

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TANAH

2.1.1 Umum

Tanah adalah semua bahan, organik dan anorganik, yang ada di atas lapisan batuan tetap. Tanah organik adalah campuran yang mengandung bagian-bagian yang cukup berarti berasal dari lapukan dan sisa tanaman dan dapat pula berasal dari kumpulan kerangka dan kulit organisme kecil, sedangkan tanah anorganik berasal dari pelapukan batuan secara kimia ataupun fisis. (LS Dunn, LR Anderson, FW Kiefer, 1980)

Pada bidang teknik sipil, tanah adalah semua bahan atau unsur tanah yang berupa organik maupun anorganik yang berada diatas lapisan batuan tetap (LS Dunn, LR Anderson, FW Kiefer, 1980). Tanah organik adalah campuran yang mengandung bagian-bagian yang cukup berarti berasal dari lapukan dan sisa tanaman, sedangkan tanah anorganik berasal dari pelapukan batuan secara kimia ataupun fisis. Secara garis besar istilah pasir, lanau, lempung, atau Lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas yang telah ditentukan, walaupun istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Misalnya lempung adalah jenis unsur tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedangkan pasir digambarkan sebagai tanah granuler yang tidak kohesif dan tidak plastis (Hardiyatmo HC, 1992).

2.1.2 Klasifikasi Tanah

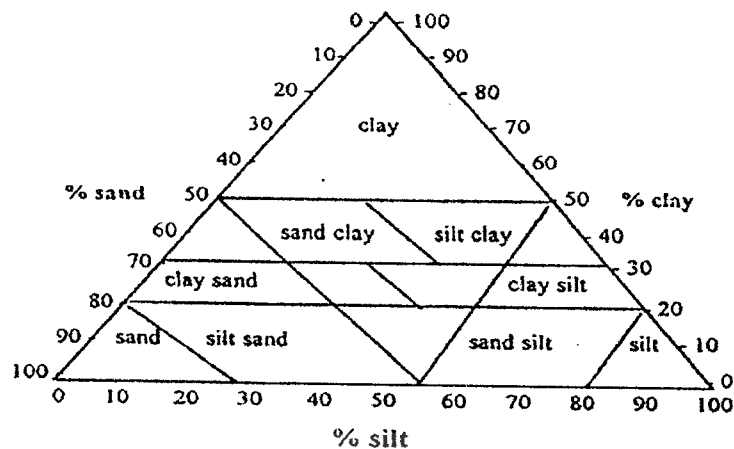
Sistem klasifikasi tanah merupakan suatu sistem yang mengelompokkan beberapa jenis tanah yang berbeda tetapi memiliki sifat fisis yang sama. Sistem ini sangat dibutuhkan karena memberikan tuntunan umum secara empiris yang diperoleh dari hasil lapangan. Penggunaan sistem inipun harus sangat hati-hati sehingga hasil hitungan struktur yang diperoleh berdasarkan hubungan empiris tidak membahayakan. Oleh karena itu sejumlah sistem klasifikasi dikembangkan disesuaikan dengan maksud yang diinginkan oleh sistem ini.

a. Klasifikasi berdasarkan tekstur

Tekstur tanah dipengaruhi kandungan butiran tanah yang ada di dalamnya. Untuk mengklasifikasikan tanah maka ukuran butiran merupakan suatu metode yang sangat jelas. Pada gambar 2.1 memperlihatkan beberapa sistem klasifikasi tanah yang didasarkan pada ukuran butiran, sedangkan klasifikasi tanah menurut Triangular Classification Cent (segitiga Pedoman) didasarkan pada ukuran batas dari butir tanah dimana persentase pasir, lanau, dan lempung diplotkan pada grafik tersebut dan daerah dimana titik itu terletak akan mengklasifikasikan tanah seperti pada gambar 2.2.

Sistem Klasifikasi	Ukuran Butir, mm						
	100	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001
MIT, 1931	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung			
		2	0.06	0.002			
AASHO, 1970	Kerikil	pasir	Lanau	Lempung			
		75	2	0.05	0.002		
Unified 1953	Kerikil	Pasir	Finahalalus (Lanau&Lempung)				
		75	4.75	0.075			

Gambar 2.1 Klasifikasi tanah berdasar ukuran butir
(Sumber: LS Dunn, Anderson, FW Kiefer, 1980)



Gambar 2.2 Grafik pedoman segitiga klasifikasi tanah
(Triangular Classification Chart)
(Sumber: LS Dunn, Anderson, FW Kiefer, 1980)

b. Klasifikasi sistem UNIFIED

Sistem ini pertama-tama dikembangkan oleh Casagrande (1948) dan dikenal sebagai sistem klasifikasi unified. Sistem ini kemudian dimodifikasi oleh U.S Bureau of Reclamation dan U.S Corps of Engineers tahun 1952. Seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.3 sistem unified ini dibagi menjadi 2 (dua) kelompok utama, sebagai berikut:

1. Tanah butir kasar

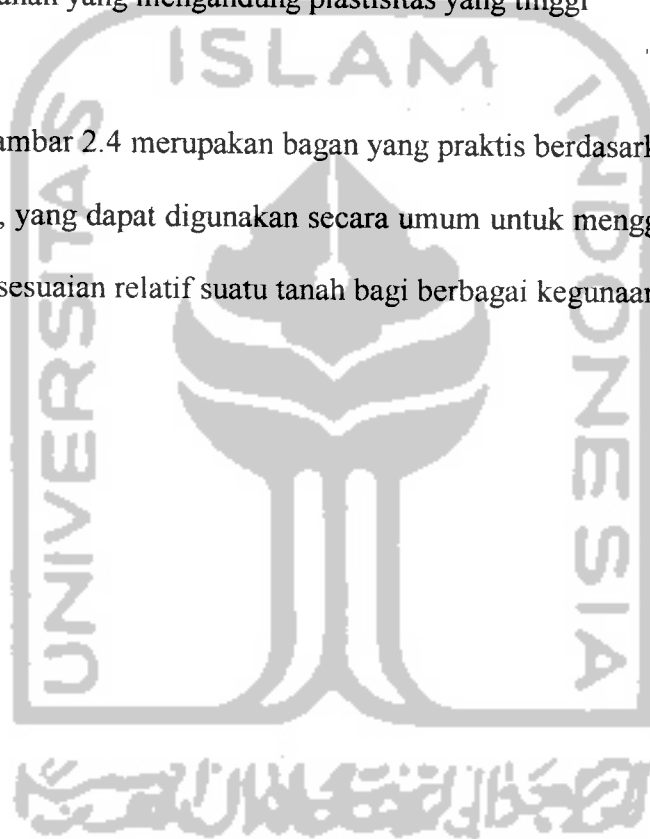
Tanah butir kasar meliputi tanah yang lebih dari 50% berat total contoh tanah tertahan saringan No. 200 (0,075 mm). Tanah butir kasar dibagi atas kerikil/gravel dengan simbol G dan pasir/sand dengan simbol S. Kerikil dan pasir dikelompokkan sesuai dengan gradasi dan kandungannya. Adapun simbol yang digunakan dalam pengelompokan menurut unified sebagai berikut:

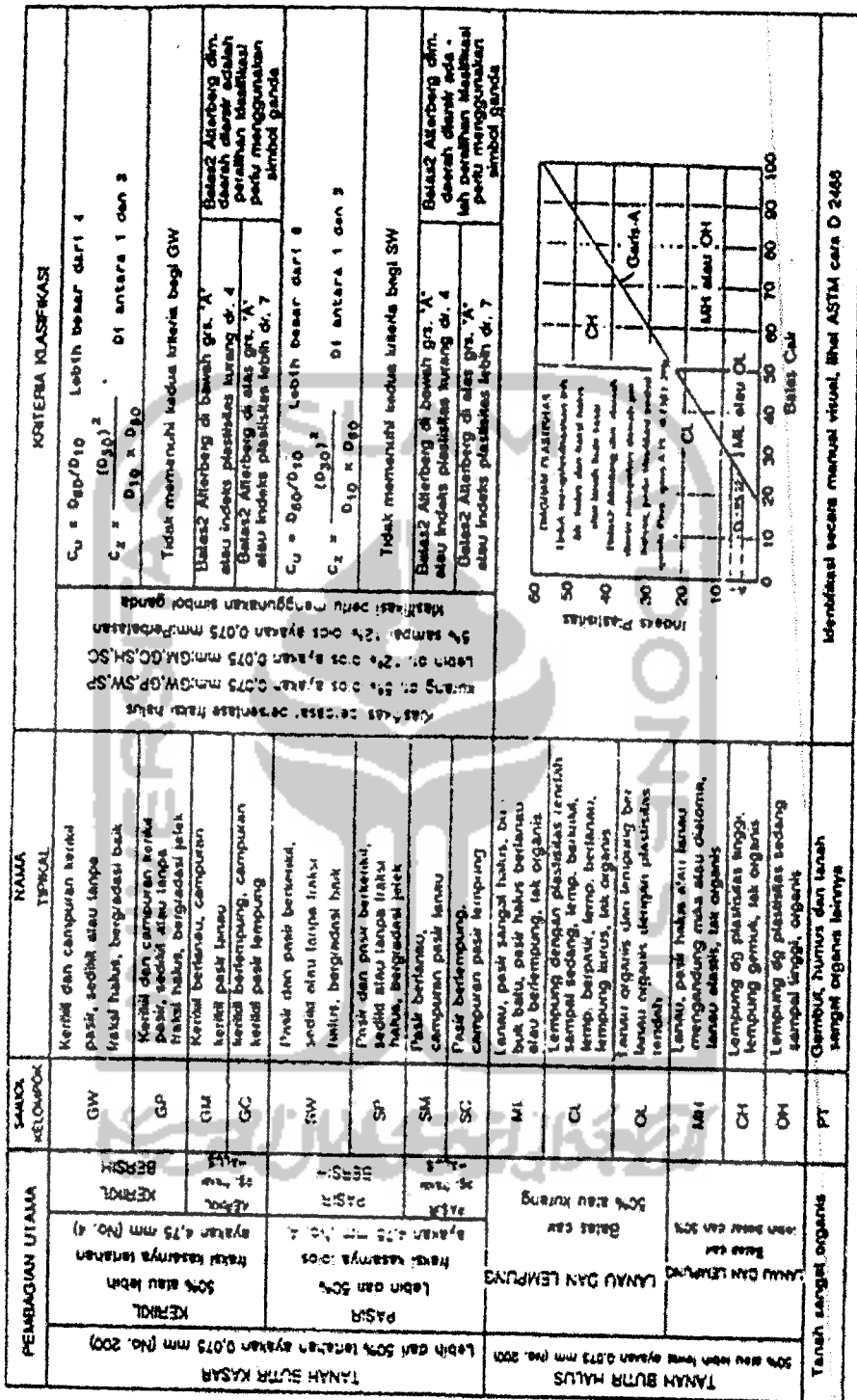
- W : Tanah dengan gradasi baik (Well graded)
- P : Tanah dengan gradasi buruk (Poorly graded)
- M : Tanah dengan kandungan material lanau
- C : Tanah dengan kandungan material lempung

2. Tanah butir halus

Tanah butir halus adalah tanah yang lebih 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Tanah butir halus ini dibagi menjadi lanau dengan simbol M, lempung (C) serta lempung dan lanau organik (O). Sedangkan tanda L digunakan untuk tanah yang mengandung plastisitas yang rendah dan H untuk tanah yang mengandung plastisitas yang tinggi

Pada gambar 2.4 merupakan bagan yang praktis berdasarkan klasifikasi tanah sistem Unified, yang dapat digunakan secara umum untuk menggolongkan sifat-sifat penting dan kesesuaian relatif suatu tanah bagi berbagai kegunaan.





Gambar 2.3 Klasifikasi tanah sistem Unified (Sumber: LS Dunn, Anderson, FW Kiefer, 1980)

Tabel 2.1 Penggolongan sifat-sifat tanah

NAMA TIPIKAL KELOMPOK TANAH	SAMBAL KELOMPOK	SIFAT-SIFAT PENTING			
		PERMEABILITAS BILA DIPADATKAN	KUAT GESER BILA DIPADATKAN DAN JENUH	KOMPRESIBILITAS BILA DIPADATKAN DAN JENUH	SIFAT DAPAT DIKERJAKAN SEBAGAI BAHAN KONSTRUKSI
KERIKIL, CAMPURAN KERIKIL DAN PASIR, SEDIKIT ATAU TANPA FRAKSI HALUS, BERGRADASI BAIK	GW	TAK KEDAP	BAIK SEKALI	DAPAT DIABAIKAN	BAIK SEKALI
KERIKIL, CAMPURAN KERIKIL DAN PASIR, SEDIKIT ATAU TANPA FRAKSI HALUS, BERGRADASI JELEK	GP	SANGAT TAK KEDAP	BAIK	DAPAT DIABAIKAN	BAIK
KERIKIL BERLANAU, CAMPURAN KERIKIL PASIR LANAU BERGRADASI JELEK	GM	SEMI TAK KEDAP SAMPAI KEDAP	BAIK	DAPAT DIABAIKAN	BAIK
KERIKIL BERLEMPUNG, CAMPURAN KERIKIL PASIR LEMPUNG BERGRADASI JELEK	GC	KEDAP	BAIK SAMPAI CUKUP	SANGAT RENDAH	BAIK
PASIR, PASIR BERKERIKIL, SEDIKIT ATAU TANPA FRAKSI HALUS, BERGRADASI BAIK	SW	TAK KEDAP	BAIK SEKALI	DAPAT DIABAIKAN	BAIK SEKALI
PASIR, PASIR BERKERIKIL, SEDIKIT ATAU TANPA FRAKSI HALUS, BERGRADASI JELEK	SP	TAK KEDAP	BAIK	SANGAT RENDAH	CUKUP
PASIR BERLANAU, CAMPURAN PASIR LANAU BERGRADASI JELEK	SM	SEMI TAK KEDAP SAMPAI KEDAP	BAIK	RENDAH	CUKUP
PASIR BERLEMPUNG, CAMPURAN PASIR LEMPUNG BERGRADASI JELEK	SC	KEDAP	BAIK SAMPAI CUKUP	RENDAH	BAIK
LANAU DAN PASIR SNGT HLS, BUBUK BATU, PASIR HLS BERLANAU, BERLEMP, DG SEDIKIT PLASTISITAS, TAK ORGANIS	ML	SEMI TAK KEDAP SAMPAI KEDAP	CUKUP	SEDANG	CUKUP
LEMPUNG PLASTISITAS RENDAH SP SEDANG, LEMP, BERKERIKIL, LEMP, BERPSR, LEM, BERLANAU, LEMP, KURUS, TAK ORGANIS	CL	KEDAP	CUKUP	SEDANG	BAIK SAMPAI CUKUP
LANAU ORGANIK DAN LEMPUNG LANAU ORGANIS DENGAN PLASTISITAS RENDAH	OL	SEMI TAK KEDAP SAMPAI KEDAP	JELEK	SEDANG	CUKUP
LANAU, TANAH PASIR HALUS ATAU LANAU BERMUKA ATAU BERDIATOMA, LANAU ELASTIS TAK ORGANIS	MH	SEMI TAK KEDAP SAMPAI KEDAP	SEDANG SAMPAI BAIK	TINGGI	JELEK
LEMPUNG DG PLASTISITAS TINGGI, LEMPUNG GEMUK, TAK ORGANIS	CH	KEDAP	JELEK	TINGGI	JELEK
LEMPUNG ORGANIS DENGAN PLASTISITAS SEDANG SAMPAI TINGGI	OH	KEDAP	JELEK	TINGGI	JELEK
GAMBUS DAN TANAH SANGAT ORGANIS LAINNYA	PT	—	—	—	—

(Sumber: LS Dunn, Anderson, FW Kiefer, 1980)

2.1.3 Ukuran Partikel Tanah

Tabel 2.2 memperlihatkan jenis tanah yang umum berdasarkan ukuran butiran dan perkiraan kisaran ukuran partikel. Ukuran butiran yang paling dominan digunakan sebagai patokan letak klasifikasi dari tanah tersebut.

Tabel 2.2 Jenis tanah berdasarkan ukuran partikel

Jenis Tanah	Kisaran Ukuran Butiran
Batu Bulat	> 0,3 m
Berangkal	0,15 – 0,3 m
Kerikil	2,0 mm – 0,15 m
Pasir	0,075 – 2,0 mm
Lanau	0,002 – 0,075 mm
Lempung	< 0,002 mm

Sumber : LS Dunn, LR Anderson, FW Kiefer, 1980

2.2 STABILITAS LERENG

2.2.1 Umum

Analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (limit plastic equilibrium). Analisis stabilitas lereng ini digunakan untuk menentukan factor aman dari bidang longsor yang potensial. Factor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan dimana τ adalah tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah dan τ_d adalah tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor sedangkan SF adalah faktor keamanannya.

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (2.1)$$

J.V.Hamel (1978) menentukan pengelompokan kemungkinan kelongsoran yang didasarkan pada nilai angka keamanan.

$SF \leq 0.8$ (kemungkinan mengalami longsor 100%)

$SF \leq 1.0$ (kemungkinan mengalami longsor 50%)

$SF \leq 1.2$ (kemungkinan mengalami longsor 10%)

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

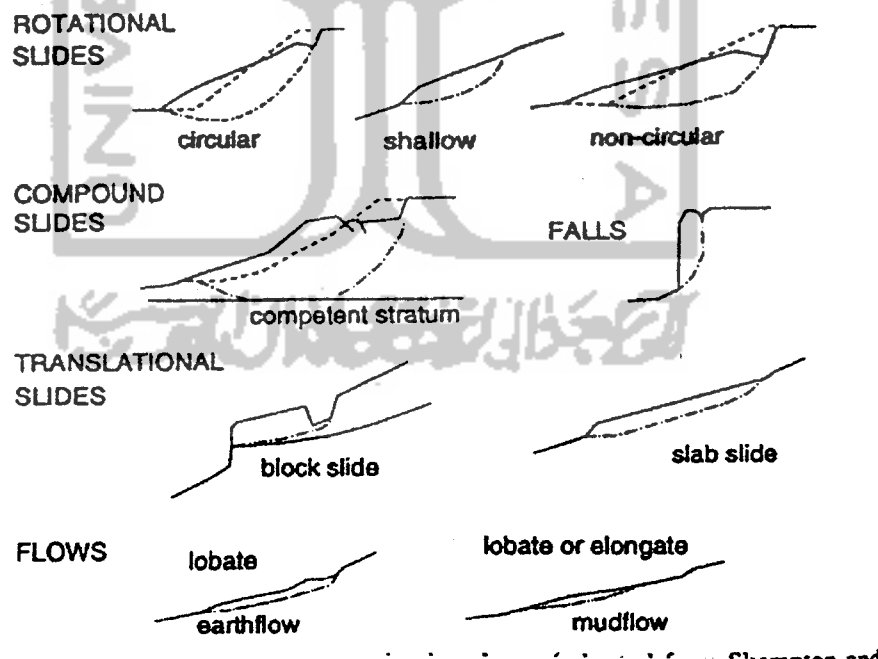
$$\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg} \phi \quad (2.2)$$

keterangan:

c = kohesi

σ_n = tegangan normal pada bidang runtuh

ϕ = sudut gesek dalam tanah



Gambar 2.4 Macam Kelongsoran
(sumber: Skempton & Hutchinson, 1969)

Jika tegangan geser yang terjadi melampaui gaya yang menahan tanah maka akan terjadi kelongsoran. Kelongsoran seperti terlihat pada gambar 2.4 pada dasarnya ada bermacam-macam yaitu:

1. Kelongsoran rotasi (*rotational slides*)

Kelongsoran rotasi ini dapat menyebabkan bentuk permukaan keruntuhan berupa lingkaran (*circular*) atau bukan lingkaran. Pada kelongsoran rotasi yang keruntuhan permukaannya berbentuk lingkaran dikarenakan keadaan tanah yang homogen sedangkan tidak berbentuk lingkaran untuk tanah yang tidak homogen.

2. Kelongsoran translasi (*translational slides*)

Kelongsoran translasi terjadi pada saat lapisan tanah yang berbatasan berada pada kedalaman yang relatif dangkal di bawah permukaan lereng, di mana permukaan runtuhnya akan berbentuk bidang dan hampir sejajar terhadap lereng.

3. Kelongsoran gabungan (*compound slides*) biasanya terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan berada pada kedalaman yang lebih besar, dan permukaan runtuhnya terdiri dari bagian-bagian lengkung dan bidang.

2.2.2 Konsep stabilitas lereng

Pada tanah lereng dengan kemiringan sudut tertentu, yang tidak didukung kuat geser tanah yang memadai, dibutuhkan perkuatan yang lebih besar atau minimal sama dengan kuat geser yang diakibatkan dari longsor yang diperkirakan terjadi. Beberapa faktor yang dibutuhkan untuk mengevaluasi stabilitas lereng adalah:

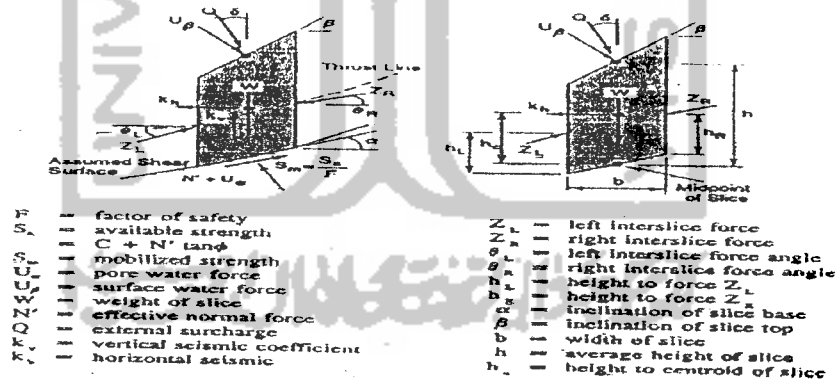
1. kuat geser (*shear strength*)
2. bentuk profil lereng (*slope geometry*)

3. tekanan air pori (*pore pressure*)
4. beban (*loading and environmental condition*)

2.2.3 Metode stabilitas lereng

a. Penyederhanaan Metode Janbu

Penyederhanaan metode Janbu menggunakan metode irisan untuk menentukan stabilitas banyak geseran. Ini merupakan dasar dari bentuk kekuatan, untuk diagram *free-body* dari sebuah tipe irisan seperti terlihat pada gambar 2.5. Prosedur yang disederhanakan diasumsikan bahwa tiap irisan tidak ada kekuatan melintang. Geometri masing-masing irisan digambarkan dengan tinggi irisan (h), diukur sepanjang garis pusat irisan, luas, b , dan dengan kemiringan dasar dan atap irisan, masing-masing α dan β .



Gambar 2.5 Gaya-gaya pada irisan
(sumber: Abramson, lee, Sunil S, G M Boyce, 1995)

Metode Janbu menghasilkan gaya vertikal yang seimbang untuk setiap irisan maupun keseluruhan keseimbangan gaya horisontal untuk setiap banyaknya geseran (semua irisan). Keseimbangan gaya vertikal untuk masing-masing irisan diperoleh dengan

$$\begin{aligned}\Sigma F_u &= (N' + U_\alpha) \cos \alpha + S_m \sin \alpha + W(1 - ku) - U_\beta \cos \beta - Q \cos \delta \\ &= 0\end{aligned}\quad (2.3)$$

Persamaan di atas disusun untuk N'

$$N' = \frac{-U_\alpha \cos \alpha - S_m \sin \alpha + W(1 - ku) - U_\beta \cos \beta - Q \cos \delta}{\cos \alpha}\quad (2.4)$$

Jika FOS berlawanan dengan geser keruntuhan didefinisikan sebagai SF, dan dianggap menjadi sama untuk semua irisan, pengerahan Mohr-Coulomb gaya melintang, S_m , sepanjang dasar masing-masing irisan diperoleh dengan

$$S_m = \frac{C + N' \tan \phi}{F}\quad (2.5)$$

Dimana C dan $N' \tan \phi$ Kohesiv dan komponen gaya geseran melintang dari tanah. Dengan penggantian persamaan 2.5 ke dalam persamaan 2.4, gerakan efektif gaya normal pada dasar irisan dapat ditentukan sbb.

$$N' = \frac{1}{m_\alpha} \left[W(1 - ku) - \frac{C \sin \alpha}{F} - U_\alpha \cos \alpha + U_\beta \cos \beta - Q \cos \delta \right]\quad (2.6)$$

$$m_\alpha = \cos \alpha \left[1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{F} \right]\quad (2.7)$$

Selanjutnya, keseluruhan keseimbangan gaya horisontal dievaluasi untuk semua irisan dari banyaknya geseran. Dari kasus ini, untuk masing-masing irisan i ;

$$[FH]_i = (N' + U_\alpha) \sin \alpha + Wkh + U_\alpha \cos \alpha + U_\beta \cos \beta - Q \cos \delta - S_m \cos \alpha\quad (2.8)$$

Setelah penggantian untuk S_m dari persamaan 2.5 dan disusun lagi, keseluruhan keseimbangan gaya horisontal untuk banyaknya geseran diperoleh dengan

$$\sum_{i=1}^n [FH]_i = \sum_{i=1}^n [(N'+U\alpha) \sin\alpha + Wkh + U\beta \sin\beta] + \sum_{i=1}^n [Q \sin\delta - \frac{C + N' \tan \phi}{\cos\alpha}] = 0 \quad (2.9)$$

Dengan penyusunan kembali persamaan diatas, diperoleh

$$\sum_{i=1}^n [(N'+U\alpha) \sin\alpha + Wkh + U\beta \sin\beta + Q \sin\delta] = \sum_{i=1}^n [\frac{C + N' \tan \phi}{F \cos\alpha}] \quad (2.10)$$

Selanjutnya masing-masing irisan mempunyai FOS yang sama, F ,

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^n [C + N' \tan \phi] \cos\alpha}{\sum_{i=1}^n H + \sum_{i=1}^n N' \sin\alpha} \quad (2.11)$$

N' diperoleh dengan persamaan 2.4 dan persamaan 2.12.

$$H = U\alpha \sin\alpha + Wkh + U\beta \sin\beta + Q \sin\delta \quad (2.12)$$

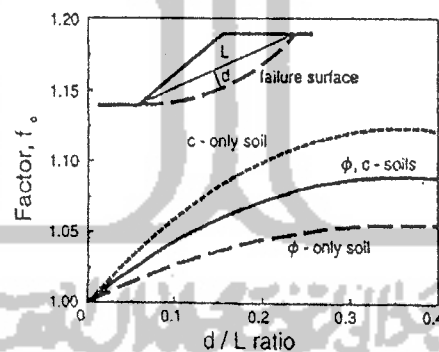
Persamaan 2.12 sesungguhnya diwakili perbandingan kuat geser yang ada dan arah gaya geser sepanjang permukaan yang rusak. Format ini memenuhi keadaan tekanan efektif menjadi ditentukan dan ketepatan pelaksanaan koreksi jika N' dihitung menjadi kurang dari nol, seperti yang telah disampaikan sebelumnya.

Hasil nilai Janbu FOS dihitung dengan mengalikan nilai SF dengan modifikasi faktor, f_0 ,

$$SF_{janbu} = f_0 \cdot SF_{calculated}$$

Modifikasi faktor ini adalah fungsi geometri geseran dan strength parameter dari tanah. Gambar 2.6 menggambarkan variasi dari nilai f_0 sebagai fungsi geometri celah (d dan L) dan tipe tanah.

Kurva ini digambarkan oleh Janbu pada percobaan untuk membenarkan dugaan yang tidak diperhatikan gaya melintang tiap irisan (Z dan α) dalam formulasinya untuk penyederhanaan metode. Janbu kemudian melakukan penghitungan dengan menggunakan metode penyederhanaan dan teliti (memenuhi keseimbangan lengkap) untuk celah yang sama dengan kondisi tanah yang homogen. Perbandingan berikutnya antara penyederhanaan dan nilai FOS yang lengkap/teliti digunakan untuk pengembangan bentuk kurva koreksi.



Gambar 2.6 Faktor koreksi Janbu (metoda irisan)
(sumber: Abramson, lee, Sunil S, G M Boyce, 1995)

Tidak ada konsensus mengenai seleksi ketepatan nilai f_0 untuk permukaan yang saling memotong pada tipe tanah yang berbeda terdiri dari hanya c , hanya ϕ dan tanah $c-\phi$. Pada kasus dimana pencampuran variasi tanah dipakai, kurva $c-\phi$. Secara umum digunakan untuk memperbaiki hitungan nilai FOS.

Untuk lebih mudahnya, modifikasi factor dapat dihitung menurut formula

$$F_o = 1 + b \left[\frac{d}{l} - 1.4 \left(\frac{d}{l} \right)^2 \right] \quad (2.13)$$

b berubah menurut tipe tanah

$$c \text{ only} : \quad b = 0,69$$

$$\phi \text{ only} : \quad b = 0,31$$

$$c \text{ dan } \phi : \quad b = 0,50$$

Ketepatan nilai b diseleksi dengan menggunakan 2.13 menurut tipe tanah (hanya c , hanya ϕ atau keduanya c dan ϕ) yang ditemui sepanjang permukaan rusak yang dianalisis. Jika pencampuran tipe tanah ditemukan, gunakan c dan ϕ hubungan tanah digambarkan dengan rumus diatas.

b. Metode Bishop

Metode Bishop yang disederhanakan juga menggunakan metode irisan untuk discretize banyak tanah untuk menentukan FOS. Metode ini alat yang menyenangkan keseimbangan gaya vertikal untuk masing-masing irisan dan keseimbangan moment keseluruhan kira-kira pusat permukaan percobaan circular. Metode Bishop yang disederhanakan juga mengambil gaya melintang tiap irisan nol. Menggunakan notasi bentuk Gambar 2.5.

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^n M_o = [W(1-k_u) U_\beta \cos\beta + Q \cos\delta] R \sin \alpha \\
& - \sum_{i=1}^n [U_\beta \sin\beta + Q \sin\delta] (R \cos \alpha - h) \\
& - \sum_{i=1}^n [\sin] R + \sum_{i=1}^n [khW(R \cos\alpha - hc)] = 0 \quad (2.14)
\end{aligned}$$

R adalah jarak permukaan *circular* yang rusak, h adalah rata-rata tinggi irisan dan hc adalah tinggi vertikal antara pusat dasar irisan dan centroid dari irisan. Persamaan dimungkinkan disederhanakan dengan membagi seluruhnya dengan radius untuk mendapatkan,

$$\begin{aligned}
\frac{\sum M_o}{R} &= \sum_{i=1}^n [W(1-k_u) U_\beta \cos\beta + Q \cos\delta] \sin \alpha \\
& - \sum_{i=1}^n [\sin] + \sum_{i=1}^n [U_\beta \sin\beta + Q \sin\delta] (\cos\alpha - \frac{h}{R}) \\
& - \sum_{i=1}^n [khW(\cos\alpha - \frac{hc}{R})] \quad (2.15)
\end{aligned}$$

Gerakan pada dasar irisan, tidak terpengaruh oleh ekspresi keseimbangan momen yang secara langsung melalui pusat lingkaran. Demikian metode Bishop tidak harus digunakan untuk perhitungan FOS untuk permukaan *noncircular*.

Jika FOS diambil menjadi sama pada semua irisan, pengganti ukuran Mohr-

Coulomb dari persamaan 2.6 ke dalam persamaan 2.15 untuk memperoleh

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^n [C + N' \tan \phi]}{\sum_{i=1}^n A1 - \sum_{i=1}^n A2 + \sum_{i=1}^n A3} \quad (2.16)$$

$$\begin{aligned} A1 &= [W(1-ku) U\beta \cos\beta + Q \cos\delta] \sin \alpha \\ A2 &= [U\beta \sin\beta + Q \sin\delta] (\cos\alpha - \frac{h}{R}) \\ A3 &= [khW(\cos\alpha - \frac{h_c}{R})] \end{aligned} \quad (2.17)$$

Selanjutnya, gaya dijumlahkan ke arah vertikal untuk masing-masing irisan untuk menentukan gaya efektif normal pada ragam yang sam sebagaimana digunakan pada metode Janbu.

$$N' = \frac{1}{m\alpha} [W(1-ku) - \frac{C \sin\alpha}{F} - U\alpha \cos\alpha + U\beta \cos\beta - Q \cos\delta] \quad (2.18)$$

$m\alpha$ diperoleh dari

$$m\alpha = \cos \alpha [1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{F}] \quad (2.19)$$

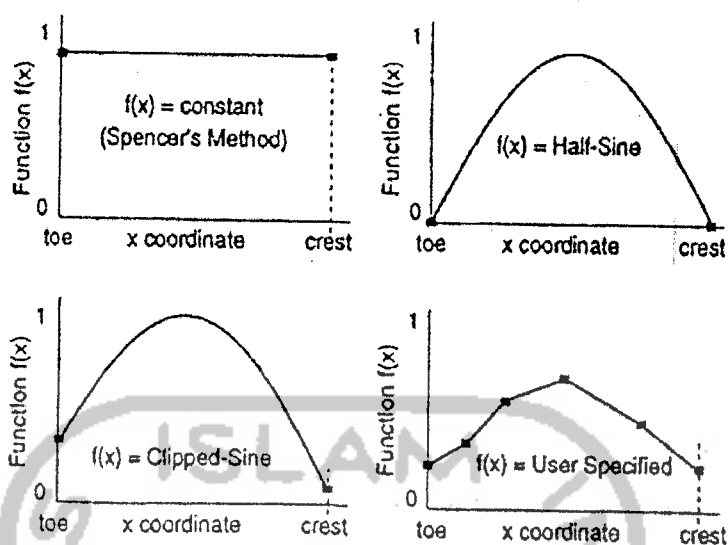
Persamaan 2.16 melalui 2.19 digunakan untuk menghitung SF pada permukaan circular menurut penyederhanaan metode Bishop.

c. Generalized Limit Equilibrium Method (GLE)

Metode GLE adalah pengembangan prosedur Spencer (1973), dimana telah digeneralisasikan oleh Chugh (1986). Metode GLE mengambil fungsi $\theta_i = \lambda \cdot f(x_i)$, untuk menentukan sudut gaya tiap irisan pada sisi kanan irisan i , (gambar 2.5). Fungsi $f(x_i)$, berada antara 0 dan 1 dan sesungguhnya mewakili bentuk pendistribusian digunakan untuk menguraikan variasi sudut gaya tiap irisan, (gambar 2.7).

Penggunaan fungsi (n-1) memenuhi asumsi tentang sudut gaya tiap irisan dan nilai λ adalah penambahan sebagai syarat yang belum diketahui (n-2), sebagaimana telah diuraikan sebelumnya. Fungsi sudut gaya tiap irisan yang terpilih, $f(x)$, dapat ditentukan sebagai konstanta ($f(x)=1$) sebagai pembanding prosedur Spencer, atau beberapa potongan dengan versi lain dari penyelesaian Morgenstern-Price.

Penggunaan rumus bentuk lain dari fungsi selanjutnya, $f(x)$, untuk menyelesaikan fungsi dari batas tiap irisan, menggunakan sudut θ_L dan θ_R untuk sisi kiri dan kanan irisan, sebagaimana tampak pada gambar 2.5 Dengan demikian untuk batas tipikal tiap irisan, $\theta_R = \lambda \cdot f(x)$, dengan x adalah koordinat x dari sisi kanan irisan yang dipilih. Pendistribusian ini biasanya diimplementasikan dengan fungsi yang telah dinormalkan dengan mengenai luasan lateral dari permukaan yang rusak. Sebagaimana sudut gaya tiap irisan untuk sisi kiri irisan pertama (pada ujung) dan sisi kanan pada irisan terakhir (puncak) diasumsikan menjadi 0, luasan ini diasumsikan untuk batasan antara batas tiap sisi pertama dan terakhir.



Gambar 2.7 Contoh penggunaan fungsi variasi sudut gaya tiap potongan
(sumber: Abramson, lee, Sunil S, G M Boyce, 1995)

Kekuatan Keseimbangan

Metode GLE menganggap bahwa hasil kekuatan irisan, Z_L dan Z_R , dimiringkan/dibengkokkan pada θ_L dan θ_R pada sisi kiri dan sisi kanan dari masing-masing irisan, (gambar 2.5). Kekuatan irisan ini adalah kekuatan total, sebagaimana komponen hidrostatik sepanjang batas irisan tidak diperluas (considered) secara terpisah.

Kekuatan hidrostatik irisan dapat diperluas (considered) pada sebuah analisis, tetapi adanya kesulitan untuk implementasi untuk menempatkan tanah dan macam-macam permukaan air.

$$\begin{aligned}
 & S_m + Z_L \cos(\alpha - \theta_L) - Z_R \cos(\alpha - \theta_R) - W(1 - k_u) \sin \alpha \\
 & - W k_h \cos \alpha - U \beta \sin(\alpha - \beta) - Q \sin(\alpha - \delta) = 0
 \end{aligned} \tag{2.20}$$

Jika ukuran Mohr-Coulomb diadopsi sedemikian rupa sehingga kekuatan berubah menjadi

$$S_m = \frac{S_a}{F} = \frac{C}{F} + N' \frac{\tan \phi}{F} = C_m + N' \tan \phi_m \quad (2.21)$$

Kemudian dengan penggantian persamaan 2.21 ke dalam persamaan 2.20, diperoleh persamaan,

$$\begin{aligned} N' \tan \phi_m = & ZR \cos(\alpha - \theta_R) - ZL \cos(\alpha - \theta_L) \\ & + W[(1 - ku) \sin \alpha + kh \cos \alpha] - C_m \\ & + U_\beta \sin(\alpha - \beta) - Q \sin(\alpha - \delta) \end{aligned} \quad (2.22)$$

Kekuatan keseimbangan selanjutnya diformulasikan ke dalam direction normal ke dalam dasar irisan

$$\begin{aligned} N' + ZR \cos(\alpha - \theta_R) - ZL \cos(\alpha - \theta_L) - W(1 - ku) \cos \alpha \\ + Wkh \sin \alpha + U_\alpha - U_\beta \cos(\alpha - \beta) - Q \cos(\alpha - \delta) = 0 \end{aligned} \quad (2.23)$$

Dengan penggantian persamaan 2.23 ke dalam persamaan 2.22, menurut persamaan kekuatan keseimbangan diformulasikan

$$\begin{aligned} ZR = & B ZL [\cos(\alpha - \theta_L) + \sin(\alpha - \theta_L) \tan \phi_m] \\ & + B [W \cos \alpha (1 - ku)(\tan \phi_m - \tan \alpha) + C_m \\ & - U_\alpha - \tan \phi_m - Wkh (1 + \tan \phi_m - \tan \alpha) \cos \alpha \\ & + U_\beta [\cos(\alpha - \beta) \tan \phi_m - \sin(\alpha - \delta)] \\ & + Q [\cos(\alpha - \delta) \tan \phi_m - \sin(\alpha - \delta)]] \end{aligned} \quad (2.24)$$

dimana factor B diperoleh

$$B = \frac{l}{\cos(\alpha - \theta_R) [1 + \tan \phi_m \tan(\alpha - \theta_R)]} \quad (2.25)$$

Keseimbangan Momen

Kondisi keseimbangan moment dipenuhi dengan pengambilan momen dari semua kekuatan irisan kira-kira setengah angka dari dasar irisan, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.5, secara umum digambarkan:

$$\begin{aligned} & Z_L \cos \theta_L [h_L - Ab \tan \alpha] + Z_L Ab \sin \theta_L \\ & - Z_R \cos \theta_R [h_R - Ab \tan \alpha] + Z_R Ab \sin \theta_R \\ & - Wkh hc + U_\beta h \sin \beta + Qh \sin \delta = 0 \end{aligned} \quad (2.26)$$

Selanjutnya gambaran diatas disederhanakan untuk menentukan lokasi dari kekuatan irisan h_R , pada sisi kanan dari setiap irisan menggunakan

$$\begin{aligned} h_R = & Z_L \frac{1}{Z_R \cos \theta_R} [h_L \cos \theta_L - Ab (\cos \theta_L \tan \alpha + \sin \theta_L)] \\ & + \frac{1}{Z_R \cos \theta_R} [h (U_\beta \sin \beta + Q \sin \delta) - hckhW] \\ & + Ab [\tan \theta_R - \tan \alpha] \end{aligned} \quad (2.27)$$

Prosedur GLE menggunakan persamaan 2.24 dan 2.27 secara berulang-ulang untuk memenuhi momen lengkap dan kekuatan keseimbangan untuk semua irisan. Setelah SF ditentukan, total normal, vertikal, dan gaya melintang pada dasar setiap irisan dihitung menggunakan ,

$$\begin{aligned} \sigma_n = & \frac{1}{b \sec \alpha} \{ Z_L \sin(\alpha - \theta_L) - Z_R \sin(\alpha - \theta_R) + U_\beta \cos(\alpha - \beta) \\ & - U_\alpha + W [(1 - k_u) \cos \alpha - kh \sin \alpha] + Q \cos(\alpha - \beta) \} \end{aligned} \quad (2.28)$$

$$B = \frac{W + Q \cos \delta + U \beta \cos \beta}{b \sec \alpha} \quad (2.29)$$

$$M_{base} = C_m + \sigma_m \tan \delta_m \quad (2.30)$$

Prosedur Penyelesaian

Penyelesaian GLE dihitung menggunakan langkah sbb.

1. Diterima pada pendistribusian sudut kekuatan irisan dengan θ_L untuk irisan pertama dan θ_R untuk irisan terakhir ditentukan menjadi nol.
2. Menentukan SF , digunakan persamaan 2.24 dan 2.27 untuk memenuhi kekuatan keseimbangan sedemikian sehingga Z_R untuk irisan terakhir (pada puncak) adalah sama pada kekuatan batas. Kekuatan ini akan menjadi sama untuk kekuatan hidrostatis air pada celah yang terisi air pada puncak kemiringan (slope). Jika tidak ada celah yang terisi air, kekuatan batas ini akan nol.
3. Hitungan kekuatan irisan dalam, Z_L dan Z_R , merupakan bagian solusi untuk SF (angka keamanan).
4. Menggunakan kekuatan irisan dalam tahap 3, menggunakan persamaan 2.27 untuk menghitung besarnya kekuatan sudut irisan dalam, θ_R , bahwa keseimbangan momen terpenuhi sedemikian sehingga h_R untuk irisan terakhir adalah nol atau sama untuk lokasi kekuatan hidrostatis horizontal dalam celah yang terisi air.

Dari uraian ketiga metode diatas maka dalam perhitungan SF masing-masing metode memiliki cara yang berlainan, seperti dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2.3 Perbedaan perhitungan SF

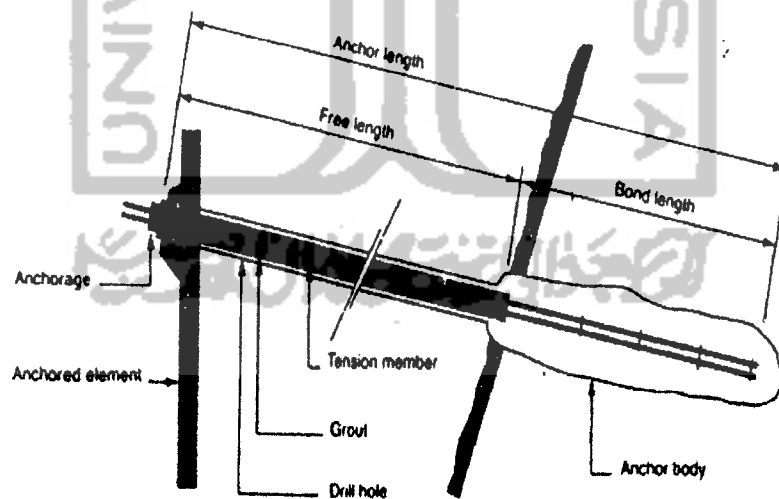
Metode Janbu	Metode Bishop	Metode Spencer
$SF = \frac{\sum_{i=1}^n [C + N' \tan \phi] \cos \alpha}{\sum_{i=1}^n H + \sum_{i=1}^n N' \sin \alpha + Q \sin \delta}$ $H = U \alpha \sin \alpha + Wkh + U \beta \sin \beta$ $F_{janbu} = f_o \cdot F_{calculated}$	$SF = \frac{\sum_{i=1}^n [C + N' \tan \phi]}{\sum_{i=1}^n A1 - \sum_{i=1}^n A2 + \sum_{i=1}^n A3}$ $A1 = [W(1-ku) U \beta \cos \beta + Q \cos \delta] \sin \alpha$ $A2 = [U \beta \sin \beta + Q \sin \delta] (\cos \alpha - \frac{h}{R})$ $A3 = [khW(\cos \alpha - \frac{hc}{R})]$	$hR = ZL^1/ZR \cos \theta R [hL \cos \theta L - Ab (\cos \theta L \tan \alpha + \sin \theta L)] + {}^1/ZR \cos \theta R [h(U \beta \sin \beta + Q \sin \delta) - hckhW] + Ab [\tan \theta R - \tan \alpha]$

2.3 STRUKTUR ANGKUR SEBAGAI PERKUATAN LERENG

2.3.1 Tinjauan Umum

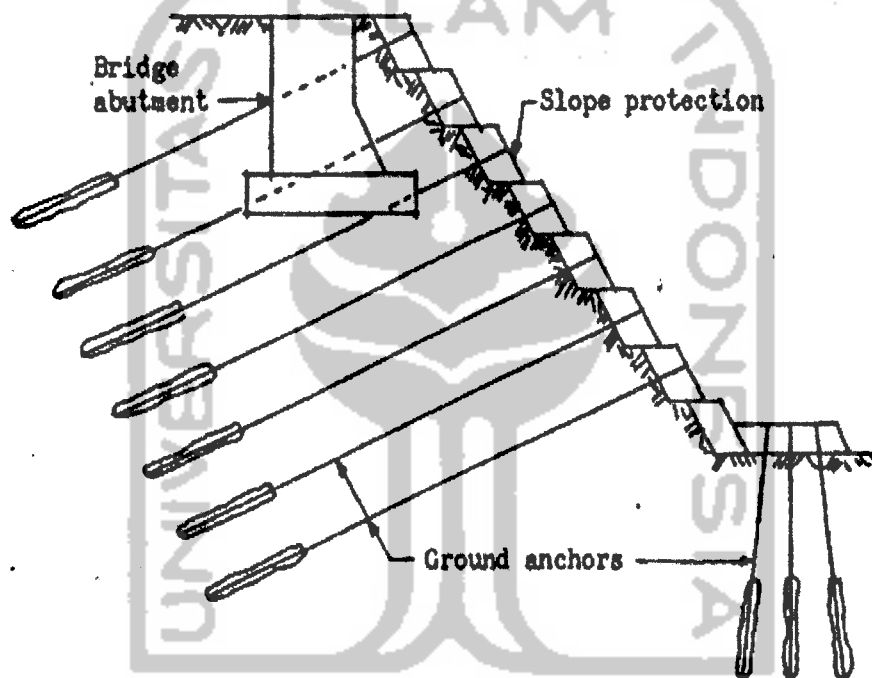
Angkur berfungsi sebagai struktur perkuatan tanah; berupa baja yang disisipkan dalam formasi tanah dengan arah sudut kemiringan yang bervariasi. Kapasitas ankur dalam menahan bebannya dihasilkan sebagai reaksi penahan yang dikerahkan dengan menekankan tanah sepanjang zona ankur yang dibentuk secara khusus. Susunan ini ditunjukkan dengan skema pada Gambar 2.8 bersama dengan komponen-komponen dasar dari sistem ini.

Komponen-komponen ini meliputi kepala ankur, panjang bebas ankur, dan panjang *bond* ankur. Panjang *bond* ankur dimaksudkan untuk berinteraksi dengan tanah disekitarnya sehingga dapat mentransfer beban, berbeda dengan panjang bebas yang hanya diikat dengan casing sehingga memungkinkan untuk tetap bebas bergerak didalam tanah.



Gambar 2.8
Tiga komponen ankur
Sumber : Petros P Xanthakos, 1990

Perkuatan lereng dapat dilakukan pada kemiringan lereng yang tidak stabil sehingga diharapkan dapat meningkatkan kekuatan geser tanah (*shear strength*) dengan memperbaiki friksi, proses yang sama dapat dilakukan dengan rekonsolidasi. Sebuah contoh ditunjukkan pada Gambar 2.9, dimana kemiringan lereng distabilkan oleh angkur-angkur yang diinstal ke dalam tanah sehingga lereng menjadi stabil untuk menyangga beban jembatan.



Gambar 2.9
Lereng yang diperkuat dengan angkur
Sumber : Petros P Xanthakos, 1990

Sebagai alat struktural, angkur ditahan oleh plat penahan atau kepala angkur. Angkur dipasang dalam lubang-lubang bor khusus dalam berbagai tanah atau batuan. Ini melibatkan prosedur yang kompleks dan sangat khusus, yang menghendaki perakitan dan pembuatan angkur secara cermat, pengeboran lubang angkur, dan berbagai operasi terkait seperti *grouting*, *stressing*, kontrol kualitas dan monitoring.

Selanjutnya, dalam pekerjaan permanen dan untuk instalasi dalam lingkungan tanah agresif, semua komponen ankur harus dilindungi terhadap serangan korosi.

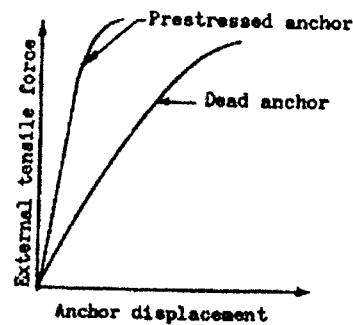
2.3.2 Sistem Angkur

Pada umumnya, kapasitas dan kinerja ankur dipengaruhi oleh tiga faktor utama berikut :

- a. Ciri-ciri tanah, terutama kekuatan gesek tanah
- b. Teknik instalasi (teknik pemasangan ankur)
- c. Ketenagakerjaan yang dicapai dilapangan.

Untuk instalasi permanen, permasalahan hampir pasti timbul bila perkembangan bond antara baja dan grout yang dimasukkan tidak seperti prediksi (ramalan). Oleh karena itu tampak bahwa pertimbangan-pertimbangan ini sering cenderung menghambat teknik instalasi ankur, atas dasar prosedur dan aturan-aturan standar. Pelengkap esensial pada latar belakang teknik adalah pengalaman praktis yang cukup dengan berbagai sistem ankur, terutama masalah konstruksi potensial yang berkaitan.

Pada dasarnya pemasangan ankur didasarkan pada dua hal yaitu ankur yang dipasang didalam tanah dengan memberikan gaya terlebih dahulu atau ankur yang langsung diinstal ke lapisan tanah. Gambar 2.10 memperlihatkan bahwa ankur yang langsung diinstal kedalam tanah akan mengalami perenggangan baja yang lebih besar dibandingkan ankur yang telah diberi gaya tarik terlebih dahulu.



Gambar 2.10
Peregangan yang terjadi pada struktur anchor
Sumber : Petros P Xanthakos, 1990

2.3.2.1 Metode grouting

Kebanyakan instalasi anchor dilengkapi dengan anchor yang disebut *cement grout injection*. Dalam hal ini, kapasitas tarik anchor tergantung pada geometri anchor untuk kondisi-kondisi tanah tertentu, tetapi dipengaruhi oleh konfigurasi dan ukuran zona anchor.

Kekuatan grout yang cukup harus dicapai untuk bond pada interface grout-panjang bebas anchor dan grout-ground. Ukuran yang biasa adalah kekuatan kompresi yang tidak dibatasi F_u pada 7 hari dan 28 hari.

2.3.2.2 Modus-modus penerapan grouting

Grouting dapat dilaksanakan dengan dua modus yang berbeda berikut : injeksi dua tahap dan satu tahap.

2.3.2.2.1 Grouting dua tahap.

Proses ini melibatkan terlebih dahulu injeksi grout primer untuk menciptakan zona ground dalam panjang anchor tetap, dan setelah panjang bebas anchor yang

menekan grout sekunder dimasukkan dalam zona panjang bebas terutama untuk perlindungan korosi panjang bebas ankur. Untuk ankur dalam batuan, grout primer bisa ditempatkan sebelum atau setelah homing panjang bebas ankur. Penempatan setelah menguntungkan dengan panjang bebas ankur-panjang bebas ankur besar dan bahkan buruk, dan mungkin satu-satunya pilihan untuk lubang-lubang yang sangat dangkal atau kecondongan naik ankur.

Grout primer merentang sekitar dua meter di luar panjang ankur tetap sehingga dapat menghambat pembentukan retakan pada ujung proksimal ankur selama penekanan. Bila grout primer ditempatkan sebelumnya (pre pressing) maka panjang bebas ankur harus dihoming tidak lebih dari 30 menit setelah injeksi. Ada perbedaan pendapat mengenai apakah panjang bebas ankur harus dibiarkan statis setelah homing.

Grouting dua tahap memberikan kenyamanan konstruksi, tetapi ada kerugiannya juga, diantaranya :

1. Interface tambahan terjadi di puncak zona tetap dimana dua penampang yang digrouting bertemu sebagai sambungan konstruksi, dan menjadi target primer untuk serangan korosi.
2. Karena potensi grouting yang mengarah pada tanah, sulit menghitung dan mengecek kualitas grout yang diperlukan pada zona tetap.
3. Proses ini memakan waktu dan tenaga.

2.3.2.2.2 Grouting satu tahap.

Dalam proses ini, lubang bor diisikan dalam operasi tunggal yang terus-menerus, oleh karena itu fungsi-fungsi grout dicapai secara simultan. Bagaimanapun

juga, kecuali bila panjang angkur bebas diminyaki secara cermat sebelum sheathing, beban akhir yang dipakai pada kepala sebagai prestressing mungkin tidak tertransmisikan ke zona tetap yang dimaksud karena kemungkinan friksi pada panjang angkur bebas.

2.3.2.3 Metode Injeksi.

Grouting selalu dimulai pada ujung bawah penampang yang digROUTING. Bila angkur miring ke atas, maka harus disediakan ketetapan untuk melubangi lubang selama operasi. Untuk pengisian yang layak, air dan tanah sebaiknya dibiarkan bebas. Grout harus tidak pernah mencapai dan kontak dengan struktur yang diangkur, karena kekuatan angkur tidak akan pindah semua ke tanah kecuali kolom yang diprestressing akan dihasilkan.

Konsensus opininya adalah bahwa tekanan grout tinggi tidak perlu untuk angkur-angkur dalam batuan utuh, tetapi sangat membantu dalam batuan bercehah buruk atau dalam tanah. Kisaran yang dicatat adalah $0,30 - 0,70 \text{ N/mm}^2$. Pertimbangan yang praktis dan ekonomis sering menentukan tekanan grouting maksimal 3 N/mm^2 dan tidak ada bukti bahwa tekanan yang lebih tinggi akan memberi manfaat nyata.

2.3.2.4 Sistem angkur pada kondisi spesial

Bila angkur gagal menahan beban uji atau biasa disebut angkur remedial, akibatnya adalah downgrading beban kerja dan overstressing angkur lain dalam kelompoknya. Masalah ini bisa dihindari bila satu angkur tambahan atau lebih

dipasang untuk mengimbangi lagi pendataan beban. Dalam kondisi ini, perlu mengebor lubang-lubang baru antara angkur-ankur yang sudah di tempat.

Ini mungkin layak bila (a) jarak angkur-ankur yang sudah ditempat memungkinkan reposisi peralatan dan aktivitas pemasangan terkait, (b) lubang dapat dipotong dalam dinding untuk menyesuaikan perakitan kepala angkur dan bor, dan (c) waktu untuk konstruksi dan grouting angkur baru dapat dibuat minimal. Faktor selanjutnya yang harus diperhatikan adalah ketelitian yang dapat diberikan selama operasi ini untuk menghindari gangguan yang bisa merusak angkur yang ada.

2.3.3 Transfer beban dan mode dari keruntuhan

Teori transfer beban angkur sering berdasarkan pada asumsi-asumsi ideal, dan bila kondisi berbeda, hasilnya dapat membingungkan dan meragukan, hal ini lebih serius ketika teori bebas diterapkan pada kondisi tanah yang tidak homogen. Pendekatan yang berbeda adalah menunjukkan transfer beban dari berbagai aturan rancangan yang ada, semua sumber dari tes skala penuh dan pengalaman lapangan umum.

2.3.3.1 Konsep kegagalan

Pada umumnya metode rancangan dan teori yang mengasumsikan bahwa massa tanah akan gagal sepanjang garis-garis selip atau bidang-bidang geser, dan kemudian mengikatkan kekuatan relevan dalam analisis stabilitas. Untuk konfigurasi zona angkur tetap yang disajikan pada penjelasan sebelumnya, dua mekanisme transfer beban dasar menyebabkan ketahanan tanah untuk dikerahkan karena angkur mengalami pergeseran di bawah pemakaian beban. Yang pertama adalah gesekan

samping, yang biasa disebut “*bond*”, dimana konfigurasi yang cocok ada dan bila terjadi gerakan yang memadai. Jadi, angkur dapat gagal dalam gesekan lokal selama kelangsungan tanah sekelilingnya tidak terganggu. Terjadi kegagalan umum bila bidang-bidang gesek dimobilisasi secara penuh dan di bawah deformasi signifikan yang secara progresif mencapai permukaan tanah (*ground*).

Pada umumnya, analisis ketahanan beban angkur harus memperhatikan hal-hal berikut :

1. Mekanisme kegagalan (*failure*) ketika beban dipindah dari media yang satu ke media yang lain dengan sistem angkur *soil*.
2. Ciri-ciri tanah pada saat *failure*
3. Kekasaran daerah dan konfigurasi lapisan tanah yang potensial *failure*.
4. Kondisi tekanan, yakni jenis-jenis tekanan, besaran, dan arah, yang terjadi sepanjang interface (bidang pemisah) kelongsoran ketika mulai *failure*.

Angkur dapat gagal atau tidak dapat dioperasikan dalam salah satu dari modus-modus berikut ini :

1. Dengan kegagalan struktural dari baja dan bagian-bagian komponennya.
2. Dengan kegagalan *bond* pada interface *grout*
3. Dengan kegagalan geser (*shear failure*) sepanjang permukaan *grout* yang bergesekan dengan tanah.
4. Dengan kegagalan didalam tanah atau batuan yang mendukung angkur
5. Dengan perpindahan atau selip kelebihan dari kepala angkur
6. Dengan penumbukan atau perekahan kolom *grout* sekitar panjang bebas angkur
7. Dengan penurunan mutu jangka panjang secara gradual yang mengakibatkan tidak bekerjanya sistem.

Di bawah over beban atau selama tes tarikan, salah satu dari mekanisme-mekanisme kegagalan itu mungkin lazim atau mengambil pendahuluan, karena jelas tidak layak merancang, dan menyusun angkur dimana semua bagian akan gagal atau rusak secara simultan. Praktek angkur biasa mengharuskan pemilihan komponen-komponen angkur dan analisis terhadap modus-modus potensial failure.

2.3.3.2 Konsep pembebanan.

Pembebanan statis jangka pendek dipertimbangkan dalam konteks analisis ini. Pembebanan statis berlebihan akan menyebabkan kegagalan angkur. Beban-beban lebih dapat dipengaruhi oleh tarikan yang dipakai pada angkur selama tahap pengetesan. Pembebanan over juga dapat terjadi dari kesalahan urutan penggalian, *surcharge* tambahan dari bahan konstruksi dan perlengkapan, atau operasi dan penggalian berdekatan yang menghalangi zona angkurage tanah yang berkekuatan.

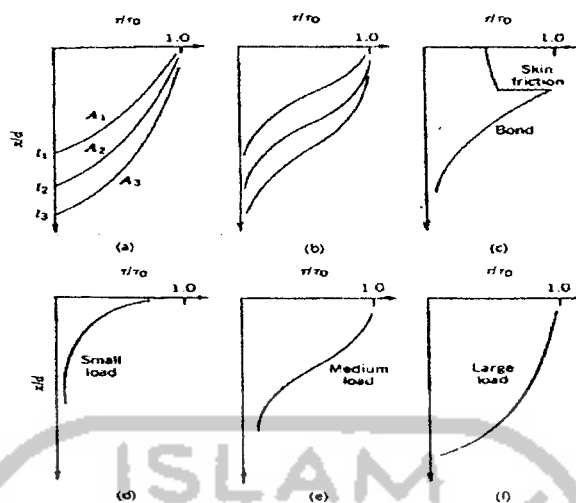
2.3.3.3 Tekanan Kerja

Tekanan-tekanan kerja diterima dalam kondisi normal, dan berkaitan dengan mekanisme kegagalan potensial pada panjang bebas angkur baja dan bahan-bahan pembentuknya. Mereka tidak harus digunakan untuk menghitung beban kerja dipandang dari nilai kegagalan yang ditentukan dari tes atau dari ciri-ciri perubahan tanah. Sebaliknya, ketelitian adalah diperlukan dalam kondisi khusus, dan bila perlu faktor-faktor keamanan terkait harus ditingkatkan.

Tampak bahwa mekanika angkur dalam batuan kuat belum diterangkan secara penuh, walaupun perfoma dan konstruksinya kurang bermasalah karena kecukupan prosedur instalasi yang tersedia dalam praktek mutakhir. Bagaimanapun

juga, dengan angkur yang berkapasitas tinggi, subyek tekanan tinggi pada ujung proksimal dan efek *debonding* terhadap distribusi tekanan tidak perlakuan analitis selanjutnya. Sebagai pendekatan awal untuk pemahaman yang lebih baik, Phillips (1970) menyarankan pola berikut :

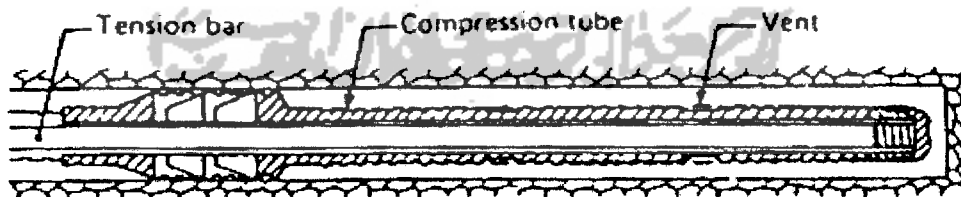
1. Dengan mengikuti *debonding*, restrain yang dikenakan oleh batuan pada interface batuan-*grout* yang tidak rata menyebabkan dilasi. Gerakan angkur tambahan adalah mungkin hanya melalui kegagalan gesek selanjutnya pada *grout* itu, dengan distribusi tekanan seperti tampak pada Gambar 2.11 (a dan b).
2. Tekanan *bond* residual yang tidak dipengaruhi oleh dilasi akan tergantung pada besarnya tekanan normal yang beraksi pada permukaan (interface). Tekanan ini akan bervariasi sepanjang ukuran *debonded*, dan bila kurang dari kekuatan gesek *grout* maka distribusi tekanan akan seperti pada Gambar 2.11c. Bila lebih dari kekuatan gesek *grout* distribusi tekanan tersebut akan kembali pada bagian a dan b.
3. Di bawah beban terapan, diagram distribusi tekanan mungkin seperti yang ditunjukkan pada bagian d, e, dan f pada Gambar 2.11 itu pada beban yang besar, angkur keseluruhan *didebonding* secara praktis. Pada tahap ini, tekanan didistribusikan menurut besarnya gerakan relatif atau tingkat dilasi kekuatan gesek friksional yang dimobilisasi, yang ditunjukkan oleh bagian f.



Gambar 2.11
Distribusi tekanan bond pada ankur
Sumber : Phillips, 1970

2.3.3.4 Permasalahan dalam transfer beban.

Versi ankur tabung kompres yang sudah diperbaiki dan dimodifikasi telah muncul di pasar. Misalnya, jenis ankur Stump Duplex baru yang ditunjukkan pada Gambar 2.12 menyertakan sel yang mencegah masuknya *grout* ke annulus antara panjang bebas ankur dan dinding dalam tabung, dan juga menyertakan mekanisme untuk tidak menekan dan menghilangkan panjang bebas ankur dari tabung.



Gambar 2.12
Model Angkur Stump Duplex
Sumber : Weber, 1966

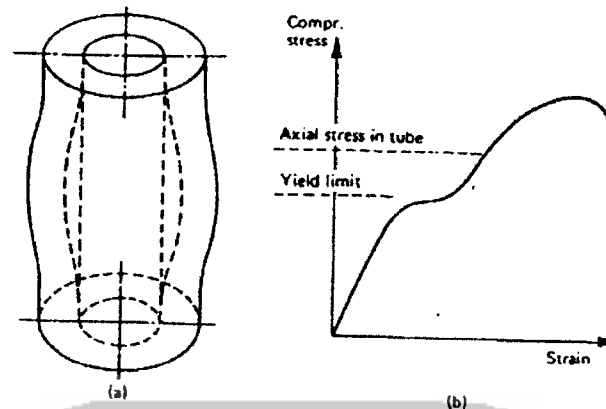
Bagaimanapun juga, tanpa memperhatikan perbaikan, permasalahan tertentu yang mungkin disebabkan oleh transfer beban itu telah dialami dan dilaporkan di beberapa investigator, dan permasalahan ini harus diselesaikan.

Misalnya, beberapa kegagalan angkur telah dicatat, dan menarik mencatat bahwa kebanyakan mereka terjadi sementara kompresi pada tabung sangat rendah, dalam beberapa hal presentase 10% beban rancangan. Kejadian kegagalan yang mengherankan ini jelas tidak sesuai dengan harapan beban akhir dan dalam banyak hal mereka terjadi mendadak.

Ivering (1981) melaporkan kegagalan serupa dalam uji laboratorium pada tabung kompres. Karena ruang di dalam tabung tidak digrout maka kegagalan disebabkan oleh kekurangan *bond* (pelekat) antara muka luar tabung dan *grout* sekelilingnya daripada sepanjang interface batuan-*grout*.

Kesimpulan yang implisit adalah bahwa dalam tabung yang permukaan luarnya relatif halus, tekanan kompres yang intensitasnya memadai harus dikembangkan dan menyebabkan tabung membengkak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13a sebelum tahanan *bond* yang memadai tersedia dengan proses ekspansi lateral dan kompresi radial. Sampai kemudian efektif, kegagalan dalam tahap-tahap pembebanan awal selalu mungkin tetapi bisa dicegah dengan menambah cengkaman awal tabung kompres. Ini bisa dilaksanakan dengan :

- a. Menambah panjang tabung
- b. Menambah kekuatan permukaan
- c. Mengelas *spacer* baja ke tabung, dan
- d. Membentuk tabung dalam bentuk baji



Gambar 2.13
 a. Local Buckling
 b. mekanisme keruntuhan dan diagram stress-strain
 Sumber : Ivering, 1981

2.3.4 Angkur Pada Kondisi Tanah Tertentu

2.3.4.1 Angkur Pada Tanah Pasir

Dalam banyak hal, angkur dalam tanah yang tanpa kohesi dapat menahan beban lebih dari 300 kip pada panjang tetap 4-8 meter dan dengan diameter poros 10-15 cm. Beban yang dilaporkan ini tidak bisa diterangkan dengan hukum klasik dan teori mekanika tanah. Tetapi, kapasitas beban ini telah diterangkan dengan back analisis data uji lapangan yang oleh karenanya efek kondisi tanah, dimensi angkur, teknik konstruksi, dan bermacam-macam faktor yang tidak dinilai secara numerik diukur secara kuantitatif dan dimasukkan dalam analisis. Jadi, pengalaman menunjukkan bahwa beban akhir angkur dalam pasir tergantung pada :

- (a) Kepadatan relatif dan tingkat keseragaman tanah
- (b) Dimensi dan geometri angkur tetap
- (c) metode injeksi *grout* dan tekanan *grout* yang digunakan
- (d) Dilatansi dalam tanah yang bisa menyebabkan tekanan normal lebih tinggi, friksi lebih besar pada interfade *grout*-tanah

(e) Pada tingkat yang lebih kecil, metode pengeboran dan peralatannya.

Dalam konteks teoritis rancangan, sebelum beban dan zona-zona angkur tetap ditentukan, perlu adanya data-data tanah yang akurat, termasuk analisis saringan, kurva *grading*, sudut friksi internal, dan tebal stratum-stratum pasir.

2.3.4.2 Angkur Pada Tanah Lempung

Kapasitas beban angkur dalam lempung umumnya rendah, kecuali tidak bisa diperbaiki dengan prosedur khusus, karena adhesinya yang rendah. Lebih banyak permasalahan dalam transfer beban akan timbul bila creep jangka panjang terjadi dan bila lubang angkur dibiarkan melunak. Kapasitas beban dapat diperbaiki dengan :

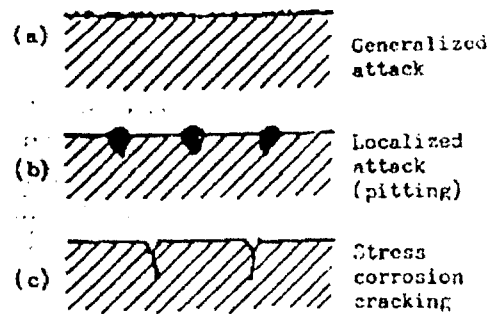
- (a) Menyuntikkan batu kerikil yang tidak beraturan ke dalam lubang pada panjang angkur yang tetap, bersama dengan grout semen
- (b) Menggunakan grouting bertekanan tinggi
- (c) Menggunakan bell atau underream dalam zona angkur tetap. Masing-masing jenis ini respon terhadap beban diferensial.

2.3.5 Kerusakan dan Pencegahan Kerusakan Angkur

Mengenai sebab-sebab korosi dan efek yang terjadi, jenis-jenis korosi dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori utama berikut :

- a. *Generalized attack*
- b. *Localized attack*
- c. *Cracking*

Tiga kategori ini dilukiskan pada Gambar 2.14



Gambar 2.14
Type Korosi
Sumber : Petros P Xanthakos, 1990

2.3.5.1 Generalized attack

Serangan korosi dalam hal ini kira-kira seragam dan mencakup permukaan logam seperti tampak pada Gambar 2.14a, dimana situs anoda dan katoda tidak ada atau naik turun pada permukaan. Bila bentuk ini terjadi, maka daerah anoda dan katoda harus sama seperti polarisasi anoda dan katoda, dan kedua proses ini mengendalikan tingkat korosi dengan merata. Di beberapa bagian, hal ini mungkin untuk produk korosi terbentuk film terus-menerus yang bisa beraksi sebagai lapisan pelindung dan menghambat serangan selanjutnya.

2.3.5.2 Localized attack

Serangan ini bisa disebut korosi elektrokimia, dan dimanifestasi sebagai perlubangan dalam atau dangkal seperti tampak pada Gambar 2.14b. Pembentukan lubang-lubang ini menyebabkan konsentrasi tekanan lokal dan kegagalan sebelum waktunya. Dengan baja pratekanan konvensional, lubang-lubang telah diamati dalam adanya garam yang digunakan untuk membuat es atau di dekat air laut.

Localized attack mungkin disebabkan oleh adanya film oksida pelindung pada logam atau alloy. Korosi *crevice* akan terjadi dalam adanya ion-ion agresif

seperti flour. Pitting atau perlubangan bisa berakibat berat, namun kerugian logam keseluruhan kecil. Sedangkan perbedaan antara pitting dan korosi lokal adalah tidak tepat. Pitting sering didefinisikan dengan dipandang dari geometri lubang. Jadi, telah disarankan bahwa transisi dari pitting ke *localized attack* terjadi ketika rasio antara lebar pit dan kedalaman rata-rata adalah 4 atau kurang, walaupun rasio 1 banyak diterima sebagai definisi pit.

2.3.5.3 Korosi (Peretakan)

Ini merupakan bentuk korosi dimana sebab-sebab fisik menguasai, walaupun SCC (*Stress Corrosion Cracking*) dihasilkan oleh kombinasi aksi tekanan tensil statis pada baja dan korosi lokal. SCC lebih umum terdapat pada alloy dimana film oksida yang memfasilitasi ada bersama media korosi yang sesuai. Mekanisme yang seksama tidak dipahami secara sempurna. Tetapi, tampak bahwa aksi korosi lokal menghasilkan lubang sempit, yang membuat kekuatan tensil bisa memusatkan pada ujung lubang itu, yang mengakibatkan terbentuknya permukaan logam dimana kehancuran selanjutnya bisa terjadi. Dengan kombinasi propagasi aksi ini terjadi menyebabkan keretakan sepanjang batas-batas butiran atau bidang selip dalam kisi-kisi kristal. Reduksi luas penampang silang yang mengikuti mengarah pada kegagalan dengan *plastic yielding*.

Batas-batas ini berlaku pada air yang mengalir lemah atau stagnant pada persediaan yang banyak. Ini diasumsikan menyerang ankur dengan segera dan efeknya tidak dikurangi oleh reaksi dengan *grout*. Tingkat agresifitas yang paling tinggi ditunjukkan pada air tanah sekalipun diperoleh hanya salah satu dari 5 kelas



yang ditunjukkan. Bila nilai-nilai dalam dua kelas atau lebih terletak pada kuartil atas range, maka tingkat agresifitas ditingkatkan oleh satu grade.

Agresifitas yang lebih tinggi harus diterima untuk suhu dan tekanan yang lebih tinggi atau bila *gROUT* tergantung pada abrasi mekanis yang disebabkan oleh air yang mengalir atau air yang teragitasi. Tingkat agresifitas berkurang pada suhu yang lebih rendah bila air yang jumlahnya kecil ada dan air itu masih, dan bila bahan agresif dapat diaktifkan secara perlahan, misalnya dalam tanah yang permeabilitasnya rendah ($k = 10^{-3}$ cm/detik).

2.3.6 Prinsip Pendisaian dari Struktur Angkur

Pemilihan angkur yang sesuai untuk proyek tertentu menghendaki pengetahuan dan pemahaman lengkap mengenai berbagai sistem angkur. Jenis-jenis angkur baru dan dikembangkan dan diperkenalkan di pasar, sebagai jawaban atas usaha konstruksi yang kompleks dan untuk meningkatkan kinerja dan mengurangi biaya. Sebagian dianggap sesuai untuk aplikasi tertentu, dan sebagian dianggap praktis dalam kondisi-kondisi tanah yang terbatas dan kombinasi pembebanan. Sebaliknya, praktek dan kendala ekonomi lokal yang berbeda-beda sering merintangi penyelesaian ini atas dasar kinerja nilai dan pilihan yang lebih bagus bisa mengacu pada permasalahan nanti dengan implikasi ekonomis dan teknis. Dengan letak konstruksi yang disediakan dan penggunaan angkur, masalah pemilihan angkur tidak sederhana dan rumit karena banyak faktor yang mempengaruhi kinerja angkur. Karena konstruksi angkur terus menarik lebih banyak perhatian, maka ini akan tetap merupakan operasi spesialis, dan meskipun difusi dan penyebaran teknologi angkur yang luas, banyak yang tetap dipelajari tentang subyek ini. Dalam hal ini, kegagalan

memberikan perhatian yang layak pada pilihan sistem ankur yang sesuai dapat mengarah pada efisiensi dengan kerusakan dan implikasi struktural potensial.

2.3.6.1 Konsep Rancangan Ankur

Untuk tujuan pendahuluan, rancangan ankur dapat dibatasi pada penentuan sederhana dari batas atas panjang ankur tetap, dan kemudian mengasumsikan kondisi perbatasan pada kegagalan untuk mendukung kecukupannya. Ini mungkin cukup untuk menentukan kecocokan ankurage yang diusulkan. Rancangan terakhir adalah lebih luas dan meliputi tujuan-tujuan berikut :

1. Memilih inklinasi ankur
2. Mengidentifikasi jenis-jenis baja, ukuran dan konfigurasi yang sesuai
3. Menentukan jarak horisontal kepala-kepala ankur, dan jarak vertikal baris-baris ankur.
4. Menghitung panjang ankur tetap dan bebas
5. Menaksir ketahanan ankur terhadap pembebanan statis atau siklik
6. Menentukan program pengetesan ankur yang sesuai
7. Memilih dan menerangkan sistem perlindungan korosi
8. Memeriksa stabilitas ankur-struktur

2.3.6.2 Pemasangan Ankur

Ankur permanen diinstal/dipasang secara rutin di tanah-tanah yang kurang kohesinya tetapi jarang pada medium tanah kohesif yang lunak berkenaan dengan kemampuan menahan beban jangka panjang. Menurut Weatherby dan Nicholson (1982), ankur yang diinstal di dalam tanah dengan kekuatan tekanan tak sesuai yang

lebih besar dari 1 ton per kaki persegi dan indeks konsistensi, I_c lebih besar dari 0,8 tidak mengalami kehilangan beban atau gerakan menurut waktu secara signifikan.

Indeks konsistensi ditetapkan sebagai berikut :

$$I_c = \frac{LL - W}{LL - PL} \quad (2.32)$$

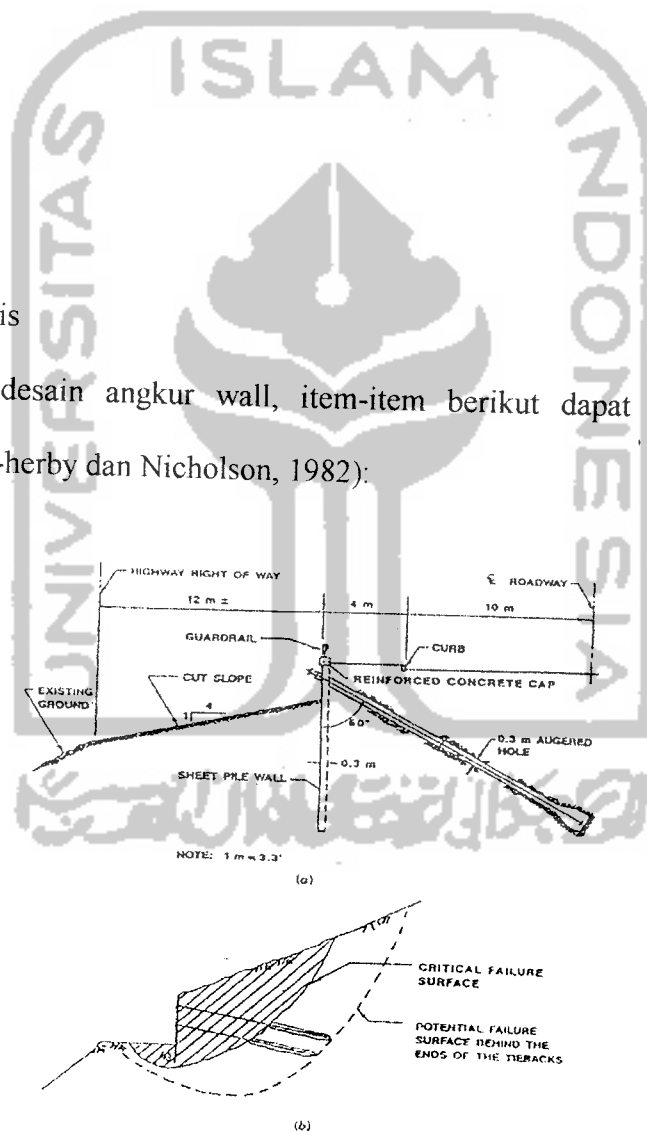
di mana :

LL = batas cair

W = Kadar air

PL = batas plastis

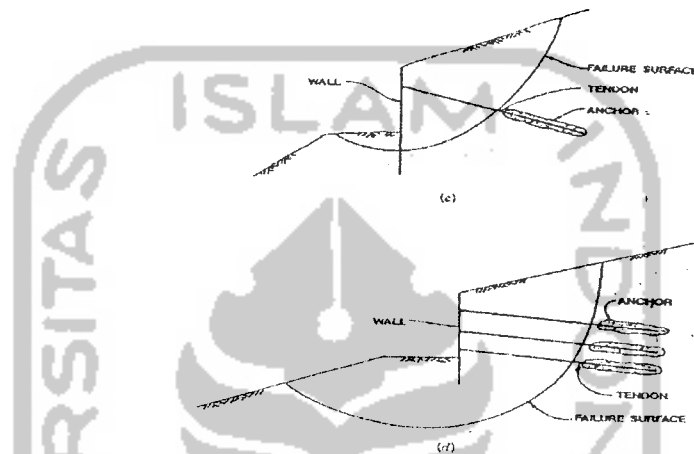
Untuk desain angkur wall, item-item berikut dapat bertindak sebagai pedoman (Weatherby dan Nicholson, 1982):



Gambar 2.15 (a) Potongan dinding angkur
(b) Kegagalan permukaan kritis
(sumber: Weatherby and Nicholson, 1982)

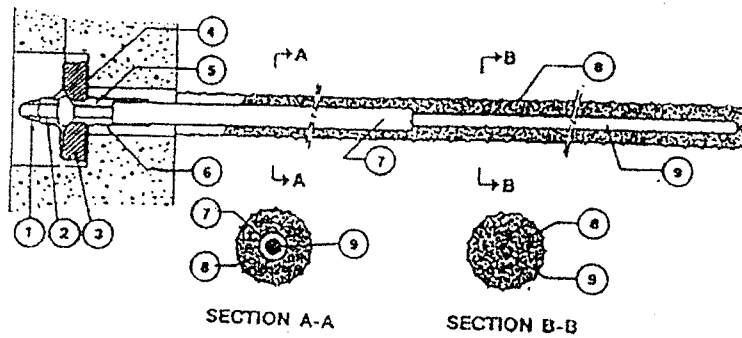
1. Beban disain biasanya bervariasi antara 50 dan 130 ton. Tendon angkur dari kapasitas tersebut dapat dibangun tanpa perlengkapan berat dan bor lubang tidak perlu lebih besar dari 6 inci. Selain itu, perlengkapan tekanan dan pengujian bias siap ditangani tanpa menggunakan perlengkapan pengangkat daya.
2. Panjang dari sebuah angkur dikontrol dengan persyaratan stabilitas. Panjang yang terikat dari angkur akan dipilih sehingga jangkar diletakkan melebihi permukaan kelongsoran kritis yang potensial. Panjang total dari angkur seharusnya dibuat sedemikian rupa sehingga kemungkinan kelongsoran permukaan dibelakang angkur akan memiliki suatu factor keamanan yang sama dengan atau lebih besar dari yang ada pada kegagalan permukaan kritis seperti pada gambar 2.15b.
3. Untuk kelongsoran permukaan dangkal seperti pada gambar 2.15c dinding didisain untuk memberikan tahanan bagian pada bagian luar. Sedangkan pada kelongsoran dalam minimal dibutuhkan dua angkur untuk menahan gambar 2.15d
4. Maka dapat diharapkan bahwa minimal 15 kaki dari kelebihan beban di atas zona pengikat jangkar. Sebagian besar angkur dipasang pada satu sudut antara 10° dan 30° dari garis horisontal. Teknik-teknik pemasangan mungkin diperlukan bila sudut kemiringannya kurang dari 10° . Bila tingkat penjangkaran yang sesuai pada beberapa kedalaman, satu sudut hingga 45° dapat dipilih. Semakin tinggi sudutnya, bagaimanapun kekuatan angkur kurang bertindak secara horisontal dan semakin lama kebutuhan angkur yang diberikan untuk kekuatan

horizontal tertentu yang diperlukan. Dengan menambah sudut kemiringan, komponen beban vertikal angkur juga bertambah, sehingga menambah beban ke bawah pada dinding dan mendasari bahan-bahan fondasi. Hal ini harus diperhitungkan selama mendesain timbunan-timbunan dan penyangga lain.



Gambar 2.15 (c) Disain perkuatan untuk kelongsoran dangkal
(d) Disain perkuatan unyuk kelongsoran dalam
(sumber: Weatherby and Nicholson, 1982)

- 5 Diameter lubang bor sebuah angkur biasanya antara 3 dan 6 inci. Mayoritas angkur tanah dibor dengan bor besar atau pingggiran/selubung (casing). Karena bobot casing dan yang berkaitan dengan masalah-masalah pengeboran dan penanganan untuk casing yang lebih besar, ukuran umum terbesar dari casing adalah 6 inci.
- 6 Dua tipe tendon yang umumnya digunakan:
 - a. 7 kawat berdiameter 0,6 inci yang memiliki kekuatan keregangan akhir 270 kips per inci persegi; dan
 - b. jeruji-jeruji berdiameter 1-1,375 inci yang di ubah bentuknya yang memiliki kekuatan keregangan akhir 150 kips per inci persegi.



LEGEND:

- 1) INSULATING COVER OF PREFORMED PLASTIC, HEAT-SHRINKABLE SLEEVE, OR MOLDABLE TAPE.
- 2) NUT.
- 3) BEARING PLATE
- 4) BEARING PLATE INSULATION
- 5) ANTICORROSION GREASE.
- 6) PLASTIC TRUMPET.
- 7) GREASE FILLED PVC OR POLYETHYLENE SHEATH
- 8) ANCHOR GROUT.
- 9) TENDON.

(e)

Gambar 2.15e Bagian-bagian ankur
(sumber: Weatherby and Nicholson, 1982)

- 7 Semua ankur permanen seharusnya dilindungi dari korosi. Sebagian besar diantaranya dilindungi dengan semen portland yang dipasang pada sepanjang jangkar dan pipa yang diisi minyak gemuk atau tabung tahan panas sepanjang yang tidak berbeban (Gb.2.15e). Bila tanah sekitar panjang jangkar memiliki pH kurang dari 5, resistivitas kurang dari 2.00 ohm-cm, atau terdapat sulfida, maka tendon seharusnya dilapisi seluruhnya dengan plastik atau pipa baja.
- 8 Bila perlu, keselarasan ankur dari pemilik properti yang berdekatan harus diperoleh. Instalasi ankur paling ekonomis akan dicapai bila kontraktor memiliki beberapa tingkat fleksibilitas dalam pemilihan tipe ankur dan metode konstruksi.

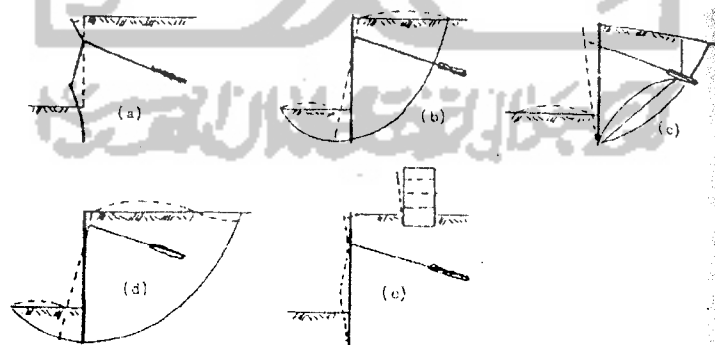
Desainer harus menghususkan panjang tak berbeban minimal, total minimal panjang ankur, dan kapasitas unit ankur atau diagram bermuatan yang dikhususkan pada tiap level ankur. Selain itu, tipe atau level proteksi korosi yang diharapkan harus dikhususkan, dan juga metode pembagian kapasitas beban jangka

panjang. Akhirnya, tiap produksi angkur harus diuji untuk membuktikan bahwa jangkar akan membawa beban desain.

2.3.6.3 Pembahasan Disain

Gambar 3.16 menunjukkan kondisi pembatas potensial untuk dinding yang disangga pada puncak oleh satu baris angkur dan pada dasar oleh tancapan yang cukup di bawah permukaan galian. Pada bagian (a) struktur dinding lebih terbebani di luar kapasitas struktural, dan pada batas kegagalan yang juga bisa menarik angkur keluar zona tetap.

Dengan panjang angkur yang tidak memadai di luar bidang selip dan juga dengan tancapan yang tidak cukup di bawah kedalaman galian, dinding bisa berubah dengan rotasi seperti ditunjukkan dalam (b). Tahanan tanah pasif dimanifestasi dalam hubungannya dengan bidang selip massa tanah dan bisa dipersepsikan dengan pengukuran deformasi dinding. Equilibrium dibentuk dengan menambah tancapan dinding, yang juga mengakibatkan zona angkur lebih panjang.

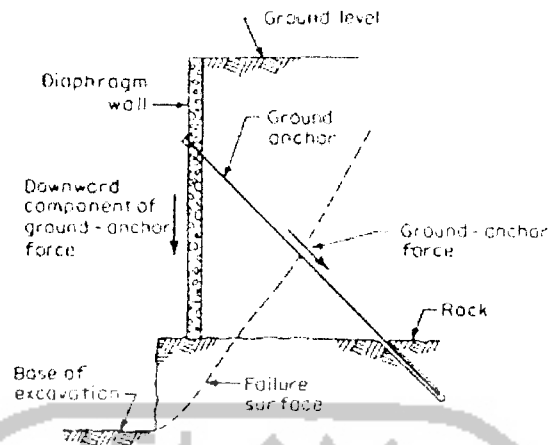


Gambar 2.16
Macam kondisi yang terjadi akibat penggunaan angkur
Sumber : Abramson, Lee, Sunil S, GM Boyce, 1995

Dalam c, dinding memiliki cukup tancapan di bawah permukaan galian dan stabil dalam zona ini, tetapi bergeser ke depan seperti yang ditunjukkan karena angkur terlalu pendek dan zona tetapnya dalam daerah yang selip. Dalam hal ini, stabilitas massa tanah harus dianalisis setelah zona angkur tetap digeser sampai melampaui batas selip potensial. Deformasi tanah yang bisa diukur terjadi sebelum kondisi ini tercapai.

Kondisi yang ditunjukkan pada (d) melibatkan kejadian selip massa tanah dan rotasi dinding. Ini terjadi karena dua faktor yang tidak stabil berikut : tidak cukupnya tancapan (tanaman) dinding dan zona angkur tetap pada massa tanah yang condong ke kegagalan. Pengukuran deformasi tanah dapat digunakan untuk memantau kondisi ini dan memberikan indikasi tentang bahaya-bahaya yang mungkin timbul.

Kondisi yang ditunjukkan pada (e) melibatkan interaksi antara struktur stabil-angkur-tanah, tetapi deformasi tanah yang berlebihan yang mungkin disebabkan oleh pergeseran dinding horisontal mengakibatkan kondisi fondasi yang tidak stabil untuk struktur yang ada. Pengukuran dinding lateral akan menandai awal situasi ini. Kejadian jenis ini mungkin disebabkan oleh angkur yang berlebihan, gerakan tanah di atas dan di bawah permukaan galian, dan dinding-dinding yang terlalu fleksibel dan deformasi.



Gambar 2.17
Potongan vertikal angkur
Sumber : Abramson, Lee, Sunil S, GM Boyce, 1995

Gambar 2.17 melukiskan masalah umum dengan potongan-potongan vertikal dalam. Tekanan-tekanan tanah lateral dapat dipertimbangkan karena kedalaman, dan komponen vertikal yang terjadi memiliki besaran yang cukup. Dengan angkur yang sangat miring, yang biasanya dipilih untuk panjang angkur yang cukup yang diperlukan untuk mencapai zona angkur tetap, komponen vertikal ini selanjutnya meningkat dan bisa mengakibatkan kegagalan gesek seperti yang ditunjukkan. Stabilitas tanah tidak hanya merupakan masalah kekuatan tetapi juga tergantung pada ada tidaknya retakan-retakan, tambalan-tambalan yang diisi dengan lempung, sambungan-sambungan lemah dan pecahan. Masalah yang sama bisa timbul dengan dinding penanda tanah konvensional dimana komponen yang dipengaruhi vertikal dari beban angkur melebihi kapasitas bearing dinding di dasarnya.

Potensi tarikan vertikal dinding di bawah beban angkur lebih dihindari dengan mengurangi komponen angkur vertikal, menambah kapasitas bearing dinding di dasar, atau keduanya. Bila lokasi zona angkur tetap ada di dekat permukaan, maka inklinasi angkur bisa sedatar 15° , yang mengurangi komponen angkur vertikal. Bila

kedalaman zona ankur menghendaki sudut-sudut yang lebih curam ($45-50^\circ$) dinding harus dirancang untuk memberikan kapasitas bearing yang sama dengan beban vertikal yang diinginkan.

2.3.6.4 Inklinasi Angkur.

Kebanyakan ankur dimiringkan untuk mempermudah pengeboran lubang ankur, *homing* dan *grouting*. Selanjutnya, ankur harus dicondongkan untuk menghindari fondasi-fondasi yang berdekatan dan struktur-struktur yang dipendam, atau untuk mencapai lapisan tanah yang sesuai. Secara alternatif, variasi kecondongan (inklinasi) dipilih untuk mencapai pemisah*an panjang ground.

Sudut 15° dengan horisontalnya dianggap oleh banyak kontraktor sebagai inklinasi praktis minimal yang dapat menyesuaikan prosedur-prosedur *grouting* yang layak. Selanjutnya, inklinasi ankur kecil berarti kekurangan kedalaman ankur beban dalam zona tetap yang membatasi kapasitas ankur. Dalam range kedalaman yang cukup, kebanyakan ankur-ankur tanah di pasang pada sudut $15-30^\circ$. Bila tanah yang sesuai untuk ankur relatif dalam, maka sudut yang lebih curam (biasanya 45°) dapat dipilih sebagai kesesuaian antara panjang ankur dan pengurangan komponen horisontal untuk kapasitas ankur aksial.

2.3.6.5 Panjang Angkur Keseluruhan.

Titik-titik masuk ankur, inklinasi pemasangan, dan kedalaman stratum-stratum tanah yang sesuai untuk menetapkan ankur, panjang keseluruhan harus memenuhi geometri sistem. Panjang ankur total yang diperoleh dengan cara

ini sebaiknya dipilih dengan sudut pandang biaya angkur, dan dibandingkan dengan penyelesaian yang lain.

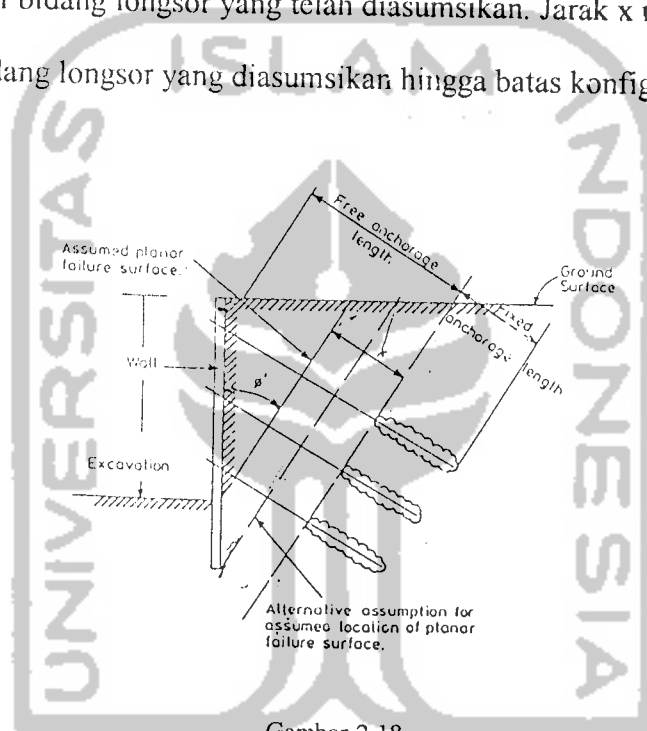
Untuk pemasangan angkur normal, khususnya yang berkaitan dengan dinding penahan, panjang angkur keseluruhan 12,5 sampai 21 meter adalah sangat umum, dengan panjang tetap minimal 6 meter. Dalam kisaran ini, perekonomian sistem dicatat dengan baik. Bila panjang angkur keseluruhan melebihi 125 – 150 kaki, maka keuntungan ekonomis harus diteliti dan dihubungkan dengan perbandingan langsung dengan alternatif yang lain.

Tes-tes lapangan akan mengecek dan mendukung kecukupan panjang tetap angkur, dengan ketetapan untuk mengubah angkur lain bila panjang tetap yang dipilih awal tidak memuaskan. *Regrouting* juga merupakan pemulihan dimana kapasitas angkur harus dinaikkan.

Pemilihan panjang tetap untuk angkur-angkur dalam lempung harus mengenali validitas relatif dari analisis tekanan efektif dan kekuatan gesek. Kesulitan selanjutnya timbul dalam menghitung faktor kapasitas *bearing* dalam angkur *underream*, koefisien reduksi yang diterapkan pada komponen-komponen gesek samping yang meliputi efek gangguan tanah dan perlunakan selama konstruksi, penggunaan tekanan injeksi yang lebih tinggi dengan dan tanpa *postgrouting* dan limit waktu atas yang ditetapkan untuk proses pengeboran, *underream* dan *grouting*. Kondisi tanah yang berdekatan dengan zona tetap juga akan berpengaruh signifikan terhadap kapasitas pembawa beban. Misalnya, bila lempung di dekat zona tetap mengandung celah-celah yang terisi pasir atau terbuka, reduksi 5% dalam komponen *bearing* dan gesekan samping bukan tidak mungkin.

2.4 Bidang Longsor (*Slip Surface*)

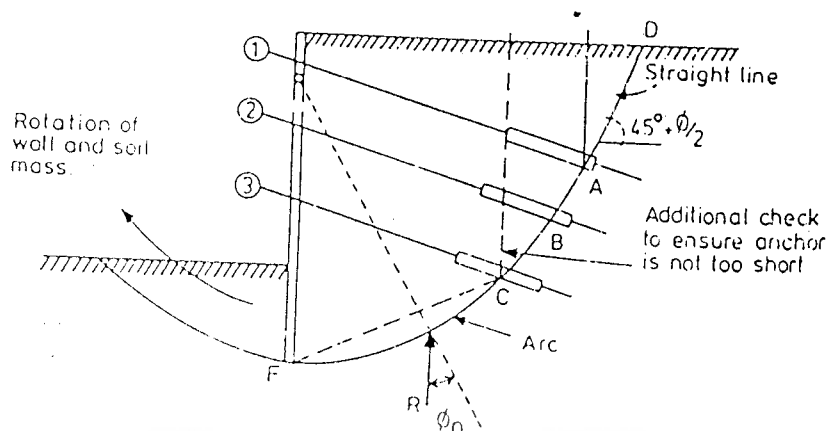
Penentuan bidang longsor didasarkan pada batas keseimbangan sehingga diperoleh asumsi bidang longsor (gambar 2.18). Bidang longsor yang telah diasumsikan akan berkembang hingga konfigurasi planar sepanjang bidang longsohnya. Berdasarkan pertimbangan diatas maka fixed anchor atau bond dipasang sepanjang x dari bidang longsor yang telah diasumsikan. Jarak x merupakan dua kali panjang dari bidang longsor yang diasumsikan hingga batas konfigurasi planar.



Gambar 2.18

Stabilitas anchor pada batas keseimbangan dengan bidang longsor planar
Sumber : Petros P Xanthakos, 1990

Kelongsoran yang biasanya terjadi diasumsikan dengan analisis batas keseimbangan dimana sepanjang bidang longsohnya merupakan kelongsoran lingkaran (gambar 2.19). Metode yang banyak digunakan untuk menganalisis bidang longsor berbentuk lingkaran adalah metode Fellenius. Setelah penentuan perletakan anchor maka perlu pengecekan ulang dengan metode Fellenius tentang slip surface yang akan terjadi sehingga terlihat jika anchor yang dipasang terlalu pendek.



Gambar 2.19

Stabilitas ankur pada batas keseimbangan dengan bidang longsor berbentuk lingkaran
Sumber : Petros P Xanthakos, 1990

2.4.1 Stabilitas lereng menurut metode irisan Fellenius

Metode yang paling umum dari analisis stabilitas lereng didasarkan atas batas keseimbangan. Pada analisis jenis ini faktor aman mengenai stabilitas dari lereng diestimasi dengan menguji kondisi keseimbangan pada saat terhitung keruntuhan tepat mulai terjadi sepanjang bidang runtuh yang semula ditetapkan, dan kemudian membandingkan antara kekuatan yang diperlukan untuk mempertahankan keseimbangan terhadap kekuatan dari tanah. Semua soal-soal keseimbangan batas adalah statis tak tentu dan karena hubungan tegangan regangan sepanjang bidang runtuh perkiraan tidak diketahui, maka perlu membuat asumsi-asumsi yang cukup sehingga memungkinkan dengan hanya menggunakan satu persamaan. Jumlah dan jenis asumsi – asumsi yang dibuat akan menggiring ke perbedaan pokok dalam berbagai metode analisis batas keseimbangan.

Dalam penyelesaian menurut Fellenius diasumsikan bahwa untuk setiap irisan, resultan gaya-gaya antar irisan adalah nol. Penyelesaian tersebut meliputi

penyelesaian ulang untuk gaya-gaya pada setiap irisan yang tegak lurus terhadap dasar, yaitu

$$N' = W \cos \alpha - ul \quad (2.33)$$

Kemudian faktor keamanan yang dinyatakan dalam tegangan efektif (2.33) diberikan oleh

$$SF = \frac{c'L + \tan \phi \sum (W \cos \alpha - ul)}{\sum W \sin \alpha} \quad (2.34)$$

Komponen-komponen $W \cos \alpha$ dan $W \sin \alpha$ dapat ditentukan secara grafis untuk setiap irisan. Alternatif lain, nilai α dapat diukur atau dihitung. Dan sejumlah permukaan keruntuhan coba-coba harus dipilih untuk mendapatkan faktor keamanan yang minimum. Penyelesaian ini menghasilkan perkiraan faktor yang lebih kecil. Kesalahannya jika dibandingkan dengan metode analisis yang lebih akurat, biasanya berada pada rentang 5-20%.

$(W \cos \alpha - ul)$ dapat bernilai negatif jika nilai W pada irisan kecil atau nilai tekanan pori terlalu besar atau keduanya. Whitman dan Bailey, 1967 memberikan nilai nol pada beberapa irisan yang negatif atau mengkalkulasikannya dengan persamaan (2.35)

$$SF = \frac{c'L + \tan \phi \sum (W \cos \alpha - ul \cos^2 \alpha)}{\sum W \sin \alpha} \quad (2.35)$$

2.4.2 Teori plasticity (metoda Sokolovski)

Metoda Sokovski (1961) diperlukan untuk melakukan solusi analitik terhadap tahanan tarik pada kondisi dua dimensi (*plain stain*). Pada solusi ini ditinjau keduanya, keseimbangan dan kondisi kerutuhan. Untuk mendapatkan keseimbangan batas, ditentukan massa tanah dengan batasan sb-x dan kemiringan OA, dimana bekerja fungsi beban $p(x)$ dan $q(x)$ (Gambar 2.20).

keseimbangan arah - x:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = \gamma \sin \alpha \quad (2.36)$$

keseimbangan arah - z:

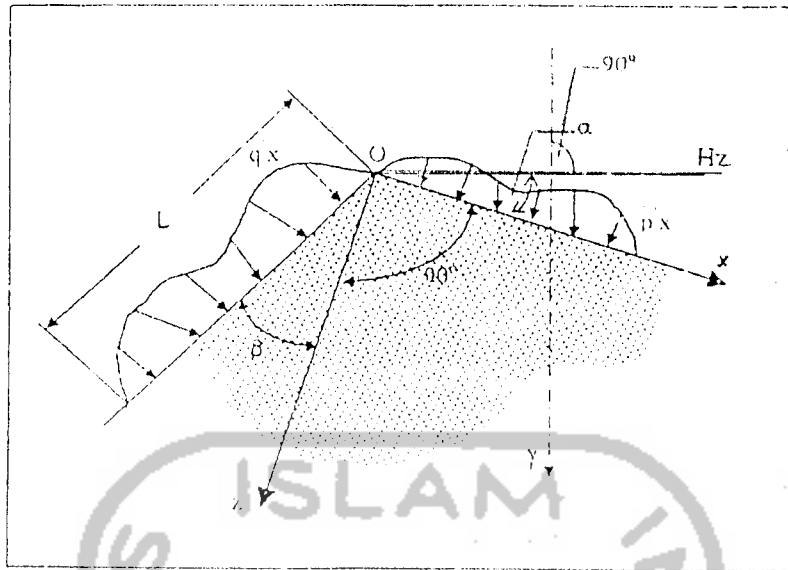
$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \gamma \cos \alpha \quad (2.37)$$

untuk harga $\alpha = 0$

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = 0 \quad (2.38)$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \gamma \quad (2.39)$$

$$\tau_{zx} = \tau_{xz} \quad (2.40)$$



Gambar 2.20
Kondisi keseimbangan batas secara umum (Harr, 1966)
Sumber : M.E. Harr, 1966

Untuk mendapatkan kondisi keutuhan, semua tenaga yang terjadi didapatkan dari kriteria *Mohr-Coulomb*, seperti dibawah ini:

$$\frac{1}{4}(\sigma_x - \sigma_z)^2 + \tau_{xz}^2 = \frac{\sin^2 \phi}{4} (\sigma_x + \sigma_z + 2c \cos \phi)^2 \quad (2.41)$$

untuk pasir $c = 0$

$$(\sigma_x - \sigma_z)^2 + 4\tau_{xz}^2 = (\sigma_x + \sigma_z)^2 \sin^2 \phi \quad (2.42)$$

jika

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} \quad (2.43)$$

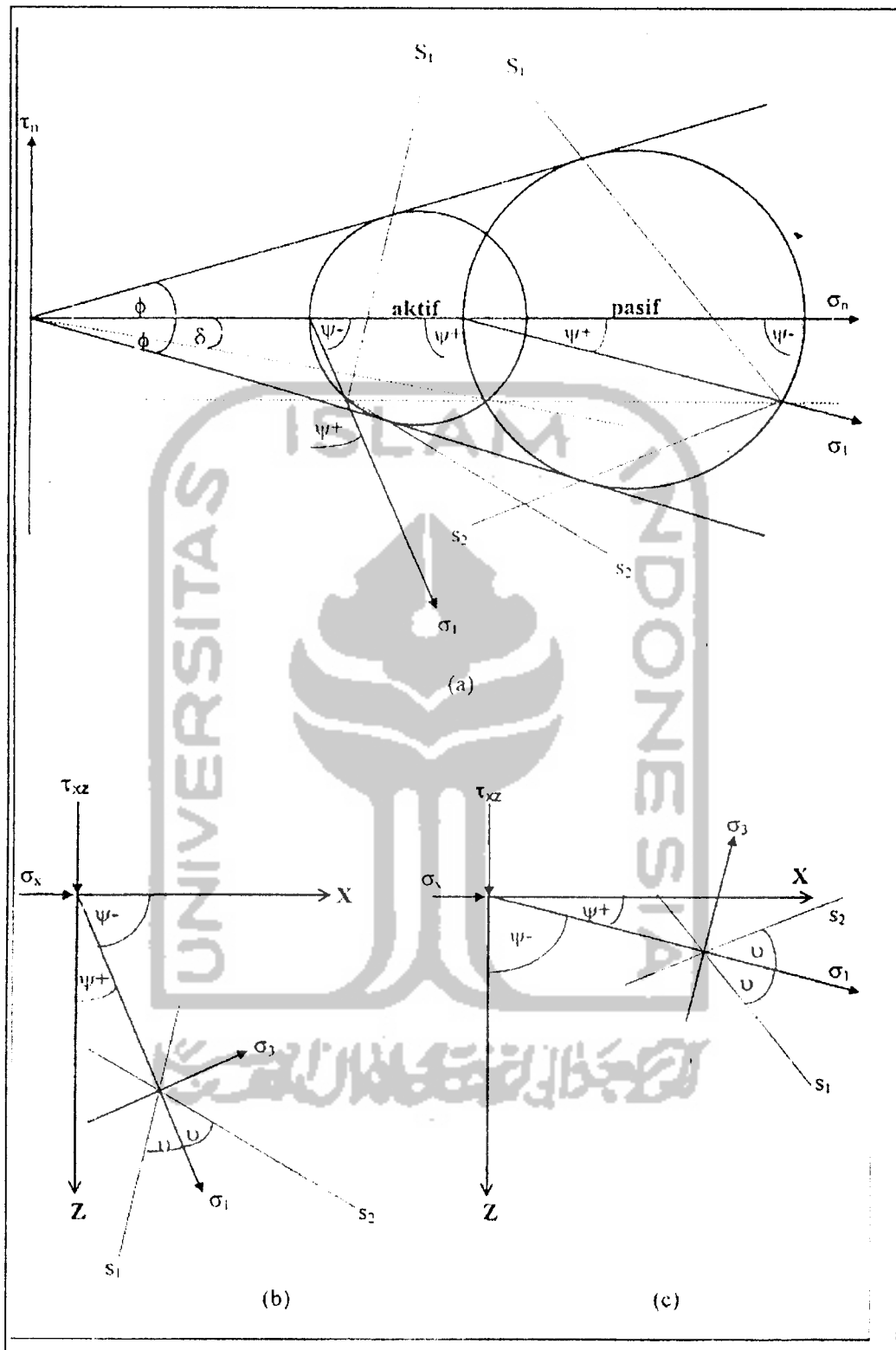
maka

$$\sigma_x = \sigma(1 - \sin \phi \cos 2\psi) \quad (2.44)$$

$$\sigma_z = \sigma(1 + \sin \phi \cos 2\psi) \quad (2.45)$$

$$\tau_{xz} = \sigma(\sin \phi \sin 2\psi) \quad (2.46)$$

ψ = sudut orientasi dari tegangan utama, dapat dilihat pada Gambar 2.21



Gambar 2.21

Garis keruntuhan berdasarkan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb
 a) keseluruhan b) kondisi aktif c) kondisi pasif

Sumber: Harr, 1966

2.4.3 Teori kondisi plane strain

Mekanisme alih beban antara tanah dengan inklusi pada sistem perkuatan pada tanah pada umumnya terdiri dari dua mekanisme, yaitu: gesekan (*friction*) yang terjadi antara permukaan inklusi, dengan tanah, dan tahanan pasif (*passive resistance*). Analisis teoritik terhadap mekanisme alih beban antara pasir dengan angkur bertujuan untuk mengetahui kontribusi dari kedua mekanisme tersebut diatas dalam menghasilkan tahanan angkur. Analisis ini menggunakan model plastisitas dua dimensi berdasarkan metoda Sokolovski (1965).

Keuntungan yang didapat dengan mengidentifikasi kedua mekanisme diatas adalah prediksi tahanan tarik angkur yang lebih realistik berdasarkan kontribusi dari kedua mekanisme, tidak hanya berdasarkan data uji empirik dari koefisien gesekan nyata (*apparent coefficient of friction*)

Tujuan pada keruntuhan Mohr-Coulomb (gambar 2.21) menghasilkan garis keturunan s_1 dan s_2 yang menunjukkan lintas kritis dimana kondisi tegangan gesekan mencapai limit. Garis s_1 didapat mengambil sudut ψ searah jarum jam dari tegangan utama (σ_1) dan garis s_2 didapat dengan sudut yang sama tetapi berlawanan jarum jam dari σ_1 . Sudut $\psi = \pi/4 - \phi/2$ dan sudut antara s_1 dan s_2 adalah $(\pi/2 - \phi)$, sedangkan orientasi s_1 dan s_2 terhadap sumbu x-y adalah :

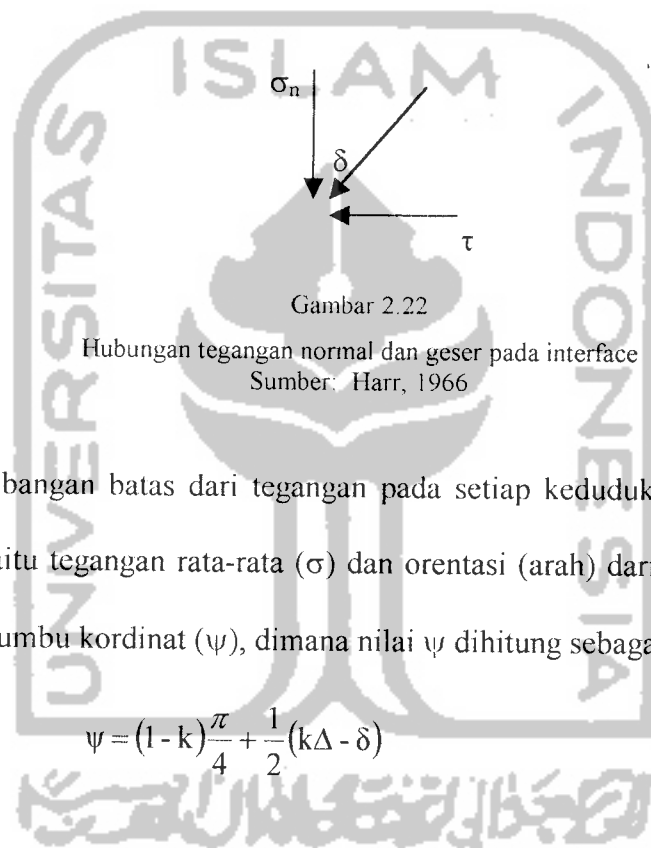
$$\frac{d_x}{d_z} = \tan(\psi - \nu) \quad \text{untuk } s_1 \quad (2.47)$$

dan

$$\frac{d_x}{d_z} = \tan(\psi + \nu) \quad \text{untuk } s_2 \quad (2.48)$$

Pada umumnya sudut gesek antara tanah dengan material lain adalah δ dan tegangan normal pada bidang sesek adalah σ_n , sehingga tegangan resultanse yang dihasilkan adalah p tertera pada gambar 2.22 dimana:

$$\frac{p}{\cos\delta} = \sigma_n \quad (2.49)$$



Keseimbangan batas dari tegangan pada setiap kedudukan dinyatakan oleh dua besaran yaitu tegangan rata-rata (σ) dan orientasi (arah) dari tegangan prinsipal (σ_1) terhadap sumbu kordinat (ψ), dimana nilai ψ dihitung sebagai berikut:

$$\psi = (1-k)\frac{\pi}{4} + \frac{1}{2}(k\Delta - \delta) \quad (2.50)$$

dimana:

$$k = \pm 1$$

untuk $k = 1$

$$\psi = \frac{1}{2}(\Delta - \delta) \quad (2.51)$$

untuk $k = -1$

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2}(\Delta + \delta) \quad (2.52)$$

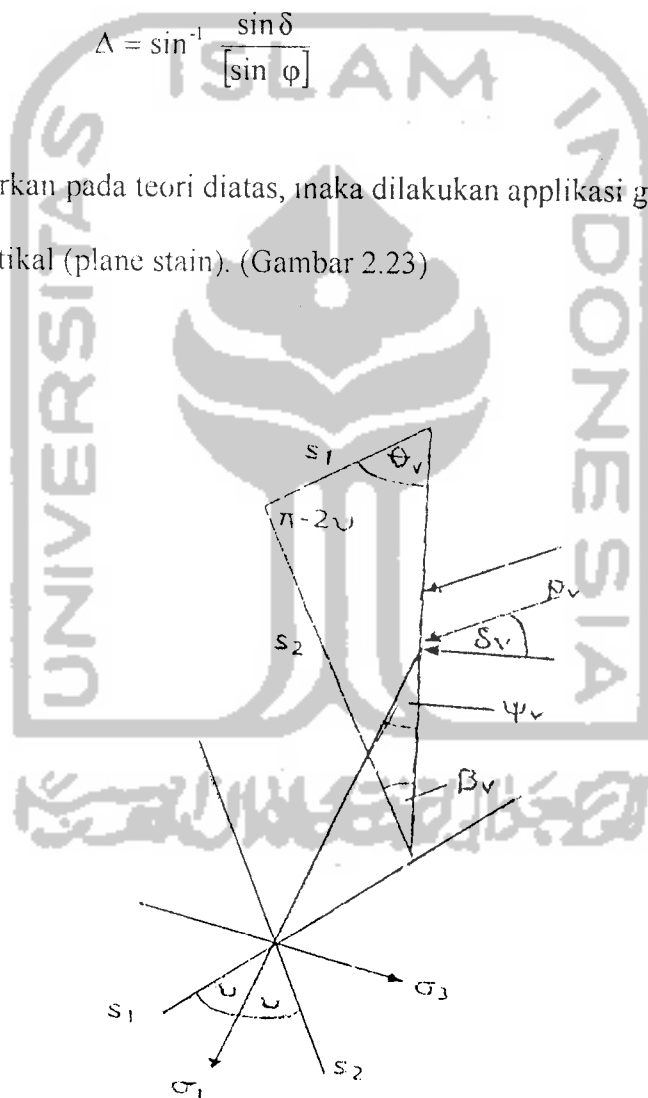
sedangkan besarnya tegangan rata-rata (σ) adalah:

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = \frac{p \sin \Delta}{\sin(\Delta - k\delta)} = \frac{p}{\cos \delta - k\sqrt{\cos^2 \delta - \cos^2 \psi}} \quad (2.53)$$

dimana $k = \pm 1$ dan $\delta \leq \phi$ (II.12)

dan $\Delta = \sin^{-1} \frac{\sin \delta}{\sin \phi}$ (2.54)

Berdasarkan pada teori diatas, inaka dilakukan aplikasi garis kerutuhan pada batang tipis vertikal (plane stain). (Gambar 2.23)



Gambar 2.23
Garis keruntuhan pada pembebanan aktif
Sumber: Harr, 1966

Jika δ_y adalah sudut geser permukaan pada batang vertikal, σ_{nv} adalah tegangan normal pada dan p_v adalah tegangan resultante pada bidang vertikal maka seperti yang tertera dalam Gambar 2.22

$$p = \frac{\sigma_{nv}}{\cos \delta} \quad (2.55)$$

kondisi pembebanan pada batang vertikal adalah aktif sehingga:

$$\psi = \frac{1}{2}(\Delta_v - \delta_v) \quad (2.56)$$

$$\sigma = \frac{p_v \sin \Delta_v}{\sin(\Delta_v - \delta_v)} \quad (2.57)$$

dimana $\Delta = \sin^{-1} \frac{\sin \delta_v}{[\sin \phi]}$ (2.58)

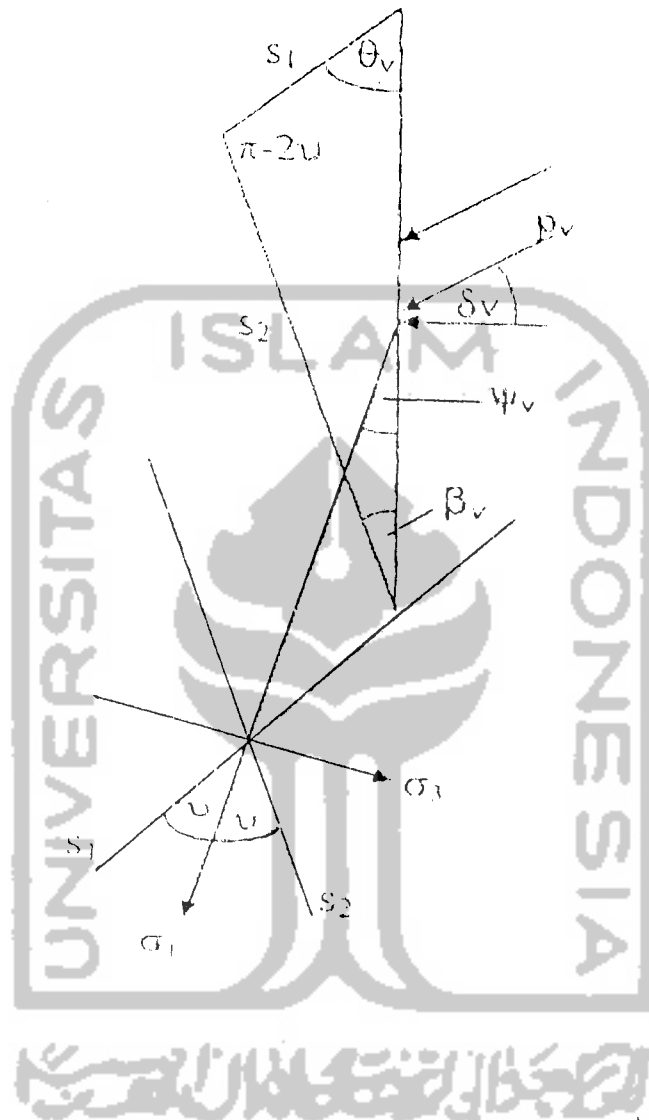
pada zona vertikal dimana terjadi gesekan antara pasir dan batang vertikal, didapat:

$$\theta_v = \psi_v + \nu = \frac{1}{2}(\Delta_v - \delta_v) + \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \quad (2.59)$$

θ_v tertera pada gambar 2.23

Aplikasi pola keruntuhan pada dengan pembebanan pasif dilukiskan pada gambar 2.24 dimana δ_r adalah sudut geser antara pasir dengan dinding angkur, p_r adalah resultante tegangan yang berkerja, σ_{nr} adalah tegangan normal tekan, sehingga:

$$p_r = \frac{\sigma_{nr}}{\cos \delta_r} \quad (2.60)$$



Gambar 2.24
Garis Keruntuhan akibat beban pasif
Sumber: Harr, 1966

Untuk kondisi pasif, maka nilai ψ_r , sesuai dengan gambar 2.24 adalah

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2}(\Delta_r + \delta_r) \quad (2.61)$$

dan

$$\sigma_r = \frac{p_r \sin \Delta_r}{\sin(\Delta_r - \delta_r)} \quad (2.62)$$

dimana

$$\Delta_r = \sin^{-1} \frac{\sin \delta_r}{\sin \phi} \quad (2.63)$$

sudut θ_r pada gambar 2.24 adalah

$$\theta_r = \psi_r + \nu = \frac{1}{2}(\Delta_r - \delta_r) + \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \quad (2.64)$$

dan

$$\beta = \pi + \phi - \theta_r \quad (2.65)$$

