

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

2.1.1 Pengertian tanah

Tanah merupakan kumpulan butiran (agregat) mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat tersebut diaduk dalam air atau kumpulan mineral, bahan *organic* dan endapan-endapan yang *relative* lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*).

Menurut Suyono Sosrodarsono (1984:8) tanah didefinisikan sebagai partikel-partikel mineral yang tersemen maupun yang lepas sebagai hasil pelapukan dari batuan, dimana rongga pori antar partikel terisi oleh udara dan atau air. Akibat pengaruh cuaca dan pengaruh lainnya, tanah mengalami pelapukan sehingga terjadi perubahan ukuran dan bentuk butirannya. Pelapukan batuan dapat disebabkan oleh pelapukan mekanis, kimia dan organis.

Menurut Harry Cristady Hardiyatmo (2002) tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang *relative* lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang *relative* lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat *organic* atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara maupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya,

maka tanah ini disebut tanah *residual* (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (*transported soil*).

Istilah pasir, lempung, lanau, atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedang pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran, atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur dengan butir-butiran ukuran lanau maupun pasir, dan mungkin terdapat campuran bahan organik. Ukuran partikel tanah dapat bervariasi dari lebih besar 100 mm sampai dengan lebih kecil dari 0,001 mm.

Pelapukan mekanis mengakibatkan pecahnya butiran batuan sehingga terbentuk ukuran yang lebih kecil seperti menjadi kerikil, pasir dan lanau. Sedangkan pelapukan kimia, menghasilkan kelompok partikel koloida berbutir halus dengan ukuran butirnya lebih kecil dari 0,002 mm. Ada berbagai macam jenis-jenis tanah untuk klasifikasi tanah di lapangan antara lain :

1. Pasir dan kerikil

Pasir dan kerikil yaitu agregat tak berkoheisi yang tersusun dari regmin-regmin sub anguler atau angular. Partikel berukuran sampai 1/8 inchi dinamakan pasir sedangkan partikel yang berukuran 1/8 inchi sampai 6/8 inchi disebut kerikil. Fragmen bergaris tengah lebih besar dari 8 inchi disebut *boulders* (bongkah).

2. Hardpan

Hardpan merupakan tanah yang tahanan terhadap penetrasi alat pemboran besar sekali. Cirinya sebagian besar dijumpai dalam keadaan bergradasi baik, luar biasa padat, dan merupakan agregat partikel mineral yang kohesif.

3. Lanau anorganik (*inorganic silt*)

Lanau anorganik merupakan tanah berbutir halus dengan plastisitas kecil atau sama sekali tidak ada. Jenis yang plastisitasnya paling kecil biasanya mengandung butiran kuarsa sedimensi, yang kadang-kadang disebut tepung

batuan (*rockflour*), sedangkan yang sangat plastis mengandung partikel berwujud serpihan dan dikenal sebagai lanau plastis.

4. Lanau organik (*organic silt*)

Lanau organik merupakan tanah agak plastis, berbutir halus dengan campuran partikel-partikel bahan organik terpisah secara halus. Warna tanah bervariasi dari abu-abu terang ke abu-abu sangat gelap, di samping itu mungkin mengandung H₂S, CO₂, serta berbagai gas lain hasil peluruhan tumbuhan yang akan memberikan bau khas kepada tanah. Permeabilitas lanau organik sangat rendah sedangkan kompresibilitasnya sangat tinggi.

5. 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. Permeabilitas lempung sangat rendah.

6. Lempung organik

Tanah lempung organik merupakan lempung yang sebagian sifat-sifat fisis pentingnya dipengaruhi adanya bahan organik yang terpisah dalam keadaan jenuh lempung organik cenderung bersifat sangat kompresibel tapi pada keadaan kering kekuatannya sangat tinggi. Warnanya abu-abu tua atau hitam, dan berbau.

7. Gambut (*peat*)

Tanah gambut merupakan agregat agak berserat yang berasal dari serpihan makroskopik dan mikroskopik tumbuh-tumbuhan. Warnanya coklat terang dan hitam bersifat kompresibel, sehingga tidak mungkin menopang pondasi.

2.1.2 Sistem klasifikasi tanah

Sistem Klasifikasi Tanah adalah suatu sistem penggolongan yang sistematis dari jenis-jenis tanah yang mempunyai sifat-sifat yang sama ke dalam kelompok-kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya (Braja M. Das, 1995).

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

Tanah dapat diklasifikasikan secara umum sebagai tanah tidak kohesif dan tanah kohesif atau sebagai tanah berbutir kasar atau tanah berbutir halus. Istilah ini terlalu umum, sehingga memungkinkan terjadinya identifikasi yang sama untuk tanah-tanah yang hampir sama sifatnya. Disamping itu, klasifikasi tersebut di atas tidak cukup lengkap untuk menentukan apakah tanah itu sesuai untuk suatu bahan konstruksi atau tidak.

Sistem klasifikasi bukan merupakan sistem identifikasi untuk menentukan sifat-sifat mekanis dan geoteknis tanah. Karenanya, klasifikasi tanah bukanlah satu-satunya cara yang digunakan sebagai dasar untuk perencanaan dan perancangan konstruksi. Adapun sistem klasifikasi tanah yang telah umum digunakan adalah :

Umumnya penentuan sifat-sifat tanah banyak dijumpai dalam masalah teknis yang berhubungan dengan tanah. Hasil dari penyelidikan sifat-sifat ini kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah-masalah tertentu seperti :

- 1) Penentuan penurunan bangunan, yaitu dengan menentukan kompresibilitas tanah. Dari sini, selanjutnya digunakan dalam persamaan penurunan yang didasarkan pada teori konsolidasi, misalnya teori Terzaghi.
- 2) Penentuan kecepatan air yang mengalir lewat benda uji guna menghitung koefisien permeabilitas. Dari sini kemudian dihubungkan dengan Hukum Darcy dan jaring arus (*flownet*) untuk menentukan debit aliran yang lewat struktur tanah.

- 3) Untuk mengevaluasi stabilitas tanah yang miring, yaitu dengan menentukan kuat geser tanah. Dari sini kemudian disubstitusikan dalam rumus statika (stabilitas lereng).

Dalam banyak masalah teknis (semacam perencanaan perkerasan jalan, bendungan dalam urugan, dan lain-lainnya), pemilihan tanah-tanah ke dalam kelompok ataupun subkelompok yang menunjukkan sifat atau kelakuan yang sama akan sangat membantu. Pemilihan ini disebut klasifikasi. Klasifikasi tanah sangat membantu perancang dalam memberikan pengarahannya melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Tetapi, perancang harus berhati-hati dalam penerapannya karena penyelesaian masalah stabilitas, kompresi (penurunan), aliran air didasarkan pada klasifikasi tanah sering menimbulkan kesalahan yang berarti (Lambe, 1979).

Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (dan uji sedimentasi) dan plastisitas.

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair, dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dari Sistem *Unified* mula pertama diusulkan oleh Casagrande (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United State Bureau of Reclamation*). Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik.

1. Klasifikasi sistem USCS (*Unified soil classification system*)

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande (1942) untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers*.

Sistem klasifikasi berdasarkan hasil-hasil percobaan laboratorium yang paling banyak dipakai secara meluas adalah sistem klasifikasi kesatuan tanah. Percobaan laboratorium yang dipakai adalah analisis ukuran butir dan batas-batas Atterberg. Semua tanah diberi dua huruf penunjuk berdasarkan hasil-hasil percobaan ini. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu :

- a) Tanah berbutir kasar (*coarse grained soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Symbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal **G**, adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil dan **S**, adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
- b) Tanah berbutir halus (*fine grained soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Symbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal **M** untuk lanau (*silt*) anorganik, **C** untuk lempung (*clay*) anorganik dan **O** untuk lanau-organik dan lempung-organik. Symbol **PT** digunakan untuk tanah gambut (*peat*), muck dan tanah-tanah lain dengan kadar organik tinggi.

Symbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi **USCS**, adalah :

- | | |
|----------|---|
| W | = tanah dengan gradasi baik (<i>well graded</i>) |
| P | = tanah dengan gradasi buruk (<i>poorly graded</i>) |
| L | = tanah dengan plastisitas rendah (<i>low plasticity</i>), $LL < 50$ |
| H | = tanah dengan plastisitas tinggi (<i>high plasticity</i>), $LL > 50$ |

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti : *GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, dan SC*. Untuk klasifikasi yang benar, perlu diperhatikan faktor-faktor berikut :

1. Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 (ini adalah fraksi halus)
2. Persentase fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40
3. Koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c) untuk tanah dimana 0-12% lolos ayakan No. 200
4. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (IP) bagian tanah yang lolos ayakan No. 40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan No. 200)

Bilamana persentase butiran yang lolos ayakan No. 200 adalah antara 5 sampai 12%, simbol ganda seperti : *GW-GM*, *GP-GM*, *GW-GC*, *GP-GC*, *SW-SM*, *SW-SC*, *SP-SM* dan *SP-SC* diperlukan. *Cassagrande* membagi tanah atas 3 (tiga) kelompok (Sukirman, 1992) yaitu :

- a. Tanah berbutir kasar, < 50% lolos saringan No. 200.
- b. Tanah berbutir halus, > 50% lolos saringan No. 200.
- c. Tanah organik yang dapat dikenal dari warna, bau dan sisa-sisa tumbuh-tumbuhan yang terkandung di dalamnya.

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah Sistem Unified adalah sebagai berikut :

- 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 butiran.
 - 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 kerikil) atau *SW* (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai *GP* (bila kerikil) atau *SP* (bila pasir). Jika persentase butiran tanah yang lolos saringan No.200 diantara 5 sampai 12%, tanah akan mempunyai symbol dobel dan mempunyai sifat keplastisan (*GW – GM*, *SW – SM*, dan sebagainya).
 - d) Jika pesentase butiran yang lolos saringan No.200 lebih besar 12%, harus dilakukan uji batas-batas *Atterberg* dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan No.40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, ditentukan klasifikasinya (*GM*, *GC*, *SM*, *SC*, *GM – GC* atau *SM – SC*)

3) Jika tanah berbutir halus :

- a) Kerjakan uji 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 di bawah 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*) berdasarkan warna, bau atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkannya di dalam *oven*.
- d) Jika plot batas-batas *Atterberg* pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis *A* atau nilai *LL* sekitar 50, gunakan simbol dobel.

Cara penentuan klasifikasi tanah Sistem Unified dengan menggunakan diagram alir diperlihatkan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sistem Klasifikasi Tanah Unified

Divisi	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar (berdasarkan no. 4 (4,75 mm))</p>	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar (berdasarkan no. 4 (4,75 mm))	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.
Pasir bersih kandungan butiran halus		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
	SC	Pasir berlanau, campuran pasir-lempung	
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Tanah berair halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)</p>	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kunus ('clean clays')
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah
		MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis.
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi
Tanah dengan organik tinggi		Gambut ('peat'), dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus. Kurang dari 50% 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.

$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$

$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3

Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW

Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$

Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$

$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 80$

$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ atau 1 dan 3

Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW

Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$

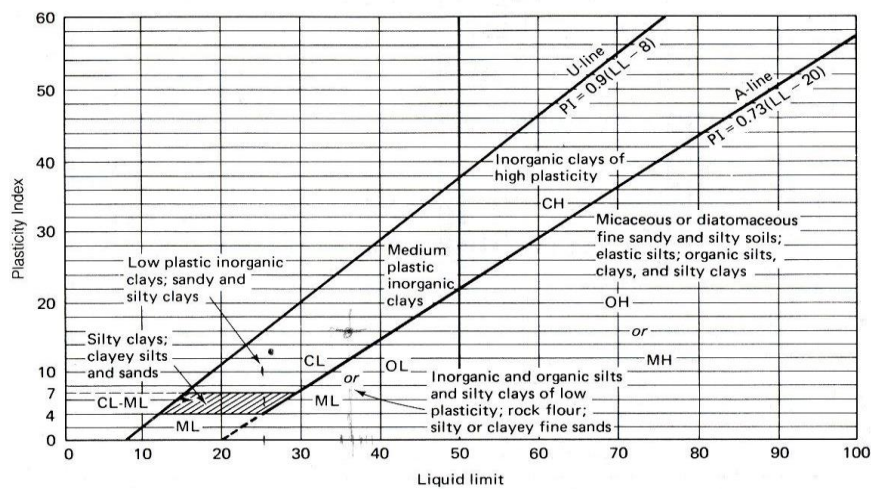
Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$

Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol

Diagram plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.

Batas Cair LL (%)
Garis A: $PI = 0,73 (LL - 20)$

(Sumber : Bowles, 1989)



Gambar 2.1 Diagram Plastisitas (ASTM)

Tabel 2.2 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Jenis Tanah	Prefiks	Sub kelompok	Sufiks
		Gradasi baik	W
Kerikil	G	Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	wL < 50%	L
Organik	O	wL < 50%	H
Gambut	Pt		

(Sumber : Bowles, 1989)

2. Klasifikasi sistem AASHTO (*American Association Of State Highway and Transporting Official*)

Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh *Hoentogler* dan *Terzaghi*, yang akhirnya diambil oleh *Bureau Of Public Roads*. Pengklasifikasian sistem ini berdasarkan kriteria ukuran butir dan plastisitas. Maka dalam mengklasifikasikan tanah membutuhkan pengujian analisis ukuran butiran, pengujian batas cair dan batas palstis.

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association Of State Highway and Transporting Official*) berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut.

Sistem ini membedakan tanah dalam 8 (delapan) kelompok yang diberi nama dari A-1 sampai A-8. A-8 adalah kelompok tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan raya, maka pada revisi terakhir oleh AASHTO diabaikan (Sukirman, 1992).

- a. Analisis ukuran butiran
- b. Batas cair, batas plastis, batas susut dan IP yang dihitung
- c. Ekuivalen kelembaban lapangan, kadar lembab maksimum dimana satu tetes air yang dijatuhkan pada suatu permukaan yang kecil tidak segera diserap oleh

permukaan tanah itu.

- d. Ekvivalen kelembaban sentrifugal, sebuah percobaan untuk mengukur kapasitas tanah dalam menahan air.

Tabel 2.3 Klasifikasi tanah untuk tanah dasar jalan raya, *AASHTO*

Klasifikasi Umum	Bahan-bahan berbutir (35% atau kurang lolos No.200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi Kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis Saringan Persen lolos :							
No.10	≤ 50						
No. 40	≤ 30	≤ 50	≤ 51				
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35
Karakteristik fraksi Lolos No.40							
Batas Cair				≤ 40	≤ 41	≤ 40	≤ 41
Indeks Plastisitas	≤ 50		N.P	≤ 10	≤ 10	≤ 11	≤ 10
Indeks Kelompok	0		0	0		≤ 4	
Jenis-jenis bahan Pendukung utama	Fragmen batu pasir dan kerikil		Pasir halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung			
Tingkatan umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						

(Sumber: Mekanika Tanah I, Hardiyatmo)

Tabel 2.4 Klasifikasi Tanah Sistem *AASHTO*

Klasifikasi Umum	Tanah Granuler	Tanah mengandung Lanau-Lempung				
	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7	
Kelompok	A-2-7				A-7-5 ^b	A-7-5 ^c
Persen Lolos Saringan						
No. 10						
No. 20						
No. 200	35 max	36	36	36 min	36	36 min
Batas Cair ^a	41 min	40	41	40 min	40	41 min
Indeks Plastisitas ^b	11 min	10 min	10	10 min	10	11 min
Fraksi Tanah	Kerikil, pasir		Lanau		Lempung	
Kondisi Kuat	Sangat Baik		Kurang baik hingga jelek			

(Sumber : Bowles, 1989)

2.2 Tanah Lempung

2.2.1 Pengertian tanah lempung

Menurut *Terzaghi* (1987) tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan sub mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah, bersifat plastis pada kadar air sedang. Sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak.

Sedangkan menurut *Hardiyatmo* (1992) mengatakan sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran halus lebih kecil dari 0,002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat. Dengan adanya pengetahuan mengenai mineral tanah tersebut, pemahaman mengenai perilaku tanah lempung dapat diamati.

Mineral lempung merupakan senyawa aluminium silikat yang kompleks. Mineral ini terdiri dari dua lempung kristal pembentuk kristal dasar, yaitu silika tetrahedra dan aluminium oktahedra (*Das. Braja M, 1988*).

Das. Braja M (1988) menerangkan bahwa tanah lempung sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan sub-mikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung (*clay mineral*), dan mineral-mineral yang sangat halus lain. Tanah lempung sangat keras dalam kondisi kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Namun pada kadar air yang lebih tinggi lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak. Kohesif menunjukkan kenyataan bahwa partikel-partikel itu melekat satu sama lainnya sedangkan plastisitas merupakan sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu dirubah-rubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah.

Dalam klasifikasi tanah secara umum, partikel tanah lempung memiliki

diameter 2 μm atau sekitar 0,002 mm (USDA, AASHTO, USCS). Namun demikian, di beberapa kasus partikel berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm masih digolongkan sebagai partikel lempung (ASTM-D-653). Di sini tanah diklasifikasikan sebagai lempung hanya berdasarkan ukuran saja, namun belum tentu tanah dengan ukuran partikel lempung tersebut juga mengandung mineral-mineral lempung. Jadi, dari segi mineral tanah dapat juga disebut sebagai tanah bukan lempung (*non clay soil*) meskipun terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil (partikel-partikel quartz, feldspar, mika dapat berukuran sub mikroskopis tetapi umumnya tidak bersifat plastis). Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid, merupakan gugusan kristal berukuran mikro, yaitu < 1 μm (2 μm merupakan batas atasnya). Tanah lempung merupakan hasil proses pelapukan mineral batuan induknya, yang salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam atau alkali, oksigen, dan karbondioksida.

Minerologi adalah faktor pengendali utama terhadap ukuran, bentuk, sifat-sifat fisis dan kimiawi, dari partikel tanah (Mitchell, 1976). Chen, 1975 mengemukakan bahwa suatu mineral lempung tidak dapat dibedakan melalui ukuran partikel saja, sebagai contoh partikel *quartz* dan *feldspar*, meskipun terdiri dari partikel-partikel yang sangat kecil namun tidak bisa disebut tanah lempung karena umumnya partikel-partikel tersebut tidak dapat menyebabkan terjadinya sifat plastis dari tanah. Perubahan sifat fisik dan mekanis tanah lempung dikendalikan oleh kelompok mineral yang mendominasi tanah tersebut.

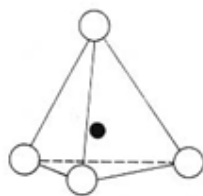
2.2.2 Susunan tanah lempung

Pelapukan tanah akibat reaksi kimia menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm, yang disebut mineral lempung. Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung mempunyai sifat yang dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Kerr, 1959). Diantaranya terdiri dari kelompok-kelompok : *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite*. Terdapat pula kelompok lain, misalnya : *chlorite*, *vermiculite*, dan *halloysite*.

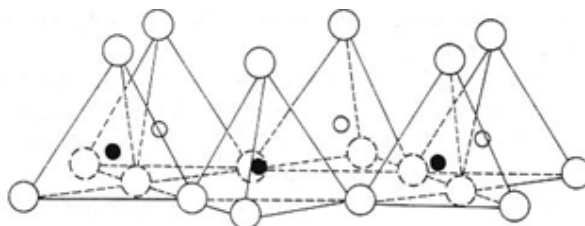
Susunan kebanyakan tanah lempung terdiri dari *silika tetrahedra* dan *aluminium oktahedra*. Silika dan aluminium secara parsial dapat digantikan oleh elemen yang lain dalam kesatuannya, keadaan ini dikenal sebagai substitusi *isomorf*. Kombinasi susunan dari kesatuan dalam bentuk susunan lempeng. Sumber utama dari mineral lempung adalah pelapukan kimiawi, dari batuan yang mengandung *Feldspar ortoklas*, *Feldspar plagioklas*, *Mika (muskovia)* yang semuanya dapat disebut silikat aluminium kompleks. Menurut Grim (1968) dalam Bowles (1984), mineral lempung dapat terbentuk dari hampir setiap batuan selama terdapat cukup banyak alkali dan tanah alkalin untuk dapat membuat terjadinya reaksi kimia.

Dalam terminologi ilmiah, lempung adalah mineral asli yang mempunyai sifat plastis saat basah, dengan ukuran butir yang sangat halus dan mempunyai komposisi berupa *hydrous aluminium* dan *magnesium silikat* dalam jumlah yang besar. Batas atas ukuran butir untuk lempung umumnya adalah kurang dari 2 μm ($1\mu\text{m} = 0,000001\text{m}$), meskipun ada klasifikasi yang menyatakan bahwa batas atas lempung adalah 0,005 m (ASTM).

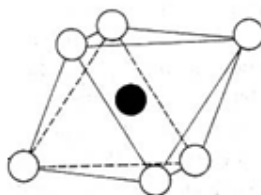
Menurut Das. Braja (1988), satuan struktur dasar dari mineral lempung terdiri dari silika tetrahedron dan aluminium oktahedron. Satuan-satuan dasar tersebut bersatu membentuk struktur lembaran seperti yang digambarkan pada Gambar 2.2 sampai dengan Gambar 2.5 berikut ini. Jenis-jenis mineral lempung tergantung dari komposisi susunan satuan struktur dasar atau tumpuan lembaran serta macam ikatan antara masing-masing lembaran.



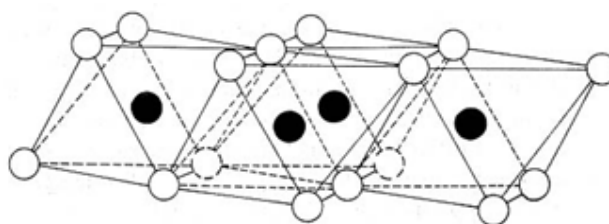
Gambar 2.2 *Single Silika Tetrahedral* (Das Braja M, 1988)



Gambar 2.3 *Isometrik Silika Sheet* (Das Braja M, 1988)



Gambar 2.4 *Single Aluminium Oktahedron* (Das Braja M, 1988)



Gambar 2.5 *Isometric Oktahedral Sheet* (Das Braja M, 1988)

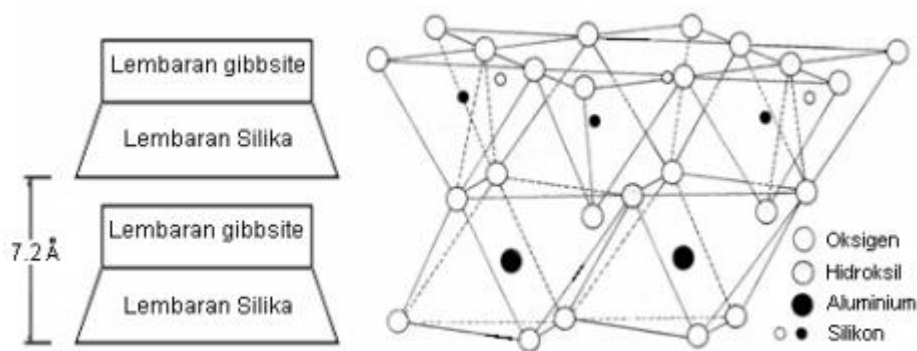
Umumnya partikel-partikel lempung mempunyai muatan negatif pada permukaannya. Hal ini disebabkan oleh adanya substitusi isomorf dan oleh karena pecahnya keping partikel pada tepi-tepinya. Muatan negatif yang lebih besar dijumpai pada partikel-partikel yang mempunyai spesifik yang lebih besar.

Jika ditinjau dari mineraloginya, lempung terdiri dari berbagai mineral penyusun, antara lain mineral lempung (*kaolinite*, *montmorillonite* dan *illite group*) dan mineral-mineral lain yang mempunyai ukuran sesuai dengan batasan yang ada (*mika group*, *serpentinite group*).

1. *Kaolinite*

Kaolinite merupakan hasil pelapukan sulfat atau air yang mengandung karbonat pada temperatur sedang. Warna kaolinite murni umumnya putih, putih kelabu, kekuning-kuningan atau kecoklat-coklatan. Kaolinite disebut sebagai

mineral lempung satu banding satu (1:1). Bagian dasar dari struktur ini adalah lembaran tunggal silika tetrahedral yang digabung dengan satu lembaran alumina oktahedral (gibbsite) membentuk satu unit dasar dengan tebal kira-kira 7,2 Å ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$) seperti yang terlihat pada gambar, hubungan antar unit dasar ditentukan oleh ikatan hidrogen dan gaya bervalensi sekunder. Mineral kaolinite berwujud seperti lempengan-lempengan tipis, masing-masing dengan diameter 1000 Å sampai 20000 Å dan ketebalan dari 100 Å sampai 1000 Å dengan luasan spesifik per unit massa $\pm 15 \text{ m}^2/\text{gr}$.

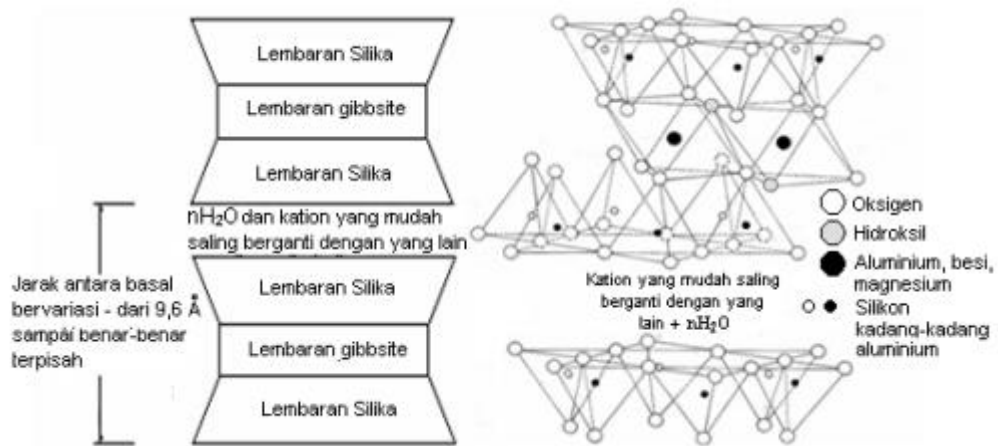


Gambar 2.6 Struktur *Kaolinite* (Das Braja M, 1988)

2. *Montmorillonite*

Montmorillonite disebut juga mineral dua banding satu (2:1) karena satuan susunan kristalnya terbentuk dari susunan dua lempeng silika tetrahedral mengapit satu lempeng alumina oktahedral ditengahnya. Struktur kisinya tersusun atas satu lempeng Al_2O_3 diantara dua lempeng SiO_2 . Karena struktur inilah *Montmorillonite* dapat mengembang dan mengkerut menurut sumbu C dan mempunyai daya adsorpsi air dan kation lebih tinggi. Tebal satuan unit adalah 9,6 Å ($0,96 \mu\text{m}$), seperti ditunjukkan gambar dibawah ini sebagaimana dikutip Das. Braja M (1988). Hubungan antara satuan unit diikat oleh ikatan gaya Van der Waals, diantara ujung-ujung atas dari lembaran silika itu sangat lemah, maka lapisan air ($n\text{H}_2\text{O}$) dengan kation yang dapat bertukar dengan mudah menyusup dan memperlemah ikatan antar satuan susunan kristal mengakibatkan antar lapisan

terpisah. Ukuran unit massa sangat besar, dapat menyerap air dengan sangat kuat, mudah mengalami proses pengembangan.

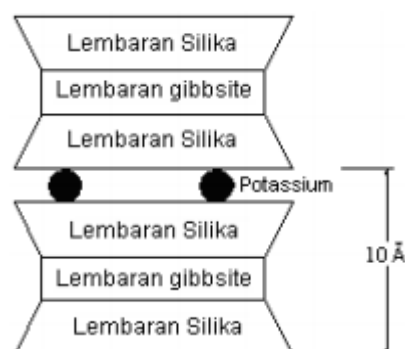


Gambar 2.7 Struktur *montmorillonite* (Das Braja M, 1988)

3. *Illite*

Mineral *illite* mempunyai hubungan dengan mika biasa, sehingga dinamakan pula hidrat-mika. *Illite* memiliki formasi struktur satuan kristal, tebal dan komposisi yang hampir sama dengan *montmorillonite*. Perbedaannya ada pada :

- Pengikatan antar unit kristal terdapat pada kalium (K) yang berfungsi sebagai penyeimbang muatan, sekaligus sebagai pengikat. 16
- Terdapat $\pm 20\%$ pergantian silikon (Si) oleh aluminium (Al) pada lempeng tetrahedral.
- Struktur mineralnya tidak mengembang sebagaimana *montmorillonite*



Gambar 2.8 Struktur *illite* (Das Braja M, 1988)

Substitusi dari kation-kation yang berbeda pada lembaran oktahedral akan mengakibatkan mineral lempung yang berbeda pula. Apabila ion-ion yang disubstitusikan mempunyai ukuran yang sama disebut *isomorphous*. Bila sebuah anion dari lembaran oktahedral adalah *hydroxil* dan dua per tiga posisi kation diisi oleh aluminium maka mineral tersebut disebut *gibbsite* dan bila magnesium disubstitusikan kedalam lembaran aluminium dan mengisi seluruh posisi kation, maka mineral tersebut disebut *brucite*.

4. Unsur kimia tanah lempung

Adapun susunan unsur kimia yang terdapat di dalam tanah lempung bisa dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.5 Unsur Kimia Tanah Lempung

Unsur/Senyawa	Lempung (%)
Silica (SiO ₂)	75.40
Kalsium Oksida (CaO)	0.70
Magnesium Oksida (MgO)	0.71
Besi Oksida (Fe ₂ O ₃)	0.01
Aluminium Karbonat (Al ₂ O ₃)	14.10

(Sumber : Edriani ; 2012)

2.2.3 Sifat-sifat tanah lempung

Secara umum lempung mempunyai muatan listrik negatif pada permukaannya. Muatan negatif pada permukaan partikel lempung akibat substitusi isomorf dan kontinuitas perpecahan susunannya. Partikel yang mempunyai luasan spesifik yang lebih besar terdapat pada muatan negatif yang lebih besar. Mineral *montmorillonite*, adalah jenis mineral yang mempunyai luas permukaan spesifik terbesar dengan kapasitas pertukaran kation terbesar dari kelompok mineralnya, disusul berturut-turut mineral *illite*, dan *kaolinit*. Banyaknya pertukaran kation pada jenis mineral dan luas permukaan spesifik jenis mineral dapat diperlihatkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Rentang Pertukaran Kation Dalam Mineral Lempung

	Kaolinit	Illite	Montmorillonite
Tebal (μm)	(0,5 – 2)	(0,003–0.1)	$>9,5\text{\AA}^{\circ}$
Diameter (μm)	(0,5 – 4)	(0,5 – 10)	(0,05 – 10)
Luas spesifik (m^2/gr)	10 – 20	65 – 180	50 – 840
Pertukaran kation	3 – 15	10 – 40	70 – 80

(Sumber : Chen, 1975)

Mineral lempung dapat diidentifikasi dengan beberapa macam cara, diantaranya dengan pengujian Difraksi Sinar-X dan menganalisa nilai aktivitasnya.

Mithcell (1993), menyebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi sifat tanah, yaitu :

- a. Faktor komposisi meliputi tipe mineral, jumlah masing-masing mineral, tipe kation yang terserap, bentuk dan ukuran distribusi partikel dan komposisi air pori. Uji faktor komposisi ini menggunakan tanah tak terganggu.
- b. Faktor lingkungan meliputi kadar air, kepadatan, tekanan samping (*confining pressure, temperature, ikatan/fabric*) dan keberadaan air, uji faktor lingkungan menggunakan tanah terganggu.

2.2.4 Karakteristik fisik tanah lempung lunak

Menurut Bowles (1989), mineral-mineral pada tanah lempung umumnya memiliki sifat-sifat:

1. Hidrasi.

Partikel mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisanlapisan molekul air yang disebut sebagai air teradsorpsi. Lapisan ini pada umumnya mempunyai tebal dua molekul karena itu disebut sebagai lapisan difusi ganda atau lapisan ganda. Lapisan difusi ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air atau kation disekitarnya. Lapisan ini akan hilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 600 sampai 1000C dan akan

mengurangi plasitisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat menghilang cukup dengan pengeringan udara saja.

2. Aktivitas.

Hasil pengujian index properties dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif. Hardiyatmo (2006) merujuk pada Skempton (1953) mendefinisikan aktivitas tanah lempung sebagai perbandingan antara Indeks Plastisitas (IP) dengan prosentase butiran yang lebih kecil dari 0,002 mm yang dinotasikan dengan huruf C, disederhanakan dalam persamaan:

$$\text{Aktifitas} = \frac{\text{Indeks Plastisitas}}{c}$$

Untuk nilai $A > 1,25$ digolongkan aktif dan sifatnya ekspansif. Nilai $1,25 < A < 0,75$ digolongkan normal sedangkan nilai $A < 0,75$ digolongkan tidak aktif. Aktivitas juga berhubungan dengan kadar air potensial relatif. Nilai nilai khas dari aktivitas dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Aktivitas Tanah Lempung

Minerologi tanah lempung	Nilai Aktifitas
Kaolinite	0,4 – 0,5
Illite	0,5 – 1,0
montmorillonite	1,0 – 7,0

(Sumber : Skempton, 1953)

3. Flokulasi dan Dispersi.

Apabila mineral lempung terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkristal maka daya negatif netto, ion- ion H^+ dari air gaya Van der Waals dan partikel berukuran kecil akan bersama-sama tertarik dan bersinggungan atau bertabrakan di dalam larutan tanah dan air. Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk flock (flock) yang berorientasi secara acak atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dengan cepatnya membentuk sedimen yang lepas.

Flokulasi adalah peristiwa penggumpalan partikel lempung di dalam larutan air akibat mineral lempung umumnya mempunyai $pH > 7$. Flokulasi larutan dapat dinetralkan dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (ion H^+), sedangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat flokulasi. Untuk menghindari flokulasi larutan air dapat ditambahkan zat asam.

4. Pengaruh Zat cair

Fase air yang berada di dalam struktur tanah lempung adalah air yang tidak murni secara kimiawi. Pada pengujian di laboratorium untuk batas Atterberg, ASTM menentukan bahwa air suling ditambahkan sesuai dengan keperluan. Pemakaian air suling yang relatif bebas ion dapat membuat hasil yang cukup berbeda dari apa yang didapatkan dari tanah di lapangan dengan air yang telah terkontaminasi. Air yang berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung. Satu molekul air memiliki muatan positif dan muatan negatif pada ujung yang berbeda (dipolar). Fenomena hanya terjadi pada air yang molekulnya dipolar dan tidak terjadi pada cairan yang tidak dipolar seperti karbon tetraklorida (CCl_4) yang jika dicampur lempung tidak akan terjadi apapun.

5. Sifat kembang susut (*swelling potensial*)

Plastisitas yang tinggi terjadi akibat adanya perubahan sistem tanah dengan air yang mengakibatkan terganggunya keseimbangan gaya-gaya di dalam struktur tanah. Gaya tarik yang bekerja pada partikel yang berdekatan yang terdiri dari gaya elektrostatis yang bergantung pada komposisi mineral, serta gaya van der Waals yang bergantung pada jarak antar permukaan partikel. Partikel lempung pada umumnya berbentuk pelat pipih dengan permukaan bermuatan listrik negatif dan ujung-ujungnya bermuatan positif. Muatan negatif ini diseimbangkan oleh kation air tanah yang terikat pada permukaan pelat oleh suatu gaya listrik. Sistem gaya internal kimia-listrik ini harus dalam keadaan seimbang antara gaya luar dan hisapan matrik. Apabila susunan kimia air tanah berubah sebagai akibat adanya perubahan komposisi maupun keluar

masuknya air tanah, keseimbangan gaya-gaya dan jarak antar partikel akan membentuk keseimbangan baru. Perubahan jarak antar partikel ini disebut sebagai proses kembang susut.

Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Perubahan itulah yang membahayakan bangunan. Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor yaitu:

1. Tipe dan jumlah mineral yang ada di dalam tanah.
2. Kadar air.
3. Susunan tanah.
4. Konsentrasi garam dalam air pori.
5. Sementasi.
6. Adanya bahan organik, dll.

2.3 Perkerasan Jalan

Permukaan tanah pada umumnya tidak mampu menahan beban kendaraan di atasnya sehingga diperlukan suatu konstruksi yang dapat menahan dan mendistribusikan beban lalu lintas yang diterimanya.

Teknologi pembuatan terus berkembang sehingga sampai saat ini orang mencampur terlebih dahulu antara batuan dan aspal kemudian dihamparkan dan dipadatkan. Dengan campuran ini didapatkan campuran yang padat dan memiliki stabilitas yang tinggi.

Pada struktur perkerasan lentur, beban lalu lintas didistribusikan ke tanah dasar secara berjenjang dan terlapis. Dengan sistem ini beban lalu lintas didistribusikan dari lapisan permukaan ke lapisan bawahnya. Lapisan yang tebal akan mendistribusikan beban lebih lebar pada lapisan bawahnya demikian juga lapisan yang mutunya baik yang dinyatakan dengan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) sehingga akhirnya tekanan dari beban kendaraan diterima oleh tanah dasar menjadi kecil.

Tanah biasanya tidak cukup kuat untuk dapat menahan beban perulangan roda kendaraan, tanpa adanya perubahan-perubahan bentuk yang permanen.

Untuk itu suatu struktur perlu diletakkan diantara tanah dasar (*sub grade*) dan roda kendaraan, yang berfungsi untuk mengurangi intensitas beban roda kendaraan pada permukaan tanah dasar dan disebut struktur perkerasan jalan.

Menurut Hardiyatmo (1996) kekuatan dan keawetan struktur perkerasan jalan, akan sangat tergantung pada sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Beberapa permasalahan yang sering muncul tentang keawetan dan kekuatan suatu perkerasan jalan, justru didominasi oleh permasalahan tanah dasarnya. Beberapa sifat yang kurang menguntungkan dari tanah dasar yang dapat menimbulkan permasalahan kerusakan antara lain sifat kembang susut yang besar akibat terjadi perubahan kadar airnya.

Berdasarkan jenis bahan dan konstruksinya, perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan komposit.

1. Perkerasan lentur (*flexible pavement*)

Perkerasan lentur merupakan perkerasan yang menggunakan bahan pengikat berupa aspal dan konstruksinya terdiri dari beberapa lapisan bahan yang terletak di atas tanah dasar. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari :

a. Lapisan permukaan (*surface course*)

Surface course yaitu lapisan paling atas disebut dengan lapisan permukaan.

Fungsi :

1. Penahan roda, mempunyai stabilitas tinggi
2. Lapis kedap air
3. Lapis aus
4. Menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya

Bahan :

1. Laston (lapis aspal beton)
2. Lasbutag (lapis aspal buton dan agregat)
3. Penetrasi macadam

b. Lapisan pondasi atas (*base course*)

Base course yaitu lapisan yang terletak diantara lapisan pondasi bawah dan lapisan permukaan.

Fungsi :

1. Penahan gaya lintang beban roda kendaraan dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya
2. Lapisan peresap untuk lapis pondasi bawah
3. Bantalan lapis permukaan

Bahan :

1. Agregat kelas A, B dan C
2. Laston
3. Stabilisasi terdiri dari :
 - Agregat dengan semen (*cement treated base*)
 - Agregat dengan kapur (*lime treated base*)
 - Agregat dengan aspal (*asphalt treated base*)

c. Lapisan pondasi bawah (*subbase course*)

Subbase course yaitu lapisan yang terletak diantara lapisan pondasi dan *subgrade*.

Fungsi :

1. Menyebarkan beban roda ke tanah dasar
2. Efisiensi penggunaan material
3. Mengurangi tebal lapisan di atasnya
4. Untuk mencegah partikel halus dari tanah dasar naik ke lapisan pondasi

Bahan :

1. Sirtu kelas A, B dan C
2. Stabilisasi terdiri dari :
 - Agregat dengan semen (*cement treated base*)
 - Agregat dengan kapur (*lime treated base*)
 - Agregat dengan aspal (*asphalt treated base*)

d. Lapisan tanah dasar (*subgrade*)

Subgrade yaitu lapisan tanah asli yang dipadatkan, jika tanah aslinya baik dan di atasnya akan diletakkan lapis pondasi bawah. Daya dukung tanah dasar ditentukan oleh nilai CBR untuk perencanaan *flexible pavement*.

2. Perkerasan kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan kaku merupakan perkerasan jalan yang menggunakan bahan beton, biasanya terdiri atas plat beton sebagai lapis pondasi dan lapis pondasi bawah di atas tanah dasar, dengan atau tanpa tulangan. Beban lalu lintas akan dipikul oleh beton. Faktor yang paling penting untuk diperhatikan dalam perencanaan tebal perkerasan beton adalah kekuatan beton tersebut.

3. Perkerasan komposit

Perkerasan komposit merupakan gabungan konstruksi perkerasan kaku dan perkerasan lentur di atasnya. Kedua jenis perkerasan ini bersama-sama memikul beban lalu lintas. Perkerasan komposit ini biasanya digunakan sebagai landasan pesawat terbang.

2.4 *Chemical Geopolymer*

Chemical Geopolymer merupakan polimer sintetik yang larut dalam air. Stabilisasi tanah lempung diperlukan untuk memperbaiki karakteristik tanah tersebut. Penambahan bahan kimia berupa polimer digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah didasarkan pada sifat polimer sebagai bahan perekat. Dengan sifat polimer ini diharapkan dapat meningkatkan rekatan antara butiran-butiran tanah yang distabilisasi, menambah kedekatan terhadap air, serta dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik. Keuntungan lain yang dapat diperoleh dari penggunaan polimer ini yaitu waktu pengerasannya lebih cepat jika dibandingkan dengan semen, sehingga menguntungkan dalam pelaksanaan pekerjaan stabilisasi. Polimer sintetik terdiri dari partikel-partikel polimer yang sangat kecil, berdiameter 0,05 mm yang tersebar di dalam air.

Chemical Geopolymer yang berbentuk cairan bening yang tidak berbau mempunyai sifat mudah larut dalam air pada suhu 20 °C, rumus kimia $(C_2H_4O)_n$

yang mempunyai densitas $1,19 \text{ gr/cm}^3$, titik leleh $446 \text{ }^\circ\text{F}$ ($230 \text{ }^\circ\text{C}$), titik didih $442,4 \text{ }^\circ\text{F}$ ($228 \text{ }^\circ\text{F}$) (Reinaldo H, 2002).

2.5 Stabilisasi Tanah Dasar

Stabilisasi tanah pada prinsipnya adalah untuk perbaikan mutu tanah yang kurang baik. Menurut Bowles (1986), cara untuk melakukan stabilisasi dapat terdiri dari salah satu tindakan sebagai berikut :

1. Menambah kerapatan tanah
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga mempertinggi kohesi atau tahanan geser
3. Menambah material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisik dari material tanah
4. Menurunkan muka air tanah
5. Mengganti tanah-tanah yang buruk

Sementara itu, menurut Ingles dan Metcalf (1972), stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan metode, yaitu :

1. Cara mekanis

Perbaikan tanah dengan menggunakan cara mekanis yaitu perbaikan tanah tanpa penambahan bahan-bahan lainnya. Stabilisasi mekanis biasanya dilakukan dengan menggunakan peralatan mekanis seperti mesin gilas, penumbuk, peledak, tekanan statis dan sebagainya. Tujuan stabilisasi ini adalah untuk mendapatkan tanah yang berdaya dukung baik dengan cara mengurangi volume pori sehingga menghasilkan kepadatan tanah yang maksimum. Metode ini biasanya digunakan pada tanah yang berbutir kasar dengan fraksi tanah yang lolos saringan nomor 200 ASTM paling banyak 25%.

2. Cara fisik

Perbaikan tanah dengan cara fisik yaitu dengan memanfaatkan perubahan-perubahan fisik yang terjadi seperti hidrasi, absorpsi/penyerapan air, pemanasan, pendinginan, dan menggunakan arus listrik.

3. Cara kimiawi

Perbaikan tanah dengan cara kimiawi adalah penambahan bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah. Metode stabilisasi ini biasanya digunakan untuk tanah yang berbutir halus. Pencampuran bahan kimia yang sering dilakukan adalah dengan menggunakan semen, kapur, abu batubara dan sebagainya.

Stabilisasi tanah dilakukan untuk mengubah sifat-sifat dari material yang ada dan kurang baik menjadi material yang memiliki sifat yang lebih baik sehingga stabilisasi ini dapat memenuhi kebutuhan perencanaan konstruksi yang diinginkan. Pemilihan stabilisasi yang digunakan selalu didasarkan atas respon dari tanah tersebut terhadap stabilisasi yang digunakan. Sifat-sifat dari suatu jenis tanah, sangat mempengaruhi dalam penentuan jenis stabilisasi tanah tersebut. Secara umum ada 4 (empat) karakteristik utama tanah atau sifat tanah yang harus dipertimbangkan sehubungan dengan masalah stabilisasi tanah, yaitu :

1. Stabilitas volume tanah

Perubahan volume tanah berkaitan erat dengan kadar airnya. Banyak jenis tanah lempung yang mengalami susut dan kembang (*shrink and swell*) karena kepekaan terhadap perubahan kadar airnya. Perubahan kadar air ini biasanya terjadi sejalan dengan perubahan musim di wilayah tersebut. Untuk lempung yang ekspansif, bila hal ini terkontrol maka akan terjadi depormasi dan retak-retak pada permukaan jalan.

Untuk mengukur volume yang terjadi biasanya diadakan percobaan *swelling* potensial dilaboratorium. Namun percobaan di laboratorium belum tentu menunjukkan perubahan yang terjadi di lapangan, karena perubahan volume di lapangan kemungkinan akan lebih kecil akibat adanya pengaruh permeabilitas yang rendah. Masalah ini biasanya diatasi dengan *waterproofing* dengan berbagai macam bahan seperti bitumen, tar dan lain-lain. Cara lain adalah dengan *menstabilisasi pressure* dari lempung.

2. Kekuatan

Perubahan beban *eksternal* yang terjadi umumnya adalah berhubungan dengan perubahan volume karena adanya gaya *internal* yang diakibatkan oleh

perubahan kadar air. Banyak percobaan dan praktek di lapangan yang membuktikan hal ini, kecuali pada tanah organik dimana stabilisasi hanya meningkatkan volume tanpa terjadi peningkatan kekuatan.

Pada umumnya parameter yang digunakan untuk mengetahui kekuatan tanah adalah dengan percobaan parameter kuat geser dan daya dukung tanah. Hampir semua jenis stabilisasi berhasil mencapai tujuan ini, namun pada tanah organik hal ini sulit dicapai, jadi lapis tanah organik (*top soil*) sebaiknya tidak digunakan sebagai material yang harus di stabilisasi, melainkan disingkirkan. Pelaksanaan pemadatan yang baik sampai sekarang masih stabilisasi yang diterapkan. Sehingga hampir semua jenis stabilisasi bertujuan untuk meningkatkan stabilitas volume sekaligus meningkatkan kekuatan tanah.

3. Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesa dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Pori-pori tanah saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya, sehingga air dapat mengalir dari titik dengan tinggi energi tinggi ke titik dengan titik energi yang lebih rendah. Untuk tanah, permeabilitas dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah.

Untuk lempung, permeabilitas yang terjadi disebabkan sistem *micropore* (sistem pori-pori mikro) dan kapasitasnya. Masalah utama akibat besarnya permeabilitas umumnya adalah timbulnya tekanan air pori dan terjadi aliran perembesan (*seepage flow*). Sedangkan pada tanah lempung, permeabilitas tinggi biasanya diakibatkan karena pelaksanaan pemadatan yang kurang baik. Karena itu masalah ini dapat diatasi dengan pembuatan sistem drainase, pelaksanaan pemadatan dan stabilisasi yang baik.

4. Durabilitas

Durabilitas adalah daya tahan bahan konstruksi terhadap cuaca, erosi dan kondisi lalu lintas di atasnya. Durabilitas yang buruk dapat menimbulkan masalah baik pada tanah alami maupun tanah yang distabilisasi. Dampak yang ditimbulkan tidak terlalu berpengaruh pada struktur perkerasan tetapi lebih

banyak terjadi pada permukaan sehingga biaya pemeliharaan jalan cenderung meningkat.

Pada tanah yang distabilisasi, durabilitas yang buruk biasanya diakibatkan oleh pemilihan jenis stabilisasi yang salah, bahan stabilisasi yang tidak cocok atau karena masalah cuaca. Percobaan untuk mengetahui ketahanan material terhadap cuaca dan kondisi lalu lintas sampai sekarang masih sulit dihubungkan dengan keadaan sebenarnya di lapangan.

2.6 Pematatan

Pematatan merupakan proses dimana tanah yang terdiri dari butiran tanah, air, dan udara diberi energy mekanik seperti penggilsan (*rolling*) dan pergetaran (*vibrating*) sehingga volume tanah akan berkurang dengan mengeluarkan udara pada pori-pori tanah. Untuk pematatan di lapangan dapat dilakukan dengan berbagai macam cara salah satunya dengan cara menggilas. Sedangkan untuk pematatan di laboratorium dapat dilakukan dengan cara, yaitu *Standart Compaction Test* dan *Modified Compaction Test*.

Pengujian pematatan ini dilakukan untuk mengurangi kompresibilitas dan permeabilitas tanah serta untuk menentukan kadar air optimum yaitu nilai kadar air pada berat kering maksimum. Kadar air optimum yang didapat dari hasil pengujian pematatan ini digunakan untuk penelitian uji kuat tekan bebas.

Pematatan tanah ini dilakukan pada asli dan campuran yang menggunakan metode *Standart Compaction Test*. Pengujian ini dipakai untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum. Pematatan ini dilakukan dalam cetakan dengan memakai alat pemukul dengan tinggi jatuh tertentu.

Pematatan tanah lempung secara benar akan memberikan kuat geser yang tinggi, sedangkan stabilitas terhadap kembang susut tergantung dari jenis material yang digunakan. Tingkat pematatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Berat volume kering dari tanah akan naik, bila kadar air dalam tanah (pada saat dipadatkan) meningkat. Jenis tanah (distribusi ukuran butiran), bentuk butiran tanah, gravitas khusus bagian tanah, jumlah serta jenis mineral lempung yang ada pada tanah mempunyai pengaruh besar terhadap nilai berat

volume kering maksimum dan kadar air optimum dari tanah tersebut. Dalam pemadatan tanah, ada empat faktor yang mempengaruhi pemadatan yaitu :

1. Usaha pemadatan (energi pemadatan)
2. Jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel dan sebagainya)
3. Kadar air
4. Berat isi kering

Rumus :

$$\text{Berat isi bersih} = \frac{\text{berat tanah}}{1000}$$

$$\text{Berat isi kering} = \frac{\text{berat isi basah}}{100 + (\text{kadar air sebenarnya})}$$

$$\text{Volume tanah kering} = \frac{\text{Berat tanah kering}}{G_s}$$

$$ZAV = \frac{G_s \cdot y_w}{1 + \left(\frac{\text{kadar air asumsi}}{100}\right)} \cdot G$$

2.7 California Bearing Ratio (CBR)

CBR merupakan suatu perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standar load*) dan dinyatakan dalam persen. Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100 % dalam memikul beban lalu lintas.

Nilai CBR adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui kuat dukung tanah dasar dalam perencanaan lapis perkerasan. Bila tanah dasar memiliki nilai CBR yang tinggi, praktis akan mengurangi ketebalan lapis perkerasan yang berada di atas tanah dasar (*subgrade*), begitu pula sebaliknya.

Menurut Soedarmo dan Purnomo (1997), CBR dapat dibagi sesuai dengan cara mendapatkan contoh tanahnya yaitu CBR lapangan (*CBR inplace* atau *field CBR*), CBR lapangan rendaman (*undistrubed soaked CBR*) dan CBR

laboratorium (*laboratory CBR*). CBR laboratorium dibedakan menjadi dua macam yaitu CBR laboratorium rendaman (*soaked CBR laboratory*) dan CBR laboratorium tanpa rendaman (*unsoaked CBR laboratory*).

CBR dikembangkan oleh California State Highway Departement sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (*subgrade*). CBR menunjukkan nilai relatif kekuatan tanah, semakin tinggi kepadatan tanah maka nilai CBR akan semakin tinggi. Walaupun demikian, tidak berarti bahwa sebaiknya tanah dasar dipadatkan dengan kadar air rendah supaya mendapat nilai CBR yang tinggi, karena kadar air kemungkinan tidak akan konstan pada kondisi ini. Pemeriksaan CBR bertujuan untuk menentukan harga CBR tanah yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. Disamping itu, pemeriksaan ini juga dimaksudkan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah. Pemeriksaan CBR Laboratorium mengacu pada AASHTO T-193-74 dan ASTM-1883-73. Untuk perencanaan jalan baru, tebal perkerasan biasanya ditentukan dari nilai CBR dari tanah dasar yang dipadatkan. Nilai CBR yang digunakan untuk perencanaan ini disebut "*design CBR*".

Cara yang dipakai untuk mendapat "*design CBR*" ini ditentukan dengan perhitungan dua faktor (Wesley, 1977) yaitu:

- a. Kadar air tanah serta berat isi kering pada waktu dipadatkan.
- b. Perubahan pada kadar air yang mungkin akan terjadi setelah perkerasan selesai dibuat.

Nilai CBR sangat bergantung kepada proses pemadatan. Selain digunakan untuk menilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang hendak dipakai, CBR juga digunakan sebagai dasar untuk menentukan tebal lapisan dari suatu perkerasan serta untuk menilai subgrade yang dipadatkan hingga mencapai kepadatan kering maksimum, dan membentuk profil sesuai yang direncanakan.

Hasil pengujian dapat diperoleh dengan mengukur besarnya beban pada penetrasi tertentu. Besarnya penetrasi sebagai dasar menentukan CBR adalah 0,1" dan 0,2". Dari kedua nilai perhitungan digunakan nilai terbesar dihitung dengan persamaan berikut :

1 Penetrasi 0,1”(0,254 cm)

$$\text{CBR}(\%) = \frac{P1}{1000} \times 100 \%$$

o Penetrasi 0,2 “(0,508 cm)

$$\text{CBR}(\%) = \frac{P2}{1500} \times 100\%$$

Dimana :

P1 : tekanan pada penetrasi 0,1 : (psi)

P2 : tekanan pada penetrasi 0,2 : (psi)

1000 psi : angka standar tegangan penetrasi pada penetrasi 0,1 in

1500 psi : angka standar tegangan penetrasi pada penetrasi 0,2 in

Perhitungan :

- Kadar air rencana = kadar air optimum – kadar air asli
- Penambahan Air = kadar air rencana x berat sampel tanah
- Penambahan *additive* = persentase additive x berat sampel tanah

Maka didapat jumlah penambahan air dan limbah cangkang kerang dengan kadar air optimum dan γ_{smaks} yang konstan. Setelah itu dilanjutkan dengan pengujian CBR (*California Bearing Ratio*).

2.8 Uji Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)

Kuat tekan bebas adalah tekanan aksial benda uji pada saat mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20%. Untuk menentukan kekuatan tanah pada percobaan ini dapat ditentukan dengan memasukkan benda uji sedikit demi sedikit kedalam tabung yang diberi oli sambil ditekan-tekan dengan jari lalu dikeluarkan dan diletakkan dibawah mesin tekan, dan untuk selanjutnya dilakukan pembacaan pada jarum dial dan jarum proving ring sampai benda uji mengalami keruntuhan.

2.9 Prosedur Pengujian Laboratorium

Dalam suatu pengujian apalagi pengujian laboratorium terdapat beberapa prosedur kerja yang harus diikuti sesuai dengan langkah-langkah kerja yang ada sebelumnya, sehingga pengujian yang dilakukan menghasilkan nilai yang sebenarnya.

2.9.1 Pengujian sifat fisis tanah

Pada pengujian ini dilakukan pada sample tanah yang akan digunakan yaitu pengujian penidentifikasian tanah ekspansif. Adapun pengujian ini terdiri dari :

1. Pengujian kadar air (*Water Content*)

Kadar air (w) adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s), dinyatakan dalam persen. Kadar air sangat mempengaruhi perilaku tanah khususnya proses pengembangannya. Lempung dengan kadar air rendah memiliki potensi pengembangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lempung kadar air tinggi (Supriyono, 1993). Hal ini disebabkan karena lempung dengan kadar air alami rendah lebih berpotensi untuk menyerap air lebih banyak.

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

Dimana :

W_w = berat air

W_s = berat butiran padat

2. Pengujian *Specific Gravity* (GS)

Berat jenis atau sfecific gravity (GS) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s), dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur 4°C.

Pengujian ini dilakukan Rumus :

$$\text{Berat jenis (GS)} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Perhitungan :

$$\text{Berat Jenis (GS)} = \frac{W_2 - W_1}{(W_3 - W_1) - (W_4 - W_2)}$$

Keterangan :

W_1 = Berat piknometer kosong + tutup

W_2 = Berat piknometer + tanah kering + tutup

W_3 = Berat piknometer + tanah kering + air + tutup

W_4 = Berat piknometer + air + tutup

γ_s = Berat volume butiran padat

γ_w = berat volume air

Tabel 2.8 Berat Jenis Tanah (GS)

Macam tanah	Berat jenis (GS)
Kerikil	2.65 - 2.68
Pasir	2.65 - 2.68
Lanau anorganik	2.62 - 2.68
Lempung organik	2.58 - 2.65
Lempung anorganik	2.68 - 2.75
Humus	1.37
Gambut	1.25 - 1.80

(Sumber : Hardiyatmo, 1992)

3. Pengujian batas-batas konsistensi (*Atterberg Limit*)

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Istilah plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak atau remuk.

Bergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, platis, semi padat, atau padat. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Konsistensi bergantung pada gaya tarik antara partikel mineral lempung. Sembarang pengurangan kadar air menghasilkan berkurangnya tebal lapisan kation yang menyebabkan bertambahnya gaya tarik partikel. Bila tanah dalam kedudukan platis, besarnya jaringan gaya

antar partikel akan sedemikian hingga partikel bebas menggelincir antara satu dengan yang lain, dengan kohesi yang tetap terpelihara. Pengurangan kadar air menghasilkan pengurangan volume tanah.

Atterberg (1911), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Batas-batas tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*).

Atterberg (1911) mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada air yang bervariasi. *Atterberg limits* yang dimiliki suatu jenis tanah memberikan gambaran akan plastisitas tanah tersebut, dan sangat berhubungan dengan masalah kemampuan pengembangan (*swelling*) dan penyusutan (*shrinkage*). *Atterberg* (1911) memperkenalkan bahwa air yang berkaitan dengan fase-fase perubahan pada tanah lempung adalah batas-batas konsistensi (*atterberg limits*). Pengujian batas-batas konsistensi (*atterberg limit*) dilakukan pada tanah terganggu (*disturbed*). Adapun pengujian batas-batas konsistensi (*atterberg limit*) yang dilakukan adalah :

a. Batas cair (*Liquid Limit / LL*)

Batas cair (*LL*), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari uji Casagrande (1948).

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas cair. Pengujian ini dilakukan terhadap tanah yang berbutir halus atau lebih kecil. Batas cair adalah kadar air minimum, yaitu sifat tanah berubah dari keadaan cair menjadi keadaan plastis.

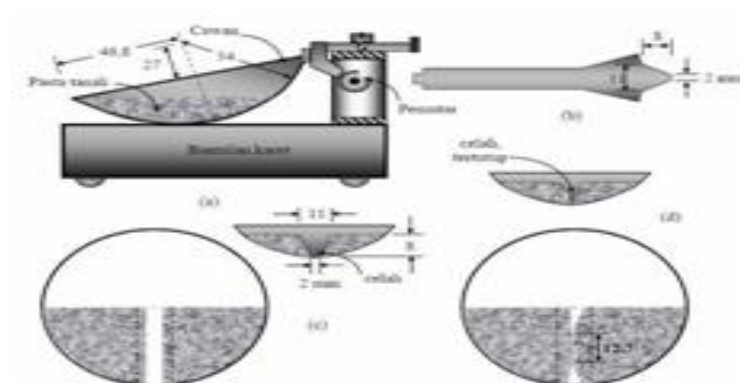
Perhitungan :

- Tentukan kadar air masing-masing variasi dan digambarkan dalam bentuk grafik
- Buatlah garis lurus melalui titik-titik hasil pengujian
- Kadar air didapatkan pada jumlah ketukan 25 kali adalah nilai atas cairnya

Rumus :

$$w = \frac{W_{\text{sampel 1}} - W_{\text{sampel 2}}}{2}$$

$$\omega = \frac{\omega_{\text{sampel 1}} + \omega_{\text{sampel 2}}}{2}$$



Gambar 2.9 Skema uji batas cair

b. Batas plastis (*Plasticity Limit / PL*)

Batas plastis (*PL*), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan plastis.

c. Batas susut (*Shrinkage Limit / SL*)

Batas susut didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air maksimum dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak menyebabkan berkurangnya volume tanah. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan batas susut suatu tanah. *Linier Shrinkage* merupakan persentasi dari panjang asli dari sampel tanah yang diuji. Percobaan batas susut dilaksanakan dalam laboratorium dengan cawan porselin diameter 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. Bagian dalam cawan dilapisi dengan pelumas dan diisi dengan tanah

jenuh sempurna. Kemudian dikeringkan dalam oven. Volume ditentukan dengan mencelupkannya dengan air raksa.

d. Indeks plastisitas (*Plasticity Index / PI*)

Indeks plastisitas (*PI*) adalah selisih batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas (*PI*) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai *PI* tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika *PI* rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg terdapat dalam table 2.9.

Rumus :

$$PI = LL - PL$$

Tabel 2.9 Potensi Pengembangan Berbagai Nilai Indeks Plastisitas

<i>PI</i>	Sifat	Macam tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
17-71	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif sebagian
> 71	Plastisitas tinggi	Lempung berlanau	Kohesif sebagian

(Sumber : Chen, 1975 (dalam Lashari, 2000))

Tabel 2.10 Harga-harga Batas Atterberg untuk Mineral Lempung

Mineral	Batas cair	Batas Plastis
Montmorillonite	100-900	50 – 100
Illite	60 - 120	35 - 60
Nontronite	37-72	19 - 27
Kolinite	30 - 110	25 - 40

(Sumber : Mitchell 1976)

4. Analisa Saringan

Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Oleh karena itu, analisis butiran ini merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan. Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran lubang diameter tertentu. Analisa saringan ini dimasukkan untuk menentukan pembagian butiran pada sample tanah yang digunakan. Tujuannya adalah untuk menentukan pembagian ukuran butiran suatu contoh tanah.

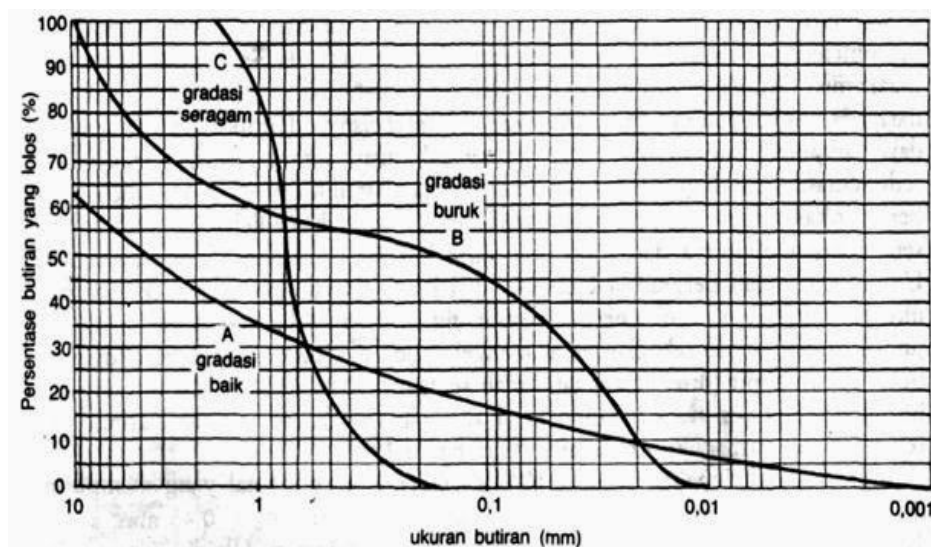
a. Tanah berbutir kasar

Distribusi ukuran butir untuk tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara menyaring. Caranya, tanah benda uji disaring lewat satu unit saringan standar. Berat tanah yang tinggal pada masing-masing saringan ditimbang, lalu persentase terhadap berat kumulatif tanah dihitung.

b. Tanah berbutir halus

Distribusi ukuran butir tanah berbutir halus atau bagian berbutir halus dari tanah berbutir kasar, dapat ditentukan dengan cara sedimentasi. Metode ini didasarkan pada hukum Stokes, yang berkenaan dengan kecepatan mengendap butiran pada larutan suspensi.

Untuk tanah yang terdiri dari campuran butiran halus dan kasar, gabungan antara analisis saringan dan sedimentasi dapat digunakan. Dari hasil penggambaran kurva yang diperoleh, tanah berbutir kasar digolongkan sebagai gradasi baik bila tidak ada kelebihan butiran pada sembarang ukurannya dan tidak ada yang kurang pada ukuran butiran sedang. Umumnya tanah bergradasi baik jika distribusi ukuran butirannya tersebar luas (pada ukuran butirannya). Tanah berbutir kasar digambarkan sebagai bergradasi buruk, bila jumlah berat butiran sebagian besar mengelompok di dalam batas interval diameter butir yang sempit (disebut gradasi seragam). Tanah juga termasuk bergradasi buruk, jika butiran besar maupun kecil ada, tapi dengan pembagian butiran yang relative rendah pada ukuran sedang (gambar 2.10).



Gambar 2.10 Analisis Distribusi Ukuran Butir

Perhitungan :

- Presentase tanah yang tertinggal pada masing-masing ayakan

$$= \frac{\text{berat tanah yang tertinggal}}{\text{berat total}} \times 100 \%$$

- Presentase komulatif tanah yang tertinggal pada ayakan

= jumlah presentase tanah yang tertinggal pada semua ayakan yang lebih besar

5. Analisa Hidrometer

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan pembagian ukuran butir dari tanah yang lolos saringan no.200. pada uji hidrometer, tanah benda uji sebelumnya harus dibebaskan dari zat organik, kemudian tanah dilarutkan ke dalam air destilasi yang dicampuri dengan bahan pendeflokulasi (*deflocculating agent*) yang dapat berupa *sodium hexametaphosphate* agar partikel-partikel menjadi bagian yang terpisah satu dengan yang lain. Kemudian, larutan suspensi ditempatkan pada tabung hidrometer. Dalam uji hidrometer, contoh tanah yang digunakan beratnya kira-kira 50 gram kering *oven*. Ketika hidrometer dimasukkan dalam larutan suspensi (pada waktu t dihitung dari permulaan sedimentasi), hidrometer ini mengukur

berat jenis larutan disekitar gelembung hidrometer yang berada pada kedalaman L . Berat jenis suspensi akan merupakan fungsi dari jumlah partikel tanah yang ada per volume satuan suspensi pada kedalaman L tersebut. Pada waktu t tersebut, partikel-partikel tanah dalam suspensi pada kedalaman L akan berdiameter lebih kecil dari D . Partikel yang lebih besar akan mengendap di luar zona pengukuran. Hidrometer dirancang untuk memberikan jumlah tanah (dalam gram) yang masih terdapat dalam suspensi dan dikalibrasi untuk tanah yang mempunyai berat jenis $G_S = 2,65$. Untuk jenis tanah yang lain, maka perlu dikoreksi. Dari uji hidrometer, distribusi ukuran butir tanah digambarkan dalam bentuk kurva semi logaritmik. Ordinat grafik merupakan persen berat butiran yang lebih kecil daripada ukuran butiran yang diberikan dalam absis.

a. Untuk % Lebih Halus

$$\frac{G_S}{G_S - 1} - \frac{V}{W_S} \gamma_c (R_1 - R_2) * 100\%$$

Dimana:

$G_S = \text{Specific Gravity}$

$V = \text{Volume Suspensi}$ $W_S = \text{Berat Tanah Kering}$

$\gamma_c = \text{Berat jenis air pada temperatur percobaan (umumnya } 20^\circ \text{ C)}$

$R_1 = \text{Pembacaan } hydrometer \text{ pada suspense}$

$R_2 = \text{Pembacaan } hydrometer \text{ pada air}$

2.9.2 Pengujian Sifat Mekanis Tanah

1. Pengujian pemadatan (*compaction*)

Pemadatan merupakan proses dimana tanah yang terdiri dari butiran tanah, air, dan udara diberi energi mekanik seperti penggilasan (*rolling*) dan pergetaran (*vibrating*) sehingga volume tanah akan berkurang dengan mengeluarkan udara pada pori-pori tanah. Untuk pemadatan di laboratorium dapat dilakukan dengan cara, yaitu *Standart Compaction Test* dan *Modified Compaction Test*.

Pengujian pemadatan ini dilakukan untuk mengurangi kompresibilitas dan permeabilitas tanah serta untuk menentukan kadar air optimum yaitu nilai kadar air pada berat kering maksimum. Kadar air optimum yang didapat dari hasil pengujian pemadatan ini digunakan untuk penelitian uji kuat tekan bebas.

Pemadatan tanah ini dilakukan pada asli dan campuran yang menggunakan metode *Standart Compaction Test*. Pengujian ini dipakai untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum. Pemadatan ini dilakukan dalam cetakan dengan memakai alat pemukul dengan tinggi jatuh tertentu.

Perhitungan :

- Berat isi bersih = $\frac{\text{berat tanah}}{1000}$
- Berat isi kering = $\frac{\text{berat isi basah}}{100 + (\text{kadar air sebenarnya})} \times 100\%$
- Berat = berat isi kering x 1000
- Volume tanah kering = $\frac{\text{berat tanah kering}}{G_s}$
- $ZAV = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + \frac{\text{kadar air asumsi}}{100}} \times G_s$

2. Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

CBR dikembangkan oleh California State Highway Departement sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (*subgrade*). CBR menunjukkan nilai relatif kekuatan tanah, semakin tinggi kepadatan tanah maka nilai CBR akan semakin tinggi. Walaupun demikian, tidak berarti bahwa sebaiknya tanah dasar dipadatkan dengan kadar air rendah supaya mendapat nilai CBR yang tinggi, karena kadar air kemungkinan tidak akan konstan pada kondisi ini. Pemeriksaan CBR bertujuan untuk menentukan harga CBR tanah yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. Disamping itu, pemeriksaan ini juga dimaksudkan untuk menentukan

hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah. Pemeriksaan CBR Laboratorium mengacu pada AASHTO T-193-74 dan ASTM-1883-73. Untuk perencanaan jalan baru, tebal perkerasan biasanya ditentukan dari nilai CBR dari tanah dasar yang dipadatkan.

Cara yang dipakai untuk mendapatkan nilai CBR yang digunakan untuk perencanaan ditentukan dengan perhitungan dua faktor (Wesley, 1977) yaitu :

- a. Kadar air tanah serta berat isi kering pada waktu pemadatan
- b. Perubahan kadar air yang mungkin akan terjadi setelah perkerasan selesai dibuat

Nilai CBR sangat bergantung kepada proses pemadatan. Selain digunakan untuk menilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang hendak dipakai, CBR juga digunakan sebagai dasar untuk menentukan tebal lapisan dari suatu perkerasan serta untuk menilai subgrade yang dipadatkan hingga mencapai kepadatan kering maksimum, dan membentuk profil sesuai yang direncanakan.

Hasil pengujian dapat diperoleh dengan mengukur besarnya beban pada penetrasi tertentu. Besarnya penetrasi sebagai dasar menentukan CBR adalah 0,1” dan 0,2”. Dari kedua nilai perhitungan digunakan nilai terbesar dihitung dengan persamaan berikut :

- Penetrasi 0,1” (0,254 cm)

$$\text{CBR (\%)} = \frac{P1 \text{ (psi)}}{1000 \text{ (psi)}} \times 100\%$$

- Penetrasi 0,2 “ (0,508 cm)

$$\text{CBR (\%)} = \frac{P2 \text{ (psi)}}{1500 \text{ (psi)}} \times 100\%$$

Keterangan :

P1 : tekanan pada penetrasi 0,1” (psi)

P2 : tekanan pada penetrasi 0,2” (psi)

1000 psi : angka standar tegangan penetrasi pada penetrasi 0,1 in

1500 psi : angka standar tegangan penetrasi pada penetrasi 0,2 in

Perhitungan :

- Kadar air rencana = kadar air optimum – kadar air asli
- Kadar air normal = kadar air rencana x berat benda uji
- Penambahan additive = persentase additive x kadar air normal
- Penambahan air = kadar air normal – persentase penambahan additive

Maka didapat jumlah penambahan air dan sirtu dengan kadar air optimum dan γ_{smaks} yang konstan. Setelah itu dilanjutkan dengan pengujian CBR (*California Bearing Ratio*).

3. Pengujian kuat tekan bebas

Kuat tekan bebas adalah besarnya tekanan aksial (kg/cm^2 atau kn/m^2), yang diperlukan untuk menekan suatu silinder tanah sampai pecah atau besarnya tekanan yang memberikan pemendekan tanah sebesar 20 %, apabila sampai dengan pemendekan 20 % tersebut tanah tidak pecah. Tujuan pengujian kuat tekan bebas adalah untuk menentukan kuat tekan bebas tanah kohesif. Pengujian kuat tekan bebas dapat dilakukan pada tanah asli atau contoh tanah padat buatan.

Perhitungan kuat tekan bebas dapat menggunakan rumus :

a) Regangan aksial pada pembebanan yang dibaca

$$\varepsilon = \Delta L / L_0$$

keterangan : ΔL : pemendekan tinggi benda uji

L_0 : tinggi benda uji semula

b) Luas penampang benda uji dengan koreksi akibat pemendekan

$$A = A_0 / (1 - \varepsilon)$$

Keterangan : A_0 : luas penampang benda uji (cm^2)

ε : regangan

c) Tekanan aksial yang bekerja pada benda uji pada setiap pembebanan

$$\sigma = P / A$$

keterangan : P : beban yang bekerja (kg/cm^2)

2.10 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji asli dengan mencampur tanah asli yaitu tanah lempung organik dengan penambahan zat aditif dan air dengan presentase penambahan aditif pada penelitian ini sebesar 0%, 5%, 10%, 15%, 20% dan 25%.

2.11 Analisa dan Pembahasan

Pada tahapan analisa dan pembahasan dilakukan perbandingan nilai CBR yang didapat dari hasil pengujian di laboratorium antara pengaruh penambahan zat aditif pada tanah lempung organik.