puncak bendungan dengan elevasi tinggi muka air maksimum di reservoir yang disebabkan oleh debit banjir rencana saat pelimpah bekerja normal. Tinggi tambahan adalah sebagai perbedaan antara tinggi jagaan normal dengan tinggi jagaan minimum.

4. Lebar Mercu

Lebar mercu embung yang memadai diperlukan agar puncak embung dapat tahan terhadap hempasan ombak dan dapat tahan terhadap aliran filtrasi yang melalui mercu tubuh embung. Disamping itu, pada penentuan lebar mercu perlu diperhatikan kegunaannya sebagai jalan inspeksi dan pemeliharaan embung.

5. Panjang Embung

Yang dimaksud dengan panjang embung adalah seluruh panjang mercu embung yang bersangkutan, termasuk bagian yang digali pada tebing-tebing sungai di kedua ujung mercu tersebut. Apabila bangunan pelimpah atau bangunan penyadap terdapat pada ujung-ujung mercu, maka lebar bangunan-bangunan pelimpah tersebut diperhitungkan pula dalam menentukan panjang embung (Sosrodarsono, 1989).

6. Volume Embung

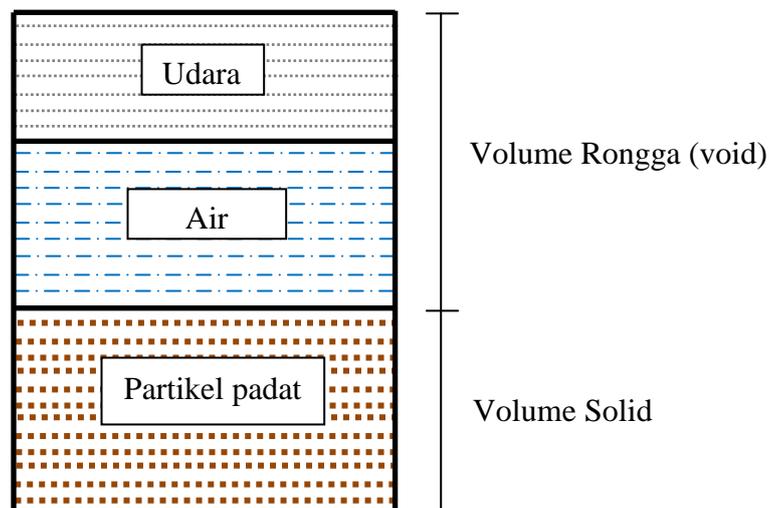
Seluruh jumlah volume konstruksi yang dibuat dalam rangka pembangunan tubuh embung termasuk semua bangunan pelengkapanya dianggap sebagai volume embung.

B. Tanah

1. Definisi Tanah

Braja M. Das mendefinisikan tanah sebagai material 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 di antara partikel-partikel padat tersebut.

Tanah terdiri dari tiga fase elemen yaitu: Udara, Air dan Partikel padat. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 3. Diagram Fase Tanah

Tanah terdiri dari tiga komponen yaitu udara, air dan bahan padat (Gambar. 3). Udara dianggap tak mempunyai pengaruh teknis sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang di antara butiran-butiran (ruang ini disebut pori atau voids) sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Bila rongga tersebut terisi air seluruhnya tanah dikatakan dalam kondisi jenuh. Sehingga jika beban diterapkan pada tanah kohesif yang jenuh maka pertama kali beban tersebut akan didukung oleh tekanan air dalam rongga pori tanahnya. Pada kondisi ini butiran-butiran lempung tidak dapat mendekat satu sama lain untuk meningkatkan tahanan geser selama pori di dalam rongga pori tidak keluar meninggalkan rongga tersebut. Karena rongga pori tanah lempung sangat kecil, keluarnya air pori meninggalkan rongga pori memerlukan waktu yang lama.

Jika sesudah waktu yang lama setelah air dalam rongga pori berkurang butiran-butiran lempung dapat mendekat satu sama lain sehingga tahanan geser tanahnya meningkat. Masalah ini tak dijumpai pada tanah granuler yang rongga porinya relatif besar karena sewaktu beban diterapkan air langsung keluar dari rongga pori dan butiran dapat mendekat satu sama lain yang mengakibatkan tekanan gesernya langsung meningkat.

Menurut Bowles (1991), tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

- a) Berangkal (*Boulders*), yaitu potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 sampai 300 mm. Untuk kisaran ukuran 150

sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (cobble) atau pebbes.

- b) Kerikil (*gravel*), yaitu partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
- c) Pasir (*sand*), yaitu batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm. Berkisar dari kasar (3 sampai 5 mm) sampai halus (< 1mm).
- d) Lanau (*silt*), yaitu partikel batuan yang berukuran dari 0,002 sampai 0,074 mm.
- e) Lempung (*clay*), yaitu partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesif pada tanah yang “kohesif”.

2. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk menentukan dan mengidentifikasi tanah berdasarkan pada sifat-sifat indeks tanah. Sistem klasifikasi bukan merupakan sistem identifikasi untuk menentukan sifat-sifat mekanis dan geoteknis tanah. Karenanya, klasifikasi tanah bukanlah satu-satunya cara yang digunakan sebagai dasar untuk perencanaan dan perancangan konstruksi.

Sistem klasifikasi tanah dibuat pada dasarnya untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisis tanah. Karena variasi sifat dan perilaku tanah yang begitu beragam, sistem klasifikasi secara umum mengelompokkan tanah ke dalam kategori yang umum dimana tanah memiliki kesamaan sifat fisis. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi dan sebagainya (Bowles, 1989).

2.1 Sistem Klasifikasi Unified (*Unified Soil Classification System /USCS*)

Klasifikasi tanah sistem ini diajukan pertama kali oleh Casagrande (1942) dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) pada tahun 1952.

Dalam sistem ini, tanah dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori yaitu:

- a) Tanah berbutir kasar, < 50% lolos saringan No. 200
- b) Tanah berbutir halus, > 50% lolos saringan No. 200

Klasifikasi tanah berbutir halus membutuhkan bagan plastisitas atau bagan A seperti terlihat pada Tabel 1. Setiap tanah dikelompokkan sesuai dengan koordinat indeks plastisitas dan batas cairnya. Tanah berbutir ini dibagi menjadi lanau (M). Lempung Anorganik (C) dan Tanah Organik (O) tergantung bagaimana tanah itu terletak pada grafik plastisitas.

Tujuan klasifikasi tanah adalah :

1. untuk menentukan dan mengidentifikasi tanah,
2. untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, dan
3. untuk menyampaikan informasi mengenai keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk suatu data dasar.

Tabel 2. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*

Devisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	
Tanah Berbutir Kasar (Lebih dari 50% butiran tertahan pada saringan no. 200)	Kerikil Lebih dari 50% fraksi kasar tertahan pada saringan no. 4	Kerikil Bersih	GW	Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	GP	Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikil pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Pasir Lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4	Pasir Bersih	SW	Pasir bergradasi baik dan pasir bekerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SP	Pasir bergradasi buruk dan pasir bekerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung

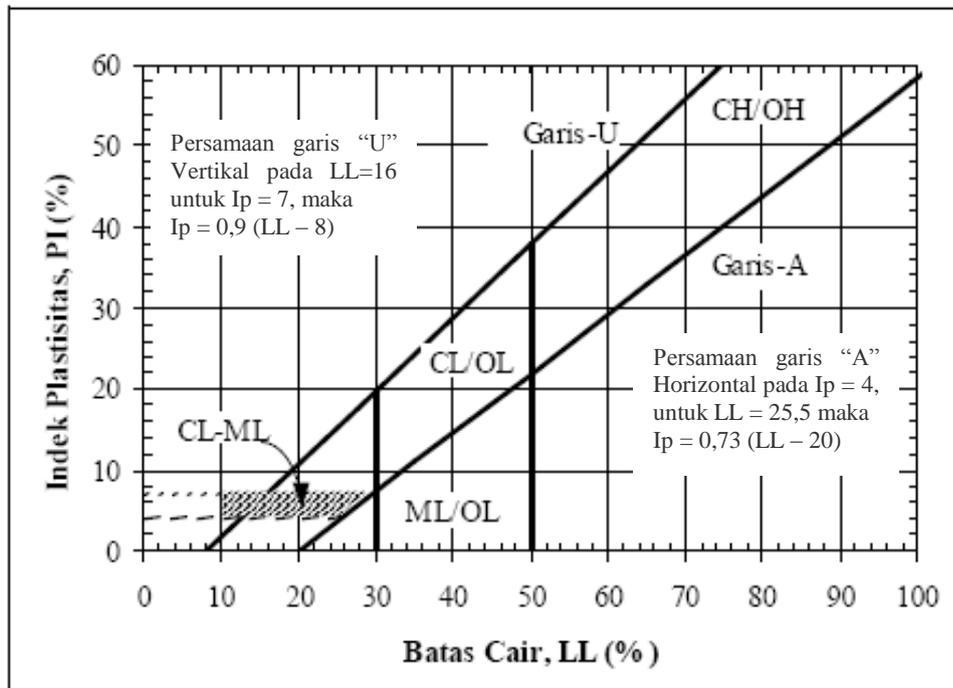
Sumber : DAS, 1993.

Tabel 2. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified* (lanjutan)

Devisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis
Tanah Berbutir Halus (Lebih dari 50% butiran lolos saringan no. 200)	Lanau dan Lempung (Batas cair 50% atau kurang)	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah s.d sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus
		OL	Lempung organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah
	Lanau dan Lempung (Batas cair lebih dari 50%)	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi
Tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		Pt	Peat (gambut), muck (rawa) dan jenis tanah organik tinggi yang lain

	Kriteria Klasifikasi	
Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 GW, GP, SW, SP Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 GM, GC, SM, SC 5% sampai 12% lolos ayakan No. 200 Klasifikasi perbatasan yang memerlukan simbol ganda	$C_U = D_{60}/D_{10}$ lebih besar dari 4	
	$C_c = (D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$ diantara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi semua syarat untuk GW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Di atas garis A dengan IP antara 4 dan 7 merupakan kasus antara yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$	
	$C_U = D_{60}/D_{10}$ lebih besar dari 6	
	$C_c = (D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$ diantara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi semua syarat untuk SW	
Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Di atas garis A dengan IP antara 4 dan 7 merupakan kasus antara yang membutuhkan simbol ganda	
Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$		

Sumber : DAS, 1993



Sumber : Bowles, 1991

Gambar 4. Grafik Plastisitas

3. Sifat-sifat fisik Tanah

3.1. Kadar Air (*Water Content*)

Kadar air suatu tanah adalah perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah tersebut. Kadar air tanah dapat digunakan untuk menghitung parameter sifat-sifat tanah. Besarnya kadar air dinyatakan dalam persen.

$$\text{Kadar Air } \omega = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100\% \dots\dots\dots (2.01)$$

dimana :

W_1 = berat cawan + tanah basah (gram)

W_2 = berat cawan + tanah kering (gram)

W_3 = berat cawan kosong (gram)

$W_1 - W_2$ = berat air (gram)

$W_1 - W_3$ = berat tanah kering (gram).

3.2. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis tanah adalah nilai perbandingan antara berat volume butiran padat dengan berat volume air pada suhu 4°C.

Berat jenis tanah diperoleh dengan melakukan pengujian dilaboratorium dan dihitung dengan menggunakan rumus :

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \dots\dots\dots(2.02)$$

dimana :

G_s = berat jenis

W_1 = berat piknometer (gram)

W_2 = berat piknometer + tanah kering (gram)

W_3 = berat piknometer + tanah + Air (gram)

W_4 = berat piknometer + air (gram).

3.3. Batas Atterberg

Konsistensi tanah dinyatakan dengan batas cair dan plastis (disebut juga batas Atterberg). Kadar air minimum dimana sifat suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi plastis disebut sebagai batas cair suatu tanah. Atterberg (1991) dalam Darmastuti (2005) memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar airnya, yaitu :

3.3.1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (*Liquid Limit*) adalah batas atas dari rentang kadar air dimana tanah masih bersifat plastis atau dapat dikatakan sebagai batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari pengujian Cassagrande. Batas cair merupakan kadar air tanah dalam persen berat kering.

$$LL = \frac{w_1 - w_2}{P \log \frac{N_2}{N_1}} \dots\dots\dots (2.03)$$

Dimana : W = Kadar air (%)

 N = Jumlah pukulan

3.3.2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL) merupakan batas bawah daerah plastis dimana kadar air tanah pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air tanah dengan diameter silinder 3.2 mm mulai retak-retak bila digulung.

$$LI = \frac{\omega - PL}{PI} \dots\dots\dots (2.04)$$

Dimana : LI = Liquidity Indeks

ω = Kadar Air (%)

PI = Plastic Indeks

PL = Batas Plastis

3.3.3. Indeks Plastisitas (Plasticity Index)

Indeks plastisitas (IP) adalah selisih dari batas cair dan batas plastis. Jika tanah mempunyai kadar interval air daerah plastis yang kecil, maka keadaan ini disebut tanah kurus. Sebaliknya, jika tanah mempunyai kadar interval air daerah plastis yang besar disebut tanah gemuk (Bowles, 1989 dalam Darmastuti, 2005).

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots (2.05)$$

Dimana : PI = Plastic Indeks

LL = Liquid Limit

PL = Batas Plastis

Index plastisitas (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah.

3.3.4. Analisis Saringan (*Sieve Analysis*)

Analisis saringan adalah penentuan persentase berat butiran tanah yang lolos dari satu set saringan. Analisis saringan digunakan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) tanah dengan tujuan untuk

memperoleh distribusi besarnya. Hasil dari analisis saringan dapat digunakan antara lain untuk penyelidikan quarry agregat, untuk perencanaan campuran dan pengendalian mutu.

$$P_i = \frac{W_{bi} - W_{ci}}{W_{tot}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.06)$$

Dimana : P_i = Berat tanah yang tertahan disaringan (%)

W_{bi} = Berat saringan dan sampel (gram)

W_{ci} = Berat saringan (gram)

W_{tot} = Berat total sampel (gram)

C. Kekuatan Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Keruntuhan geser (shear failure) dalam tanah adalah akibat gerak relatif antara butirnya, bukanlah karena butirnya sendiri yang hancur. Oleh karena itu kekuatan tanah tergantung kepada gaya-gaya yang bekerja antara butirnya. Pada peristiwa kelongsoran suatu lereng berarti telah terjadi pergeseran dalam butir-butir tanah tersebut.

Menurut Mohr (1910) keruntuhan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi tersebut dinyatakan ;

$$\tau = f(\sigma) \dots\dots\dots (2.07)$$

dengan ;

τ = tegangan geser (kN/m²)

σ = tegangan normal (kN/m²)

Bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh ;

- Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya
- Gesekan antar butir – butir tanah

Coulomb (1776) mendefinisikan ;

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \dots\dots\dots$$

(2.08)

dengan ;

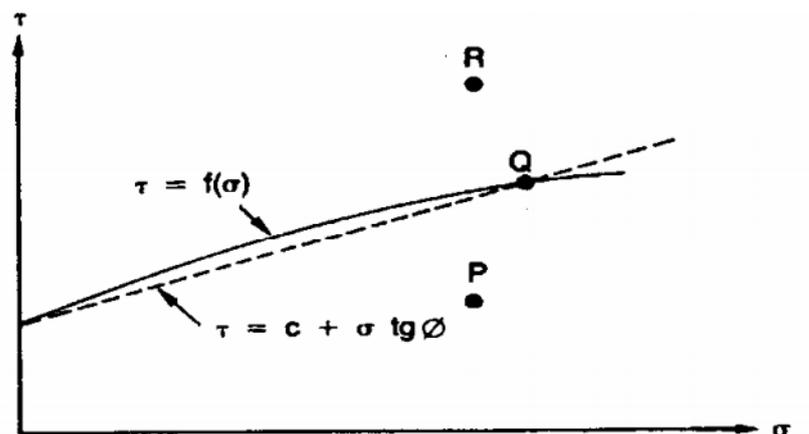
τ = kuat geser tanah (kN/m²)

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

c = kohesi tanah (kN/m²)

ϕ = sudut gesek dalam tanah (derajat)

Kriteria kegagalan Mohr – Coulomb



Gambar 5. Kriteria kegagalan Mohr-Coulomb

Kriteria keruntuhan / kegagalan Mohr-Coulomb digambarkan dalam bentuk garis lurus. Jika kedudukan tegangan baru mencapai titik P, keruntuhan tidak

akan terjadi. Pada titik Q terjadi keruntuhan karena titik tersebut terletak tepat pada garis kegagalan. Titik R tidak akan pernah dicapai, karena sebelum mencapai titik R sudah terjadi keruntuhan.

Terzaghi (1925) mengubah persamaan Coulomb dalam bentuk efektif karena tanah sangat dipengaruhi oleh tekanan air pori.

$$\tau = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \quad \text{karena } \sigma' = \sigma - u \dots\dots\dots$$

(2.09)

maka persamaan menjadi ;

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

(2.10)

dengan ;

τ = tegangan geser (kN/m²)

σ' = tegangan normal efektif (kN/m²)

c' = kohesi tanah efektif (kN/m²)

ϕ' = sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)

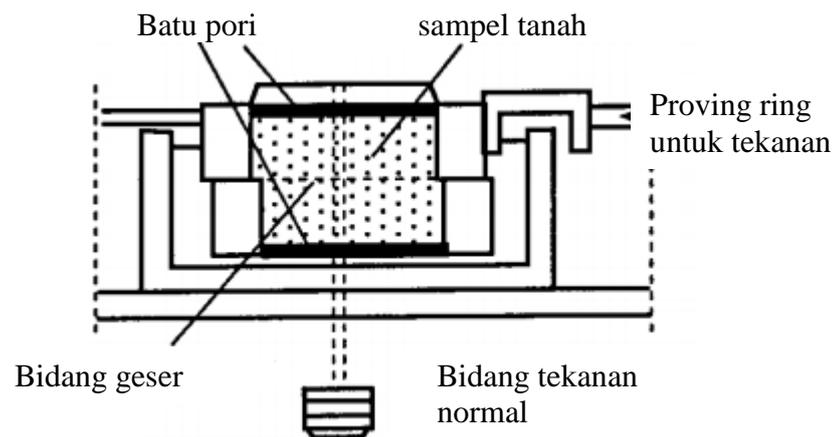
4. Uji Kuat Geser Tanah

Parameter kuat geser tanah ditentukan dengan uji laboratorium terhadap sampel tanah asli (undisturbed), tanah tersebut diambil dengan hati-hati agar tidak berubah kondisinya (kadar air, susunan butiran), karena hal ini bisa berakibat fatal pada sampel.

5. Uji Geser Langsung (Direct Shear Test)

Cara pengujian geser langsung ini terdapat dua cara yaitu, tegangan geser terkendali (*stress controlled*) dan regangan terkendali (*strain controlled*).

Pada pengujian tegangan terkenali, tegangan geser diberikan dengan menambahkan beban mati secara bertahap dan dengan penambahan yang sama besarnya setiap kali sampai runtuh. Keruntuhan akan terjadi sepanjang bidang bagi kotak besi tersebut. Pada uji regangan terkendali, suatu kecepatan gerak mendatar tertentu dilakukan pada bagian belahan atas dari pergerakan geser horizontal tersebut dapat diukur dengan bantuan sebuah arloji ukur horizontal.



Gambar 6. Alat uji geser langsung

D. Stabilitas Lereng

Lereng (*slope*) adalah suatu permukaan tanah yang miring yang membentuk sudut tertentu, terbentuk secara alamiah atau dibentuk oleh manusia untuk tujuan tertentu. Lereng dipengaruhi oleh komponen gravitasi yang cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah, jika komponen gravitasi lebih besar

untuk menggerakkan lereng yang melampaui perlawanan terhadap pergeseran yang dikerahkan tanah pada bidang longsornya maka akan terjadi kelongsoran tanah.

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

Dalam analisis stabilitas lereng, beberapa anggapan dibuat, yaitu:

1. Kelongsoran lereng terjadi disepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi.
2. Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda massif.
3. Tahanan geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
4. Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor. Jadi, kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik-titik tertentu pada bidang longsornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar 1.

Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, atau:

$$F = \frac{\tau}{\tau_d} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan τ adalah tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah, τ_d adalah tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor, dan F adalah faktor aman.

Menurut teori Mohr-Coulomb, tahanan geser (τ) yang dapat dikerahkan oleh tanah, disepanjang bidang longsornya, dinyatakan oleh:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan c = kohesi, σ tegangan normal, dan φ = sudut gesek dalam tanah. Nilai-nilai c dan φ adalah parameter kuat geser tanah disepanjang bidang longsor.

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

$$\tau_d = c_d + \sigma_d \tan \varphi_d \dots\dots\dots (2.13)$$

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

Substitusikan persamaan diperoleh persamaan faktor aman,

$$F = \frac{c + \sigma \tan \varphi}{c_d + \sigma_d \tan \varphi_d} \dots\dots\dots (2.14)$$

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

$$F_c = \frac{c}{c_d} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$F = \frac{tg\varphi}{tg\varphi_d} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan F_c faktor aman pada komponen kohesi dan F_φ = faktor aman pada komponen gesekan. Umumnya faktor aman stabilitas lereng atau faktor aman terhadap kuat geser tanah diambil lebih besar atau sama dengan 1,2.

Secara umum terdapat beberapa data yang dibutuhkan untuk Analisis Stabilitas Lereng pada tubuh embung, yaitu:

1. Sifat material

Sifat material yang diperlukan dalam analisis stabilitas lereng yaitu parameter kekuatan geser dan berat satuan material. Parameter kekuatan geser merupakan sifat material terpenting karena faktor keamanan dinyatakan dalam bentuk perbandingan kekuatan geser yang tersedia dan kekuatan geser yang diperlukan, sehingga penentuan parameter kekuatan geser harus seakurat mungkin. Parameter kekuatan geser terdiri dari komponen kohesi dan sudut geser.

2. Air tanah

Kondisi air tanah merupakan salah satu parameter terpenting dalam analisis kestabilan lereng, karena seringkali terjadi longsoran yang diakibatkan oleh kenaikan tegangan air pori yang berlebih. Tekanan air pori tidak diperlukan apabila dilakukan analisis kestabilan dengan tegangan total. Pada umumnya keberadaan air akan mengurangi kondisi kestabilan lereng yang antara lain karena menurunkan

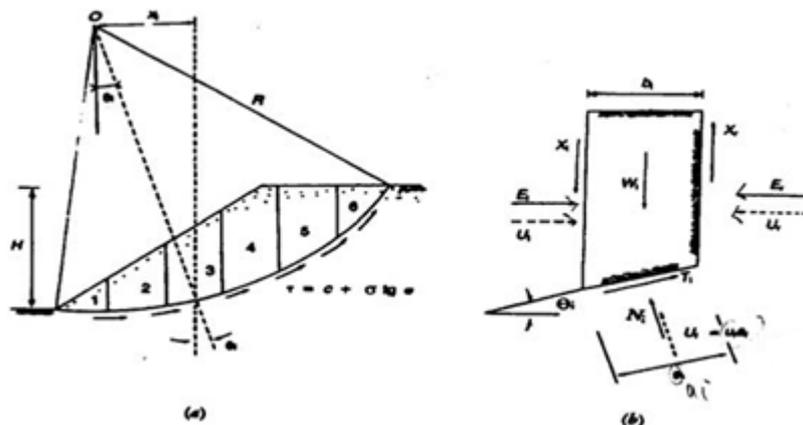
kekuatan geser material sebagai akibat naiknya tekanan air pori, bertambahnya berat satuan material, timbulnya gaya-gaya rembesan yang ditimbulkan oleh pergerakan air.

3. Pembebanan pada lereng

Data diperlukan yaitu gaya-gaya luar yang bekerja pada permukaan lereng, seperti beban statik dari bangunan dan timbunan diatas tanggul. Gaya-gaya luar ini harus dimasukkan dalam perhitungan karena mempunyai efek mengurangi kondisi kestabilan lereng.

4. Geometri lereng

Data geometri tanggul yang diperlukan yaitu data mengenai sudut kemiringan dan tinggi. Analisis stabilitas lereng dengan metode irisan merupakan salah satu metode Analisa kestabilan lereng. Cara analisis ini terdiri dari metode Fellenius dan Bishop disederhanakan. Metode ini menggunakan persyaratan keseimbangan pada potongan yang membentuk lereng tersebut.



Gambar 7. Tipe Irisan

Dimana :

- X_l dan X_r = gaya geser efektif di sepanjang sisi irisan
- E_l dan E_r = gaya normal efektif di sepanjang sisi irisan
- T_i = resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
- N_i = resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
- U_l, U_r = tekanan air pori yang bekerja di kedua sisi irisan
- U_i = tekanan air pori didasar irisan

Analisa stabilitas lereng tidak mudah, karena terdapat faktor – faktor yang mempengaruhi hasil hitungan yaitu sebagai berikut:

1. Kondisi tanah yang berlapis
2. Kuat geser tanah yang isotropis
3. Aliran rembesan air dalam tanah.

Terzaghi (1950) membagi penyebab kelongsoran lereng terdiri dari:

1. Akibat pengaruh dalam (internal effect), yaitu longsor yang terjadi dengan tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi.
2. Akibat pengaruh luar (external effect), yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser tanpa adanya perubahan kuat geser tanah.

Di dekat permukaan tanah, kuat geser tanah berubah dari waktu ke waktu bergantung pada iklim. Beberapa jenis tanah mengembang pada saat musim hujan, dan menyusut pada saat musim kemarau. Pada musim hujan kuat geser tanah ini menjadi sangat rendah dibandingkan dengan musim kemarau.

1. Metode Fellenius

Metode Fellenius (1927) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan dan kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Dengan anggapan ini, keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori. Sehingga faktor aman dapat didefinisikan sebagai:

$$F = \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen berat dari massa tanah yang longsor}}$$

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca_1 + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \operatorname{tg} \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan:

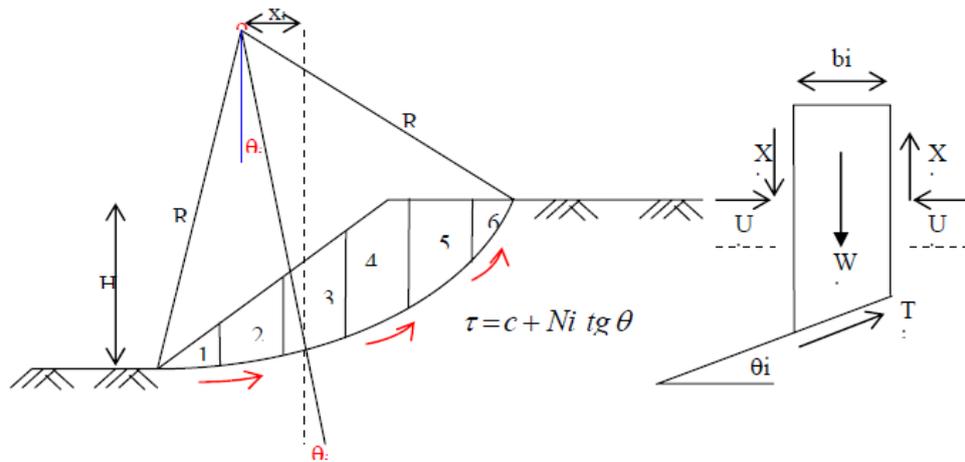
F = Faktor aman

c = Kohesi Tanah (ton/m²)

φ = Sudut gesek dalam tanah (derajat)

a₁ = Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-i (m)

W₁ = Berat irisan tanah ke-i (ton)



Gambar 8. Gaya-gaya dan asumsi bidang pada tiap pias bidang longsor

2. Metode Bishop

Metode Bishop merupakan salah satu metode yang digunakan dalam metode Irisan. Metode ini juga menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal.

Persamaan kuat geser dalam tinjauan tegangan efektif yang dapat dikerahkan, sehingga tercapainya kondisi keseimbangan batas dengan memperhatikan faktor keamanan.

$$F = \frac{1}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \sum_{i=1}^{i=n} (c' b + W_i \tan \varphi') \frac{1}{M} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$M = \cos \theta_i (1 + \tan \theta_i \tan \varphi' / F) \dots\dots\dots (2.19)$$

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c' b + W \operatorname{tg} \varphi) \frac{1}{M}}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c' b + W \operatorname{tg} \varphi) \frac{1}{\cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \varphi' / F)}}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan :

F = Faktor aman

C = Kohesi Tanah (ton/m²)

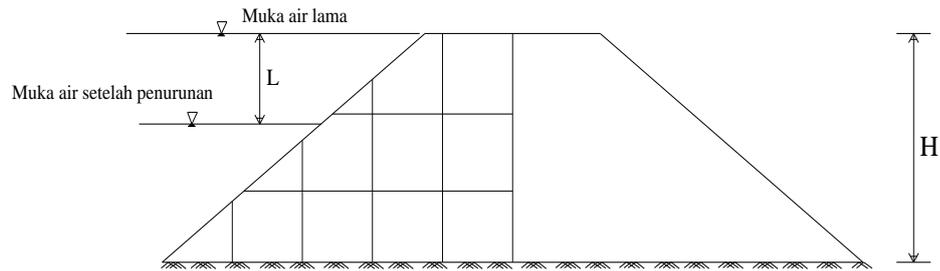
φ = Sudut gesek dalam tanah (derajat)

b = Lebar irisan ke-*i* (m)

W = Berat irisan tanah ke-*i* (ton)

E. Penurunan Muka Air Tiba-tiba.

Penurunan muka air secara tiba-tiba pada embung dapat membahayakan konstruksi tubuh embung itu sendiri. Penurunan muka air tiba-tiba ini biasanya lebih berbahaya dibandingkan dengan kondisi terendam atau tak terendam. Setelah terjadi penurunan muka air maka suatu kombinasi keadaan-keadaan yang berbahaya timbul dimana berat tanah timbunan dari keadaan terendam menjadi keadaan jenuh.



Gambar 9. Penurunan Muka Air

Pada saat sebelum penurunan muka air sejajar dengan puncak bendungan lalu setelah terjadi penurunan turun sedalam L (Gambar 8.). Didalam timbunan masih terjadi tekanan air pori yang besar bersama – sama dengan tegangan efektif terendah antar butir air dari air pori yang keluar lereng bekerja dalam arah gravitasi yang umumnya dapat menyebabkan longsor.

Faktor aman dalam metode Fellenius dan metode Bishop yang digunakan sama dengan perhitungan muka air normal, namun ada beberapa parameter yang berubah antara lain.

- a. Berat Volume (γ), yang semua γ' berubah menjadi γ sat. Sehingga berat beban timbunan menjadi bertambah.
- b. Sudut geser (ϕ), sudut geser menjadi bertambah kecil.

1. Kurva Stabilitas Morganstern

Kurva stabilitas Morganstern didasarkan atas suatu analisa tegangan efektif menggunakan cara potongan. Dalam pemakaian grafik tersebut

menganggap sifat – sifat tanah sama diseluruh timbunan dan seluruh tinggi lereng terendam sebelum terjadi penurunan muka air. Data data yang diperlukan untuk perhitungan dengan diagram ini adalah :

a. Kemiringan Lereng (β)

b. $\frac{c'}{\gamma H}$ (2.22)

Dimana : c' = Kohesi Tanah

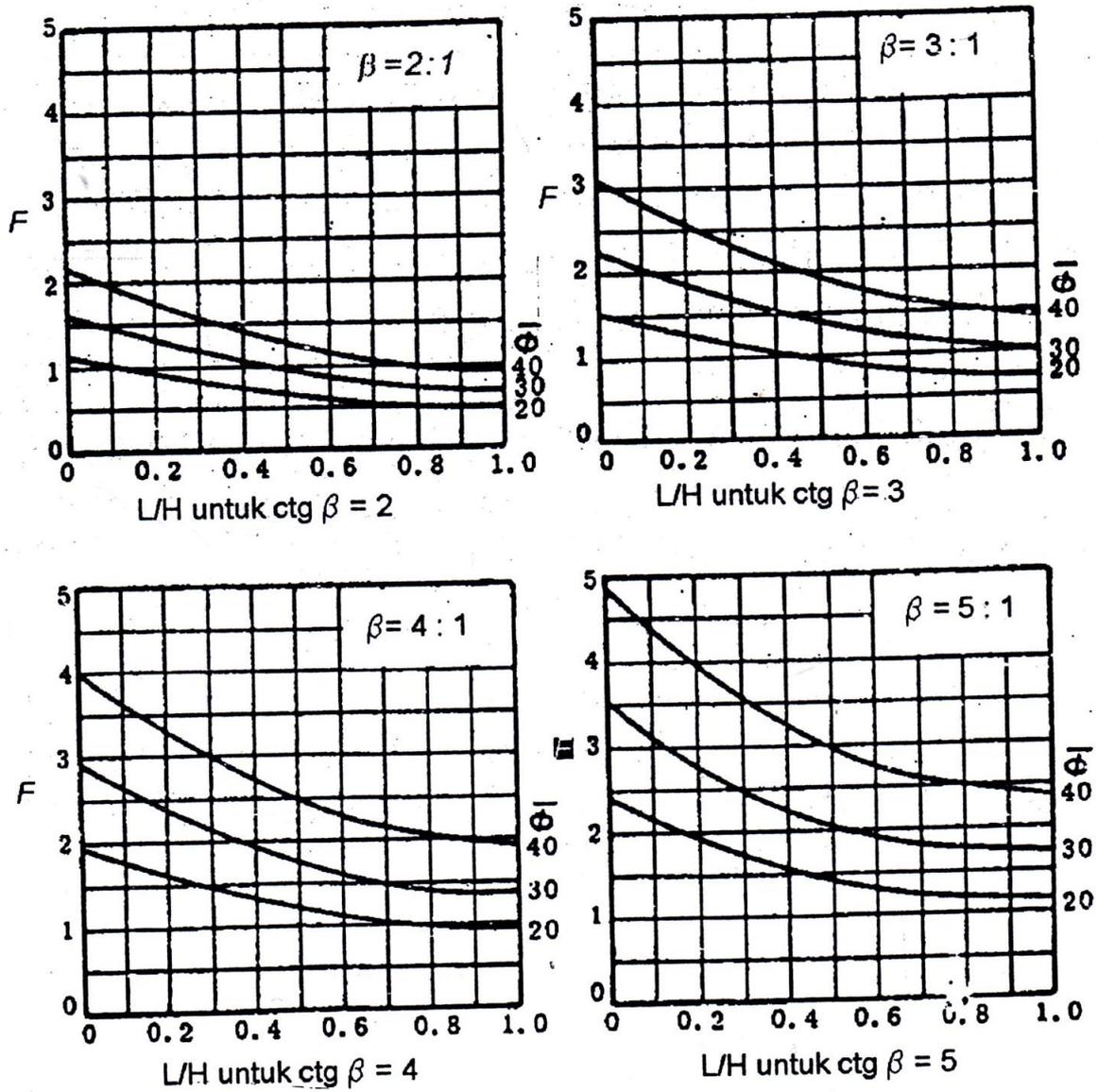
γ = Berat volume

H = Tinggi

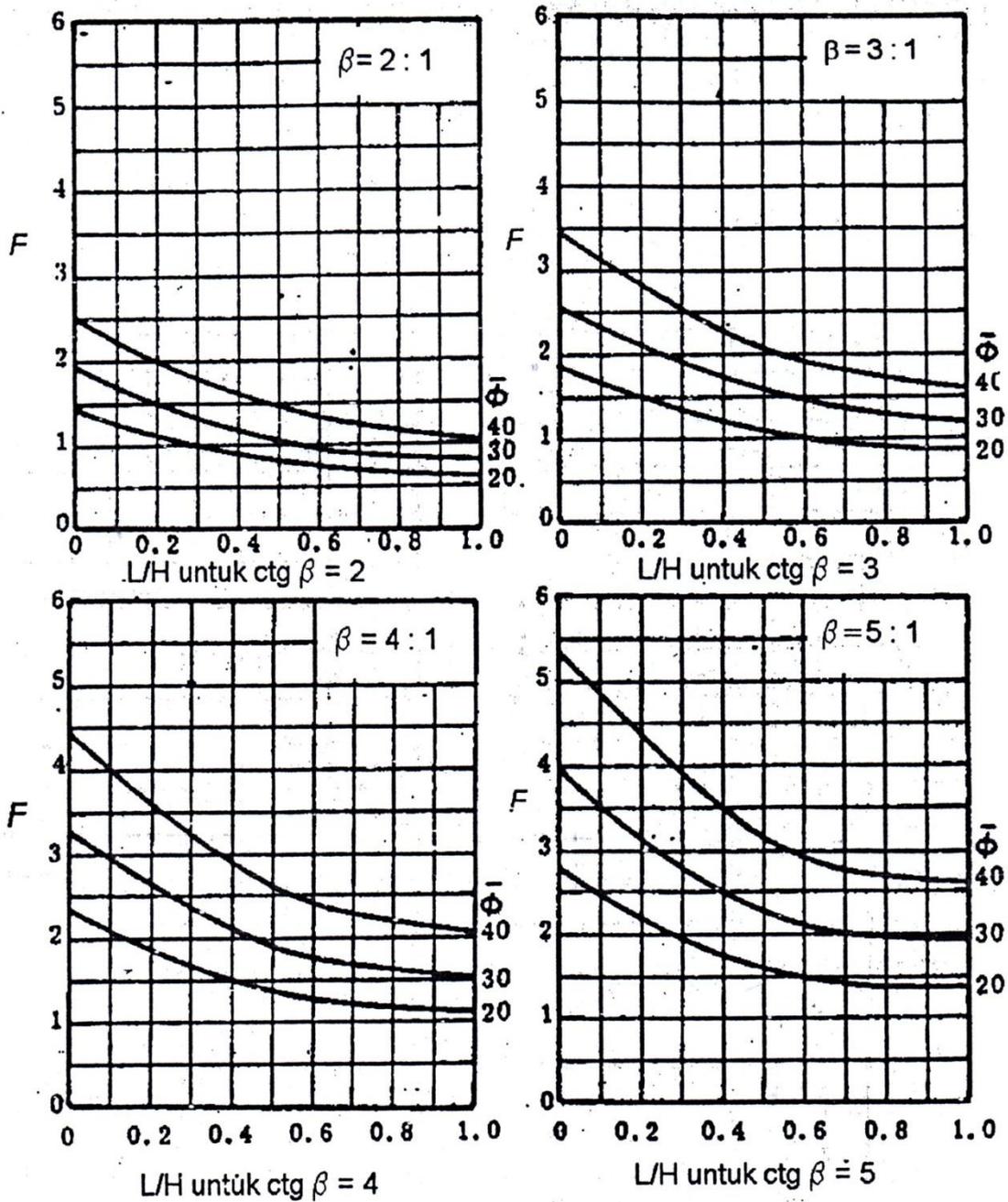
c. L / H (2.23)

Dimana : L = Penurunan Muka Air

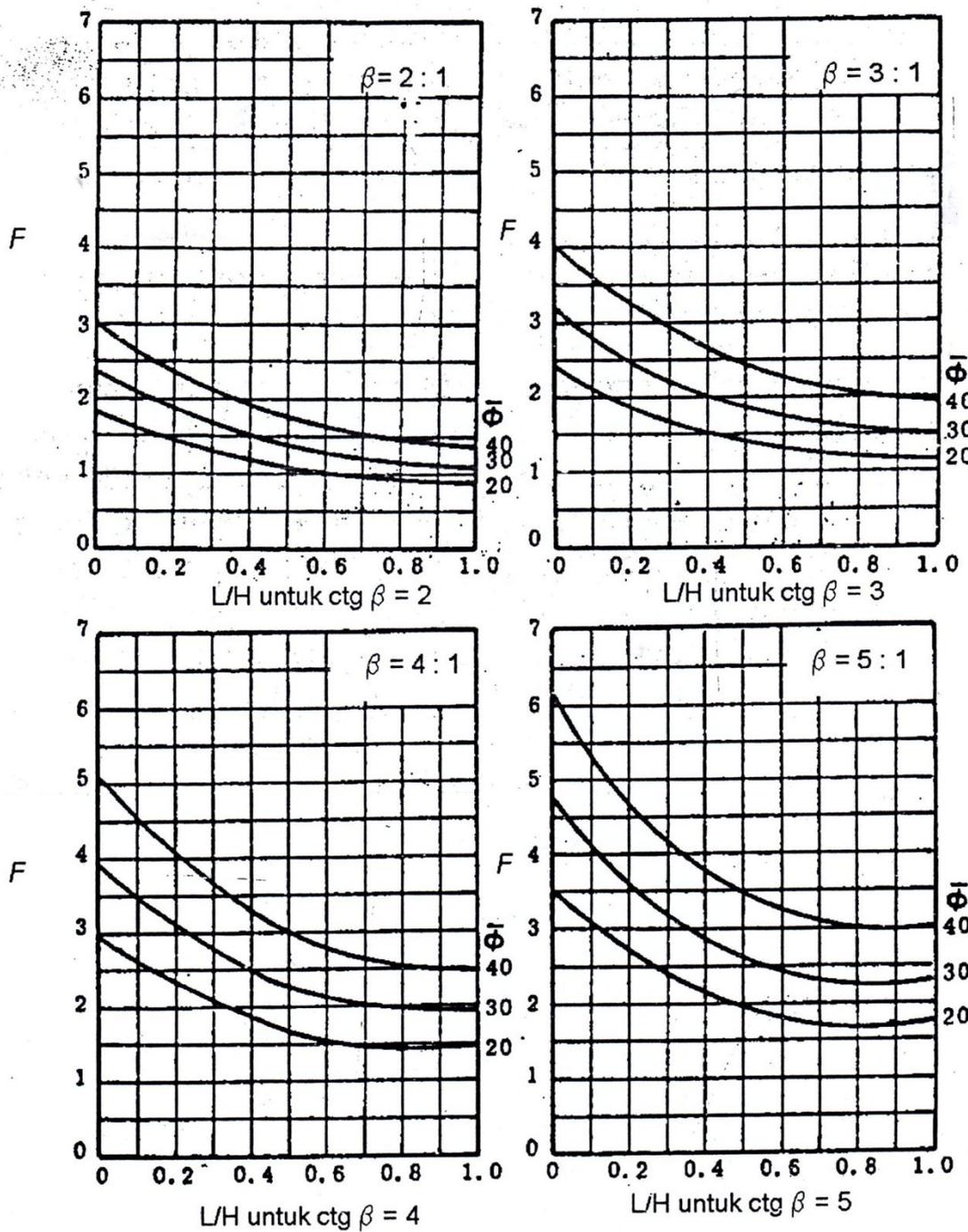
H = Tinggi.



Gambar 10. Kurva Stabilitas Morganstern untuk $c^2/\gamma H = 0,0125$



Gambar 11. Kurva Stabilitas Morganstern untuk $c'/\gamma H = 0,025$



Gambar 12. Kurva Stabilitas Morganstern untuk $c'/\gamma H = 0,05$