

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Pengertian Tanah

Tanah di alam terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Butiran-butiran dengan mudah dipisah-pisahkan satu sama lain dengan kocokan air. Tanah berasal dari pelapukan batuan, yang prosesnya dapat secara fisik maupun kimia. Sifat-sifat teknis tanah, kecuali dipengaruhi oleh sifat batuan induk yang merupakan material asalnya juga dipengaruhi oleh unsur-unsur luar yang menyebabkan terjadinya pelapukan batuan tersebut (*Hardiyatmo, H.C. 2002, Hal 1*).

Semua macam tanah ini secara umum terdiri dari tiga bahan, yaitu butiran tanahnya sendiri, serta air dan udara yang terdapat dalam ruangan antara butir-butir tersebut. Ruangan ini disebut pori (*voids*). Apabila tanah sudah benar-benar kering maka tidak akan ada air sama sekali dalam porinya, keadaan semacam ini jarang ditemukan pada tanah yang masih dalam keadaan asli dilapangan. Air hanya dapat dihilangkan sama sekali dari tanah apabila kita ambil tindakan khusus untuk maksud itu, misalnya dengan memanaskan di dalam oven (*Wesley, L.D. 1977, Hal 1*).

Sebaliknya kita sering menemukan keadaan dimana pori tanah tidak mengandung udara sama sekali, jadi pori tersebut menjadi penuh terisi air. Dalam hal ini tanah dikatakan jenuh air (*fully saturated*). Tanah yang terdapat dibawah muka air hampir selalu dalam keadaan jenuh air. Teori-teori yang kita pergunakan dalam bidang mekanika tanah ini sebagian besar dimaksudkan untuk tanah yang jenuh air. Teori konsolidasi misalnya serta teori kekuatan geser tanah bergantung pada anggapan bahwa pori tanah hanya mengandung air, dan sama sekali tidak mengandung udara (*Wesley, L.D, 1977, Hal 1*).

Menurut *Dunn*, 1980 berdasarkan asalnya, tanah diklasifikasikan secara luas menjadi :

1. Tanah organik adalah campuran yang mengandung bagian-bagian yang cukup berarti berasal dari lapukan dan sisa tanaman dan kadang-kadang dari kumpulan kerangka dan kulit organisme.
2. Tanah anorganik adalah tanah yang berasal dari pelapukan batuan secara kimia ataupun fisis.

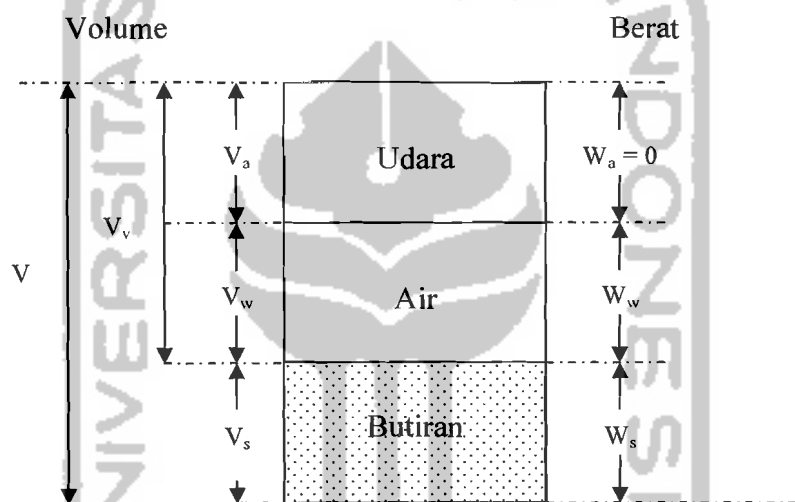
3.1.2 Tanah Kohesif dan Tanah non Kohesif

Apabila karakteristik fisis yang selalu terdapat pada massa butir-butir tanah di mana pada pengeringan yang menyusul butir-butir tanah bersatu sehingga sesuatu gaya akan diperlukan untuk memisahkannya dalam keadaan kering, maka tanah tadi disebut kohesif. Apabila butir-butir tanah terpisah-pisah sesudah dikeringkan dan hanya bersatu apabila berada dalam keadaan basah karena gaya tarik permukaan di dalam air, maka tanah disebut tidak kohesif. Tanah kohesif dapat berupa tidak plastis, plastis ataupun cairan kental tergantung pada nilai kadar air waktu itu. Tanah yang non kohesif memperlihatkan tiadanya garis batas antara keadaan plastis dan tidak plastis, oleh karena jenis tanah ini adalah tidak plastis untuk semua nilai kadar air. Tetapi dalam beberapa kondisi tertentu suatu tanah yang non kohesif dengan kadar air yang cukup tinggi dapat bersifat sebagai suatu cairan kental (*Bowles, J.E, 1986, Hal 41*).

Tarikan permukaan memberikan tanah-tanah yang non kohesif suatu kohesi semu (apparent cohesion) yang disebut demikian oleh karena kohesi tersebut akan hilang apabila tanah benar-benar kering atau benar-benar jenuh. Dari segi pandang praktis, tanah yang tidak kohesif dengan kohesi semu ini dapat digali secara vertikal untuk kedalaman yang dangkal atau dibor dengan lobang yang akan tetap utuh, tetapi apabila tanah itu mengering atau menjadi jenuh kohesi semu tadi akan hilang dan pinggir-pinggir galian tadi akan runtuh (*Bowles, J.E, 1986, Hal 41*).

3.1.3 Hubungan antara jumlah butir, air dan udara dalam tanah

Tanah merupakan komposisi dari dua atau tiga fase yang berbeda. Tanah yang benar-benar kering terdiri dari dua fase yang disebut butiran dan udara pengisi pori, tanah yang jenuh juga terdiri dari dua fase yaitu butiran dan air pori sedangkan tanah yang jenuh sebagian terdiri dari tiga fase yaitu butiran, udara pori dan air pori. Berat udara dianggap sama dengan nol. Komponen-komponen tanah dapat digambarkan dalam suatu diagram fase, seperti terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah

Sumber : Hardiyatmo, H.C. 2002, Teknik Pondasi 1, hul 3

Dari gambar tersebut dapat dibentuk persamaan berikut :

$$W = W + W_w \quad (3.1)$$

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (3.2)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (3.3)$$

dengan :

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

V_v = volume pori

Sehingga dari gambar tersebut dapat diperoleh rumus-rumus sebagai berikut :

1. Kadar air (*Moisture content/water content*)

Kadar air adalah perbandingan antara berat air dengan berat partikel padat dalam tanah, yaitu :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \quad (3.4)$$

2. Angka pori (*Void ratio*)

Angka pori adalah perbandingan volume pori dan volume partikel padat, yaitu

$$e = \frac{V_v}{V_s} \times 100\% \quad (3.5)$$

3. Porositas (*Porosity*)

Porositas adalah perbandingan antara volume pori dengan volume keseluruhannya.

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (3.6)$$

$$n = \frac{e}{1+e} \quad (3.7)$$

4. Berat jenis (*specific gravity*)

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3.8)$$

5. Berat isi tanah alami / asli (*Natural density*)

Adalah perbandingan antara berat tanah seluruhnya dengan isi tanah seluruhnya, yaitu :

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (3.9)$$

6. Berat volume kering (*Dry density*)

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.10)$$

7. Berat volume basah (*Submerged / wet density*)

$$\gamma_b = \frac{W_w + W_s}{V} \quad (3.11)$$

8. Derajat kejenuhan (*Degree of saturation*)

$$S_r = \frac{V_w}{V_r} \times 100 \% \quad (3.12)$$

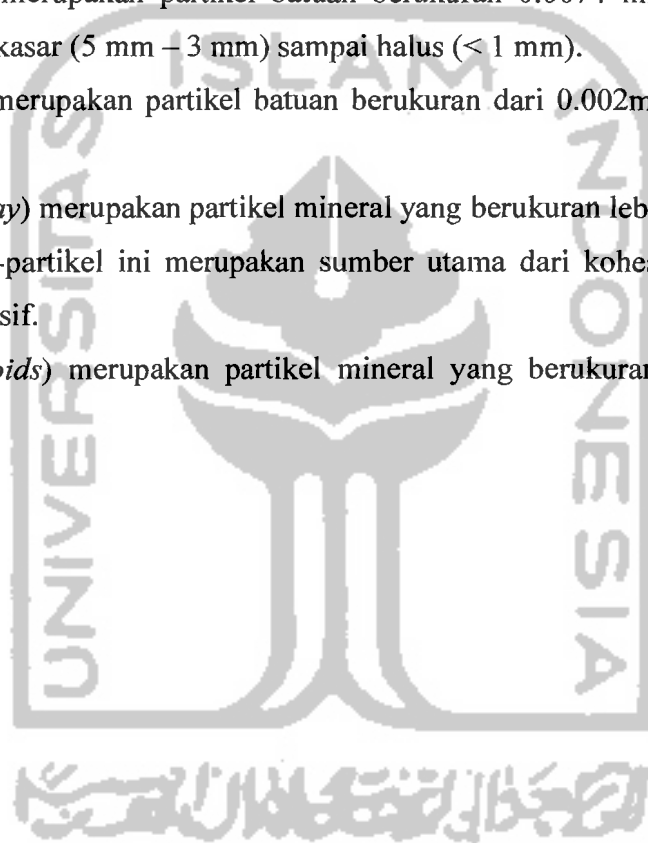
3.2 Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok pemakaiannya. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas. Sistem klasifikasi tanah tersebut ada bermacam-macam tetapi tidak ada satupun yang memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat tanah yang sangat bervariasi (*M. Das, Braja, 1995, Hal 64*).

3.2.1 Klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butiran

Dalam tanah terdiri dari berbagai macam ukuran butiran, dari yang terbesar sampai yang terkecil. Pembagian nama jenis tanah, umumnya dapat dibagi menjadi sebagai berikut (*Bowles, J.E, 1989, Hal 27*) :

1. Berangkal (*boulders*) merupakan potongan batuan yang besar, biasanya diambil lebih besar dari ukuran 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini dapat disebut kerakal (*cobbles*).
2. Kerikil (*gravel*) merupakan partikel batu batuan yang memiliki ukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*) merupakan partikel batuan berukuran 0.0074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (5 mm – 3 mm) sampai halus (< 1 mm).
4. Lanau (*silt*) merupakan partikel batuan berukuran dari 0.002mm sampai 0.0074 mm.
5. Lempung (*clay*) merupakan partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0.002 mm, partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi di dalam tanah yang berkohesif.
6. Koloid (*colloids*) merupakan partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0.001 mm.



	1,7 mm	0,38	0,075								
Unified Class System	kasar	sedang	halus	Butiran halus (lanau dan lempung)							
	Pasir										
	2,0 mm	0,420	0,075	0,005	0,001						
ASTM	Pasir sedang		Pasir halus		lanau		lempung		Lempung koloidal		
	2,0 mm	0,6	0,2	0,06	0,006	0,002	0,0006	0,0002 mm			
MIT nomenclature	kasar	sedang	Halus	kasar	sedang	halus	kasar	sedang	halus		
	Pasir			lanau			lempung				
	2,0 mm	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,006	0,002	0,0006	0,0002 mm
Inter – Nasional nomenclature	Sangat kasar	kasar	sedang	Halus	kasar	halus	kasar	halus	kasar	halus	Sangat halus
	Pasir				Mo		lanau		lempung		

Gambar 3.2 Klasifikasi butiran menurut sistem *Unified*, ASTM, MIT, *International Nomenclature*

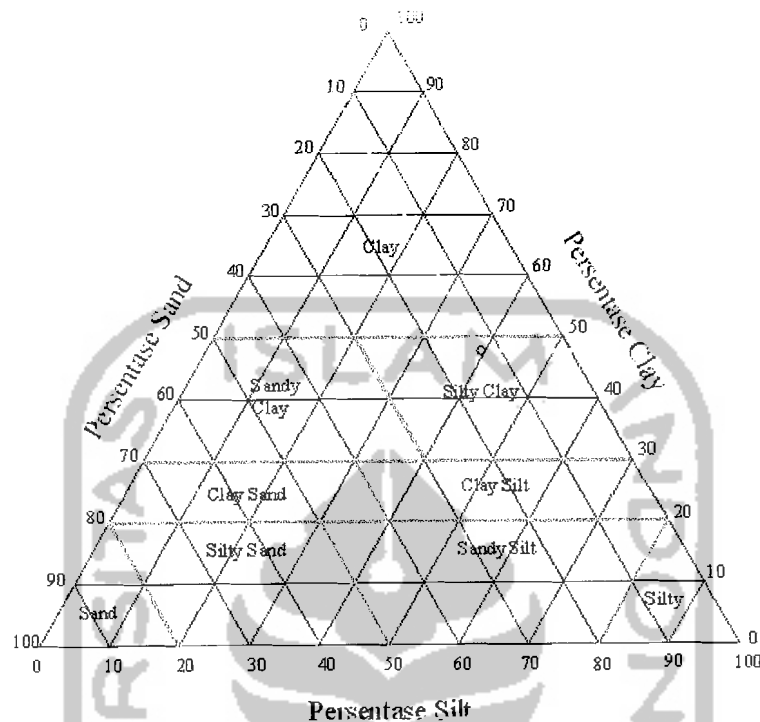
Sumber : Hardiyatmo, H.C, 2002, *Teknik Pondasi 1*, Hal 11

Dengan Gambar 3.2 ditunjukkan pembagian nama jenis tanah didasarkan pada ukuran butiran menurut *Unified Classification System*, ASTM, MIT *nomenclature* dan *International Nomenclature*.

3.2.2 Klasifikasi tanah berdasarkan Tekstur

Sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Teknik Sipil (USCS), didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah, yaitu :

- Pasir : butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm.
- Lanau : butiran dengan diameter 0,005 sampai dengan 0,002 mm.
- Lempung : butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm.



Gambar 3.3 Grafik klasifikasi tekstural segitiga USCS

3.2.3 Klasifikasi tanah sistem *Unified*

Sistem klasifikasi berdasarkan hasil-hasil percobaan laboratorium yang paling banyak dipakai secara meluas adalah sistem *Unified Soil Classification*. Ada dua golongan besar, tanah-tanah yang berbutir kasar < 50 % melalui saringan No. 200 dan tanah-tanah berbutir halus > 50 % melalui saringan No. 200. Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah sistem Unified adalah sebagai berikut (*Hardiyatmo, H.C. 1955, Hal 39*) :

1. Tentukan apakah tanah berupa butiran halus atau butiran kasar secara visual atau dengan cara menyaringnya dengan saringan No. 200.
2. Jika tanah berupa butiran kasar :
 - a) Saring tanah tersebut dan gambarkan grafik distribusi butirannya.

- b) Tentukan persen butiran lolos saringan no. 4. Bila persentase butiran yang lolos kurang dari 50 %, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila persen butiran yang lolos lebih dari 50 %, klasifikasikan sebagai pasir.
 - c) Tentukan jumlah butiran yang lolos saringan no. 200. Jika persentase butiran yang lolos kurang dari 5 %, pertimbangkan bentuk grafik distribusi butiran dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (bila berkrikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila berkrikil) atau SP (bila pasir).
 - d) Jika presentase butiran tanah yang lolos saringan no. 200 di antara 5 sampai 12 %, tanah akan mempunyai symbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (GW – GM, SW – SM dan sebagainya).
 - e) Jika presentase butiran tanah yang lolos saringan no. 200 lebih besar 12 %, harus diadakan pengujian batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no. 40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, tentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM – GC atau SM – SC).
3. Jika tanah berbutir halus :
- a) Kerjakan pengujian batas-batas Atterberg dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no. 40. Jika batas cair lebih dari 50 %, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50 %, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).
 - b) Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas dibawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai CH.
 - c) Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas Atterberg pada grafik plastisitas di bawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau

$$GI = (F - 35) [0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15)(PI - 10) \quad (3.13)$$

dengan :

GI = Indeks kelompok

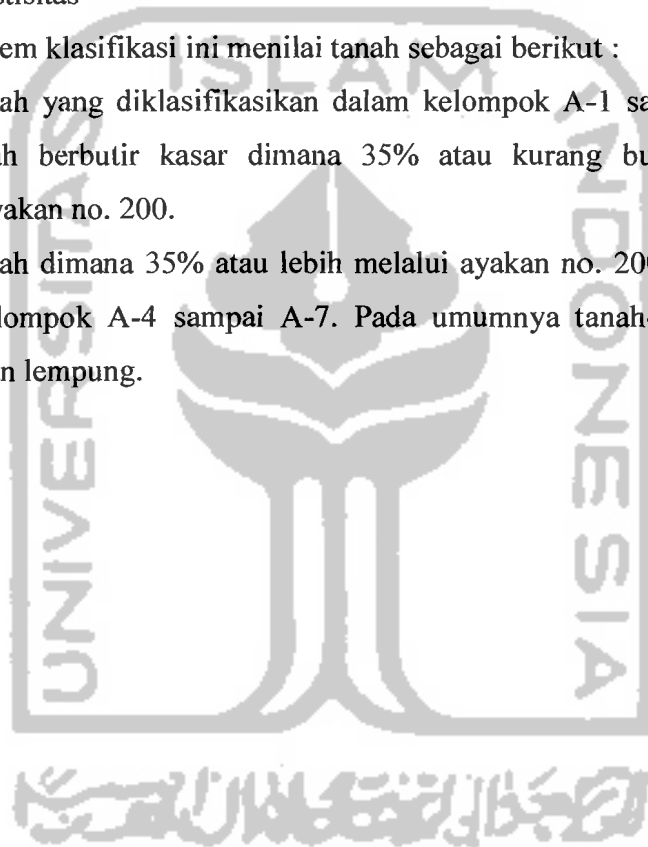
F = Persentase butir yang lolos ayakan No. 200

LL = Batas cair

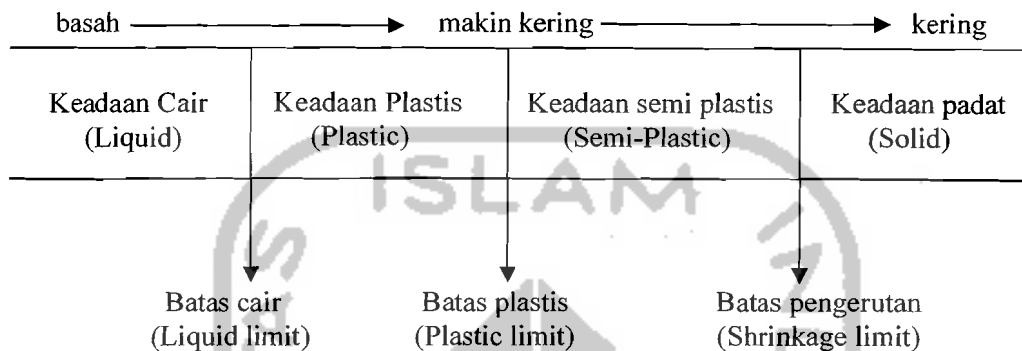
PI = Indeks plastisitas

Secara umum sistem klasifikasi ini menilai tanah sebagai berikut :

1. Tanah-tanah yang diklasifikasikan dalam kelompok A-1 sampai A-3 adalah tanah-tanah berbutir kasar dimana 35% atau kurang butir-butir tersebut melalui ayakan no. 200.
2. Tanah-tanah dimana 35% atau lebih melalui ayakan no. 200 diklasifikasikan dalam kelompok A-4 sampai A-7. Pada umumnya tanah-tanah ini adalah lumpur dan lempung.



Batas-batas tersebut adalah batas cair, batas plastis dan batas susut. Kedudukan batas konsistensi dari tanah kohesif disajikan dalam Gambar 3.3.



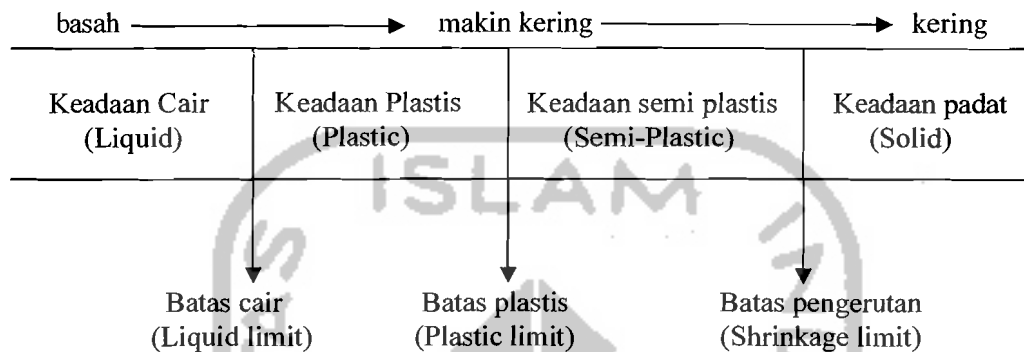
Gambar 3.4 Batas konsistensi tanah

Sumber : Wesley, L.D, 1977, Mekanika Tanah, Hal 10

3.3.1 Batas cair (*Liquid limit*)

Batas cair (LL) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari pengujian casagrande yaitu dengan cara tanah diletakkan didalam mangkok kuning dan digoreskan tepat ditengah-tengahnya kemudian mangkok tersebut diketuk-ketuk hingga tanah menyatu kembali. Gambar skematis dari alat pengukur batas cair dapat dilihat pada Gambar 3.4.

Batas-batas tersebut adalah batas cair, batas plastis dan batas susut. Kedudukan batas konsistensi dari tanah kohesif disajikan dalam Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Batas konsistensi tanah

Sumber : Wesley, L.D, 1977, Mekanika Tanah, Hal 10

3.3.1 Batas cair (*Liquid limit*)

Batas cair (LL) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari pengujian casagrande yaitu dengan cara tanah diletakkan didalam mangkok kuning dan digoreskan tepat ditengah-tengahnya kemudian mangkok tersebut diketuk-ketuk hingga tanah menyatu kembali. Gambar skematis dari alat pengukur batas cair dapat dilihat pada Gambar 3.5.

3.3.3 Batas susut (*shrinkage limit*)

Batas susut didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya.

3.3.4 Batas lengket (*sticky limit*)

Batas lengket adalah kadar air dimana tanah kehilangan sifat adhesifnya dan tidak dapat lengket lagi pada benda lain.

3.3.5 Indeks plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas adalah selisih antara batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis, karena itu indeks plastis menunjukkan sifat keplastisan tanahnya. Jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis yang kecil maka keadaan ini disebut dengan tanah kurus sebaliknya jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis besar disebut tanah gemuk. Batasan mengenai indeks plastis, sifat, macam tanah, dan kohesinya dapat dilihat dari Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Nilai indeks plastisitas dan macam 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, H.C, 1955, *Mekanika Tanah 1*, Hal 34

3.3.6 Indeks kecairan (*Liquidity index*)

Kadar air tanah dalam keadaan aslinya, biasanya terletak antara batas plastis dan batas cair. Suatu angka yang kadang-kadang dipakai sebagai petunjuk akan keadaan tanah ditempat aslinya adalah *Liquidity index*.

$$LI = \frac{w - PL}{LL - PL} = \frac{w - PL}{PI} \quad (3.14)$$

dengan :

- LI = indeks kecairan (%)
- LL = batas cair (%)
- PL = batas plastis (%)
- w = kadar air asli tanah (%)

3.3.7 Aktivitas

Karena sifat plastis dari suatu tanah adalah disebabkan oleh air yang terserap disekeliling permukaan partikel lempung, maka diharapkan bahwa tipe dan jumlah mineral lempung yang terkandung didalam suatu tanah akan mempengaruhi batas plastis dan batas cair yang bersangkutan. Aktivitas digunakan sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang dari suatu tanah lempung. Harga dari aktivitas untuk berbagai mineral lempung menurut *Mitchell* (1976) diberikan dalam Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Aktivitas mineral lempung

Mineral	Aktivitas (A)
Smectites	1 – 7
Illite	0,5 – 1
Kaolinite	0,5
Halloysite (2H ₂ O)	0,5
Halloysite (4H ₂ O)	0,1
Attapulgitite	0,5 – 1,2
Allophane	0,5 – 1,2

Sumber : Das, Braja M, 1988, *Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*, Hal 50

Skempton mendefinisikan suatu besaran yang dinamakan aktivitas yang merupakan kemiringan dari garis yang menyatakan hubungan antara PI dan persen butiran dari fraksi ukuran lempung atau dapat ditulis dalam persamaan sebagai berikut :

$$A = \frac{PI}{C} \quad (3.15)$$

Dimana : A = aktivitas

PI = indeks plastis (%)

C = presentase berat dari fraksi ukuran lempung

butiran halus, melainkan dengan mempergunakan batas Atterberg untuk mengidentifikasi tanah.

Partikel-partikel lempung mempunyai muatan listrik negatif sehingga untuk mengimbanginya maka partikel lempung menarik muatan positif dari garam yang ada di dalam air porinya, hal ini juga disebut dengan pertukaran ion-ion. Selanjutnya kation-kation dapat disusun dalam urutan menurut kekuatan daya tarik menariknya, proses ini disebut dengan pertukaran kation. Kapasitas pertukaran kation tanah lempung didefinisikan sebagai jumlah pertukaran ion-ion yang dinyatakan dalam miliekivalen per 100 gram lempung kering. Pada waktu air ditambahkan pada lempung, kation dan anion mengapung disekitar partikelnya (*Hardiyatmo, H.C, 1955, Hal 18*)

Molekul air merupakan molekul yang dipolarkan yaitu atom hidrogen tidak tersusun simetris disekitar atom-atom oksigen. Terdapat tiga mekanisme yang menyebabkan molekul air dipolarkan dapat tertarik oleh permukaan partikel lempung secara elektrik :

1. Tarikan antara permukaan bermuatan negative dari partikel lempung dengan ujung positif dari polar.
2. Tarikan antara kation-kation dalam lapisan ganda dengan muatan negative dari ujung dipolar. Kation-kation ini tertarik oleh permukaan partikel lempung yang bermuatan negatif.
3. Andil atom-atom hidrogen dalam molekul air yaitu dengan ikatan hidrogen antara atom oksigen dalam partikel lempung dan atom oksigen dalam molekul air.

Air yang tertarik secara elektrik berada di sekitar partikel lempung disebut air lapisan ganda. Sifat plastis tanah lempung adalah akibat eksistensi dari air lapisan ganda. Air lapisan ganda pada bagian paling dalam yang sangat kuat melekat pada partikel lempung disebut air serapan. Hubungan mineral-mineral lempung dengan air serapannya memberikan bentuk dasar dari susunan tanahnya. Tiap partikel saling terikat satu sama lain lewat lapisan air serapannya, maka adanya ion-ion yang

berbeda, material organik, beda konsentrasi akan berpengaruh besar pada sifat tanahnya.

Jadi jelas bahwa ikatan antara partikel tanah yang disusun oleh mineral lempung akan sangat besar dipengaruhi oleh besarnya jaringan muatan negatif pada mineral, tipe, konsentrasi, dan distribusi kation-kation yang berfungsi untuk mengimbangi muatannya. *Schofield dan Samson (1954)* dalam penyelidikan pada *kaolinite* serta *Olphen (1951)* dalam penyelidikan pada *montmorillonite*, menemukan bahwa jumlah dan distribusi muatan residu jaringan mineral bergantung pada pH airnya. Dalam lingkungan dengan pH yang rendah ujung partikel *kaolinite* dapat menjadi bermuatan positif dan selanjutnya dapat menghasilkan gaya tarik ujung kepermukaan antara partikel yang berdekatan.

3.5 Kapasitas daya dukung tanah untuk pondasi

Daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah untuk mendukung beban struktur dan meneruskan beban akibat berat struktur secara langsung ke tanah yang terletak dibawahnya. Pondasi adalah bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang ada dibawahnya. Bentuk pondasi bermacam-macam dan biasanya dipilih sesuai dengan jenis bangunan dan tanahnya. Salah satunya yaitu pondasi tapak mempunyai bentuk seperti kolom suatu bangunan tetapi ukurannya dibuat lebih besar dari kolom sehingga beban yang diteruskan ke pondasi dapat disebar ke luasan tanah (*M Das, Braja, 1985, Hal 115*). Tanah yang diberi beban seperti beban pondasi akan mengalami distorsi dan penurunan, hal ini bila bertambah terus maka penurunan pondasi juga semakin besar. Kondisi ini menunjukkan bahwa keruntuhan kapasitas telah terjadi. Persyaratan yang harus dipenuhi dalam merancang sebuah pondasi adalah sebagai berikut (*Hardiyatmo, H.C, 2002, Hal 86*):

1. Faktor aman terhadap keruntuhan akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah harus dipenuhi. Dalam hitungan kapasitas dukung umumnya digunakan faktor aman 3.
2. Penurunan pondasi harus masih dalam batas-batas nilai yang ditoleransikan. Khususnya penurunan tidak seragam (*differential settlement*) harus tidak mengakibatkan kerusakan pada struktur.

Analisis-analisis kapasitas dukung, dilakukan dengan cara pendekatan dengan memudahkan perhitungan. Persamaan-persamaan yang dibuat, dikaitkan dengan sifat-sifat tanah dan bentuk bidang geser yang terjadi saat keruntuhan. Analisisnya dilakukan dengan menganggap bahwa tanah berkelakuan sebagai pahan yang bersifat plastis, persamaan kapasitas dukung tanah yang diusulkan umumnya didasarkan pada persamaan Mohr-Coulomb (*Hardiyatmo, H.C, 2002, Hal 86*) :

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (3.16)$$

dengan :

τ = tahanan geser tanah

c = kohesi tanah

σ – tegangan normal

φ = sudut geser dalam

Kapasitas dukung ultimit dimana tanah masih dapat mendukung beban dengan tanpa mengalami keruntuhan. Dinyatakan dengan persamaan :

$$q_u = \frac{P_u}{A} \quad (3.17)$$

dengan :

q_u = kapasitas dukung ultimit (t/m^2)

P_u = beban ultimit (t)

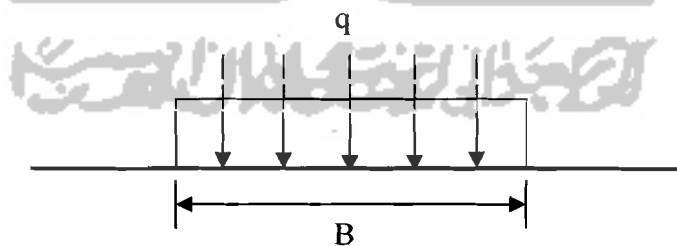
A = luas beban (m^2)

3.5.1 Analisis kapasitas dukung tanah teori Terzaghi

Terzaghi (1943) melakukan analisis kapasitas dukung tanah dengan beberapa anggapan, sebagai berikut (*Hardiyatmo, H.C, 2002, Hal 87*) :

1. Pondasi berbentuk memanjang tak terhingga
2. Tanah di bawah dasar pondasi homogen
3. Berat tanah di atas dasar pondasi digantikan dengan beban terbagi rata sebesar $p_0 = D_f \cdot \gamma$ dengan D_f adalah kedalaman dasar pondasi dan γ adalah berat volume tanah di atas dasar pondasi.
4. Tahanan geser tanah di atas dasar pondasi diabaikan.
5. Dasar pondasi kasar.

Seluruh analisis daya dukung tanah didasarkan pada anggapan bahwa pondasi mempunyai panjang tak terhingga dan pada kondisi keruntuhan geser umum (*general shear failure*) dari suatu bahan bersifat plastis. Untuk dapat memahami konsep daya dukung suatu tanah dan bentuk keruntuhan geser dalam tanah, perhatikan model pondasi bentuk persegi yang memanjang dengan lebar B yang diletakkan pada permukaan lapisan tanah pasir padat (atau tanah yang kaku) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Model pondasi

Sumber : M Das, Braja, 1985, *Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis*, Hal 117

$$q_u = 1,3 c \cdot N_c + p_o \cdot N_q + 0,4 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (3.18)$$

$$q_a = \frac{q_u}{SF} \quad (3.19)$$

dengan :

q_u = kapasitas dukung ultimit (t/m^2)

p_o = tekanan overburden pada dasar pondasi (t/m^2)

D_f = kedalaman pondasi (m)

γ = berat volume tanah (t/m^3)

q_a = kapasitas dukung ijin (t/m^2)

N_c, N_q, N_γ = faktor kapasitas dukung untuk pondasi

Nilai-nilai faktor kapasitas dukung untuk pondasi bujursangkar dan pondasi memanjang dapat dilihat pada gambar 3.11, sedangkan nilai-nilai numeriknya ditunjukkan dalam Tabel 3.5. Nilai Terzaghi untuk N_c adalah pertambahan akibat geser di antara tanah dan dasar pondasi, N_q adalah pengaruh-pengaruh tambahan akibat beban tanah atas apabila pondasi terletak di bawah permukaan tanah dan merupakan kontribusi utama dalam daya dukung terutama untuk tanah-tanah dengan kohesi yang kecil.

Tabel 3.5 Nilai-nilai faktor kapasitas dukung tanah Terzaghi

ϕ	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	N_c	N_q	N_γ	N_c'	N_q'	N_γ'
0	5,7	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9

20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19,0	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Sumber : Hardiyatmo, H.C, 2002, Teknik Pondasi 1, Hal 94

Daya dukung ijin neto dari pondasi adalah beban persatuan luas yang diijinkan untuk suatu pondasi tanpa memasukkan berat tanah disebelah kanan dan kiri pondasi dari permukaan tanah sampai dengan kedalaman dasar pondasi yang besarnya adalah $p_o = \gamma \cdot D_f$. Jadi beban neto dapat dilihat dalam persamaan

$$q_n = q_a - p_o \quad (3.20)$$

dengan :

q_n = Kapasitas dukung neto (t/m^2)

p_o = Tekanan overburden pada dasar pondasi (t/m^2)

3.6 Stabilitas tanah

Bila benda yang diujikan merupakan tanah lempung yang memiliki kuat dukung tanah yang rendah dan kadar air yang tinggi, sehingga tidak dimungkinkannya suatu struktur berada diatas tanah lempung. Maka tanah ini harus distabilisasikan.

Salah satu cara menstabilisasikan tanah lempung adalah pencampuran bahan aditif dengan presentase tertentu sehingga menghasilkan kuat dukung tanah optimum.

Tujuan pencampuran bahan aditif secara umum adalah :

1. Mengurangi permeabilitas
2. Meningkatkan kekuatan gesernya.
3. Stabilitas volume
4. Mengurangi deformability.

3.6.1 Portland Cement (PC)

Portland cement (PC) adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dengan gips sebagai bahan tambahan. Semen merupakan bahan penyusun yang paling penting. Fungsi semen disini adalah :

1. Sebagai bahan perekat antara agregat kasar dan halus sehingga menyatu.
2. Mengisi rongga diantara butiran agregat sehingga membentuk suatu massa kompak/padat.

Lazimnya untuk mencapai kekuatan tertentu, semen portland berkolaborasi dengan bahan lain. Jika bertemu air (minus bahan-bahan lain), misalnya, memunculkan reaksi kimia yang sanggup mengubah ramuan jadi sekeras batu. Jika ditambah pasir, terciptalah perekat tembok yang kokoh. Namun untuk membuat pondasi bangunan, campuran tadi biasanya masih ditambah dengan bongkahan batu atau kerikil, biasa disebut *concrete* atau beton.

Meski bahan bakunya sama, banyaknya semen sebenarnya bisa disesuaikan dengan beragam kebutuhan. Misalnya jika kadar aluminanya diperbanyak, kolaborasi dengan bahan bangunan lainnya bisa menghasilkan bahan tahan api. Ini karena sifat alumina yang tahan terhadap suhu tinggi. Ada juga semen yang cocok buat mengecor karena campurannya bisa mengisi pori-pori bagian yang hendak diperkuat.

Tabel 3.6 Komposisi semen

Komposisi semen	Persentase (%)
Trikalsium Silikat (C_3S)	30 - 50
Dikalsium Silikat (C_2S)	20 - 45
Trikalsium Aluminat (C_3A)	8 - 12
Tetrakalsium Aluminofe (C_4AF)	6 - 10
Gypsum ($CaSO_4$)	± 3

Tabel 3.7 Jenis semen

Jenis semen	
No. SNI	Nama
SNI 15-0129-2004	Semen portland putih
SNI 15-0302-2004	Semen portland pozolan / Portland Pozzolan Cement (PPC)
SNI 15-2049-2004	Semen portland / Ordinary Portland Cement (OPC)
SNI 15-3500-2004	Semen portland campur
SNI 15-3758-2004	Semen masonry
SNI 15-7064-2004	Semen portland komposit