

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Stabilitas Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu proses untuk memperbaiki sifat - sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser (Hardiyatmo, 2002). Adapun tujuan stabilisasi tanah adalah untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada. Sifat - sifat tanah yang dapat diperbaiki dengan cara stabilisasi dapat meliputi: kestabilan volume, kekuatan atau daya dukung, permeabilitas, dan kekekalan atau keawetan. Menurut Bowles, 1991 beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi.
3. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan – perubahan kimiawi dan/atau fisis pada tanah.
4. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah).
5. Mengganti tanah yang buruk.

Pada umumnya cara yang digunakan untuk menstabilisasi tanah terdiri dari salah satu atau kombinasi dari pekerjaan - pekerjaan berikut (Bowles, 1991) :

1. Mekanis, yaitu pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas (roller), benda berat yang dijatuhkan, ledakan, tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan dan sebagainya.
2. Bahan Pencampur (Additiver), yaitu penambahan kerikil untuk tanah kohesif, lempung untuk tanah berbutir, dan pencampur kimiawi seperti semen, gamping, abu batubara, abu vulkanik, batuan kapur, gamping dan/atau semen, semen aspal, sodium dan kalsium klorida, limbah pabrik kertas dan lain -lainnya.

Metode atau cara memperbaiki sifat - sifat tanah ini juga sangat bergantung pada lama waktu pemeraman, hal ini disebabkan karena didalam proses perbaikan sifat - sifat tanah terjadi proses kimia yang dimana memerlukan waktu untuk zat kimia yang ada didalam additive untuk bereaksi. Untuk mencapai tujuan tersebut, proses stabilisasi ini dapat dilakukan dengan cara yang sederhana seperti pemadatan hingga menggunakan teknik yang lebih efektif yakni dengan mencampur tanah dengan bahan lain.

2.1.1. Pengertian Tanah

Tanah didefinisikan 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 berpatikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Braja M.Das, 1995). Selain itu, tanah dalam pandangan teknik sipil adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*).

Secara kualitatif sifat-sifat agregat kerikil dan pasir dinyatakan dengan istilah padat, sedang dan lepas. Sedangkan untuk lempung (*clay*) dipergunakan istilah keras, kaku sedang dan lunak. Menurut istilah, tanah adalah hasil pelapukan batuan yang menduduki sebagian besar daratan permukaan bumi dan memiliki kemampuan untuk menumbuhkan tanaman serta menjadi tempat makhluk hidup dalam melangsungkan hidupnya.

2.1.2. Penentuan Jenis Tanah

Tujuan penentuan jenis tanah ini adalah agar kita dapat mengetahui jenis tanah yang ada pada lokasi penelitian. Penetapan tekstur tanah dilapangan dilakukan dengan cara yaitu :

- a. Massa tanah kering atau lembab dibasahi, kemudian dipijit diantara ibu jari dan telunjuk, sehingga membentuk pita lembab, sambil di dirasakan adanya rasa kasar, licin dan lengket.

- b. Tanah tersebut dibuat bola, diguling dan diamati, adanya daya tahan terhadap tekanan dan kelekatan massa tanah sewaktu telunjuk dan ibu jari diregangkan. Dalam menentukan jenis tanah supaya lebih mendetail pada tabel berikut:

Table 2.1 Cara Menentukan Jenis Tanah

No	Kelas Tekstur Tanah	Rasa dan Sifat Tanah
1	Pasir	Rasa kasar jelas, tidak membentuk bola dan gulungan serta tidak melekat.
2	Pasir berlempung	Rasa kasar sangat jelas, membentuk bola. yang sangat mudah sekali hancur serta sedikit sekali melekat.
3	Lempung berpasir	Rasa kasar agak jelas, membentuk bola agak keras, mudah hancur serta melekat.
4	Lempung berdebu	Rasa licin, membentuk bola teguh, pita dan lekat
5	Lempung	Rasa tidak kasar dan tidak licin, membentuk bola teguh, dapat sedikit digulung dengan permukaan mengkilat.
6	Debu	Rasa licin sekali, membentuk bola teguh, dapat sedikit digulung dengan permukaan mengkilat serta agak melekat
7	Lempung berliat	Rasa agak kasar, membentuk bola agak teguh (kering), membentuk gulungan bila dipijit, gulungan mudah hancur serta melekat.
8	Lempung liat berpasir	Rasa kasar agak jelas, membentuk bola agak teguh (kering), membentuk gulungan bila dipijit, gulungan mudah hancur serta melekat
9	Lempung liat berdebu	Rasa licin jelas, membentuk bola teguh, gulungan mengkilat serta melekat.

No	Kelas Tekstur Tanah	Rasa dan Sifat Tanah
10	Liat berpasir	Rasa licin agak kasar, membentuk bola dalam keadaan kering sukar dipijit, mudah digulung serta melekat sekali.
11	Liat berdebu	Rasa agak licin, membentuk bola, dalam keadaan kering sukar dipijit, mudah digulung serta melekat sekali.
12	Liat	Rasa berat, membentuk bola serta melekat sekali.
13	Liat berat	Rasa berat sekali, membentuk bola baik serta melekat sekali.

Sumber: Buku ajar klasifikasi tanah dan kesesuaian lahan

Menurut istilah–istilah tanah, diketahui ada beberapa jenis tanah yaitu kerikil, pasir, lanau, dan lempung.

2.2 Karakteristik Dasar Tanah

2.2.1. Sifat Alamiah Tanah

Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antarpartikelnya, yang berbentuk karena pelapukan dari buatan. Diantara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong disebut pori-pori (void space) yang berisi air /udara. Hasil pelapukan yang terangkut ke tempat lain dan mengendap di beberapa tempat yang berlainan disebut tanah bawaan (transportation soil). Media pengangkut tanah berupa gaya grafitasi, angin, air, dan gletsyer. Kebanyakan jenis tanah terdiri dari campuran dari beberapa ukuran, dan biasanya lebih dari dua rentang ukuran. Secara umum, tanah disebut kohesif bila partikel-partikelnya saling melekat setelah dibasahi kemudian dikeringkan dan diperlukan gaya yang cukup besar untuk merembes tanah tersebut. Tanah yang partikelnya terdiri dari rentang ukuran kerikil dan pasir disebut tanah berbutir kasar (coarse grained). Sebaiknya, bila partikennya kebanyakan

berukuran partikel lempung dan lanau, disebut tanah berbutir halus (fine grained).

2.2.2. Hubungan Antarfase

Tanah merupakan komposisi dari dua atau tiga fase yang berbeda. Tanah yang benar-benar kering terdiri dari dua fase, yang disebut partikel padat dan udara pengisi pori. Tanah yang jenuh sempurna (full saturated) juga terdiri dari dua fase, yaitu partikel padat dan air pori. Sedangkan tanah yang jenuh sebagian terdiri dari tiga-fase yaitu partikel padat, udara pori, dan air pori.

2.3 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO bermanfaat untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (subbase) dan tanah dasar (subgrade). Karena sistem ini ditujukan untuk pekerjaan jalan tersebut, maka penggunaan sistem ini dalam prakteknya harus dipertimbangkan terhadap maksud aslinya. Butiran dalam kelompok A – 4 sampai dengan A – 7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria dibawah ini :

1) Ukuran Butir

Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan diameter 75 mm (3 inchi) dan yang tertahan pada ayakan No.10 (2 mm).

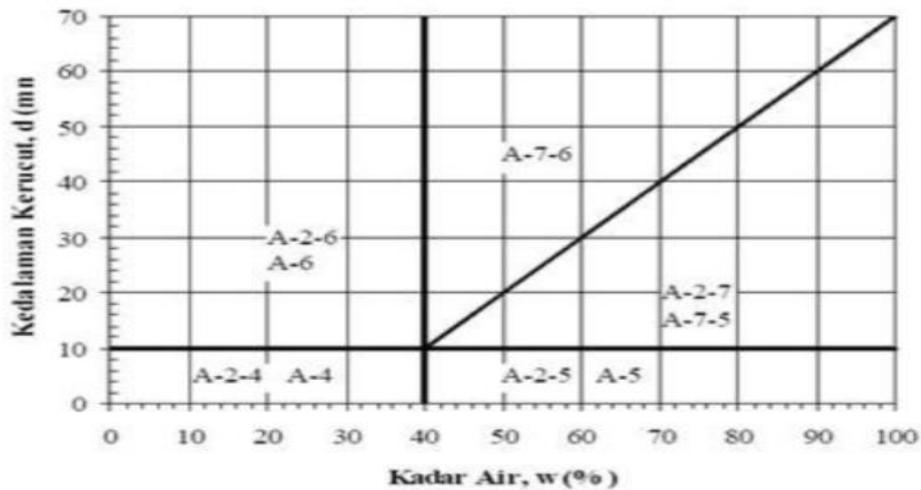
Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan No.10 (2 mm) dan tertahan pada ayakan No.200 (0.075 mm).

Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos ayakan No.200 (0.075 mm).

2) Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian – bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung

dipakai bilamana bagian – bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisnya 11 atau lebih.



Gambar 2.1 Nilai – nilai batas atterberg untuk subkelompok tanah

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

Apabila sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan dengan angka – angka yang diberikan dalam tabel 3 dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan ditemukan angka-angka yang sesuai.

Data yang telah didapat dari percobaan laboratorium dan angka-angka yang telah ditabelkan pada tabel di bawah, dari kolom sebelah kiri kekolom sebelah kanan. Kelompok tanah yang paling kiri paling baik dalam menahan beban roda, berarti paling baik untuk lapisan dasar tanah jalan. Semakin kekanan semakin berkurang kualitasnya.

Table 2.2 Klasifikasi AASHTO untuk Lapisan Tanah

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan NO. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi Kelompok	A-1 a	A-1 b		A 2-4	A 2-5	A 2-6	A 2-7
Analisa ayakan (& lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Max 50 Max 30 Max 15	Max 50 Max 25	Max 51 Max 10	Max 35	Max 35	Max 35	Max 35
Sifat fraksi yang bisa lolos ayakan no. 40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Max 6		NP	Max 40 Max 10	Min 41 Max 10	Max 41 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan dasar	Baik sekali sampai baik						

Klasifikasi Umum	Tanah Lanau – Lempung (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7-5* A - 7-6**
Analisis ayakan (& lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan no. 40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Max 40 Max 10	Max 41 Max 10	Max 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah Berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian sebagai bahan dasar	Biasa sampai Jelek			

*Untuk A 7-5, $PI \leq LL - 30$ **Untuk A 7-6, $PI > LL - 30$

Sumber: Braja ML Das, I, (1995))

2.4 Sifat Fisik Dan Mekanis Tanah

2.4.1. Sifat-Sifat Fisik Tanah

Sifat – sifat fisik dari tanah ini meliputi beberapa hal, berupa tekstur tanah, struktur, konsistensi tanah, warna, suhu, lengas, permeabilitas tanah, porositas tanah dan juga drainase tanah.

1. Tekstur Tanah

Tekstur tanah merupakan perbandingan dari partikel debu, pasir, serta lempung dalam suatu massa tanah. Tekstur tanah ini sangat mempengaruhi kemampuan tanah dalam hal daya serap air, ketersediaan air dalam tanah, infiltrasi dan juga laju pergerakan air.

2. Struktur Tanah

Struktur tanah adalah susunan atau pengikatan dari butir-butir tanah yang membentuk agregat tanah dalam berbagai bentuk, ukuran serta kemantapannya. Di lahan yang berupa rawa atau gurun, struktur tanah ini kurang atau tidak terbentuk dikarenakan butiran tanahnya yang sifatnya tunggal atau tidak terikat satu sama lain. Selain itu, struktur tanah ini juga bisa berubah dari struktur tanah aslinya dikarenakan tindakan manusia. Misalnya saja, kegiatan para petani dalam melakukan pembajakan, pemupukan, serta pengolahan tanah yang bisa mengubah struktur tanah aslinya.

3. Konsistensi Tanah

Konsistensi tanah merupakan sifat fisik tanah yang menunjukkan besar kecilnya gaya kohesi dan adhesi tanah pada berbagai kelembapan. Sederhananya, konsistensi tanah bisa dipahami sebagai reaksi tanah ketika terdapat tekanan, seperti gejala gelincir, kegemburan, keliatan dan juga kelekatan tanah. Konsistensi tanah ini dipengaruhi oleh tekstur tanah, kadar bahan organik dari tanah, kadar koloid dan juga lengas tanah.

4. Warna Tanah

Warna tanah merupakan suatu hal yang bisa menjadi petunjuk dari beberapa sifat tanah lain. Penyebab umum dari adanya perbedaan warna

permukaan tanah ini adalah karena adanya perbedaan kandungan bahan organik dalam tanah. Semakin tinggi kandungan bahan organik, maka tanah akan semakin gelap warnanya.

5. Suhu Tanah

Suhu tanah merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kegiatan mikrobiologi dan perkecambahan dari biji tanaman. Secara umum, semakin tinggi suhu suatu tanah hingga mencapai batasan tertentu, maka semakin meningkat pula kegiatan mikrobiologi dan perkecambahan yang bisa terjadi.

6. Langas Tanah

Langas tanah juga disebut sebagai kelembapan tanah. Langas tanah ini adalah kandungan air yang mengisi sebagian atau seluruh pori-pori tanah yang terdapat di atas muka air tanah. Air yang ada di pori-pori tanah dan merupakan air tanah, tidak termasuk dalam langas tanah ini. Pada dasarnya, seberapa pun keringnya tanah, di dalam tanah tersebut selalu terkandung langas tanah (*soil moisture*).

7. Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah merupakan kecepatan air dalam merembes ke dalam tanah secara horizontal dan vertikal melalui pori-pori tanah. Kecepatan perembesan air ini dipengaruhi oleh tekstur tanah. Permeabilitas tanah juga diartikan sebagai kecepatan tanah dalam meresapkan air dalam kondisi jenuh.

8. Porositas Tanah

Porositas tanah merupakan perbandingan dari pori-pori dalam tanah terhadap volume massa tanah. Porositas tanah ini dinyatakan dalam presentase. Untuk tanah yang mampu dengan mudah atau cepat meresapkan air, maka tanah tersebut disebut tanah porous karena memiliki rongga pori-pori yang diminan. Tanah yang bersifat porous ini contohnya adalah tanah berpasir. Tanah yang tidak bersifat porous contohnya tanah lempung.

9. Drainase Tanah

Drainase tanah adalah kemampuan tanah dalam mengalirkan serta mengataskan kelebihan air yang ada di dalam tanah atau di permukaan tanah. Tanah yang memiliki drainase buruk akan menyebabkan air cenderung menggenang.

Untuk mengatasi hal ini, pada tanah tersebut perlu dibuat saluran air. Hal yang dapat mempengaruhi terjadinya genangan air ini di antaranya adalah topografi tanah, air tanah yang dangkal dan curah hujan.

2.4.2 Kadar Air

Kadar air tanah dinyatakan dalam persen volume yaitu persentase volume air terhadap volume tanah. Cara penetapan kadar air dapat dilakukan dengan sejumlah tanah basah dikering ovenkan dalam oven pada suhu 1000 C – 1100 C untuk waktu tertentu. Air yang hilang karena pengeringan merupakan sejumlah air yang terkandung dalam tanah tersebut. Air irigasi yang memasuki tanah mula-mula menggantikan udara yang terdapat dalam pori makro dan kemudian pori mikro. Jumlah air yang bergerak melalui tanah berkaitan dengan ukuran pori-pori pada tanah. Persamaan yang di gunakan untuk mendapatkan nilai kadar air adalah sebagai berikut:

$$W = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_3 - W_1)} \times 100 \dots\dots\dots(2.1)$$

Di mana:

W = Kadar Air

W₁ = Berat Tinbox Kosong

W = Berat Tinbox + Tanah Basah

W = Berat Tinbox + Tanah Kering

Ukuran Butir maksimum yang digunakan pada pengujian kadar air tanah adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3 Ukuran Butir Tanah Maksimum

Ukuran Butir Maksimum	Berat Benda Uji Minimum	Ketelitian
-3/4	1000 Gram	1 Gram
-#10	100 Gram	0,1 Gram
-#40	10 Gram	0,01 Gram

2.4.3 Berat Jenis Tanah

Menentukan berat jenis tanah ialah dengan mengukur berat sejumlah tanah yang isinya diketahui. Untuk tanah asli biasanya dipakai sebuah cincin yang dimasukkan kedalam tanah sampai terisi penuh, kemudian atas dan bawahnya diratakan dan cincin serta tanahnya ditimbang. Percobaan ini mengikuti standar (SNI-03-1964-2008). Perumusan yang dipergunakan untuk menentukan berat jenis spesifik tanah

Table 2.4 Hubungan antara kerapatan relatif air dan faktor konversi

No	Temperature, derajat Celcius	Hubungan Kerapatan relatif air	Faktor koreksi K
1	18	0.9986244	1.0004
2	19	0.9984347	1.0002
3	20	0.9982343	1.0000
4	21	0.9980233	0.9998
5	22	0.9978019	0.9996
6	23	0.9975702	0.9993
7	24	0.9973286	0.9991
8	25	0.9970770	0.9989
9	26	0.9968156	0.9986
10	27	0.9965451	0.9983
11	28	0.9962652	0.9980
12	29	0.9939761	0.9977
13	30	0.9956780	0.9974

Sumber : SNI 1964 : 2008 Cara uji Berat Jenis Tanah)

Faktor koreksi (α)

$$\alpha = \frac{\gamma_T}{\gamma_{20}} \dots \dots \dots (2.2)$$

Di mana :

γ_T : Faktor koreksi pada saat di uji

γ_{20} : Nilai koefisien air destilasi

Berat jenis (GS)

$$GS = \frac{\alpha \times W_s}{(W_2 + W_s - W_3)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana : α = faktor korelasi

W_s = berat tanah kering (gr)

W_1 = Berat piknometer (gr)

W_2 = Berat piknometer + Air (gr)

W_3 = Berat piknometer + Air + Tanah (gr)

Setelah mendapatkan nilai G_s, maka kita dapat menentukan macam tanah dari berat jenis tanah tersebut dengan nilai-nilai berat jenis tanah sebagai berikut :

Table 2.5 Berat Jenis Tanah

Macam Tanah	Berat Jenis
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau tak organic	2,62 - 2,68
Lempung organic	2,58 - 2,65
Lempung tak organic	2,68 - 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

Sumber: Mekanika tanah jilid I, Hardiyatmo, 2002

a. Derajat Kejenuhan (*Degree of Saturation*)

Derajat kejenuhan (S) merupakan perbandingan volume air (V_w) dengan volume total rongga pori tanah (V_v), biasanya dinyatakan dalam persen. Persamaan 2.3 digunakan dalam menentukan derajat kejenuhan.

$$S(\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana: S = derajat kejenuhan

V_w = volume air (Cm^3)

V_v = volume total rongga pori tanah (Cm^3)

Derajat kejenuhan dan kondisi tanah dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Derajat kejenuhan dan kondisi tanah

No	Keadaan Tanah	Derajat Kejenuhan (S)
1	Tanah Kering	0
2	Tanah lembab Agak	> 0 - 0,25
3	Tanah lembab	0,26 - 0,50
4	Tanah sangat	0,51 - 0,75
No	Keadaan Tanah	Derajat Kejenuhan (S)
5	Tanah Basah	0,76 - 0,99
6	Tanah Jenuh	1

Sumber: *Mekanika tanah 1, Hardiyatmo, 2010*

2.4.4 Batas-Batas Atterberg

Batas kadar air yang mengakibatkan perubahan kondisi dan bentuk tanah dikenal pula sebagai batas-batas konsistensi atau batas-batas *Atterberg* (yang mana diambil dari nama peneliti pertamanya yaitu *Atterberg pada tahun 1911*). Pada kebanyakan tanah di alam, berada dalam kondisi plastis.

Kadar air yang terkandung dalam tanah berbeda-beda pada setiap kondisi tersebut yang mana bergantung pada interaksi antara partikel mineral lempung. Bila kandungan air berkurang maka ketebalan lapisan kation akan berkurang pula yang mengakibatkan bertambahnya gaya-gaya tarik antara partikel-partikel. Sedangkan jika kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan. Oleh karena itu, atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dibedakan ke dalam empat (4) keadaan dasar, yaitu : padat (*solid*), semi padat (*semi solid*), plastis (*plastic*), dan cair (*liquid*).

1. Batas Cair

Batas cair tanah adalah keadaan antara cair dan plastis/keadaan air tanah bisa diputar 25 kali ketukan dengan alat *Cassagrande*, tanah

sudah dapat merapat (sebelumnya terpisah dalam jalur yang dibuat dengan solet). Batas cair didefinisikan sebagai kadar air yang paling rendah dimana tanah berada dalam keadaan cair atau suatu keadaan dimana tanah berubah dari keadaan cair menjadi plastis. Batas cair dalam persen berat kering, dimana kedua penampang tanah yang hampir bersentuhan tetapi tidak saling melimpahi satu terhadap yang lain. Rumus untuk mendapatkan nilai batas cair adalah:

$$W = \frac{W_w}{W_d} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

$$LL = W_n \left(\left[\frac{n}{25} \right] \right)^{0.121} \dots\dots\dots(2.5)$$

Di mana :

W = Kadar Air (%)

Ww= Berat Air (gr)

Wd = Berat Tanah Kering (gr)

LL = Batas Cair

Wn = Kadar air pada Tumbukan ke-n

n = Jumlah tumbukan

2. Batas Plastis

Batas plastis tanah adalah kadar air minimum dimana masih dalam keadaan plastis atau keadaan diantara keadaan plastis dan keadaan semi plastis. Apabila kadar air di dalam tanah berkurang, maka tanah menjadi lebih keras dan memiliki kemampuan untuk menahan perubahan bentuk. Perubahan tanah dari cair menjadi padat tersebut akan melalui fase yang dinamakan semi padat. Pengujian batas plastis dimaksudkan untuk menentukan besarnya kadar air di dalam contoh tanah pada saat tanah akan berubah dari fase plastis menjadi fase semi padat atau sebaliknya.

Indeks Plastisitas Perbedaan antara batas cair dan batas plastisitas suatu tanah dinamakan Indeks plastisitas (plasticity index = PI), dengan rumus :

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

PI = indeks plastisitas (%)

LL = batas cair (%)

PL = batas plastis (%)

Kriteria Batas plastis serta indeks plastisitas tanah berdasarkan harkat Atterberg dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 2.7 Kriteria Batas Cair dan Indeks Plastisitas Tanah

Kriteria	Batas Cair (%)	Indeks Plastisitas (%)
Sangat rendah	< 20	0 – 5
Rendah	20 – 30	5 – 10
Sedang	31 – 45	10 – 17
Tinggi	46 – 70	17 – 30
Sangat tinggi	71 – 100	30 – 43
Ekstrim tinggi	–	

1. Batas Susut (*Shrinkage limit*)

Kadar Air Tanah pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat disebut Batas Susut (*Shrinkage limit*), yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya mengakibatkan perubahan volume tanahnya. Percobaan Batas Susut dilaksanakan dalam laboratorium dengan cawan porselin diameter 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. Bagian dalam cawan dilapisi oleh pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna yang kemudian dikeringkan dalam oven. Volume ditentukan dengan mencelupkannya dalam air raksa. Batas Susut dapat dinyatakan dalam Persamaan 2.4 seperti yang ditunjukkan pada rumusan dibawah ini:

$$SL = \left\{ \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} - \frac{(v_1 - v_2)\gamma_w}{m_2} \right\} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana: m_1 = berat tanah basah dalam cawan percobaan (g)

m_2 = berat tanah kering oven(g)

v_1 = volume tanah basah dalam cawan (Cm^3)

v_2 = volume tanah kering oven (Cm^3)

γ_w = berat volume air (gr/ Cm^3)

2. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks Plastisitas merupakan interval kadar air, yaitu tanah masih bersifat plastis. Karena itu, Indeks plastis menunjukkan sifat keplastisitasan tanah. Jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis kecil, maka keadaan ini disebut dengan tanah kurus. Nilai indeks plastisitas dapat dihitung dengan Persamaan 2.4

$$IP = LL - PL \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana: IP: Indeks Plastisitas (%)

LL: Batas Cair (%)

PL: Batas Plastis (%)

Tabel 2.8 Indeks plastisitas tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non-Plastis	Pasir	Non-Kohesi
< 7	Plastisitas Rendah	lanau	Kohesi Sebagian
7-17	Plastisitas Sedang	lempung Berlanau	Kohesi
> 17	Plastisitas Tinggi	lempung	Kohesi

Sumber: Hardiyatmo (1992)

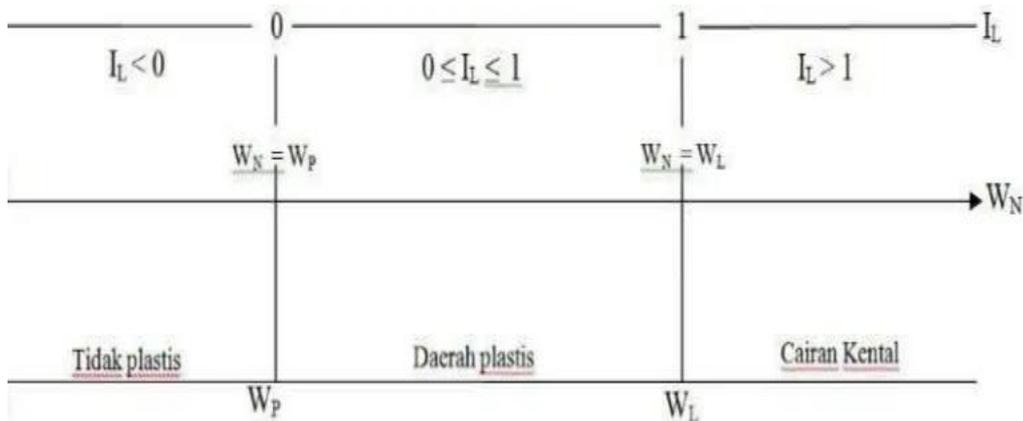
3. Indeks Kecairan (*Liquidity Index*)

Kadar Air tanah asli relatif pada kedudukan plastis dan cair, dapat didefinisikan oleh Indeks Kecairan (*Liquidity Index*). Indeks Kecairan merupakan perbandingan antara selisih Kadar Air asli dengan Batas Plastis terhadap Indeks Plastisitasnya. Dapat dilihat pada Persamaan 2.6 berikut:

$$LI = \frac{W_N - PL}{LL - PL} = \frac{W_N - PL}{PI} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana: LI = Liquidity Index (%)

WN = Kadar air asli (%)



Sumber: Bowles (1991)

Gambar 2.2 Hubungan antara WP, WL dan WN dalam menghitung LI atau IL

2.4.5 Sifat-Sifat Mekanis Tanah

2.4.6 Pemadatan (Compaction Test)

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energy mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel (Bowles,1991). Usaha pemadatan tersebut akan menyebabkan volume tanah akan berkurang, volume pori berkurang namun volume butir tidak berubah. Hal ini biasa dilakukan dengan cara menggilas atau menumbuk. Pada kadar air yang sangat tinggi, kepadatan kering maksimum dicapai bila tanah dipadatkan dengan kejenuhan di mana hampir semua udara didorong keluar. Pada kadar air rendah, partikel-partikel tanah mengganggu satu sama lain dan penambahan kelembapan akan memungkinkan kepadatan massal yang lebih besar. Pada saat terjadi kepadatan puncak efek ini mulai menetral oleh kejenuhan tanah.

Manfaat dari pemadatan tanah adalah memperbaiki beberapa sifat teknik tanah, antara lain :

1. Memperbaiki kuat geser tanah yaitu menaikkan nilai θ dan C ,
2. Mengurangi kompresibilitas yaitu mengurangi penurunan oleh beban,
3. Mengurangi permeabilitas yaitu mengurangi nilai k ,
4. Mengurangi sifat kembang susut tanah (lempung).

Prosedur pengujian yang digunakan pada pengujian pemadatan di laboratorium disebut uji proctor. uji pemadatan proctor adalah metode laboratorium untuk menentukan kadar air optimal di mana jenis tanah yang di uji akan menjadi yang paling padat dan mencapai kepadatan kering maksimum.

Ada pun rincian tentang masing-masing pengujian pemadatan tersebut ialah :

1. Proctor Standar

Percobaan ini menggunakan standar ASTM D-698. Pada percobaan ini tanah dipadatkan dalam mold standar dengan alat pemukul seberat 2,5 kg yang dijatuhkan dengan ketinggian 30,5 cm. pemadatan dibagi 3 lapis pemadatan dan setiap lapis mendapat pukulan 25 kali.

2. Proctor Modifikasi

Perbedaan pada percobaan ini yaitu pada alat pemukul, jumlah lapisan dan tinggi jatuh alat pemukul. Berat pemukul yang dipakai yaitu 4,5 kg, 42 sedangkan jumlah lapisan pematatannya sebanyak 5 lapis. Untuk tinggi jatuh alat pemukul yaitu 45,7 cm. Percobaan ini menggunakan standar ASTM D-1557.

Percobaan dilakukan beberapa kali dengan kadar air yang berbeda-beda. Setelah dipadatkan benda uji ditimbang dan diukur kadar air dan berat volumenya. Hubungan grafis dari kadar air dan berat volumenya kemudian diplot untuk membentuk kurva pemadatan.

Tabel 2.9 Elemen-elemen uji pemadatan dilaboratorium

	Proctor Standar (ASTM D-698)	Proctor Modifikasi (ASTM D-1557)
Berat palu	24,5 N (5,5 lb/2,5 kg)	44,5 N (10 lb/4,5 kg)
Tinggi jatuh palu	305 mm (12in)	457 mm (18in)
Jumlah Lapisan	3	5
Jumlah tumbukan/lapisan	25	25
Volume cetakan	$1/30 \text{ ft}^3$	
Tanah	Saringan (-) No.4	
Energi pemadatan	595 kJ/m^3	2698 kJ/m^3

Sumber : Bowles, 1991.

Berat volume tanah basah

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\gamma_d = \frac{W}{V} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana : γ_b = berat volumetanah basah

γ_d = berat volume tanah kering

W = berat tanah

Untuk mendapatkan berat volume kering γ_d maksimum, dari hasil pemadatan dilaboratorium dibuat grafik pemadatan yang berupa hubungan antara kadar air (w) dan berat volume kering γ_d .

Pada pemadatan dilaboratorium nilai γ_d maksimum diperoleh dari pemadatan dengan kadar air optimum (w_{opt}).

Secara teoritis berat volume kering γ_d maksimum suatu tanah pada kadar air tertentu dengan pori-pori tanah tidak mengandung udara sama sekali (*Zero Air Void*) dapat dirumuskan :

$$\gamma_{ZAV} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1+w \cdot G_s} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana : γ_{ZAV} = berat volume pada kondisi ZAV

γ_w = berat volume air

G_s = berat jenis butiran tanah sampel

2.4.7 Uji Kuat Geser Tanah (*Direct Shear*)

Pengujian Kuat Geser Tanah (*Direct Shear*) diperoleh dengan cara menggeser contoh tanah yang diberi beban normal. Kekuatan tanah yang diperoleh dari percobaan tersebut adalah dalam kondisi drained, karena air didalam pori tanah diijinkan keluar selama pembebanan. Oleh karena itu, percobaan *Direct Shear* pada umumnya digunakan tanah pasir (*granular*).

Untuk menentukan parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Agar diperoleh hasil yang akurat, maka pengujian dilakukan minimum 3 kali dengan pembebanan normal yang berbeda-beda.

Untuk mendapatkan Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser dapat dirumuskan sebagai berikut:

- Menghitung Luas sampel

$$\text{Luas Sampel} = \frac{1}{4} \times 3.14 \times (\text{Diameter Sampel})^2 \dots\dots\dots(2.8)$$

- Menghitung Tegangan geser maksimum (T_{maks})

$$(T_{maks}) = \frac{\text{gaya geser}}{\text{luas sampel}} \dots\dots\dots(2.9)$$

- Menghitung tegangan normal (σ_n)

$$(\sigma_n) = \frac{\text{Beban Normal}}{A} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana : σ_n = Tegangan Normal

A = Luas sampel

2.5 Kelongsoran

Gerakan tanah merupakan proses perpindahan massa tanah atau batuan dengan arah tegak, mendatar atau miring terhadap kedudukan semula karena pengaruh air, gravitasi, dan beban luar. Untuk mempermudah pengenalan tipe gerak tanah dan membantu dalam menentukan penyebab serta cara penanggulangannya maka perlu adanya pengklasifikasian tanah berdasar material yang bergerak, jenis gerakan dan mekanismenya. Jenis-jenis gerakan tanah yaitu aliran cepat, amblesan, runtunan, longsoran.

Menurut *Suryolelono (2002)*, tanah longsor merupakan fenomena alam yang berupa gerakan massa tanah dalam mencari keseimbangan baru akibat adanya gangguan dari luar yang menyebabkan berkurangnya kuat geser tanah dan meningkatnya tegangan geser tanah. Pengurangan parameter kuat geser tanah disebabkan karena bertambahnya kadar air tanah dan menurunnya ikatan antar butiran tanah. Sedangkan tegangan geser tanah meningkat akibat meningkatnya berat satuan tanah. Kuat geser tanah adalah kemampuan intenal tanah dalam menahan keruntuhan akibat geseran sepanjang bidang keruntuhannya (*Das, 1998*). Teori tentang kekuatan geser tanah sangat diperlukan dalam analisis kapasitas dukung pondasi, stabilitas lereng ataupun tegangan lateral tanah. *Das (1998)* mengungkapkan bahwa keruntuhan material tanah disebabkan oleh kombinasi kritis dari tegangan normal dan tegangan gesernya.

(*Varnes, 1978*) Beberapa jenis longsoran (*landslide*) dalam klasifikasi dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Jatuhan (*Fall*) adalah jatuhan atau massa batuan bergerak melalui udara, termasuk gerak jatuh bebas, meloncat dan penggelindingan bongkah batu dan bahan rombakan tanpa banyak bersinggungan satu dengan yang lain. Termasuk jenis gerakan ini adalah runtuhan (*urug, lawina, avalanche*) batu, bahan rombakan maupun tanah.
2. Longsoran-longsoran gelinciran (*slides*) adalah gerakan yang disebabkan oleh keruntuhan melalui satu atau beberapa bidang yang dapat diamati ataupun diduga. Slides dibagi lagi menjadi dua jenis. Disebut luncuran (*slides*) bila dipengaruhi gerak translasional dan susunan materialnya yang banyak berubah.. Bila longsoran gelinciran dengan susunan materialnya tidak banyak berubah dan umumnya dipengaruhi gerak rotasional, maka disebut nendatan (*slump*), Termasuk longsoran gelinciran adalah: luncuran bongkah tanah maupun bahan rombakan, dan nendatan tanah.
3. Aliran (*flow*) adalah gerakan yang dipengaruhi oleh jumlah kandungan atau kadar airtanah, terjadi pada material tak terkonsolidasi. Bidang longsor antara material yang bergerak umumnya tidak dapat dikenali. Termasuk dalam jenis gerakan aliran kering adalah sandrun (larianpasir), aliran fragmen batu, aliran loess. Sedangkan jenis gerakan aliran basah adalah aliran pasir-lanau, aliran tanah cepat, aliran tanah lambat, aliran lumpur, dan aliran bahan rombakan.
4. Longsoran majemuk (*complex landslide*) adalah gabungan dari dua atau tiga jenis gerakan di atas. Pada umumnya longsoran majemuk terjadi di alam, tetapi biasanya ada salah satu jenis gerakan yang menonjol atau lebih dominan. Menurut Pastuto & Soldati (1997).
5. Rayapan (*creep*) adalah gerakan yang dapat dibedakan dalam hal kecepatan gerakannya yang secara alami biasanya lambat (Zaruba & Mencl, 1969; Hansen, 1984).
6. Gerak horisontal / bentangan lateral (*lateral spread*), merupakan jenis longsoran yang dipengaruhi oleh pergerakan bentangan material batuan secara horisontal. Biasanya berasosiasi dengan jungkiran, jatuhan batuan,

nendatan dan luncuran lumpur sehingga biasa dimasukkan dalam kategori *complex landslide* - longSORan majemuk (Pastuto & Soldati, 1997). Prosesnya berupa rayapan bongkah-bongkah di atas batuan lunak (Radbruch-Hall, 1978, dalam Pastuto & Soldati, 1997). Pada bentangan lateral tanah maupun bahan rombakan, biasanya berasosiasi dengan nendatan, luncuran atau aliran yang berkembang selama maupun setelah longSOR terjadi. Material yang terlibat antara lain lempung (jenis *quick clay*) atau pasir yang mengalami luncuran akibat gempa (Buma & Van Asch, 1997).

7. Pada longSORan tipe translasional maupun rotasional, ada batas antara massa yang bergerak dan yang diam (disebut bidang gelincir), kedalaman batas tersebut dari permukaan tanah sangat penting bagi deskripsi longSORan. Terdapat 4 (empat) kelas kedalaman bidang gelincir (Fernandez & Marzuki, 1987), yaitu:
 - a) Sangat dangkal (<1,5 meter)
 - b) Dangkal (1,5 s.d. 5 meter)
 - c) Dalam (antara 5 sampai 20 meter)
 - d) Sangat dalam (>20 meter)

2.6 Kestabilan Lereng

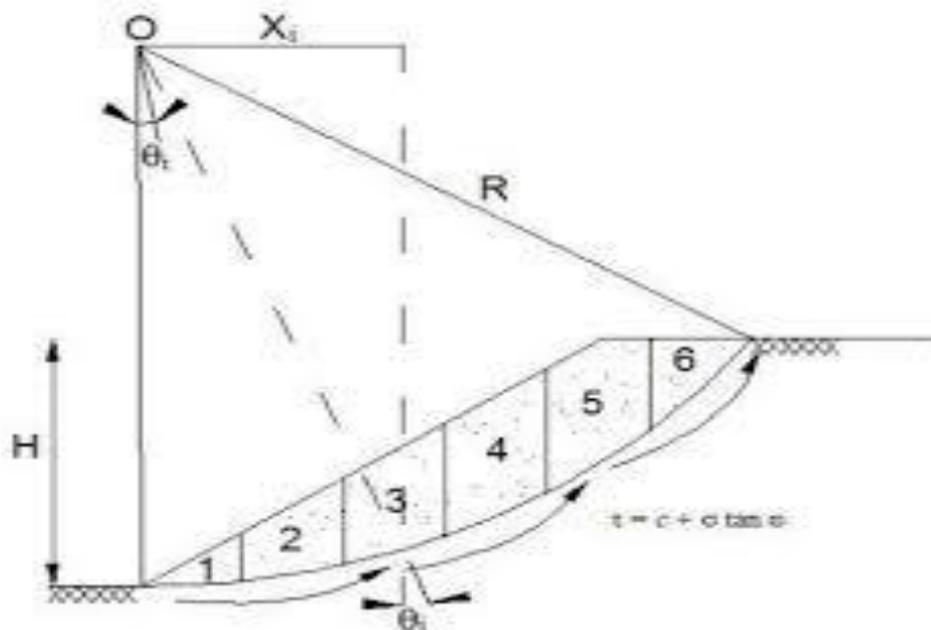
Stabilitas Lereng adalah untuk menentukan faktor keamanan dari bidang longSOR. Suatu permukaan tanah yang miring yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal disebut sebagai lereng (*slope*). Lereng dapat terjadi secara alamiah atau dibentuk oleh manusia dengan tujuan tertentu. Jika permukaan membentuk suatu kemiringan maka komponen massa tanah diatas bidang gelincir cenderung akan bergerak ke arah bawah akibat gravitasi.

Bentuk Anggapan bidang longSOR berupa lingkaran dimaksudkan untuk mempermudah hitungan analisis stabilitas secara matematik, dan dipertimbangkan mendekati bentuk sebenarnya dari bidang longSOR yang

sering terjadi di alam. Data yang diperlukan dalam suatu perhitungan analisis faktor sederhana untuk mencari nilai F (faktor keamanan lereng) adalah sebagai berikut:

- a. Data lereng (terutama diperlukan untuk membuat penampang lereng) meliputi: sudut lereng, tinggi lereng.
- b. Data mekanika tanah
 - sudut geser dalam (ϕ ; derajat)
 - Berat isi tanah basah (γ ; kN/m³ atau ton/m³)
 - kohesi (c ; kg/cm² atau kN/m² atau ton/m²)

Untuk melakukan perhitungan kontrol terhadap kelongsoran yang terjadi, maka digunakan Metode Irisan. Metode Irisan membagi bidang kelongsoran menjadi bagian-bagian yang lebih kecil secara vertikal dan keseimbangan tiap irisan diperhatikan.



Gambar 2.2. Analisis Kestabilan Lereng

Sumber: Hardiyatmo, C.H. 2010

Faktor keamanan lereng didefinisikan sebagai berikut:

$$FK = \frac{\text{Jumlah momen yang menahan}}{\text{Jumlah momen yang menggerakkan}}$$

$$FK = \frac{\Sigma M_r}{\Sigma M_d} = \frac{RcL_{AC}}{Wx} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

$$L_{AC} = \frac{\angle AOC}{360^\circ} \times \text{Keliling Lingkaran} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan:

FK = Faktor Aman

L_{AC} = Panjang Lengkungan (m)

C = kohesi (kN/m^2)

R = Jari-jari lingkarang bidang longsor (m)

W = Berat tanah (kN)

x = Jarak pusat Berat W terhadap O (m)

Tabel 2.10 Faktor Keamanan Stabilitas Lereng

Niai Faktor Keamanan	Kejadian/Intensitas Longsor
Fs kurang dari 1.07	Longsor terjadi biasa/sering (Lereng Labil)
Fs antara 1,07 - 1,25	Longsor pernah terjadi (Lereng Kritis)
Fs diatas 1,25	Longsor jarang terjadi (Lereng Relatif Stabil)

Sumber: Bowles 1991

2.7 Dinding Penahan Tanah

2.7.1 Definisi Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan tanah lepas atau alami dan mencegah keruntuhan tanah yang miring atau lereng yang kemantapannya tidak dapat dijamin oleh lereng tanah itu sendiri. Tanah yang tertahan memberikan dorongan secara aktif pada struktur dinding sehingga struktur cenderung akan terguling atau akan tergeser (*Tanjung, 2016*).

Dinding penahan tanah berfungsi untuk menyokong tanah serta mencegahnya dari bahaya kelongsoran. Baik akibat beban air hujan, berat tanah itu sendiri maupun akibat beban yang bekerja di atasnya (*Tanjung, 2016*).

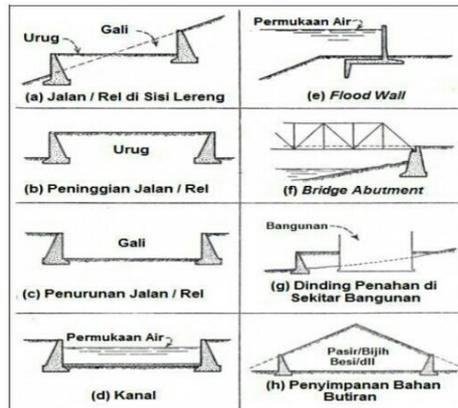
Dinding penahan tanah berfungsi untuk menyokong tanah serta mencegahnya dari bahaya kelongsoran. Baik akibat beban air hujan, berat tanah itu sendiri maupun akibat beban yang bekerja di atasnya

2.7.2 Kegunaan Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah sudah digunakan secara luas dalam hubungannya dengan jalan raya, jalan kereta api, jembatan, kanal dan lainnya. Aplikasi yang umum menggunakan dinding penahan tanah antara lain sebagai berikut:

- a. Jalan raya atau jalan kereta api yang dibangun di daerah lereng.
- b. Jalan raya atau jalan kereta api yang ditinggikan untuk mendapatkan perbedaan elevasi.
- c. Jalan raya atau jalan kereta api yang dibuat lebih rendah agar didapat perbedaan elevasi.
- d. Dinding penahan tanah yang menjadi batas pinggir kanal.
- e. Dinding khusus yang disebut *flood walls*, yang digunakan untuk mengurangi/menahan banjir dari sungai.
- f. Dinding penahan tanah yang digunakan untuk menahan tanah pengisi dalam membentuk suatu jembatan. Tanah pengisi ini disebut *approach fill* dan dinding penahan disebut *abutments*.

- g. Dinding penahan yang digunakan untuk menahan tanah di sekitar bangunan atau gedung-gedung.
- h. Dinding penahan tanah yang digunakan sebagai tempat penyimpanan material seperti pasir, biji besi, dan lain-lain.



Gambar 2.3 Kegunaan Dinding Penahan Tanah

2.7.3 Jenis Dinding Penahan Tanah

Berdasarkan cara untuk mencapai stabilitasnya, maka dinding penahan tanah dapat digolongkan dalam beberapa jenis yaitu dinding gravitasi, dinding kantilever, dinding *counterfort*, dinding *buttress*.

2.7.4. Dinding Gravitasi dan Dinding Kantilever

1. Dinding Gravitasi

Dinding penahan tanah tipe gravitasi adalah dinding penahan yang dibuat dari beton tak bertulang atau pasangan batu. Sedikit tulangan Beton kadang – kadang diberikan pada permukaan Dinding untuk mencegah retakan permukaan Dinding akibat perubahan Temperatur.

2. Dinding Kantilever

Dinding kantilever merupakan jenis Dinding penahan tanah Yang umum digunakan pada Daerah timbunan atau tebing. Kontruksi dinding inibisa berfungsi sebagai penahan tanah Untuk daerah – daerah seperti itu. Jenis ini memiliki prinsip Kerja dengan mengendalikan daya jepit pada struktur Tubuh dindingnya.

2.7.5 Konsep Perencanaan Dinding Penahan Tanah

Berdasarkan *survey* lapangan yang telah dilakukan pada lokasi yang akan di bangun dinding penahan tanah ini, serta dengan mempertimbangkan tingkat kesulitan dalam pelaksanaan, disusun beberapa konsep perencanaan turap antara lain:

- a. Dinding penahan tanah yang direncanakan tidak mengganggu atau merusak aliran air sungai (tidak mengganggu luas penampang basah sungai)
- b. Dinding penahan tanah berfungsi sebagai dinding yang dapat menahan kelongsoran tebing sungai dan melindungi tebing sungai terhadap gerusan air.
- c. Dinding penahan tanah dapat menahan tekanan tanah aktif serta tekanan air dan beban-beban lainnya yang bekerja pada dinding penahan tanah
- d. Dinding penahan tanah direncanakan memiliki ketahanan jangka panjang pada lingkungan pada siklus basah, kering dan lembab
- e. Dinding penahan tanah memiliki tekanan tanah lateral tanah aktif dan air, serta memiliki gaya aksial dan lateral yang bekerja pada dinding penahan tanah.

2.7.6 Urutan Perencanaan Dinding Penahan Tanah

- a. Menetapkan jenis dinding penahan tanah yang paling sesuai
- b. Memperkirakan ukuran/dimensi dinding penahan tanah yang diperlukan
- c. Hitung gaya-gaya yang bekerja di atas dasar fondasi dinding penahan
- d. Tentukan letak resultan gaya-gaya yang bekerja. Letak dari resultan tersebut digunakan untuk mengetahui kestabilan dinding penahan terhadap bahaya penggulingan
- e. Mengontrol stabilitas dinding penahan tanah terhadap
 - Bahaya guling
 - Bahaya geser, dan
 - Bahaya kelongsoran daya dukung

- f. Merencanakan struktur atau konstruksi sehingga konstruksi dinding penahan tanah mampu memikul segala beban atau muatan yang dipikul. (Hardiyatmo,2014)

2.7.7 Tekanan Tanah (*Earth Pressure*)

Besar tekanan tanah aktif merupakan luas diagram tegangan gaya yang terjadi akibat pembebanan, perbedaan tinggi muka air maupun akibat sifat-sifat tanah. Diagram tegangan gaya tersebut adalah :

1. Akibat beban merata, berbentuk segi empat tegangan gaya.
2. Akibat perbedaan tinggi muka air, pada mulanya berupa segi tiga tegangan gaya kemudian segi tiga tegangan gaya ini menjadi gaya, sehingga bentuk selanjutnya menjadi segi empat tegangan gaya.
3. Akibat Sifat-sifat tanah, dapat berbentuk segi empat dan segi tiga, dibedakan akibat harga kohesi tanah (c) dan akibat berat isi tanahnya (γ_m). Yang perlu diperhatikan di dalam mencari total tekanan tanah adalah :
 - a. Akibat sifat-sifat tanah, khususnya akibat kohesi tanah memberikan pengurangan terhadap seluruh tekanan tanah aktif yang bekerja. Sedangkan untuk tekanan tanah pasif, kohesi tanah akan menambah besar seluruh tekanan tanah pasif yang bekerja.
 - b. Akibat beban garis (*Line Load*), beban titik (*point load*), dan beban *strip* (*strip load*), bentuk diagram dapat didekati dalam bentuk trapezium, atau segitiga.

Menurut teori Rankine, untuk tanah berpasir tidak kohesif, besarnya gaya lateral pada satuan lebar dinding akibat tekanan tanah aktif pada dinding setinggi H dapat dinyatakan dengan :

$$\Sigma p_a : 0,5 \times H^2 \times \gamma \times K_a \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan

K_a : koefisien tekanan tanah aktif

Q : Beban terbagi rata (kN/m)

H : Tinggi dinding penahan (m)

γ_b : Berat isi tanah (kN/m³)

$$k_a : \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan

ϕ : Sudut geser dalam

β : Sudut tanah timbunan

Untuk tanah timbunan datar ($\beta = 0^\circ$), besarnya koefisien tekanan tanah aktif menjadi :

$$K_a : \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} : \text{tg}^2(45^\circ - \phi/2) \dots\dots\dots (2.9)$$

2.7.8 Stabilitas terhadap penggeseran

Akibat gaya-gaya lateral seperti tekanan tanah aktif P_a yang bekerja, maka dinding penahan tanah dapat bergeser. Gaya-gaya lateral P_a tersebut akan mendapatkan perlawanan dari tekanan tanah Pasif P_p dan gaya gesek antara dasar dinding dan tanah,. Faktor aman terhadap penggeseran (F_{gs}), didefinisikan sebagai:

$$f_{gs} = \frac{\sum Vx \tan\delta}{\sum H} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan

F_{gs} : Faktor aman terhadap penggeseran

$\sum V$: Total gaya vertikal (kN)

$\sum H$: Total gaya horizontal (kN)

$\tan\delta$: Koefisien gesek

$F_{gs} \geq 1,5$ untuk tanah dasar granuler

$F_{gs} \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif

Tabel 2.11 Koefisien gesek ($\tan\delta$) antara dasar fondasi dan tanah dasar
(AREA, 1958)

No	Jenis tanah dasar fondasi	Tan δ
1	Tanah granuler kasar tak mengandung lanau atau lempung	0,55
2	Tanah granuler kasar mengandung lanau	0,45
3	Tanah lanau tak berkoheesi	0,35
4	Batu keras permukaan kasar	0,60

(Sumber : Hardiyatmo,2014)

2.7.9 Stabilitas terhadap penggulingan

Tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh tanah urug di belakang dinding penahan, cenderung menggulingkan dinding dengan pusat rotasi pada ujung kaki depan pelat fondasi. Momen penggulingan ini, dilawan oleh momen akibat berat sendiri dinding penahan dan momen akibat berat tanah di atas pelat fondasi. Faktor aman akibat penggulingan (F_{gl}), didefinisikan sebagai

$$F_{gl} = \frac{\sum Mt}{\sum Mg} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan

F_{gl} : Faktor aman akibat penggulingan

$\sum Mt$: Momen terhadap berat sendiri fondasi (kNm)

$\sum Mg$: Momen terhadap tekanan tanah aktif (kNm)

$F_{gl} \geq 1,5$ untuk tanah dasar granuler

$F_{gl} \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif

2.7.10 Stabilitas terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah

Gaya-gaya horizontal dan vertikal pada dinding akan menimbulkan tegangan pada tanah. Apabila tegangan yang timbul melebihi tegangan ijin tanah, maka akan terjadi penurunan tanah. Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah didefinisikan sebagai

$$F = \frac{q_{ult}}{q_{Max}} \geq 2,5 \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan

F : Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah

q_{ult} : Kapasitas dukung ultimit(kN/m²)

q_{max} : Tekanan akibat beban struktur (kN/m²)

$$X = \frac{\sum mt - \sum mtg}{\sum V} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan

$\sum Mt$: Momen terhadap berat sendiri fondasi (kNm)

$\sum Mg$: Momen terhadap tekanan tanah aktif (kNm)

$\sum V$: Total gaya vertikal (kN)

$$e : B/2 - x \dots\dots\dots (2.14)$$

Bila $e < B/6$, bentuk diagram tekanan kontak berupa trapezium Bila

$e = B/6$, bentuk diagram tekanan kontak berupa segitiga Bila

$e > B/6$, bentuk diagram tekanan kontak berupa dua segitiga

Tekanan struktur pada tanah dasar fondasi dapat dihitung dari persamaan sebagai berikut

1. Bila dipakai cara lebar efektif fondasi (asumsi meyerholf):

$$q = \frac{V}{B'} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dengan

V : beban vertikal total (kN)

B' : B – 2e

2. Bila distribusi tekanan kontak antar tanah dasar fondasi dianggap linier

$$q = \frac{V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \text{ bila } e \leq \frac{B}{6} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$q = \frac{2 \sum V}{3(B-2e)} \text{ Bila } e > \frac{B}{6} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dalam perencanaan, lebar fondasi dinding penahan (B) sebaiknya dibuat sedemikian hingga $e < (B/6)$. Hal ini dimaksudkan agar efisiensi fondasi maksimum dan perbedaan tekanan fondasi pada ujung-ujung kaki dinding tidak besar (untuk mengurangi resiko keruntuhan dinding akibat penggulingan

Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

Analisis kapasitas dukung ulimit dihitung dengan menggunakan persamaan Vesic (1975) untuk beban miring dan eksentris.

Eksentrisitas (e)

$$e = \frac{B}{2} - X_e \dots\dots\dots(2.15)$$

$$B' = B - (2 \cdot e) \dots\dots\dots(2.16)$$

Setelah didapatkan nilai eksentrisitas maka dicari nilai dan yang terjadi dibawah pondasi penahan tanah seperti dibawah ini:

Tegangan vertikal desak maksimum, dihitung dengan rumus:

$$q_{\max} = \frac{\sum V}{B} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e}{B}\right) \dots\dots\dots(2.17)$$

Tegangan vertikal desak minimum, dihitung dengan rumus:

$$q_{\min} = \frac{\sum V}{B} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e}{B}\right) \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana:

V = Komponen gaya vertikal

B = Lebar bagian potongan yang ditinjau

1 = Panjang dinding per 1 meter

e = Eksentrisita

Tabel 2.12. Nilai-Nilai Faktor Kapasitas Dukung Tanah Hansen

Ø (°)	Meyerhof (1963)			Hansen (1961)			Vesic (1973)	
	Nc	Nq	Nγ	Nc	Nq	Nγ	Nc	Nq
0	5,14	1,00	0	5,14	1,00	0	5,14	1,00
1	5,38	1,09	0	5,38	1,09	0	5,38	1,09
2	5,63	1,20	0,01	5,63	1,20	0,01	5,63	1,20
3	5,90	1,31	0,02	5,90	1,31	0,02	5,90	1,31
4	6,19	1,43	0,04	6,19	1,43	0,05	6,19	1,43
5	6,49	1,57	0,07	6,49	1,57	0,07	6,49	1,57
6	6,81	1,72	0,11	6,81	1,72	0,11	6,81	1,72
7	7,16	1,88	0,15	7,16	1,88	0,16	7,16	1,88
8	7,53	2,06	0,21	7,53	2,06	0,22	7,53	2,06
9	7,92	2,25	0,28	7,92	2,25	0,30	7,92	2,25
10	8,34	2,47	0,37	8,34	2,47	0,39	8,34	2,47
11	8,80	2,71	0,47	8,80	2,71	0,50	8,80	2,71
12	9,28	2,97	0,60	9,28	2,97	0,63	9,28	2,97
13	9,81	3,26	0,74	9,81	3,26	0,78	9,81	3,26
14	10,37	3,59	0,92	10,37	3,59	0,97	10,37	3,59
15	10,98	3,94	1,13	10,98	3,94	1,18	10,98	3,94
16	11,63	4,34	1,37	11,63	4,34	1,43	11,63	4,34
17	12,34	4,77	1,66	12,34	4,77	1,73	12,34	4,77
18	13,10	5,26	2,00	13,10	5,26	2,08	13,10	5,26
19	13,93	5,80	2,40	13,93	5,80	2,48	13,93	5,80
20	14,83	6,40	2,87	14,83	6,40	2,95	14,83	6,40
21	15,81	7,07	3,42	15,81	7,07	3,50	15,81	7,07
22	16,88	7,82	4,07	16,88	7,82	4,13	16,88	7,82
23	18,05	8,66	4,82	18,05	8,66	4,88	18,05	8,66
24	19,32	9,60	5,72	19,32	9,60	5,75	19,32	9,60
25	20,72	10,66	6,77	20,72	10,66	6,76	20,72	10,66

(sumber : Hary Christady Hardiyatmo. 2010. Analisis dan Perancangan Pondasi)

Dalam menghitung kapasitas daya dukung tanah diperlukan nilai dari faktor kemiringan beban yang terjadi di bawah pondasi seperti perhitungan dibawah ini:

Faktor kemiringan beban:

$$F_{cd} = 1 + 0,4 \cdot \frac{D}{B - 2 \cdot e} \dots \dots \dots (2.19)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \cdot \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2 \cdot \frac{D}{B - 2 \cdot e} \dots \dots \dots (2.20)$$

$$Q_{ult} = c \cdot N_c \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + (\gamma + D) N_q \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (B + 2 \cdot e) \cdot N_\gamma \cdot F_{yd} \cdot F_{yi} \dots \dots (2.21)$$

$$FK = \frac{q_{ult}}{q_{ultimit}} \dots \dots \dots (2.22)$$

2.7.11 Cara merencanakan dinding penahan tanah menggunakan dinding penahan tanah type pasangan batu kali menurut rankine

- tinggi Air (Hair)
- Normal = 0,70 m
- Banjir = 1,80 m
- Tanah pengisi = Tanah

2.13 Tabel Data Tanah

No	Notasi	Σ	Satuan
1	Gs	2,08	kN/m ³
2	Γ_b	14,5	kN/m ³
3	Γ_d	10,67	kN/m ³
4	Γ_{sat}	15,88	kN/m ³
5	γ'	6,07	kN/m ³
6	Γ_w	9,81	kN/m ³
7	Γ	22	kN/m ³

Perencanaan Dinding Penahan Tanah direncanakan yaitu Dinding penahan grafitasi. Data perencanaan (dengan dimensi):

- Tinggi total (H+D) = 5,00 m
- Tinggi Dinding Penahan (H) = 4,00
- Lebar Bawah (B) = 2,50 m
- Lebar Atas (B') = 0,4 m
- Kedalaman Pondasi (DF) = 1,00 m

Perhitungan dilakukan pada 4 kondisi : kondisi muka air banjir tanpa gempa tanah aktif (pa) tekanan tanah aktif:

$$Pa\ 1 = \frac{1}{2} \gamma_b H^2 K_a = 93,6\ KN$$

$$Pa\ 2 = \frac{1}{2} \gamma_b H^2$$

$$K_a = 5,658\ KN$$

Jumlah tekanan aktif yang bekerja:

$$\Sigma Pa = Pa\ 1 + Pa\ 2 = 99,258\ KN$$

Kapasitas Dukung Tanah Faktor Keamanan Terhadap Kuat Dukung Tanah, Geser dan Guling $\sigma_{max} = () = 100,540\ kN/m^2$ Stabilitas terhadap

geser $SF = 1,81 > 1,5$ Ok Stabilitas terhadap guling $SF = 2,07 > 1,5$
(Ok)

Kondisi Muka Air Banjir dengan Gempa

Tabel 2.14 Perhitungan Momen Akibat Gempa

No	Berat Sendiri P (kN/m)	Jarak ke titik 0 (m)	Momen (kN.m)
1	32,947	1,70	56,001
2	30,202	1,133	34,219
3	34,320	1,25	42,900
Σ	97,469		133,120

Faktor Keamanan Terhadap Kuat Dukung Tanah, Geser dan Guling
 Stabilitas terhadap daya dukung tanah $SF = 1,32 > 1,2$ Ok Stabilitas
 terhadap guling $SF = 1,36 > 1,2$ Ok

Tabel 2.15. Faktor Keamanan Terhadap Kuat Dukung Tanah, Geser Dan
 Guling

No	Keterangan	Geser (SF)	Guling (SF)
1	Muka Air Normal Tanpa Gempa	2,11 > 1,5	2,10 > 1,5
2	Muka Air Normal Dengan Gempa	1,49 > 1,2	1,26 > 1,2
3	Muka Air Banjir Tanpa Gempa Muka air	1,81 > 1,5	2,07 > 1,5
4	Banjir Dengan Gempa	1,32 > 1,2	1,36 > 1,2

2.8 Penanggulangan longsor

Penanggulangan keruntuhan dalam petunjuk ini bersifat pencegahan dan tidak korektif. Pencegahan dimaksudkan untuk menghindari kemungkinan terjadinya kelongsoran, lereng pada daerah yang berpotensi longsor, sedangkan tidak korektif dapat berupa penanggulangan darurat (bersifat sementara dan sederhana) dan permanen.

Pemilihan metode penanggulangan kelongsoran lereng tergantung dari beberapa faktor, yaitu :

- Identifikasi penyebab (penggerusan pada kaki lereng, penimbunan pada kepala kelongsoran lereng, pemotongan pada kaki lereng,dan sebagainya)
- Factor teknik (luas daerah runtuh lereng), jenis deposit-deposit material lereng dan sebagainya
- Kemungkinan pelaksanaan (biaya, teknik pelaksanaan, kemampuan pelaksanaan, dan sebagainya).
- Factor ekonomi (material setempat dan sebagainya)

Untuk perhitungan stabilitas lereng, factor keamanannya digunakan persamaan sebagai berikut.

$$F_s = \frac{\tau}{\tau_d} \quad \text{atau}$$

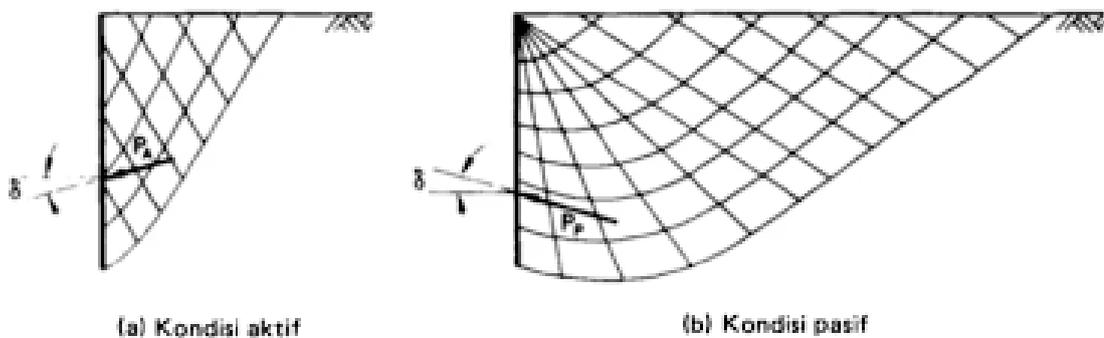
$$F_s = \frac{c + \sigma \tan \theta}{c_d + \sigma \tan \theta_d}$$

2.9 Teori coulomb Tentang Tekanan Tanah

Teori coulomb (1776) mempertimbangkan kestabilan tanah, secara keseluruhan pada bagian tanah antara dinding penahan dan suatu bidang runtuh coba – coba (*trial failure plane*). Gaya antara bagian tanah dan permukaan dinding ditentukan dengan memperhatikan keseimbangan gaya – gaya yang bekerja pada bagian tanah tersebut Ketika berada pada titik gelincir, baik diatas maupun dibawah bidang gelincir, dan hal ini terjadi pada saat bagian tanah tersebut berada dalam kondisi kesimbangan batas (*limiting equilibrium*). Friksi yang terjadi antara dinding yang dinyatakan dengan δ , dapat ditentukan di laboratorium dengan uji geser langsung. Disembarang titik pada permukaan dinding akan terbentuk suatu tanah geser tiap satuan luas sebesar $P_n \tan \delta$, dimana P_n adalah tekanan normal pada dinding tetap pada titik tersebut. Akibat friksi dinding, bentuk permukaan runtuh adalah suatu lengkungan di dekat dasar dinding, baik pada kondisi aktif maupun pasif, seperti di tunjukkan dalam

gambar 2.4, tetapi dalam teori coulomb, permukaan runtuh diasumsikan berbentuk bidang berisi lurus. Pada kondisi aktif, lengkungan landai sehingga kesalahan dalam mengasumsikan permukaan bidangnya relative kecil. Hal ini berlaku pula pada kondisi pasif dengan nilai δ yang lebih tinggi, kesalahan yang ditimbulkan menjadi lebih besar.

Teori coulomb sekarang di interpresitasikan sebagai suatu pemecahan masalah plastisitas batas atas, dimana keruntuhan (*collapse*) pada masa tanah yang terletak diatas bidang runtuh akan terjadi dinding bergerak menjauhi atau total yang terlalu kecil.



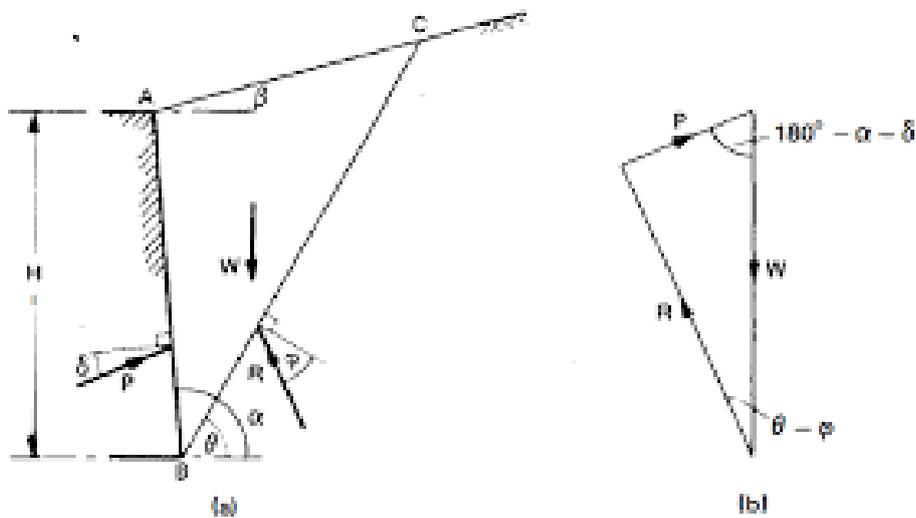
Gambar 2.4 Lengkungan Akibat Friksi Dinding

tahanan pasif total yang terlalu besar (batas atas dari beban runtuh yang sebenarnya). Jika $\delta = 0$, teori coulomb memberikan hasil untuk kondisi dinding vertical dengan permukaan tanah horizontal, sehingga solusi kondisi ini adalah eksak karena atas dan batas bawahnya berimpit.

2.9.1 Kondisi Aktif

Pada gambar 2.5 memperkenalkan gaya – gaya yang bekerja pada bagian tanah yang terletak di antara permukaan dinding AB, yang membentuk sudut α terhadap horizontal, dan suatu bidang runtuh BC, yang membentuk sudut Θ terhadap horizontal. Parameter kekuatan geser c diambil sebesar nol, seperti pada Sebagian besar kondisi timbunan (*backfill*). Pada kondisi runtuh, bagian tanah tersebut berada pada dalam keseimbangan akibat berat sendirinya (W), reaksi terhadap gaya (P) yang bekerja diantara tanah dan dinding, reaksi R pada bidang runtuh. Karena

bagian tanah tersebut cenderung menurunkan bidang BC pada saat runtuh, maka reaksi P bekerja pada sudut δ dibawah bidang normal dinding. (jika dinding mengalami penurunan yang lebih besar dibandingkan urugan, maka reaksi P akan bekerja pada arah δ diatas bidang normal). Pada saat runtuh, dimana kekuatan geser tanah telah dimobilisasikan sepenuhnya, arah R membentuk sudut ϕ dibawah normal bidang runtuh (dimana R merupakan resultan gaya – gaya normal dan geser pada bidang runtuh).



Gambar 2.5 Teori Coulomb: kondisi aktif dengan $c = 0$

Arah tiga gaya tersebut, dan besar W , diketahui sehingga dapat di gambarkan segitiga gaya (gambar 2.12) dan besar P pun dapat ditentukan. Beberapa bidang runtuh coba – coba harus di seleksi untuk mendapatkan nilai P maksimum, yang merupakan gaya dorong aktif total pada dinding. Akan tetapi, dengan memakai aturan sinus, P dapat dinyatakan dalam W dan sudut – sudutnya dalam segitiga gaya. Nilai P maksimum, dihubungkan dengan nilai θ , diberikan oleh $\frac{\partial P}{\partial \theta} = 0$.

Titik tangkap gaya dorong aktif total tidak diberikan pada teori coulomb, tetapi diasumsikan bekerja pada jarak $H/3$ diatas dasar dinding.

2.9.2 kondisi pasif

Dalam kondisi pasif, reaksi P bekerja pada arah δ diatas normal bidang permukaan dinding (atau θ dibawah normal tersebut bila penurunan dinding lebih besar dari penurunan tanah di sekitarnya) dan reaksi R membentuk sudut \varnothing diatas bidang normal runtuh. Dalam segitiga gaya, sudut antara W dan P adalah $(180^\circ - \alpha - \delta)$, dan R adalah $(\theta + \varnothing)$.

Tahanan pasif total, sama dengan nilai p minimum, diberikan oleh persamaan:

Jika nilai δ lebih besar dari $\varnothing/3$, kelengkungan bidang runtuh harus diperhitungkan karena bila tidak, tahanan pasif total ditaksir terlalu berlebihan, dan kesalahan yang di lampirkan akan melampaui daerah aman. Satu contoh analisis yang memperhitungkan kelengkungan diberikan dalam gambar 2.13. permukaan tanah horizontal dan parameter kekuatan geser $c = 0$. Pada potongan melintang, permukaan geser diasumsikan terdiri dari satu busur lingkaran BC (pusat o, jari-jari r) dan satu garis lurus CE yang merupakan garis singgung busur tersebut. Bila besarnya deformasi dinding adalah sedemikian rupa sehingga tahanan pasif total telah dimobilisasi seluruhnya, tanah dalam segitiga ACE berada dalam kondisi pasif Rankine, dimana sudut EAC dan AEC sama dengan $(45^\circ - \varnothing/2)$. Gaya horizontal (Q) pada bidang vertical DC adalah nilai pasif rankine yang di dapat dari persamaan 2.16, yang bekerja pada arah horizontal pada jarak $DC/3$ D diatas titik C.

Analisa kestabilan tanah ABCD perlu mempertimbangkan gaya-gaya:

1. Berat (W) ABCD yang bekerja melalui titik pusat potongan;
2. Gaya Q pada DC;
3. Reaksi P terhadap gaya yang bekerja antara tanah dan dinding, dimana garis kerjanya membentuk sudut δ diatas normal bidang dinding pada jarak $AB/3$ diatas B.
4. Reaksi R pada permukaan runtuh BC.

Bila diasumsikan geser sepanjang busur lingkaran BC telah di mobilisasi sepenuhnya R diasumsikan bekerja pada sudut \varnothing terhadap normal. Garis kerja R menyinggung suatu lingkaran, dengan pusat O, jari – jari $r \sin \varnothing$: lingkaran ini disebut lingkaran $-\varnothing$. Telah ditunjukkan sebelumnya bahwa garis kerja R sesungguhnya menyinggung garis lingkaran dengan pusat O dan jari-jarinya sedikit lebih besar dari $r \sin \varnothing$, tetapi kesalahan dalam besar gaya P akibat asumsi di atas masih berada dalam daerah aman. Besar gaya-gaya W dan Q diketahui dengan resultannya (S) ditentukan secara grafis seperti pada gambar 2.13. agar tercapai keseimbangan, garis kerja gaya-gaya S, P dan R harus berpotongan. Karena garis kerja R harus melewati perpotongan antara S dan P dan harus menyinggung lingkaran $-\varnothing$; jadi arah gaya R dapat dipastikan. Polygon gaya sekarang dapat diselesaikan dan besar P dapat diperoleh. Analisa ini harus dilakukan berulang-ulang pada beberapa bidang runtuh untuk mendapat nilai P minimum.

Teori tekanan tanah lateral cara coulomb (1776) memperhatikan pengaruh gesekan antara tanah urug dengan dinding penahannya. Sudut gesek antara dinding dan tanah, seperti yang di tunjukkan pada gambar 2.5a dan 2.5b. akibat adanya gesekan antara dinding dan tanah, bentuk bidang longsor menjadi lengkungan di dekat dasar kaki dinding, baik tekanan tanah aktif maupun pasif.

Beberapa anggapan dalam analisis tekanan tanah cara coulomb (1776), adalah:

1. Tanah adalah bahan yang isotropis dan homogen, yang mempunyai sudut gesek dan kohesi.
2. Bidang longsor dan permukaan tanah urug adalah bidang rata.
3. Gaya-gaya gesek dan permukaan tanah urug adalah bidang rata.
4. Tanah yang longsor (yang berbentuk baji) merupakan satu kesatuan.

5. Terdapat gesekan antara dinding penahan dan tanah urug. tanah yang longsor, bergerak disepanjang sisi belakang dinding penahan mengembangkan gesekan.
6. Keruntuhan pada struktur penahan tanah dianggap sebagai masalah dua dimensi dengan memperhatikan Panjang satuan dari dinding penahan yang panjangnya tak terhingga.

2.10 Analisis Mayerhoft

Analisis daya dukung Mayerhof (1951, 1963) dalam Martini (2009) menyarankan persamaan daya dukung yang mirip dengan Terzaghi, tetapi memasukkan faktor bentuk s_q , factor kedalaman di dalam faktor kemiringan, sehingga untuk:

Beban vertikal: $q_u = c N_c \cdot s_c \cdot d_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_y \cdot s_y \cdot d_y$

Beban miring: $c \cdot N_c \cdot F_{cd} \cdot F_{ci} + (\gamma + D) N_q \cdot F_{qd} \cdot F_{qi} \cdot \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot (B + 2 + e) \cdot N_y \cdot F_{yd} \cdot F_{yi}$

dimana:

q_u = daya dukung ultimit (kg/cm^2)

c = kohesi tanah (kg/cm^2)

D = kedalaman fondasi (m)

γ = berat volume tanah (kg/cm^3)

N_c, N_q, N_y = faktor daya dukung Meyerhof

F_{cd}, F_{qd}, F_{yd} = faktor kedalaman fondasi

F_{ci}, F_{qi}, F_{yi} = faktor kemiringan

Nilai-nilai faktor daya dukung Meyerhof N_c, N_q, N_y fungsi dari besarnya besarnya sudut geser dalam (θ). Berikut ini ialah tabel faktor daya dukung pondasi menurut Mayerhof:

Tabel 2.16 kapasitas dukung ultimit menurut Meyerhof

$\Phi(^{\circ})$	Meyerhof (1963)		
	N_c	N_q	N_y
0.	5,14	1,00	0,00
1.	5,38	1,09	0,07
2.	5,63	1,20	0,15
3.	5,90	1,31	0,24
4.	6,19	1,43	0,34
5.	6,49	1,57	0,45
6.	6,81	1,72	0,57
7.	7,16	1,88	0,71
8.	7,53	2,06	0,86
9.	7,92	2,25	1,03
10.	8,35	2,47	1,22
11.	8,80	2,71	1,44
12.	9,28	2,97	1,69
13.	9,81	3,26	1,97
14.	10,37	3,59	2,29
15.	10,98	3,94	2,65
16.	11,63	4,34	3,06
17.	12,34	4,77	3,53
18.	13,10	5,26	4,07
19.	13,93	5,80	4,68
20.	14,63	6,40	5,39
21.	15,82	7,07	6,20
22.	16,88	7,82	7,13
23.	18,05	8,66	8,20
24.	19,32	9,60	9,44
25.	20,72	10,66	10,88
26.	22,25	11,85	12,54
27.	23,94	13,20	14,47
28.	25,80	14,72	16,72
29.	27,86	16,44	19,34
30.	30,14	18,40	22,40
31.	32,67	20,63	25,99
32.	35,49	23,18	30,22
33.	38,64	26,09	35,19

$\Phi(\phi)$	Meyerhof (1963)		
	N_c	N_q	N_v
34.	42,16	29,44	41,06
35.	46,12	33,30	48,03
36.	50,59	37,75	56,31
37.	55,63	42,92	66,19
38.	61,35	48,93	78,03
39.	67,87	55,96	92,25
40.	75,31	64,20	109,41
41.	83,86	73,90	130,22
42.	93,71	85,38	155,55
43.	105,11	99,02	186,54
44.	118,37	115,31	224,64
45.	133,88	134,88	271,76
46.	152,10	158,51	330,35
47.	173,64	187,21	403,67
48.	199,26	222,31	496,01
49.	229,93	265,51	613,16
50.	266,89	319,07	762,89

Sumber : Hardiyatmo, H.C (2002)