II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanah

1. Definisi 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 berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).Tanah (*soil*) menurut teknik sipil dapat didefinisikan sebagai sisa atau produk yang dibawa dari pelapukan batuan dalam proses geologi yang dapat digali tanpa peledakan dan dapat ditembus dengan peralatan pengambilan contoh (*sampling*) pada saat pemboran (Hendarsin, 2000).

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

a. Berangkal (*boulders*), yaitu potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut sebagai kerakal (*cobbles*) atau *pebbes*.

b. Kerikil (*gravel*), yaitu partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.

c. Pasir (*sand*), yaitu batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm. Berkisar dari kasar (3 mm sampai 5 mm) sampai halus (< 1mm).

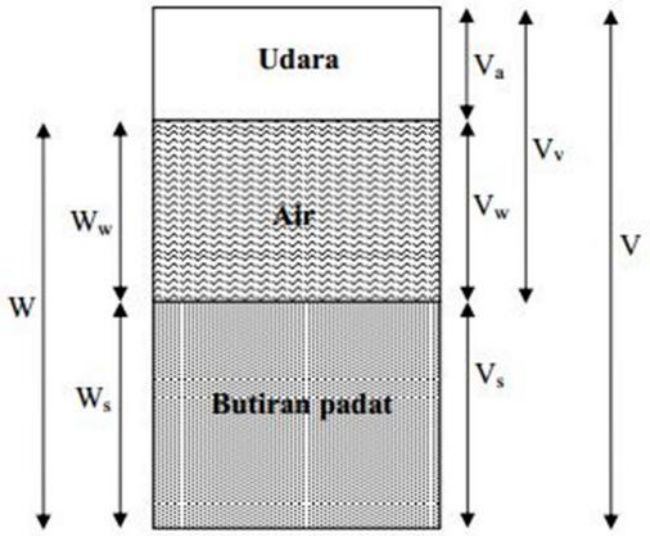
d. Lanau (*silt*), yaitu partikel batuan yang berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm.

e. Lempung (*clay*), yaitu partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm.

f. Koloid *(colloids*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

2. Komposisi Tanah

Tiga fase elemen tanah seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Tiga Fase Elemen Tanah

Hubungan volume-berat :

$$\mathbf{V = Vs + Vv = Vs + Vw + Va}$$

Dimana :

Vs = volume butiran padat

Vv = volume pori

Vw = volume air di dalam pori

Va = volume udara di dalam pori

Apabila udara dianggap tidak memiliki berat, maka berat total dari contoh tanah dapat dinyatakan dengan :

$$\mathbf{W = Ws + Ww}$$

Dimana :

Ws = berat butiran padat

Ww = berat air

Hubungan volume yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*) dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*) sebagai berikut ini :

a. Angka Pori

Angka pori atau *void ratio* (e) adalah perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat, atau :

$$\mathbf{e} = \frac{\boldsymbol{Vv}}{\mathbf{Vs}}$$

b. Porositas

Porositas atau *porosity* (n) adalah perbandingan antara volume pori dan volume tanah total, atau :

$$\mathbf{n} = \frac{\boldsymbol{Vv}}{\mathbf{V}}$$

c. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan atau *degree of saturation* (S) adalah perbandingan antara volume air dengan volume pori, atau :

$$\mathbf{S} = \frac{\boldsymbol{Vw}}{\mathbf{Vv}}$$

Hubungan antara angka pori dan porositas dapat diturunkan dari persamaan, dengan hasil sebagai berikut :

$$\boldsymbol{e} = \frac{\boldsymbol{Vv}}{\boldsymbol{Vs}} = \frac{\boldsymbol{n}}{\mathbf{1} - \boldsymbol{n}}$$

$$\boldsymbol{n} = \frac{\boldsymbol{e}}{\mathbf{1} + \boldsymbol{e}}$$

d. Kadar Air

Kadar air atau *water content* (w) adalah perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki, atau :

$$\mathbf{w} = \frac{\boldsymbol{Ww}}{\mathbf{Ws}}$$

e. Berat Volume

Berat volume (γ) adalah berat tanah per satuan volume, atau :

$$\boldsymbol{\gamma} = \frac{\boldsymbol{W}}{\mathbf{V}}$$

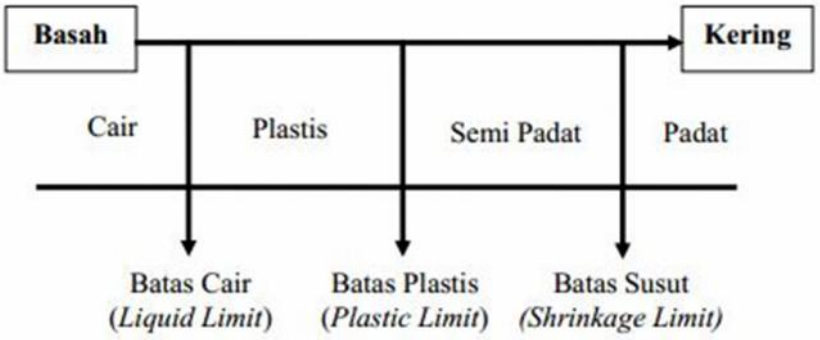
f. Berat Spesifik

Berat spesifik atau *Spesific gravity* (Gs) adalah perbandingan antara berat satuan butir dengan berat satuan volume.

$$Gs = \frac{\gamma S}{\gamma W}$$

3. Batas-Batas Konsistensi Tanah

Seorang ilmuwan dari Swedia yang bernama *Atterberg* berhasil mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi, sehingga batas konsistensi tanah disebut dengan batas-batas *Atterberg*. Kegunaan batas-batas *Atterberg* dalam perencanaan adalah memberikan gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Bilamana kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk yaitu kekuatannya rendah, sedangkan kompresibilitas tinggi sehingga sulit dalam hal pemadatannya. Oleh karena itu, atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat diklasifikasikan ke dalam empat keadaan dasar, yaitu : padat, semi padat, plastis dan cair, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Batas-Batas *Atterberg*

a. Batas cair (LL) adalah kadar air tanah antara keadaan cair dan keadaan plastis.
b. Batas plastis (PL) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis.
c. Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis, dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis, atau :

$$\mathbf{PI = LL - PL}$$

Indeks plastisitas (PI) menunjukkan tingkat keplastisan tanah. Apabila nilai indeks plastisitas tinggi, maka tanah banyak megandung butiran lempung. Klasifikasi jenis tanah menurut *Atterberg* berdasarkan nilai indeks plastisitas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan Nilai Indeks Plastisitas dengan Jenis Tanah

IP	Jenis Tanah	Plastisitas	Kohesi
0	Pasir	Non Plastis	Non Kohesif
< 7	Lanau	Rendah	Agak Kohesif
7 - 17	Lempung Berlanau	Sedang	Kohesif
> 17	Lempung Murni	Tinggi	Kohesif

Sumber : Bowles, 1989.

4. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan

secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (Das, 1995).

Sistem klasifikasi dimaksudkan untuk menentukan dan mengidentifikasikan tanah dengan cara sistematis guna menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu dan juga berguna untuk menyampaikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisik tanah, serta mengelompokkannnya berdasarkan suatu kondisi fisik tertentu dari tanah tersebut dari suatu daerah ke daerah lain dalam bentuk suatu data dasar.

Sistem klasifikasi tanah yang ada mempunyai beberapa versi, hal ini disebabkan karena tanah memiliki sifat-sifat yang bervariasi. Adapun beberapa metode klasifikasi tanah yang ada antara lain :

a. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur

   Departemen Pertanian AS telah mengembangkan suatu sistem klasifikasi ukuran butir melalui prosentase pasir, lanau dan lempung yang digambar pada grafik segitiga Gambar 3.

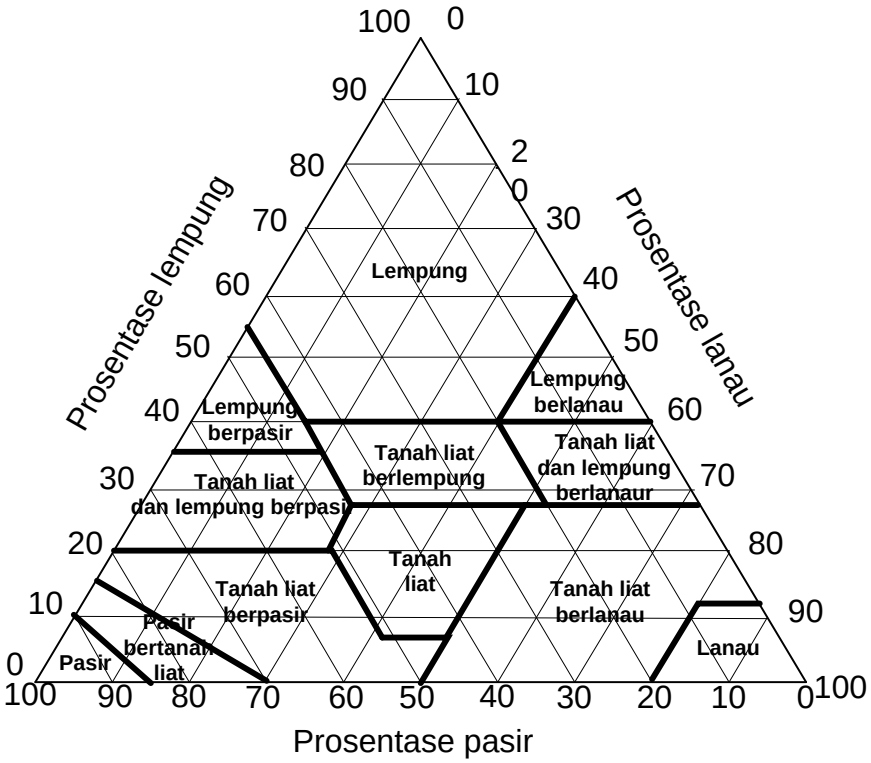
   Cara ini tidak memperhitungkan sifat plastisitas tanah yang disebabkan adanya kandungan (baik dalam segi jumlah dan jenis) mineral lempung yang terdapat dalam tanah. Untuk dapat menafsirkan ciri-ciri suatu tanah perlu memperhatikan jumlah dan jenis mineral lempung yang dikandungnya.

Sistem ini relatif sederhana karena hanya didasarkan pada sistem distribusi ukuran butiran tanah yang membagi tanah dalam beberapa kelompok, yaitu :

Pasir : Butiran dengan diameter 2,0 – 0,05 mm,

Lanau : Butiran dengan diameter 0,05 – 0,02 mm.

Lempung : Butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,02 mm.



Sumber : Braja M. Das (1998)

Gambar 3. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur

b. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified* (*Unified Soil Classification System/ USCS*)

Sistem klasifikasi tanah *unified* atau *Unified Soil Classification System* (USCS) diajukan pertama kali oleh *Prof. Arthur Cassagrande*

pada tahun 1942 untuk mengelompokkan tanah berdasarkan sifat teksturnya dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Kemudian *American Society for Testing and Materials* (ASTM) memakai USCS sebagai metode standar untuk mengklasifikasikan tanah. Menurut sistem ini tanah dikelompokkan dalam tiga kelompok yang masing-masing diuraikan lebih spesifik lagi dengan memberi simbol pada setiap jenis (Hendarsin, 2000), yaitu :

1) Tanah berbutir kasar, yaitu tanah yang mempunyai prosentase lolos ayakan No.200 < 50 %.

   Klasifikasi tanah berbutir kasar terutama tergantung pada analisa ukuran butiran dan distribusi ukuran partikel. Tanah berbutir kasar dapat berupa salah satu dari hal di bawah ini :

   a) Kerikil (G) apabila lebih dari setengah fraksi kasar tertahan pada saringan No. 4.
   b) Pasir (S) apabila lebih dari setengah fraksi kasar berada diantara ukuran saringan No. 4 dan No. 200.

2) Tanah berbutir halus, adalah tanah dengan persentase lolos ayakan No. 200 > 50 %.

   Tanah berbutir ini dibagi menjadi lanau (M). Lempung Anorganik (C) dan Tanah Organik (O) tergantung bagaimana tanah itu terletak pada grafik plastisitas.

3) Tanah Organis

Tanah ini tidak dibagi lagi tetapi diklasifikasikan dalam satu kelompok Pt. Biasanya jenis ini sangat mudah ditekan dan tidak mempunyai sifat sebagai bahan bangunan yang diinginkan. Tanah khusus dari kelompok ini adalah peat, humus, tanah lumpur dengan tekstur organis yang tinggi. Komponen umum dari tanah ini adalah partikel-partikel daun, rumput, dahan atau bahan-bahan yang regas lainnya.

Tabel 2. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*

Jenis Tanah	Simbol	Sub Kelompok	Simbol
Kerikil	G	Gradasi Baik Gradasi Buruk	W P
Pasir	S	Berlanau Berlempung	M C
Lanau	M		
Lempung	C	WL<50%	L
Organik	O	WL>50%	H
Gambut	Pt		

Sumber : Bowles, 1989.

Keterangan :

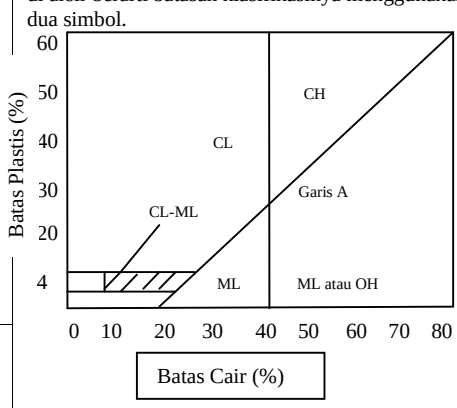
W = *Well Graded* (tanah dengan gradasi baik),

P = *Poorly Graded* (tanah dengan gradasi buruk),

L = *Low Plasticity* (plastisitas rendah, LL<50),

H = *High Plasticity* (plastisitas tinggi, LL> 50).

Tabel 3. Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Tanah berbutir kasar≥ 50% butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil 50%≥ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus ; Kurang dari 5% lolos saringan no.200: GM, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no.200 : GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan No.200 : Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D10 \times D60}$ Antara 1 dan 3	
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau		Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI < 4	Bila batas *Atterberg* berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI > 7	
	Pasir≥ 50% fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik , pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D10 \times D60}$ Antara 1 dan 3	
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI < 4	Bila batas *Atterberg* berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI > 7	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200		Lanau dan lempung batas cair ≤ 50%	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas *Atterberg* yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.  Garis A : PI = 0.73 (LL-20)		
			CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (*lean clays*)			
			OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah			
		Lanau dan lempung batas cair ≥ 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis			
			CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (*fat clays*)			
			OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi			PT	*Peat* (gambut), *muck*, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		

Sumber : Hary Christady, 1996.

c. Sistem klasifikasi AASHTO

Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dikembangkan pada tahun 1929 dan mengalami beberapa kali revisi hingga tahun 1945 dan dipergunakan hingga sekarang, yang diajukan oleh *Commite on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* (ASTM Standar No. D-3282, AASHTO model M145). Sistem klasifikasi ini bertujuan untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*sub-base*) dan tanah dasar (*subgrade*).

Dalam sistem ini tanah dikelompokkan menjadi tujuh kelompok besar yaitu A1 sampai dengan A7. Tanah yang termasuk dalam golongan A-1 , A-2, dan A-3 masuk kedalam tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah yang lolos ayakan No.200, sedangkan tanah yang masuk dalam golongan A-4, A-5, A-6 dan A-7 adalah tanah lanau atau lempung. A-8 adalah kelompok tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan raya, maka revisi terakhir oleh AASHTO diabaikan (Sukirman, 1992). Percobaan yang dibutuhkan untuk mendapatkan data yang diperlukan adalah analisis saringan, batas cair, dan batas plastis.

Tabel 4. Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASTHO

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

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200			
Klasifikasi kelompok	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)	 Maks 40 Maks 10	 Maks 41 Maks 10	 Maks 40 Maks 11	 Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

* untuk A-7-5 : PI ≤ LL – 30
** untuk A-7-6 : PI > LL - 30
Sumber : Das (1998).

Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini :

1. Ukuran Butir

Kerikil : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 75 mm dan tertahan pada saringan diameter 2 mm (no. 10).

Pasir : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 2 mm dan tertahan pada saringan diameter 0,0075 mm (no. 200)

Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 0,075 (No. 200).

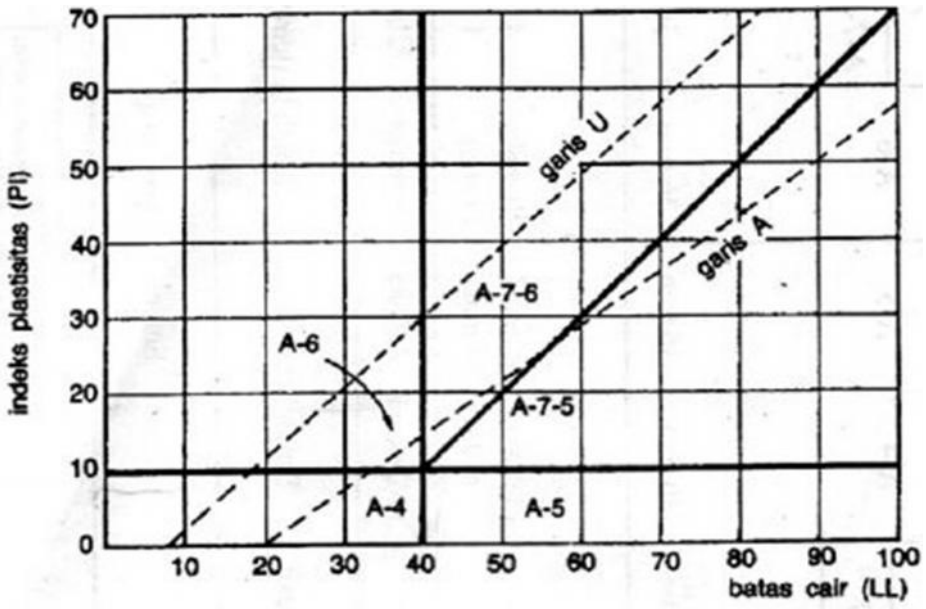
2. Plastisitas

   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 plastis indeks plastisnya 11 atau lebih.

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.

Data yang akan didapat dari percobaan laboratorium telah ditabulasikan pada Tabel 4. Kelompok tanah yang paling kiri kualitasnya paling baik, makin ke kanan semakin berkurang kualitasnya.

Gambar 4 menunjukkan rentang dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah data kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.



Gambar 4. Nilai-Nilai Batas *Atterberg* untuk Subkelompok Tanah. (Hary Christady, 1992).

B. Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Selain itu, permeabilitas lempung sangat rendah (Terzaghi dan Peck, 1987).

Sifat khas yang dimiliki oleh tanah lempung adalah dalam keadaan kering akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air.

Tanah lempung terdiri sekumpulan partikel-partikel mineral lempung dan pada intinya adalah hidrat aluminium silikat yang mengandung ion-ion Mg, K, Ca, Na dan Fe. Mineral-mineral lempung digolongkan ke dalam empat golongan besar, yaitu *kaolinit*, *smectit* (montmorillonit), *illit* (mika hidrat) dan *chlorite*. Tanah lempung lunak mempunyai karakteristik yang khusus diantaranya kemampatan yang tinggi, indeks plastisitas yang tinggi, kadar air yang relatif tinggi, dan mempunyai gaya geser yang kecil.

Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung adalah sebagai berikut (Hardiyatmo, 1999) :

a. Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm.
b. Permeabilitas rendah.
c. Kenaikan air kapiler tinggi.
d. Bersifat sangat kohesif.
e. Kadar kembang susut yang tinggi.

Adapun cara mengidentifikasi sifat tanah lempung langsung dari uji lapangan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Sifat Tanah Lempung

Tipe Tanah	Sifat	Uji Lapangan
Lempung	Sangat Lunak	Meleleh diantara jari ketika diperas
	Lunak	Dapat diperas dengan mudah
	Keras	Dapat diperas dengan tekanan jari yang kuat
	Kaku	Tidak dapat diperas dengan jari, tapi dapat ditekan dengan jari
	Sangat Kaku	Dapat ditekan dengan jari

Sumber : Hary Christady (1992)

C. Larutan ISS 2500 (*Ionic Soil Stabilizer*)

Larutan ISS 2500 ini sangat baik untuk meningkatkan kondisi tanah atau material tanah jelek dalam stabilisasi tanah secara elektro-kimiawi. Stabilisasi tanah itu sendiri adalah suatu proses untuk memperbaiki sifat – sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser. Stabilisasi dengan larutan ISS 2500 ini merupakan stabilisasi yang memadatkan tanah secara ionisasi pertukaran ion ISS 2500 dengan ion partikel tanah sehingga partikel air tidak dapat menyatu dengan partikel tanah lagi dan ikatan partikel tersebut akan lebih padat dan kuat, bahan merupakan bahan kimia yang larut didalam air.

Dengan demikian, dalam pengujian menggunakan campuran ISS 2500 diharapkan tanah lempung menjadi lebih padat dan memperbaiki sifat tanah tersebut.

- Produk bahan larutan ISS 2500 ini dapat meningkatkan :
    1. Kepadatan
    2. CBR (kekuatan menahan beban)
    3. Densitas

- Produk bahan larutan ISS 2500 ini juga dapat mengurangi :

1 Pemuaian dan Kelembaban

2. Penyusutan dan *Abrasi*

3. Biaya pemeliharaan

4. Debu

5. Indeks plastisitas / PI (tingkat penyerapan air)

- Adapun keuntungan dari ISS 2500 adalah sebagai berikut :

1. Hemat biaya

2. Pemeliharaan jalan mudah dan sederhana

3. Aplikasi mudah

4. Meningkatkan standar jalan

5. Tidak ada masa perawatan

- Komposisi kimia ISS 2500 *(Ionic Soil Stabilizer)* adalah sebagai berikut : Berdasarkan Hasil pengujian telah dilakukan di Laboratorium yang telah terakreditasi secara internasional dan sesuai dengan *International Laboratory Accreditation Cooperation* (ILAC). Untuk laporan analisis kimia berdasarkan SGS South Africa (Pty) Ltd *Agricultural & Food Services* (SANAS *Accredited Laboratory* T0114) SGS *Reference* No. 2712, 30 November 2000, diperlihatkan pada Tabel 6.

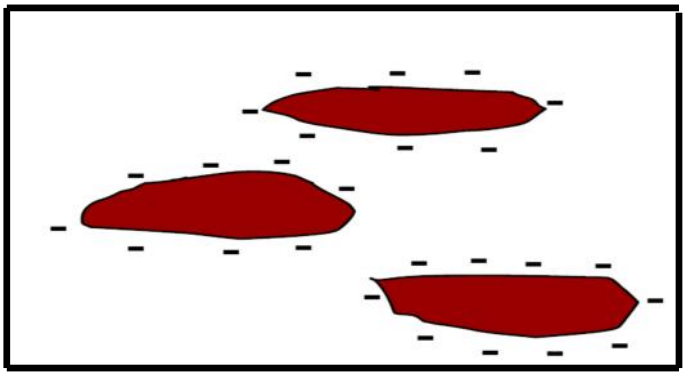
- Adapun cara kerja ISS 2500 (*Ionic Soil Stabilizer*) adalah sebagai berikut:

  1. Tanah lempung memiliki partikel - partikel halus yang terdiri dari lempengan – lempengan kecil dengan susunan yang beraturan mengandung ion positif (+) permukaannya dan ion negatif (-) bagian tepinya.

Tabel 6. Analisis Laporan Kimia

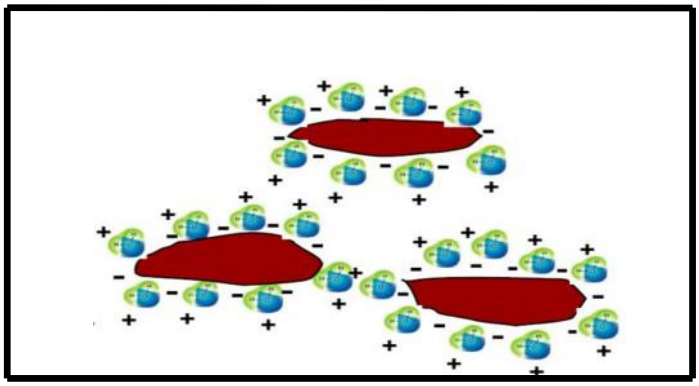
Analysis Performed		*Units*	*Method*	*Result*
Pesticides				
	Organo Chlorides	P/ND	PAM (304)	ND
	Organo Phospates	P/ND	PAM (304)	ND
	Carbamates	P/ND	PAM (401)	ND
	Pyrethroids	P/ND	PAM (304)	ND
Organo Compounds				
	PAHs	µg/L	APHA 6440B	ND
	VOCs	µg/L	APHA 6200C	ND

P = Present/Positive ND = None Detected



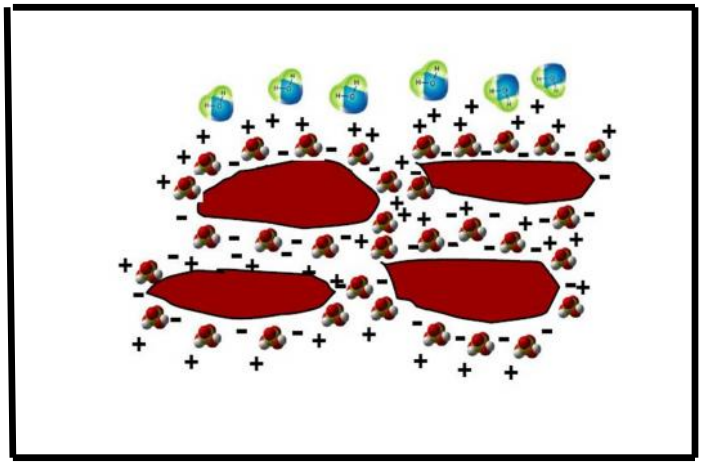
Gambar 5. Partikel Tanah yang Bersifat Negatif dalam Keadaan Kering

2. Ketika hujan turun partikel air yang positif (+) akan membentuk ikatan ionik dengan partikel yang negatif (-), diperlihatkan pada Gambar 3, dibawah ini.



Gambar 6. Tanah dalam kondisi basah

3. Secara komposisi kimianya, ISS 2500 memiliki kemampuan yang sangat besar untuk melakukan pertukaran ion dimana ion positif (+) membentuk ikatan ionik secara permanen dengan partikel tanah sehingga partikel air (+) tidak dapat menyatu dengan partikel tanah lagi, diterlihatkan pada Gambar 4 dibawah ini. (Pratiwi Yoka, 2013).



Gambar 7. Ikatan ionik ISS 2500 pada tanah

D. Kuat Geser Tanah

Kekuatan geser tanah ditentukan untuk mengukur kemampuan tanah menahan tekanan tanpa terjadi keruntuhan. Seperti material teknik lainnya, tanah mengalami penyusutan volume jika menderita tekanan merata disekelilingnya. Apabila menerima tegangan geser, tanah akan mengalami distorsi dan apabila distorsi yang terjadi cukup besar, maka partikel-partikelnya akan terpeleset satu sama lain dan tanah akan dikatakan gagal dalam geser. Dalam hampir semua jenis tanah daya dukungnya terhadap tegangan tarik sangat kecil atau bahkan tidak mampu sama sekali.

Tanah tidak berkohesi, kekuatan gesernya hanya terletak pada gesekan antara butir tanah saja (c = 0), sedangkan pada tanah berkohesi dalam kondisi jenuh, maka ø = 0 dan S = c.

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisa-analisa daya dukung tanah (*bearing capacity*), tegangan tanah terhadap dinding penahan (*earth preassure*) dan kestabilan lereng (*slope stability*). Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir
tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar seperti ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

a. Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan pemadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan vertikal yang bekerja pada gesernya
b. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan vertikal pada bidang gesernya

Oleh karena itu kekuatan geser tanah dapat diukur dengan rumus :

$\tau = c + (\sigma - u) \tan \varphi$ ..... (2.1)

Keterangan :

τ : Kekuatan geser tanah

σ : Tegangan normal total

u : Tegangan air pori

c : Kohesi tanah efektif

φ : Sudut perlawanan geser efektif

Ada beberapa cara untuk menentukan kuat geser tanah, antara lain :

a. Pengujian geser langsung (*Direct shear test*)
b. Pengujian triaksial (*Triaxial test*)
c. Pengujian tekan bebas (*Unconfined compression test*)

d. Pengujian Kipas Geser (*Vane shear test*)

Namun dalam penelitian ini yang digunakan untuk menentukan kuat geser tanah adalah pengujian kipas geser (*Vane shear test*) di lapangan dan pengujian geser langsung (*Direct shear test*) di laboratorium. Pengujian kuat geser ini dilakukan untuk mendapatkan parameter kuat geser tanah berupa nilai kuat geser, tegangan normal dan kohesi tanah.

E. Kuat Tekan Bebas

Kuat tekan bebas adalah besarnya gaya aksial per satuan luas pada saat sampel tanah mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial telah mencapai 20% (pilih yang lebih dahulu tercapai saat pengujian). Uji tekan bebas termasuk hal yang khusus dari uji triaksial *unconsolidated undrained,UU* (tak terkonsolidasi-tak terdrainase). Kondisi pembebanan sama dengan yang terjadi pada uji triaksial, hanya tekanan selnya nol ($\sigma 3 = 0$).

Tegangan aksial yang diterapkan di atas benda uji berangsur-angsur ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan. Pada saat keruntuhannya, karena $\sigma 3 = 0$, maka:

$$\sigma 1 = \sigma 3 + \Delta\sigma_f = \Delta\sigma_f = q_u \ ,$$

dengan qu adalah kuat tekan bebas (*unconfined compression strength*). Secara teoritis, nilai $\Delta\sigma f$ pada lempung jenuh seharusnya sama seperti yang diperoleh dari pengujian-pengujian triaksial unconsolidated-undrained dengan benda uji yang sama. Sehingga diperoleh:

$s_u = c_u = q_u/2$,

dimana su atau cu adalah kuat geser *undrained* dari tanahnya. Uji kuat tekan bebas adalah salah satu cara untuk mengetahui geser tanah. Uji kuat tekan bebas bertujuan untuk menentukan kekuatan tekan bebas suatu jenis tanah yang bersifat kohesif, baik dalam keadaan asli (*undisturbed*), buatan (*remoulded*) maupun tanah yang dipadatkan (*compacted*). Konsistensi tanah lempung dapat ditentukan berdasarkan kekuatan kompresinya (q_u), sebagaimana dalam tabel 7 terlihat bahwa konsistensi dibagi menjadi 6 kategori dari sangat lunak sampai keras, yaitu antara nilai kompresibilitas (q_u) antara 0 sampai dengan lebih besar dari 4.