

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

2.1.1 Pengertian Tanah

Tanah merupakan lapisan teratas lapisan bumi. Tanah memiliki ciri khas dan sifat-sifat yang berbeda antara tanah di suatu lokasi dengan lokasi yang lain. Menurut Dokuchaev (1870), tanah adalah lapisan permukaan bumi yang berasal dari material induk yang telah mengalami proses lanjut, karena perubahan alami di bawah pengaruh air, udara, dan macam-macam organisme baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Tingkat perubahan terlihat pada komposisi, struktur dan warna hasil pelapukan.

Menurut Das (1988), dalam pengertian teknik secara umum, 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 di antara partikel-partikel padat tersebut).

Menurut Hary Christady Hardiyatmo (2002) tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun 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 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, karbon dioksida, air (terutama yang mengandung asam dan 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, 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, sedangkan pasir digambarkan sebagai jenis tanah yang bersifat tidak kohesif dan tidak plastis.

2.1.2 Jenis Tanah

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.

Menurut Bowles (1989) tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

- a. Berangkal (*boulders*), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).
- b. Kerikil (*gravel*), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
- c. Pasir (*sand*), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm).
- d. Lanau (*silt*), partikel batuan berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai.

- e. Lempung (*clay*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
- f. Koloid (*colloids*), partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Tanah memiliki butiran yang variatif dan keanekaragaman butiran tersebut menjadi batasan ukuran golongan tanah menurut beberapa sistem. Tabel 2.1 merupakan batasan-batasan ukuran golongan tanah.

Tabel 2.1 Batasan-batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
<i>Massachusetts institute of technology (MIT)</i>	>2	2 - 0,06	0,06 - 0,002	<0,002
<i>U.S. Department of Agriculture (USDA)</i>	>2	2 - 0,05	0,05 - 0,002	<0,002
<i>American Association of State Highway and Transportaion Official (AASHTO)</i>	76,2 – 2	2 - 0,075	0,075 - 0,002	<0,002
<i>Unified Soil Classification System (U.s Bureau of Reclamation)</i>	76,2 - 4,75	4,75 - 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung <0,075)	

(Sumber : Braja M.Das, 1988)

2.2 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah pengelompokan berbagai jenis tanah ke dalam kelompok yang sesuai dengan karakteristiknya. Sistem klasifikasi ini menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi namun tidak ada yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai kemungkinan pemakainya (Das, 1988). Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data

dasar. seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989 dalam Adha 2014).

Dalam ilmu mekanika tanah terdapat dua sistem klasifikasi yang umum dikelompokkan . kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas *Atterberg*, sistem-sistem tersebut adalah :

- a. Sistem Klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Official* (AASHTO)

Sistem ini dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini telah mengalami beberapa perbaikan, yang berlaku saat ini adalah yang diajukan oleh *Commitee on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* pada tahun 1945 (*American Society for Testing and Materials* (ASTM) Standar No. D-3282, AASHTO model M105).

Sistem klasifikasi AASHTO bermanfaat untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Karena sistem ini ditujukan untuk pekerjaan jalan tersebut, maka penggunaan sistem ini dalam prakteknya harus dipertimbangkan terhadap maksud dan tujuan aslinya. Sistem ini membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35 % butirannya tanah lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Adapun sistem klasifikasi AASHTO ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut :

Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini :

- 1) Ukuran Butir

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

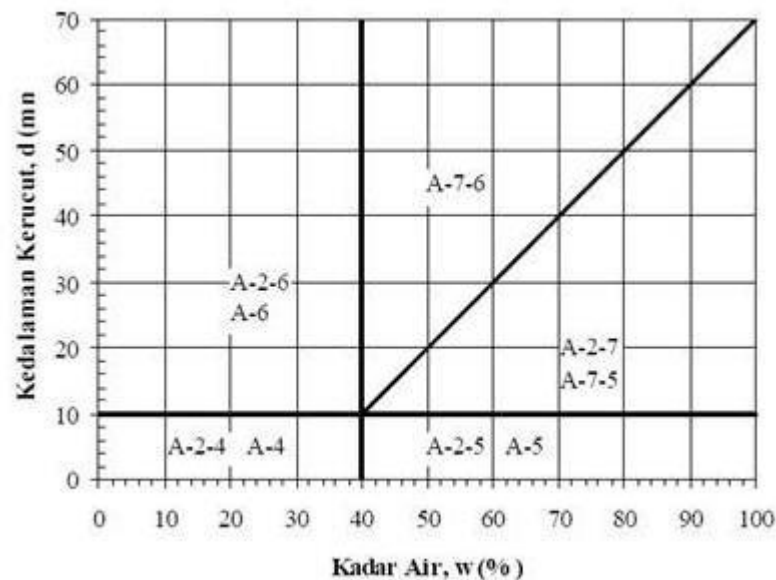
Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0.075 mm).

Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

2) Plastisitas

Plastisitas merupakan kemampuan tanah menyesuaikan perubahan bentuk pada volume konstan tanpa retak-retak atau remuk. Bergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat.

Tingkat keplastisan suatu tanah umumnya ditunjukkan dari nilai indeks plastisitas, yaitu selisih nilai batas cair dan batas plastis suatu tanah. 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 sebesar 11 atau lebih.



(Sumber : AASHTO)

Gambar 2.1 Diagram Plastisitas untuk Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

- 3) Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan dalam sampel tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-

batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi persentase tanah yang dikeluarkan harus dicatat.

Apabila dalam sistem klasifikasi AASHTO dipakai untuk mengklasifikasi tanah, maka data dari uji di cocokan dengan angka-angka yang diberikan dalam Tabel 2.2 dari kolom sebelah kiri ke kolomsebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai (Das, 1988)

Tabel 2.2 Klasifikasi tanah sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35 atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							Tanah lanau-lempung (lebih dari 35 % dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi Kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5* A-7-6*
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	≤ 50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	≤ 30	≤ 50	≤ 51	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≥ 36	≥ 36	≥ 36	≥ 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 batas cair (LL)	---	---	---	≤ 41	≥ 41	≤ 40	≥ 40	≤ 40	≤ 41	≤ 40	≥ 41
Indeks elastisitas (PI)	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan dasar tanah	Baik sekali sampai baik							sedang sampai jelek			

Keterangan :

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

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

(Sumber : Das, 1988)

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

Klasifikasi ini pada awalnya diperkenalkan oleh Casagrande pada tahun 1942 untuk digunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang (Das, 1988). Pada sistem ini pada garis besarnya membedakan tanah atas tiga kelompok besar, yaitu :

- 1) Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), kurang dari 50% lolos saringan No. 200, yaitu tanah berkerikil dan berpasir. Simbol kelompok ini dimulai dari huruf awal **G** untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil dan **S** untuk pasir (*Sand*) atau tanah berpasir.
- 2) Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), lebih dari 50 % lolos saringan No. 200, yaitu tanah berlanau dan berlempung. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal **M** untuk lanau anorganik, **C** untuk lempung anorganik, dan **O** untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol **Pt** digunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi.
- 3) Tanah organik (gambut/humus), secara laboratorium dapat ditentukan jika perbedaan batas cair tanah contoh yang belum dioven dengan yang telah dioven sebesar $> 25\%$.

Simbol-simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi USCS, adalah :

- W** = tanah dengan gradasi baik (*wells graded*)
P = tanah dengan gradasi buruk (*poorly graded*)
L = tanah dengan plastisitas rendah (*low plasticity*), $LL < 50$
H = tanah dengan plastistas tinggi (*high plasticity*), $LL > 50$

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 persentase 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 2.3

Tabel 2.3 Sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System (USCS)*

Divisi		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi			
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar (lebih dari 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.	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus: Kurang dari 50% lolos saringan no. 200; GM, GP, SW, SP. Lebih dari 50% lolos saringan no. 200; GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan no. 200; Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel</p>			
		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		Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas Atterberg berada di daerah arsis dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$		
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	SW			$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
			SP		Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 80$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ atau 1 dan 3	
		Pasir bersih kandungan butiran halus	SM		Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas Atterberg berada di daerah arsis dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
			SC		Pasir berlanau, campuran pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$	
	<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)</p>	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau bertempung	ML			<p>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.</p> <p>Batas Cair LL (%) Garis A: $PI = 0,73 (LL - 20)$</p>	
			CL		Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('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	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat ASTM Designation D-2488				

(Sumber : Bowles, 1989)

Adapun menurut Bowles (1991) dalam Septayani (2016), kelompok-kelompok tanah utama pada sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS) diperlihatkan pada Tabel 2.4 berikut ini :

Tabel 2.4 Klasifikasi Tanah *Unified Soil Classification System* (USCS)

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

(Sumber : Bowles, 1991)

Keterangan :

- G = Untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil (*gravelly soil*)
- S = Untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*)
- M = Untuk lanau anorganik (*inorganic silt*)
- C = Untuk lempung inorganik (*inorganic clay*)
- O = Untuk lanau dan lempung organik (*organic*)
- Pt = Untuk gambut (*peat*) dan tanah dengan kandungan organik tinggi
- W = Untuk gradasi baik (*well graded*)
- P = Gradasi buruk (*poorly graded*)
- L = Plastisitas rendah (*low plasticity*)
- H = Plastisitas tinggi (*high plasticity*)
- LL = Batas cair (*liquid limit*)

2.3 Tanah Lempung

2.3.1 Definisi Tanah Lempung

Definisi tanah lempung menurut beberapa ahli, antara lain :

1. Terzaghi (1987)

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.

2. DAS (1988)

Merupakan tanah yang terdiri dari partikel-partikel tertentu yang menghasilkan sifat plastis apabila dalam kondisi basah.

3. Bowles (1991)

Mendefinisikan tanah lempung sebagai deposit yang mempunyai partikel berukuran lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm dalam jumlah lebih dari 50 %.

4. 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.

Menurut Mitchell (1976), mineralogi merupakan faktor utama untuk mengontrol, ukuran, bentuk, sifat-sifat fisik dan kimia dari partikel tanah. 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). Disini

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 $< 1 \mu\text{m}$ ($2 \mu\text{m}$ 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.

2.3.2 Struktur Mineral Penyusun Lempung

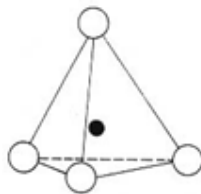
Mineral lempung merupakan senyawa aluminium silikat yang kompleks. Mineral ini terdiri dari dua lempung kristal pembentuk kristal dasar, yaitu silika tetrahedra dan aluminium oktahedra (Das. Braja M, 1988).

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.

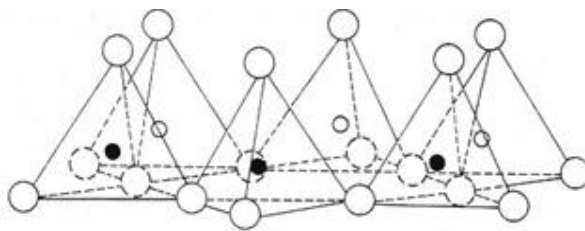
Dalam terminologi ilmiah, lempung adalah mineral asli yang mempunyai sifat plastis saat basah, dengan ukuran butir yang sangat halus

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 μm = 0,000001 m), meskipun ada klasifikasi yang menyatakan bahwa batas atas lempung adalah 0,005 m (ASTM).

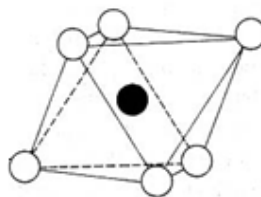
Menurut Das. Braja (1988), satuan struktur dasar dari mineral lempung terdiri dari *silika tetrahedron* dan *aluminium oktahedron*. Satuan-satuan dasar tersebut bersatu membentuk struktur lembaran seperti yang digambarkan pada Gambar 2.2 sampai dengan Gambar 2.5 berikut ini. Jenis-jenis mineral lempung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



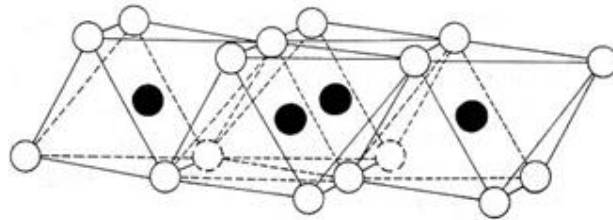
Gambar 2.2 *Single Silika Tetrahedral* (Das Braja M, 1988)



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



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



Gambar 2.5 *Isometric Octahedral 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.

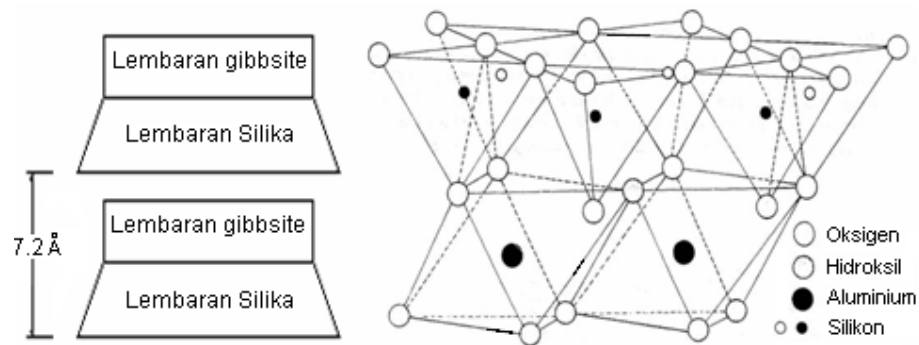
Jika ditinjau dari mineraloginya, lempung terdiri dari berbagai mineral penyusun, antara lain mineral lempung (*kaolinite*, *montmorillonite* dan *illite group*) dan mineral-mineral lain yang mempunyai ukuran sesuai dengan batasan yang ada (*mika group*, *serpentinite group*).

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 oktahedran (*gibbsite*) membentuk satu unit dasar dengan tebal kira-kira 7,2 Å ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$) seperti yang terlihat pada Gambar 2.6. 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

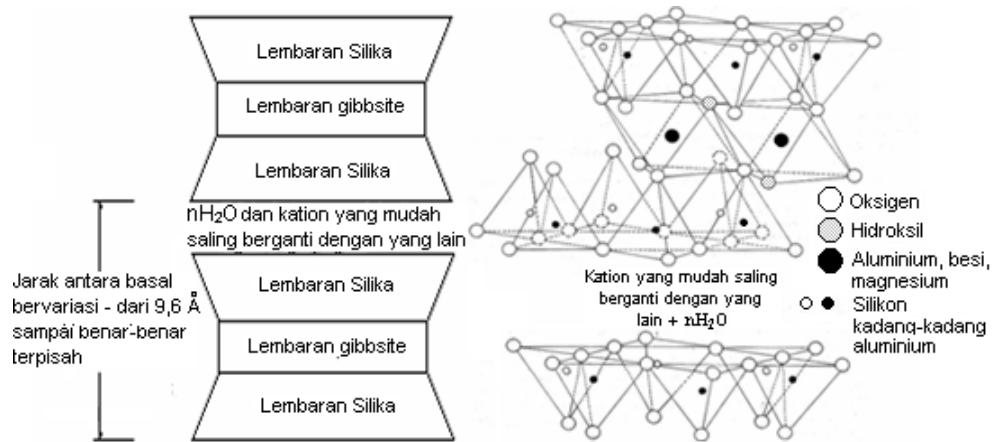
100 Å sampai 1000 Å dengan luasan spesifik per unit massa ± 15 m²/gr.



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 μm), seperti ditunjukkan Gambar 2.7 dibawah ini sebagaimana dikutip Das. Braja M (1988). Hubungan antara satuan unit diikat oleh ikatan gaya Van der Walls, 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.



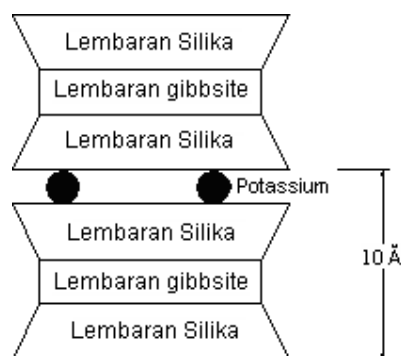
Gambar 2.7 Struktur *Montmorillonite* (Das Braja M, 1988)

3. *Illite*

Mineral *illite* mempunyai hubungan dengan mika biasa, sehinggadinamakan pula *hidrat-mika*.

Illite memiliki formasi struktur satuan kristal, tebal dan komposisi yang hampir sama dengan *montmorillonite*. Adapun perbedaannya terletak pada :

- Pengikatan antar unit kristal terdapat pada kalium (K) yang berfungsi sebagai penyeimbang muatan, sekaligus sebagai pengikat.
- 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*.

Chen (1975) membedakan jenis mineral lempung berdasarkan pada tebal dan diameter partikel, luas permukaan spesifik butiran dan kapasitas pertukaran kation seperti terlihat pada Tabel 2.5 berikut :

Tabel 2.5 Kisaran Kapasitas Tukar Kation

	<i>Kaolinite</i>	<i>Illite</i>	<i>Montmorillonite</i>
<i>Particle thickness</i>	(0,5 - 2) μm	(0,003 - 0,1) μm	<9,5Å
<i>Particle diameter</i>	(0,5 - 4) μm	(0,5 - 10) μm	(0,05 - 10) μm
<i>Spesific surface (sq. m/gram)</i>	10 - 20	65 - 180	50 - 480
<i>cation exchange capacity (millequivalents per 100 gram)</i>	3 - 15	10 - 40	70 - 80

Keterangan: 1Å=10⁻¹⁰m=0,1 μm

(Sumber : (Chen, 1975)

2.3.3 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 lapisan-lapisan 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 :

$$\text{Aktivitas} = \frac{\text{Indeks Plastisitas}}{C}$$

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 2.6.

Tabel 2.6 Aktivitas Tanah Lempung

Minerologi tanah lempung	Nilai Aktivitas
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 flok (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 dinetralisir 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 negative 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 didalam 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 antarpartikel akan membentuk keseimbangan baru. Perubahan jarak antarpartikel 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 :

- a) Tipe dan jumlah mineral yang ada di dalam tanah.
- b) Kadar air.
- c) Susunan tanah.
- d) Konsentrasi garam dalam air pori.
- e) Sementasi.
- f) Adanya bahan organik.

2.4 Tanah Lempung Ekspansif

Tanah lempung ekspansif (*expansive soil*) adalah tanah lempung yang lunak dan mudah tertekan sehingga sering menjadi masalah dalam pelaksanaan konstruksi. Tanah ini tersusun dari mineral lempung yang mengandung mineral *montmorillonite* yang mempunyai sifat kembang susut yang tinggi jika terjadi perubahan kadar air. Adapun sifat-sifat kurang baik yang disebabkan tanah ekspansif, yaitu mempunyai plastisitas yang tinggi sehingga sulit dipadatkan, dan permeabilitas rendah sehingga air susah keluar dari tanah.

Proses pengembangan (*swelling*) terjadi karena kandungan air yang tinggi, sehingga tanah yang jenuh air ini akan mengembang dan tegangan efektif tanah akan mengecil seiring dengan peningkatan tegangan air pori. Begitu juga sebaliknya saat terjadi proses susut (*shrinkage*) pada tanah. Tanah yang kehilangan air secara tiba-tiba akan mengalami penyusutan volume pori akibat kehilangan air. Hal ini akan menyebabkan tanah mengalami kembang susut yang besar. Untuk memperbaiki sifat tanah ekspansif tersebut, tanah ekspansif umumnya distabilisasi dengan bahan- bahan yang sesuai dengan sifat tanah lempung sehingga menjadi lebih baik dan memenuhi syarat sebagai bahan konstruksi.

Tanah lempung sebagian besar terdiri atas partikel mikroskopis yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, dan mineral-mineral tanah berbutir halus atau butir-butir koloid dengan ukuran butiran partikel tanah $<0,002$ mm. Namun dalam beberapa kasus partikel berukuran antara 0,002 sampai 0,005 mm juga masih digolongkan sebagai partikel lempung.

Karakteristik tanah ekspansif dipengaruhi oleh dua hal, yaitu faktor mikroskopik dan faktor makroskopik. Yang dimaksud faktor mikroskopik adalah faktor-faktor dalam tanah yang menyebabkan tanah ekspansif mengalami kembang susut, antara lain: mineralogi tanahnya, perilaku air dan jumlah *exchangeable cation* serta besarnya *specific surface* dari partikel tanah. Sedangkan yang dimaksud faktor makroskopik adalah properti tanah secara fisik, antara lain indeksplastisitas dan berat volume tanah.

Faktor-faktor makroskopik tanah ekspansif dipengaruhi oleh perilaku mikroskopiknya. Yang terjadi pada skala mikro akan mempengaruhi skala makro tanah ekspansif. Faktor makroskopik tanah ekspansif adalah faktor yang menunjukkan perilaku kembang susut tanah. Batas Atterberg merupakan salah satu parameter yang termasuk karakteristik makroskopis tanah yang dapat digunakan sebagai indikator untuk mengetahui potensi kembang susut tanah.

Dilihat dari skala makronya, karakteristik tanah ekspansif yang berpotensi besar untuk mengalami kembang susut, secara umum mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

1. Mempunyai harga batas cair dan indeks plastisitas yang tinggi.
2. Mempunyai harga *swelling* indeks yang besar.
3. Mempunyai kandungan organik.

➤ **Identifikasi Tanah Kembang Susut Tinggi (Ekspansif)**

Cara-cara yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif ada tiga cara, yaitu :

1. Identifikasi Mineralogi

Analisa mineralogi sangat berguna untuk mengidentifikasi potensi kembang susut suatu tanah lempung. Identifikasi dilakukan dengan cara :

- a) Difraksi sinar X (*X-Ray Diffraction*)
- b) Penyerapan terbilas (*Dye Absorption*)
- c) Penurunan panas (*Differential Thermal Analysis*)
- d) Analisa kimia (*Chemical Analysis*)
- e) *Electron microscope resolution*

2. Cara Tidak Langsung

Hasil uji sejumlah indeks dasar tanah dapat digunakan untuk evaluasi berpotensi ekspansif atau tidak pada suatu contoh tanah. Uji indeks dasar adalah sebagai berikut :

a) Batas-batas Atterberg

Tanah ekspansif dapat diidentifikasi berdasarkan keamatan hubungan potensi pengembangan dengan indeks plastisitas seperti dalam Tabel 2.7 berikut ini :

Tabel 2.7 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
7-17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

b) Kembang Susut Tanah (*Swelling*)

c) Aktivitas Tanah

3. Cara Langsung

Metode pengukuran terbaik adalah dengan pengukuran langsung, yaitu suatu cara untuk menentukan potensi pengembangan dan tekanan pengembangan dari tanah ekspansif dengan menggunakan *Oedometer Terzaghi*. Contoh tanah yang berbentuk silinder tipis diletakkan dalam konsolidometer yang dilapisi dengan lapisan pori pada sisi atas dan bawahnya yang selanjutnya diberi beban sesuai dengan yang diinginkan. Besarnya pengembangan contoh tanah dibaca beberapa saat setelah tanah dibasahi dengan air. Besarnya pengembangan adalah pengembangan tanah dibagi dengan tebal awal contoh tanah.

Terdapat dua cara pengukuran tekanan pengembangan yang umum digunakan. Cara pertama yaitu pengukuran dengan beban tetap sehingga mencapai persentase mengembang tertinggi, kemudian contoh tanah diberi tekanan untuk kembali ke tebal semula. Cara kedua yaitu contoh tanah direndam dalam air dengan mempertahankan volume atau

mencegah terjadinya pengembangan dengan cara menambah beban di atasnya setiap saat. Metode ini sering juga disebut *constan volume method*.

2.5 Perkerasan Jalan

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 (*subgrade*) dan roda kendaraan, yang berfungsi untuk mengurangi intensitas beban roda kendaraan pada permukaan tanah dasar dan disebut struktur perkerasan jalan.

Perencanaan tebal perkerasan jalan yang baik dan benar memiliki beberapa kriteria yang harus dipenuhi agar hasil perencanaan berjalan optimal. Kriteria perencanaan tersebut antara lain fungsi jalan, umur rencana, lalu lintas, sifat tanah dasar, kondisi lingkungan dan ketersediaan material lapis perkerasan yang ada di suatu daerah tersebut.

Hardiyatmo (2015) menyatakan fungsi utama perkerasan adalah menyebarkan beban roda ke area permukaan tanah dasar yang lebih luas dibandingkan luas kontak roda dan perkerasan, sehingga mereduksi tegangan maksimum yang terjadi pada tanah dasar, yaitu pada tekanan dimana tanah dasar tidak mengalami deformasi berlebihan selama masa pelayanan perkerasan. Secara umum, fungsi perkerasan jalan adalah sebagai berikut.

1. Untuk memberikan struktur yang kuat dalam mendukung beban lalu lintas.
2. Untuk memberikan permukaan rata bagi pengendara.
3. Untuk memberikan kekasatan atau tahanan gelincir (*skid resistance*) di permukaan perkerasan.
4. Untuk mendistribusikan beban kendaraan ke tanah dasar secara memadai, sehingga tanah dasar terlindungi dari tekanan yang berlebihan.
5. Untuk melindungi tanah dasar dari pengaruh buruk perubahan cuaca.

Menurut Hardiyatmo (1996) kekuatan dan keawetan struktur perkerasan jalan, akan sangat tergantung pada sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Tanah dasar merupakan bagian dasar, dimana pondasi bawah (*subbase*), pondasi (*base*)

atau perkerasan berada. 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. Di atas tanah dasar akan disusun lapisan pondasi bawah (*sub-base course*), lapis pondasi atas (*base course*) dan lapis permukaan (*surface course*).

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.

2.6 Tanah Pasir

Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai dengan 5 mm. Berkisar dari kasar (3 mm sampai 5 mm) dan halus (<1 mm). Jenis tanah yang termasuk tipe pasir atau kerikil (disebut juga tanah berbutir kasar) jika,

setelah kerakal atau berangkalnya disingkirkan, lebih dari 65% material tersebut berukuran pasir dan kerikil (Craig, 1974). Secara visual, tanah pasir dapat ditentukan melalui teksturnya, dan dengan berdasarkan penampilan tekstur ini pula tanah pasir lebih mudah untuk diklasifikasikan.

Berdasarkan ukuran butirannya tanah pasir mempunyai ukuran yang berbeda sesuai dengan standar yang digunakan. Berdasarkan standar AASHTO, jenis tanah yang digolongkan pasir adalah bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0.075 mm) sedangkan menurut standar USCS jenis tanah yang digolongkan pasir adalah tanah di mana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200 (0.075 mm). Pasir merupakan jenis tanah nonkohesif, yang mana mempunyai sifat lepas (*loose*) antara butiran-butirannya apabila dikeringkan dan hanya akan melekat apabila dalam keadaan yang disebabkan oleh gaya tarik permukaan. Adhesi semu (*apparent*) antar butiran dalam tanah nonkohesif dapat terjadi akibat gaya tarik kapiler dalam air pori. Tanah ini mempunyai kuat geser kecil atau tidak ada sama sekali jika keadaan kering dan tanah tidak terkekang. Tanah nonkohesif juga tidak mempunyai garis batas antara keadaan plastis dan tidak plastis, karena jenis tanah ini tidak plastis untuk semua nilai kadar air. Berdasarkan mineral yang terkandung di dalamnya, pasir terdiri dari sebagian mineral *quartz* (kwarsa) dan *feldspar*.

2.7 Stabilisasi Tanah

Sebagai salah satu hal penting dalam mendukung sebuah konstruksi tetap aman, tanah sebagai penahan beban haruslah memiliki daya dukung yang cukup untuk menahan beban dari konstruksi. Tanah yang bersifat sangat lepas, sangat mudah tertekan, mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas yang terlalu tinggi atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu konstruksi bangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan. Stabilisasi tanah adalah proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan atau memodifikasi struktur lapisan tanah agar dapat menaikkan daya dukung tanah, mempertahankan kekuatan geser dan mengurangi terjadinya deformasi tanah.

Menurut Bowles (1991) dalam Jatmiko (2014), beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilkan tanah adalah sebagai berikut :

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

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 No. 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.

Stabilitas tanah dilakukan untuk mengubah sifat-sifat dari material yang ada dan kurang baik menjadi material yang memiliki sifat yang lebih baik sehingga stabilitasi ini dapat memenuhi kebutuhan perencanaan konstruksi yang diinginkan. Pemilihan stabilitasi yang digunakan selalu didasarkan atas respon dari tanah tersebut terhadap stabilitasi 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 deformasi dan retak-retak pada permukaan jalan.

Untuk mengukur volume yang terjadi biasanya diadakan percobaan *swelling potential* di laboratorium. 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 *water proofing* 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 rembesan 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.

2.8 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.

2.8.1 Pengujian Pasir

1. Pengujian Analisa Saringan

Modulus halus butir (MHB) ialah suatu indeks yang dipakai untuk ukuran kehalusan atau kekerasan butiran pasir. Maka semakin besar nilai modulus halus menunjukkan bahwa makin besar ukuran butir-butir pasirnya.

Analisa saringan pasir berguna untuk menentukan suatu persentase berat dari butiran pasir yang lolos dari saringan. Adapun pengujian ini dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

Perhitungan :

$$\text{MHB} = \frac{\% \text{ kumulatif pasir tertinggal}}{100}$$

2. Pengujian Berat Jenis

Berat jenis adalah rasio antara massa padat pasir dan massa air dengan volume sama dan pada suhu yang sama pula. Pengujian ini digunakan untuk menentukan volume yang diisi oleh pasir. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

Perhitungan :

a) Berat jenis kering (*bulk dry specific gravity*)

$$= \frac{B_2}{(B_3 + 500) - B_1}$$

b) Berat jenis jenuh kering permukaan/SSD (*bulk SSD specific gravity*)

$$= \frac{500}{(B_3 + 500) - B_1}$$

3. Pengujian Bobot Isi

Pengujian ini berguna untuk menghitung berat isi dalam kondisi padat atau gembur dan rongga udara dalam pasir. Pengujian dalam kondisi padat dilakukan dengan cara ditusuk sedangkan dalam kondisi gembur dengan cara memasukan pasir sampai penuh lalu diratakan. Bobot isi kering udara pasir dihitung dalam kondisi kering oven dan kering permukaan. Pada kondisi padat dan gembur memiliki berat isi yang berbeda karena pada berat isi gembur masih terdapat rongga-rongga udara, berbeda dengan bobot isi padat yang dipadatkan dengan cara ditusuk sehingga berat isi padat lebih berat daripada berat isi gembur karena berat isi padat tidak memiliki rongga udara. Berat isi pada pasir sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti berat jenis, gradasi pasir, bentuk pasir, diameter maksimum pasir. Adapun dalam pengujian ini digunakan rumus :

Perhitungan :

a) Bobot isi gembur

$$= \frac{\text{berat silinder} + \text{pasir gembur}}{\text{volume silinder}} \times 100\%$$

b) Bobot isi padat

$$= \frac{\text{berat silinder} + \text{pasir padat}}{\text{volume silinder}}$$

2.8.2 Pengujian Sifat Fisis Tanah

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

1. Pengujian *Specific Gravity* (GS)

Berat jenis atau *specific 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 :

$$GS = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Perhitungan :

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

Keterangan:

GS = Berat jenis butiran

W_1 = Berat piknometer (gram)

W_2 = Berat piknometer + tanah kering (gram)

W_3 = Berat piknometer + tanah + air (gram)

W_4 = Berat piknometer + air (gram)

γ_s = Berat volume butiran padat (gram)

γ_w = Berat volume air (gram)

2. 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 plastis, 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

b) Batas Plastis (*Plastic 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.

Tabel 2.8 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)

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. *Linear 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 Tabel 2.8.

Rumus :

$$PI = LL - PL$$

Keterangan :

PI = Indeks plastisitas

LL = Batas cair

PL = Batas plastis

3. 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.

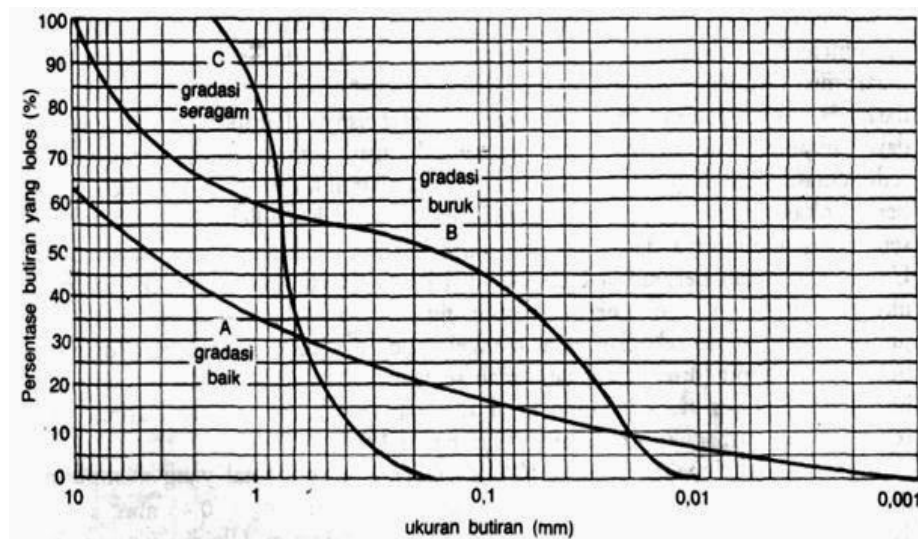
a) Tanah berbutir kasar

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 2.9).



(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Gambar 2.9 Analisis Distribusi Ukuran Butir

Perhitungan :

- Presentase tanah yang tertinggal pada masing-masing ayakan

Rumus :

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

- Presentase kumulatif tanah yang tertinggal pada ayakan
= jumlah presentase tanah yang tertinggal pada semua ayakan yang lebih besar

4. 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 . 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 (N)

Perhitungan :

$$N = \frac{G_s}{G_s - 1} \cdot \frac{V}{W_s} \gamma_c (r - r_a) \times 100 \% \text{ (kalikan 1/1000)}$$

Keterangan :

N = Persen lebih halus dari ayakan No. 200

G_s = Berat jenis tanah

V = Volume suspensi (1000 cc)

W_s = Berat jenis tanah kering

γ_c = berat jenis air pada suhu pengujian

r = Pembacaan hidrometer pada suspensi

r_a = Pembacaan hidrometer pada air

2.8.3 Pengujian Sifat Mekanis Tanah

Adapun pengujian sifat mekanis ini terdiri dari :

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*.

Untuk setiap daya pemadatan tertentu kepadatan yang tercapai tergantung pada banyaknya air didalam tanah tersebut yaitu kadar airnya. Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Air dalam pori tanah berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) tanah, sehingga butiran tanah tersebut lebih mudah bergerak atau bergeser satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih padat atau rapat.

Dalam suatu usaha pemadatan, berat volume kering tanah akan meningkat seiring dengan kenaikan kadar air tanah, tetapi pada kadar air tanah tertentu penambahan air justru cenderung menurunkan berat volume kering tanah. Hal ini disebabkan karena air tersebut kemudian akan menempati ruang-ruang pori dalam tanah yang sebetulnya dapat ditempati oleh partikel-partikel tanah. Kadar air saat berat volume kering mencapai maksimum (γ_{dmak}) disebut kadar air optimum (W_{opt}).

Pemadatan juga dapat mengurangi besarnya penurunan tanah yang tidak diinginkan dan meningkatkan kemantapan lereng timbunan, atau dengan kata lain maksud dari pemadatan adalah :

- a) Mempertinggi kuat geser tanah
- b) Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas)
- c) Mengurangi permeabilitas
- d) Mengurangi perubahan volume sebagai akibat penurunan kadar air

Untuk pengujian pemadatan tanah di laboratorium dilakukan dengan pengujian Proctor Standar (*Standart Compaction Test*). Dalam hal ini Proctor mendefinisikan empat variabel pemadatan tanah, yaitu :

- a) Usaha pemadatan (energi pemadatan).
- b) Jenis tanah (gradasi kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel dan sebagainya).
- c) Kadar air.
- d) Berat isi kering (proctor menggunakan angka pori)

Pada pengujian ini, pemadatan dilakukan pada tanah asli dan campuran dengan menggunakan cetakan serta alat pemukul dengan tinggi jatuh tertentu. Hal ini bertujuan untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum pada pengujian tersebut.

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 $\times 1000$
- 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 merupakan suatu perbandingan antara beban penetrasi (*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.

Cara CBR ini pertama kali ditemukan oleh O.J. Porter, kemudian 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. Selain 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 tanah dasar yang dipadatkan.

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 akan mengurangi ketebalan lapis perkerasan yang berada di atas tanah dasar (*subgrade*), begitu pula sebaliknya.

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.

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*).

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)

$$\text{CBR (\%)} = \frac{P_1 \text{ (psi)}}{1000 \text{ (psi)}} \times 100\%$$

- Penetrasi 0,2 “ (0,508 cm)

$$\text{CBR (\%)} = \frac{P_2 \text{ (psi)}}{1500 \text{ (psi)}} \times 100\%$$

Keterangan :

P_1 = Tekanan pada penetrasi 0,1” (psi)

P_2 = 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 \times berat benda uji
- Penambahan additive = Persentase additive \times kadar air normal
- Penambahan air = Kadar air normal – persentase penambahan additive

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

2.9 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji asli dengan mencampur tanah asli yaitu tanah lempung ekspansif dengan penambahan zat aditif dan air dengan presentase penambahan aditif pada penelitian ini sebesar 0%, 7,5%, 15% dan 22,5% .

2.10 Analisa dan Pembahasan

Pada tahapan analisa dan pembahasan dilakukan perbandingan nilai CBR yang didapat dari hasil pengujian di laboratorium antara pengaruh penambahan pasir pada tanah lempung A-7-6.