

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, 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 diantara partikel-partikel (Hardiyatmo, 2010). Ruang di antara 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 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 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-butir ukuran lanau maupun pasir, dan mungkin terdapat campuran bahan organik. Ukuran partikel

tanah dapat bervariasi dan lebih besar dari 100 mm sampai lebih kecil dari 0,001 mm.

Tabel 2.1 Batasan-batasan Golongan Tanah

Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 - 0,06	0,06 - 0,002	< 0,002
U.S Departement of Agriculture (USDA)	> 2	2-0,05	0,05 - 0,002	< 0,002
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76,2 – 2	2 - 0,075	0,075 - 0,002	< 0,002
Unified Soil Clasissification System (USCS)	76,2 – 4,75	4,75 - 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) <0,0075	

(Sumber : Das, 1993)

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 granular. 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 H_2S , CO_2 , 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.

2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan sub-sub kelompok berdasarkan pemakaiannya (Das,1993). Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk

menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang rinci. Klasifikasi tanah sangat membantu perancang dalam memberikan pengarahannya melalui cara empiris yang tersedia dari hasil penelitian yang telah lalu.

2.2.1 Klasifikasi berdasarkan tekstur

Dalam arti umum, yang dimaksud dengan tekstur adalah keadaan permukaan tanah yang bersangkutan. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran butiran tiap-tiap butir yang ada didalam tanah. Menurut pengklasifikasian tanah berdasarkan teksturnya terbagi dalam beberapa kelompok: kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*) dan lempung (*clay*), atas dasar ukuran butirannya. Pada umumnya tanah asli merupakan campuran butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Dalam sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur, tanah diberi nama atas dasar komponen utama yang dikandungnya, misalnya lempung berpasir (*sandy clay*), lempung berlanau (*silty clay*), dan seterusnya.

2.2.2 Klasifikasi berdasarkan pemakaian

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur adalah relatif sederhana karena ia hanya didasarkan pada distribusi ukuran tanah saja. Dalam kenyataannya, jumlah dan jenis dari mineral lempung yang dikandung oleh tanah sangat mempengaruhi sifat fisis tanah yang bersangkutan. Oleh karena itu, kiranya perlu untuk memperhitungkan sifat plastisitas tanah, yang disebabkan adanya kandungan mineral lempung agar dapat menafsirkan ciri-ciri suatu tanah, dan secara keseluruhan tidak menunjukkan sifat-sifat tanah yang penting, maka sistem tersebut dianggap tidak memadai untuk sebagian besar dari keperluan teknik. Sistem klasifikasi yang banyak digunakan dalam bidang geoteknik adalah *Unified Soil Classification System (USCS)* dan sistem klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*.

Sistem klasifikasi AASHTO dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini berguna untuk menentukan kualitas tanah guna perencanaan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Menurut sistem AASHTO membagi tanah menjadi 8 kelompok, A-1

sampai dengan A-8 termasuk sub-sub kelompok Tabel 2.2. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang dilakukan adalah analisa saringan dan batas-batas Atterberg.

Tabel 2.2 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 2.3 Klasifikasi Tanah Sistem *AASHTO*

Klasifikasi Umum	Tanah Granuler	Tanah mengandung Lanau-Lempung				
Kelompok	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7	
	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 ²	41 min	40	41	40 min	40	41 min
Indeks Plastisitas ³	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, 1993)

Indeks kelompok (*Group Index*) yang selanjutnya disingkat menjadi GI digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan :

$$GI = (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15)(PI - 10) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

GI : indeks kelompok (*group index*)

F : persen material lolos saringan No 200

PI : indeks plastisitas (%)

LL : Batas Cair

Bila nilai (GI) semakin tinggi, maka kualitas tanah semakin berkurang. Tanah granuler diklasifikasikan ke dalam klasifikasi A-1 sampai A-3. A-1 adalah tanah granuler yang bergradasi baik, sedangkan A-3 adalah tanah granuler yang bergradasi buruk. A-2 termasuk tanah granuler (kurang dari 35 % lewat saringan No. 200), tetapi masih terdiri atas tanah lanau dan lempung. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung-lanau. Beda keduanya didasarkan batas-batas Atterberg.

Sistem klasifikasi Unified mulanya diperkenalkan oleh Casagrande pada tahun 1942 untuk dipergunakan dalam pekerjaan pembuatan lapangan terbang oleh *The Army Corps of engineers* selama perang dunia II. Pada masa kini, sistem

klasifikasi Unified digunakan secara luas oleh para ahli teknik. Pada Sistem Unified, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (Kerikil dan Pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat pada Tabel 2.4

Simbol-simbol yang digunakan tersebut adalah:

- G = Kerikil (*Gravel*)
- S = Pasir (*Sand*)
- C = Lempung (*Clay*)
- M = Lanau (*Silt*)
- O = Lanau atau lempung organik (*Organic silt or clay*)
- Pt = Tanah gambut dan tanah organik tinggi
- W = Gradasi baik (*Well-graded*)
- P = Gradasi buruk (*poorly-graded*)
- H = Plastisitas tinggi (*high-plasticity*)
- L = Plastisitas rendah (*low-plasticity*)

Tabel 2.4 Sistem klasifikasi tanah Unified

Klasifikasi umum		Simbol klasifikasi	Nama jenis	Kriteria klasifikasi		
Tanah berbutir kasar, lebih dari 50% tertahan pada ayakan 75 μ	50% atau lebih bagian kasar dari butiran kasar tertahan pada ayakan 4,76 mm	Kerikil bersih	GW	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, campuran kerikil dan pasir, sedikit atau tanpa butiran halus	$U_c = D_{60}/D_{10}$ $U_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ lebih besar dari 4 bernilai antara 1-3	
			GP	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, campuran kerikil dan pasir, sedikit atau tanpa butiran halus		Tidak sesuai dengan kriteria GW.
		Kerikil berbutir halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil, pasir dan lanau	Batas Atterberg terletak di bawah garis A atau Index Plastisitas < dari 4	Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsir dari diagram di bawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan penggolongan
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil, pasir dan lempung	Batas Atterberg terletak di atas garis A dan Index Plastisitas > dari 7	
	50% atau lebih pasir kasar dari butiran kasar lolos melalui ayakan 4,76 mm	Pasir bersih	SW	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus	$U_c = D_{60}/D_{10}$ $U_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ lebih besar dari 6 bernilai antara 1-3	
			SP	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus		Tidak sesuai dengan kriteria SW
		Pasir berbutir halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir dan lanau	Batas Atterberg terletak di bawah garis A atau Index Plastisitas < dari 4	Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsir dari diagram di bawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan klasifikasi
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir dan lempung	Batas Atterberg terletak di atas garis A atau Index Plastisitas > dari 7	
Tanah berbutir halus lebih dari 50% lolos ayakan 75 μ	Lanau dan lempung LL \leq 50	ML	Lanau inorganik, pasir sangat halus, debu pada, pasir halus berlanau atau berlempung	<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>		
		CL	Lempung inorganik dengan plastisitas rendah atau sedang, lempung dari kerikil Lempung berpasir, lempung berlanau, lempung dengan viskositas rendah			
	Lanau dan lempung LL > 50	OL	Lanau organik dengan plastisitas rendah dan lempung berlanau organik			
		MH	Lanau inorganik, pasir halus atau lanau dari mika atau ganggang (diatomae), lanau elastis			
		CH	Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung dengan viskositas tinggi			
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi			
	Tanah dengan kadar organik tinggi	PT	Gambut, lumpur hitam dan tanah berkadar Organik tinggi lainnya		Dapat dibedakan dengan mata dan tangan ASTM lihat D 2488-66T.	

(sumber : Mekanika tanah 1, Hardiyatmo 2006)

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)

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*.

2.3 Tanah Lempung

Lempung (*Clay*) merupakan partikel tanah yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm (Bowles, 1993). 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.

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.

Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang mempunyai ukuran kurang dari 0,002 mm sama dengan 2 mikron (Das, 1983). Hal ini disebabkan karena terjadinya proses kimiawi yang mengubah susunan mineral batuan asalnya yang disebabkan oleh air yang mengandung asam atau alkali, oksigen dan karbondioksida. Ditinjau dari segi mineralnya lempung didefinisikan sebagai tanah yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila tanah tersebut dicampur dengan air. Lempung terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis yang berbentuk lempengan pipih dan merupakan partikel dari mika, mineral yang sangat halus lainnya.

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.

Konsistensi lempung dan kohesif biasanya dinyatakan dengan istilah lunak, sedang, kaku dan keras. Ukuran kuantitatif konsistensi yang paling langsung adalah beban persatuan luas dimana contoh tanah bebas (*unconfined*) berbentuk silinder atau prisma runtuh dalam uji pemampatan sederhana. Besaran ini dikenal sebagai kekuatan kompresif bebas tanah dan nilai kompresif yang berkaitan dengan analisa derajat konsistensi seperti gambar Tabel 2.6 berikut ini :

Tabel 2.5 konsistensi lempung dalam bentuk kekuatan kompresif

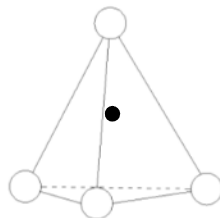
Konsistensi	Kekuatan Kompresif bebas Cu (k/pa)
Sangat lunak	$\leq 12,5$
Lunak	12,5 – 25
Sedang	25 – 50
Kaku	50 – 100
Sangat kaku	100 – 200
Keras	≥ 200

(sumber : NSPM KIMPRASWIL, 2002)

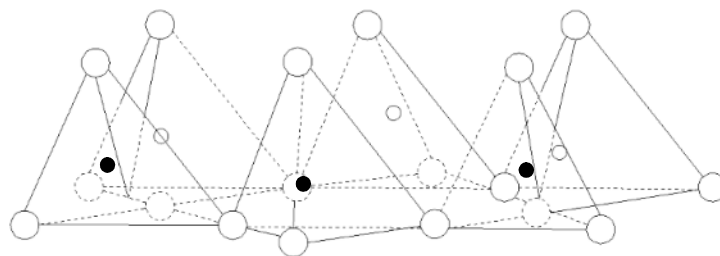
2.3.1 Susunan tanah lempung

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 banyak mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung. Di antaranya terdiri dari kelompok-kelompok : *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite*. Terdapat pula kelompok lain, misalnya : *chlorite*, *vermiculite*, dan *halloysite*.

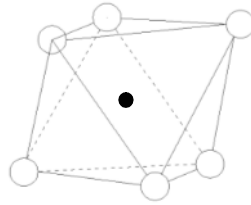
Susunan kebanyakan tanah lempung terdiri dari *silika tetrahedra* dan *aluminium oktahedra*. Silika dan aluminium secara parsial dapat digantikan oleh elemen yang lain dalam kesatuannya, keadaan ini dikenal sebagai *substitusi isomorf*. Kombinasi susunan dari kesatuan dalam bentuk susunan lempeng. Berbagai macam lempung terbentuk oleh kombinasi tumpukan dari susunan lempeng dasarnya dengan bentuk yang berbeda-beda. 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 Das (1993) mineral lempung merupakan senyawa aluminium silikat yang kompleks yang terdiri dari satu atau dua unit dasar yaitu silika tetrahedra dan aluminium oktahedra. Satuan-satuan dasar tersebut bersatu membentuk struktur lembaran seperti yang digambarkan pada Gambar 2.1 sampai dengan Gambar 2.4 berikut ini. Jenis-jenis mineral lempung tergantung dari komposisi susunan satuan struktur dasar atau tumpukan lembaran serta macam ikatan antara masing-masing lembaran.



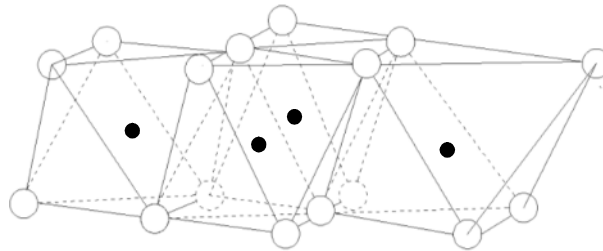
Gambar 2.1 *Single Silika Tetrahedral* (Das Braja M, 1988)



Gambar 2.2 *Isometrik Silika Sheet* (Das Braja M, 1988)

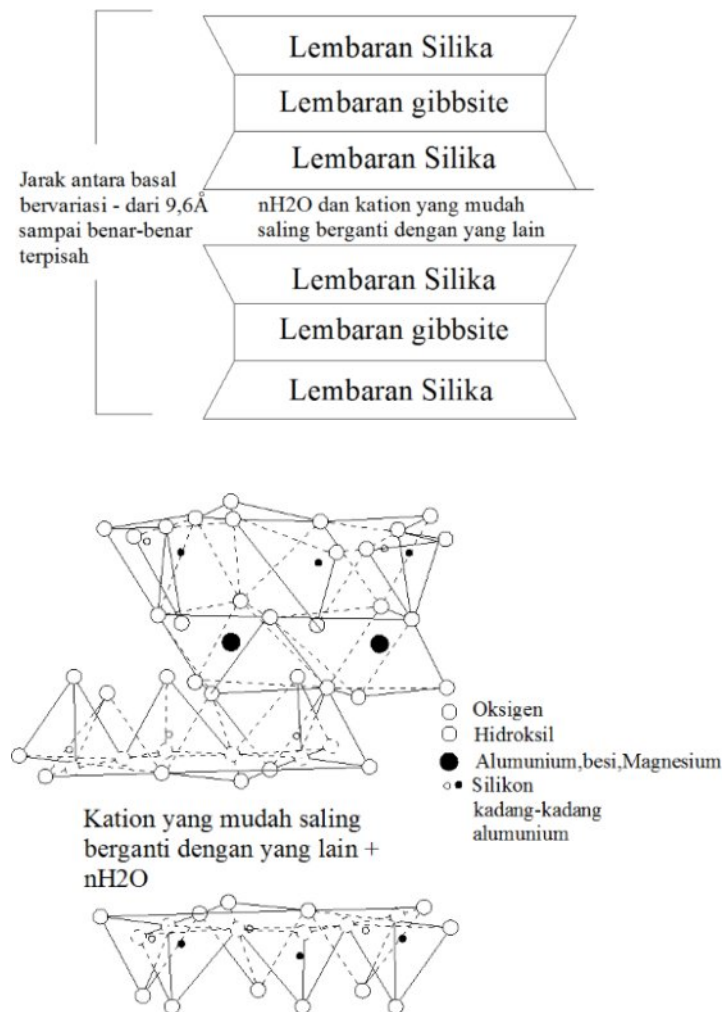


Gambar 2.3 *Single Aluminium Oktahedron* (Das Braja M, 1988)



Gambar 2.4 *Isometric Octahedral Sheet* (Das Braja M, 1988)

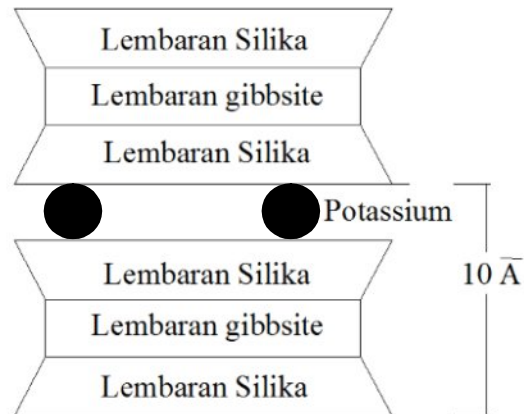
1. Mineral *montmorillonite*, adalah jenis mineral yang mempunyai luas permukaan spesifik terbesar dengan kapasitas pertukaran kation terbesar dari kelompok mineralnya. Mineral *montmorillonite* disebut juga *smectite*, dibentuk oleh dua lembar silika dan satu lembar alumunium (*gibbsite*) selengkapnya dapat dilihat pada gambar 2.5. Lembaran oktahedra tercampur dengan hidroksil dari lembaran oktahedra untuk membentuk satu lapisan alumunium oleh magnesium. Karena adanya gaya ikatan Van der Waals yang lemah di antara ujung lembaran silika dan terdapat kekurangan muatan negatif dalam lembaran oktahedra, air dan ion-ion berpindah-pindah dapat masuk dan memisahkan lapisannya. Jadi, kristal *montmorillite* walaupun sangat kecil, tapi pada waktu tertentu mempunyai gaya tarik yang kuat terhadap air. Tanah-tanah yang mengandung *montmorillonite* sangat mudah mengembang oleh tambahan kadar air. Tekanan pengembangan yang dihasilkan dapat merusak struktur ringan dan perkerasan jalan. Pada *montmorillonite* terjadi substitusi isomorf antara atom-atom magnesium dan besi menggantikan sebagian atom-atom kalium seperti pada *illite*.



Gambar 2.5 Struktur *montmorillonite* (Das Braja M, 1993)

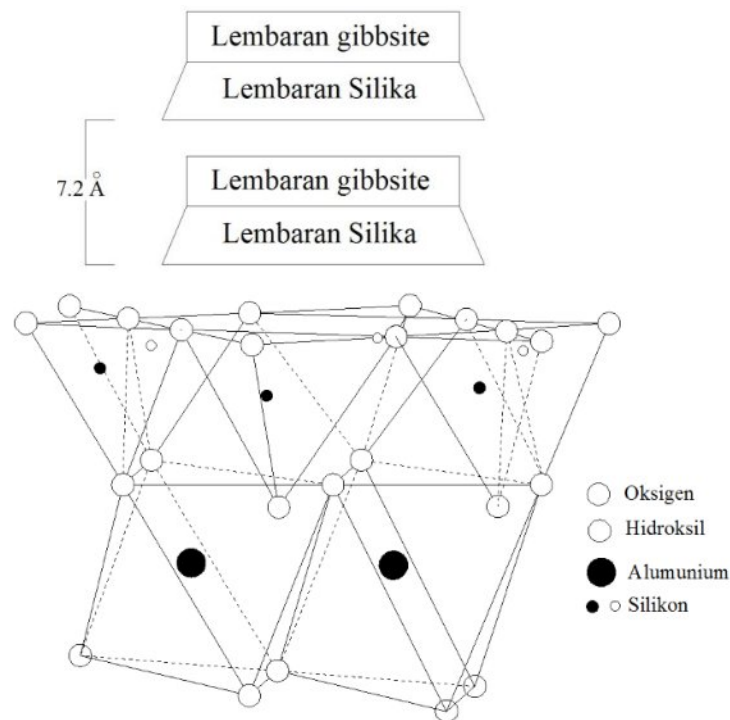
- Mineral *illite*, mineral ini kadang-kadang juga disebut mika lempung. Lapisan-lapisan *illite* terikat satu sama lain oleh ion-ion kalium. Muatan negatif yang diperlukan untuk mengikat ion-ion kalium tersebut didapat dengan adanya penggantian (substitusi) sebagian atom silikon pada lembaran tetrahedra oleh atom-atom aluminium. Bentuk susunan dasarnya terdiri dari sebuah lembaran aluminium oktahedra yang terikat diantara dua lembaran silika tetrahedra. Dalam lembaran oktahedra, terdapat substitusi parsial aluminium oleh magnesium dan besi, dan dalam lembaran tetrahedra terdapat pula substitusi silikon oleh aluminium. Struktur *illite* selengkapnya dapat dilihat pada gambar 2.6. Lembaran-lembaran terikat bersama-sama oleh ikatan lemah ion-ion kalium yang

terdapat di antara lembaran-lembarannya. Ikatan-ikatan dengan ion kalium (K^+) lebih lemah daripada ikatan hidrogen yang mengikat satuan kristal kaolinite, tapi sangat lebih kuat daripada ikatan ionik yang membentuk kristal *montmorillonite*. Susunan *illite* tidak mudah mengembang oleh air di antara lembaran-lembarannya.



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

3. *Kaolinit* merupakan anggota *kaolinite-supertine*, yaitu *hydrus aluminio silicate* yang mempunyai rumus kimia $Al_2Si_2O_5(OH)_4$. Mineral yang berukuran koloidal ini membentuk struktur yang mempunyai 1 (satu) lapis silicate dengan kapasitas pertukaran ion 0,1 meuive/gram. Mineral *kaolnite* terbentuk pada tanah atau batuan dasar yang terletak di daerah tropis lembab. Kaolnite terdiri dari satu lembar alumunium oktahedra, dengan satuan susunan setebal 7,2 Å^o (1 Angstrom (Å^o) = 10⁻¹⁰). Selengkapnya dapat dilihat pada gambar 2.7. Kedua lembaran terikat bersama-sama, sedemikian hingga ujung dari lembaran silika dan satu lapisan lembaran oktahedra membentuk suatu lapisan tunggal. Dalam kombinasi lembaran silika dan alumunium, keduanya terikat oleh ikatan hidrogen. Selengkapnya dapat dilihat pada gambar 2.7. Pada keadaan tertentu partikel *kaolite* mungkin lebih dari seratus tumpukan yang sukar dipisahkan. Karena itu, mineral ini stabil dan air tidak dapat masuk diantara lempengan (air dapat menimbulkan kembang-susut pada sel satuannya).



Gambar 2.7 Struktur *Kaolinite* (Das Braja M, 1993)

2.3.2 Pengaruh air pada tanah lempung

Air biasanya tidak banyak mempengaruhi kelakuan tanah non-koheusif (granuler) sebagai contoh, kuat geser tanah pasir mendekati sama pada kondisi kering maupun jenuh air. Tetapi, jika air berada pada lapisan pasir yang tidak padat, beban dinamis seperti gempa bumi dan getaran lainnya sangat mempengaruhi kuat gesernya. Sebaliknya tanah berbutir halus khususnya tanah lempung akan banyak dipengaruhi oleh air. Karena pada tanah berbutir halus, luas permukaan spesifik menjadi lebih besar, variasi kadar air akan mempengaruhi plastisitas tanah. Distribusi ukuran butir tanah umumnya bukan faktor yang mempengaruhi kelakuan tanah berbutir halus. Identifikasi tanah jenis ini dilakukan dengan mengadakan uji batas-batas Atterberg.

Partikel-partikel lempung mempunyai muatan listrik negatif. Dalam suatu kristal yang ideal, muatan-muatan negatif dan positif seimbang. Akan tetapi, akibat substitusi isomorf dan kontinuitas perpecahan susunannya, terjadi muatan negatif pada permukaan partikel lempung. Untuk mengimbangi muatan negatif tersebut, partikel lempung menarik ion muatan positif (kation) dari garam yang ada di dalam air pori. Hal ini disebut pertukaran ion-ion.

2.3.3 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)	>9,5A ^o
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 :

- 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.
- Faktor lingkungan meliputi kadar air, kepadatan, tekanan samping (*confining pressure, temperature*, ikatan/*fabric*) dan keberadaan air, uji faktor lingkungan menggunakan tanah terganggu.

2.4 Tanah pasir

Tanah Pasir Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO, pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,075 mm sampai dengan 2 mm, sedangkan menurut sistem klasifikasi *Unified*, pasir merupakan partikel-partikel batuan yang berukuran 0,075 mm sampai dengan 4,75 mm. Pasir dapat dideskripsikan sebagai bergradasi baik, bergradasi buruk, bergradasi seragam atau bergradasi timpang (*gap-graded*). Pasir merupakan jenis tanah non kohesif (*cohesionless soil*). Tanah non kohesif mempunyai sifat antar butiran lepas (*loose*). Hal ini ditunjukkan dengan butiran tanah yang akan terpisah-pisah apabila dikeringkan dan hanya akan melekat apabila dalam keadaan yang disebabkan oleh gaya tarik permukaan.

2.5 Stabilisasi Tanah Dasar

Stabilisasi tanah pada prinsipnya adalah untuk perbaikan mutu tanah yang kurang baik. Menurut Bowles (1986) apabila suatu tanah yang terdapat di lapangan bersifat sangat lepas atau mudah tertekan, atau apabila ia mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan. Stabilisasi dapat terdiri dari salah satu tindakan berikut :

1. Meningkatkan kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan tahanan gesek yang timbul.
3. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan 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 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 :

2.5.1 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.

1. Kekuatan

Perubahan beban *eksternal* yang terjadi umumnya adalah berhubungan dengan perubahan volume karena adanya *gayainternal* 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.

2. 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.

3. 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 Pemadatan

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan menggunakan kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Tanah dapat dikerjakan pada mulanya dengan pengeringan, penambahan air, agregat (butir-butir) atau dengan bahan-bahan tambah. Pemadatan di lapangan dapat dilakukan dengan menggunakan mesin gilas, alat pemadat-pemadat getaran dan dari benda-benda berat yang dijatuhkan, sedangkan pemadatan di laboratorium dengan menggunakan daya tumbukan (dinamik), alat penekan, atau tekanan statik yang menggunakan piston dan mesin tekanan. Maksud dari pemadatan tanah adalah :

1. Mempertinggi kuat geser tanah
2. Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas)

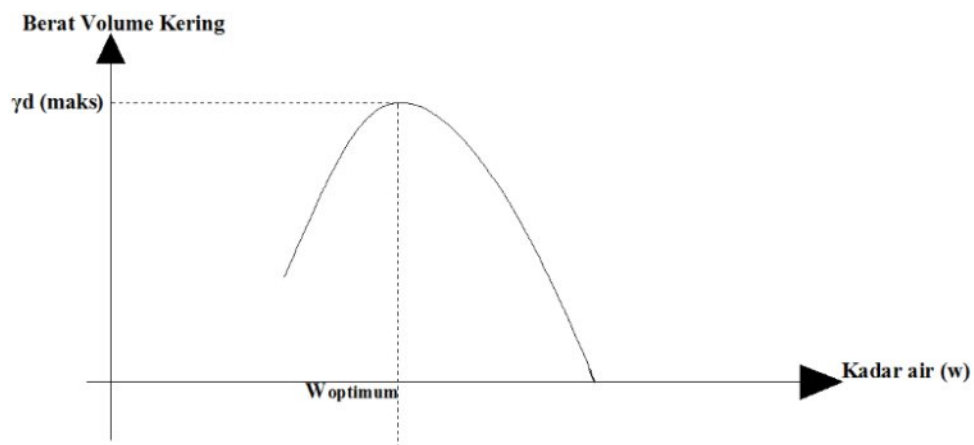
3. Mengurangi permeabilitas
4. Mengurangi volume sebagai akibat perubahan kadar air, dan lain-lainnya.

Tingkat kepadatan tanah diukur dari nilai berat volume keringnya (γ_d). Berat volume kering tidak berubah oleh adanya kenaikan kadar air. Dengan demikian, tanah yang telah selesai dipadatkan di lapangan kemudian berubah kadar airnya maka berat volume kering tetap tidak berubah sepanjang volume total tanah masih tetap. 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.

Tanah lempung yang dipadatkan dengan cara yang benar akan dapat memberikan kuat geser tinggi. Stabilitas terhadap sifat kembang susut tergantung dari jenis kandungan mineralnya. Lempung padat mempunyai permeabilitas yang rendah dan tanah ini tidak dapat dipadatkan dengan baik pada waktu sangat basah (jenuh). Bekerja pada tanah lempung yang sangat basah akan mengalami banyak kesulitan, karena pada saat lempung dipadatkan, air sulit mengalir ke luar dari rongga pori tanah ini menyebabkan butiran sulit merapat satu sama lain saat dipadatkan. 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 (*proctor* menggunakan angka pori)



Gambar 2.8 Hubungan berat volume kering dengan kadar air

Untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan pemadatan, maka umumnya sering dilakukan uji pemadatan.

Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya, terdapat nilai satu kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya.

Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan :

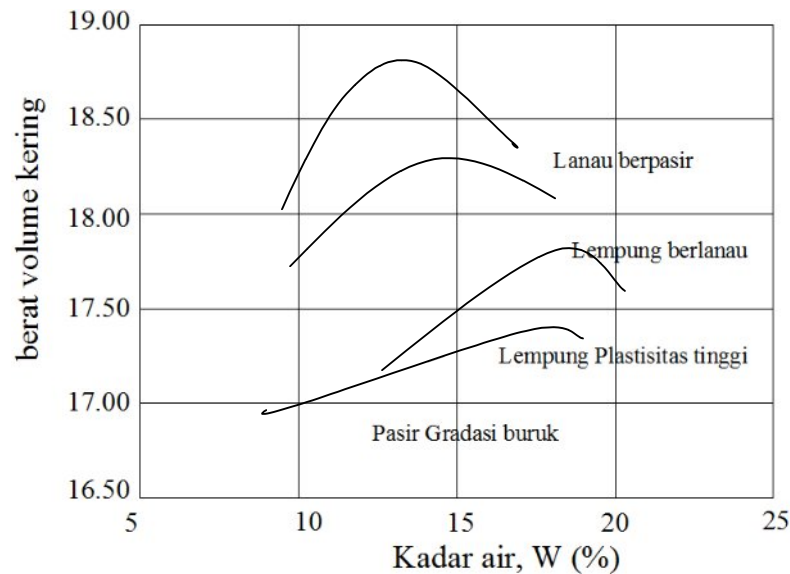
$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \dots\dots\dots(2.2)$$

Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standarlaboratorium yang disebut uji proctor.

Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pemadatan :

1. Pengaruh macam tanah

Macam tanah, seperti distribusi ukuran butir, bentuk butiran, berat jenis dan macam mineral lempung yang terdapat dalam tanah sangat berpengaruh pada berat volume maksimum dan kadar air optimumnya



Gambar 2.9 Kurva hasil uji pemadatan pada berbagai jenis tanah (ASTM D-698)

Gambar memperlihatkan beberapa macam kurva hasil pemadatan berbagai jenis tanah. Pada tanah pasir, γ_d cenderung berkurang saat kadar air (w) bertambah. Pengurangan ini akibat dari pengaruh hilangnya tekanan kapiler saat kadar air bertambah.

2. Pengaruh usaha pemadatan

Energi pemadatan per volume satuan (E) dinyatakan oleh persamaan :

$$E = \frac{Nb Nl WH}{V} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan,

Nb = Jumlah pukulan per lapisan

Nl = Jumlah lapisan

W = berat pemukul

H = Tinggi jatuh pemukul

V = Volume Mould

2.7 California Bearing Ratio (CBR)

CBR merupakan suatu perbandingan antara beban percobaan (*testload*) dengan beban standar (*standarload*) 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.

CBR dapat dibagi sesuai dengan cara mendapatkan contoh tanahnya yaitu CBR lapangan (*CBR inplace* atau *field CBR*), CBR lapangan rendaman (*undistrubedsoaked 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 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 :

Penetrasi 0,1” (0,254 cm)

$$\text{CBR (\%)} = p_1/1000 \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Penetrasi 0,2” (0,508 cm)

$$\text{CBR (\%)} = p_2/1500 \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

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

2.8 Uji Tekan Bebas (*Unconfined Compression Test*)

Kuat tekan bebas (q_u) adalah harga tegangan aksial maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji silindris (dalam hal ini sampel tanah) sebelum mengalami

keruntuhan geser. Derajat kepekaan/sensitivitas (S_t) adalah rasio antara kuat tekan bebas dalam kondisi asli (*undisturbed*) dan dalam kondisi teremas (*remolded*).

Kuat tekan bebas merupakan 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.

Uji kuat tekan bebas termasuk hal yang khusus dari uji triaksial *unconsolidated-undrained*, *UU* (tak terkonsolidasi - tak terdrainase). Dalam praktek, untuk mengusahakan agar kuat geser *undrained* yang diperoleh dari hasil uji kuat tekan bebas sama dengan hasil uji triaksial pada kondisi keruntuhan, beberapa hal yang harus dipenuhi, antara lain (Holtz dan Kovacs, 1981) :

1. Benda uji harus 100% jenuh, kalau tidak akan terjadi desakan udara di dalam ruang pori yang menyebabkan angka pori (e) berkurang sehingga kekuatan benda uji bertambah
2. Benda uji tidak boleh mengandung retakan atau kerusakan yang lain. Dengan kata lain benda uji harus utuh dan merupakan lempung homogen. Dalam praktek, sangat jarang lempung *overconsolidated* dalam keadaan utuh, dan bahkan sering terjadi pula lempung *normally consolidated* mempunyai retakan-retakan.
3. Tanah harus terdiri dari butiran sangat halus. Tekanan kekang efektif (*effective confining pressure*) awal adalah tekanan kapiler residu yang merupakan fungsi dari tekanan pori residu. Hal ini berarti bahwa penentuan kuat geser tanah dari uji tekan bebas hanya cocok untuk tanah lempung.
4. Proses pengujian harus berlangsung dengan cepat sampai contoh tanah mencapai keruntuhan. Pengujian ini merupakan uji tegangan total dan kondisinya harus tanpa drainase selama pengujian berlangsung. Jika waktu yang dibutuhkan dalam pengujian terlalu lama, penguapan dan pengeringan benda uji akan menambah tegangan kekang dan dapat menghasilkan kuat

geser yang lebih tinggi. Waktu yang cocok biasanya sekitar 5 sampai 15 menit.

Tabel 2.7 Hubungan kuat tekan bebas (q_u) lempung dengan konsistensinya

Konsistensi	Q_u (kN).m ²)
Lempung keras	> 400
Lempung sangat kaku	200 – 400
Lempung kaku	100 – 200
Lempung sedang	50 – 100
Lempung lunak	25 – 50
Lempung sangat lunak	< 25

(sumber : Hardiyatmo, 2010)

2.9 Kuat Geser Tanah

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis-analisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. Menurut teori Mohr (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser.

Hubungan fungsi antara tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan oleh persamaan :

$$\tau = f(\sigma) \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana :

τ = tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan (failure)

σ = tegangan normal pada saat kondisi tersebut.

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh:

1. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal yang bekerja pada bidang gesernya.

Kuat geser adalah kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani, keruntuhan geser (*Shear failure*) tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butir-butir tanah tersebut tetapi karena adanya

gerak relative. Kekuatan geser tanah yang dimiliki oleh suatu tanah disebabkan oleh :

- Pada tanah berbutir halus (kohesif) misalnya lempung kekuatan geser yang dimiliki tanah disebabkan karena adanya kohesi atau lekatan antara butir tanah (*c soil*)
- Pada tanah berbutir kasar (non kohesif), kekuatan geser disebabkan karena adanya gesekan antara butir tanah sehingga sering disebut gesek dalam (*φ soil*).
- Pada tanah yang merupakan campuran antara tanah halus dan tanah kasar (*c dan φ soil*), kekuatan geser disebabkan karena adanya lekatan (karena kohesi) dan gesekan antara butir-butir tanah (karena ϕ).

Perhitungan kuat geser tanah berdasarkan Gambar 1 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$S = c' + \sigma' \tan \phi' \dots\dots\dots(2.7)$$

di mana:

S = Kekuatan geser tanah

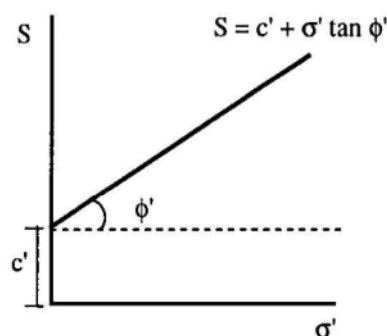
U = Tekanan air pori

σ = Tegangan total

σ' = Tegangan efektif

ϕ' = Sudut geser dalam efektif

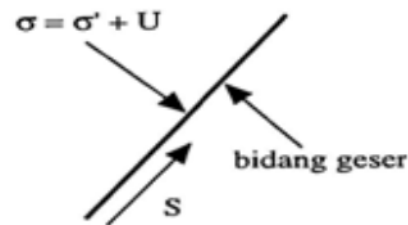
c' = Kohesi



Gambar 2.10 kekuatan geser tanah

Hubungan antara tegangan total, tegangan efektif dan tekanan air pori adalah sebagai berikut:

$$\sigma = \sigma' + u \dots\dots\dots(2.8)$$



Gambar 2.11 Tegangan Total

Parameter kuat geser tanah ditentukan dari uji-uji laboratorium, kuat geser tanah dari benda uji yang diperiksa di laboratorium, biasanya dilakukan dengan besar beban yang ditentukan lebih dulu dan dikerjakan dengan tipe peralatan yang khusus. Beberapa faktor yang mempengaruhi kuat geser tanah yang di uji di laboratorium, adalah:

1. Kandungan mineral dan butiran tanah
2. Bentuk partikel
3. Angka pori dan kadar air
4. Sejarah tegangan yang pernah dialami
5. Tegangan yang ada di lokasi (di dalam tanah)
6. Perubahan tekanan selama pengambilan contoh dari dalam tanah
7. Tegangan yang dilakukan sebelum pengujian
8. Cara pengujian
9. Kecepatan pembebanan
10. Kondisi drainase yang dipilih, drainase terbuka (*drained*) atau drainase tertutup (*undrained*)
11. Tekanan air pori yang ditimbulkan
12. Kriteria yang diambil untuk penentuan kuat geser

Butir (1) sampe (5) ada hubungannya dengan kondisi aslinya yang tak dapat dikontrol, tetapi dapat dinilai dari hasil pengamatan lapangan, pengukuran dan kondisi geologi. Butir (6) tergantung dari kualitas benda uji dan penanganan benda uji dalam persiapan pengujian. Sedangkan butir (7) sampai (12) tergantung dari cara pengujian yang dipilih.

2.9.1 Kuat Geser Tanah Lempung

Kekuatan geser suatu massa tanah merupakan perlawanan internal tanah tersebut persatuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud. Karakteristik kekuatan geser lempung dapat ditentukan dari hasil-hasil uji Traksial *unconsolidated undrained* (UU) dalam kondisi terdrainase maupun hasil-hasil pengujian geser langsung. Karakteristik pasir kering dan pasir jenuh adalah sama seperti yang dihasilkan oleh pasir jenuh dengan kelebihan tekanan air pori nol (Das,1995)

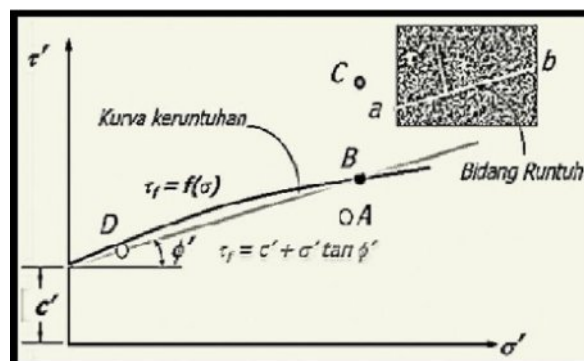
Mohr (1980) memberikan sebuah teori kondisi keruntuhan pada material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser. Jadi, hubungan antara tegangan normal dan geser pada sebuah bidang keruntuhan dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$\tau = f(\sigma) \dots\dots\dots(2.9)$$

di mana :

$f(\sigma)$ = Fungsi tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.

τ = Tegangan geser



Gambar 2.12 Kriteria keruntuhan Mohr dan Coulomb

Pengertian mengenai keruntuhan suatu bahan dapat dijelaskan pada gambar 1 di atas, jika tegangan-tegangan baru mencapai titik A, keruntuhan geser tidak akan terjadi. Keruntuhan geser akan terjadi jika tegangan-tegangan mencapai titik B yang terletak pada garis selubung kegagalannya. Kedudukan tegangan yang ditunjukkan oleh titik C tidak akan pernah terjadi, karena sebelum tegangannya mencapai titik C, bahan sudah mengalami keruntuhan.

Dalam kondisi pengujian dengan drainase terbuka, perubahan volume yang berupa kompresi ataupun pelonggaran, tidak hanya bergantung pada kerapatan dan tegangan kekang saja, tetapi juga bergantung pada sejarah tegangan. Demikian pula pada pembebanan kondisi tak terdrainase (*undrained*), nilai tekanan air pori sangat tergantung dari jenis tanah lempung, apakah lempung tersebut *normally consolidate* atau *overconsolidate*.

2.9.2 Kuat Geser Tanah Pasir

Kuat geser tanah berpasir dapat ditentukan dari salah satu uji traksial (*Triaxial test*) atau uji geser langsung (*Direct shear test*). Kelebihan tekanan air pori akibat adanya beban yang bekerja di atas tanah pasir dalam kondisi jenuh adalah nol. Hal ini disebabkan tanah pasir mempunyai permeabilitas besar, sehingga pada kenaikan beban, air pori relatif cepat menghambur ke luar tanpa menimbulkan tekanan yang berarti. Jadi dapat dianggap bahwa kondisi pembebanan pada tanah pasir akan berupa pembebanan pada kondisi terdrainase atau *drained*.

Tabel 2.8 Sifat-sifat Mekanis Tanah Lempung dan Pasir

Sifat –sifat	Pasir	Lempung
Sifat-Sifat Hidrolis		
Permeabilitas	Sangat tinggi sampai tinggi	Sangat rendah sampai tidak dapat ditembus (kedap)
Kapilaritas	Dapat diabaikan	Sangat tinggi
Kepekaan pencairan	Nol sampai tinggi pada pasir Halus	Tidak
Sifat – Sifat Kekuatan		
Asal mula	Gesekan diantara butiran ϕ	Drained: ϕ dan c, undrained :Su
Kuat relative	Tinggi samapai sedang	tinggi sampai sangat Rendah
Kepekaan	Tidak	Rendah sampai sangat Tinggi
Formasi Runtuh	Kurang terikat	Porus
Sifat –sifat Deformasi		
Besarnya (dengan beban sedang)	Rendah sampai sedang	Sedang sampai tinggi

Kemampuan untuk Dipadatkan	Memuaskan	Kesulitan sedang
Pengembangan akibat Pembahasan	Tidak	Sedang sampai tinggi
Penyusutan pada Pengeringan	Tidak	Sedang sampai tinggi

Sumber : Hendarsin (2003)

2.10 Prosedur Pengujian Laboratorium

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

2.10.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Sifat fisik tanah yaitu sifat tanah dalam keadaan asli yang digunakan untuk menentukan jenis tanah. Pengujian ini dilakukan pada sampel tanah yang akan digunakan yaitu pengujian pengidentifikasian tanah yang ekspansif. Adapun pengujian ini terdiri dari :

a. Pengujian kadar air (*Water Content*)

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. Hal ini disebabkan karena lempung dengan kadar air alami rendah lebih berpotensi untuk menyerap air lebih banyak.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{berat air (gr)}}{\text{berat tanah kering (gr)}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

Perhitungan :

- Berat cawan kosong (W_1) = gram
- Berat cawan dan tanah basah/asli (W_2) = gram
- Berat cawan dan tanah kering (W_3) = gram
- Berat air ($W_2 - W_3$) = gram
- Berat tanah kering ($W_3 - W_1$) = gram

$$\text{Kadar air} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

b. Pengujian *Specific Gravity* (GS)

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir tanah dengan volume tanah padat atau berat air dengan isi sama dengan isi tanah padat tersebut pada suhu tertentu. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis butiran tanah.

$$\text{Berat jenis (GS)} = \frac{\text{berat butir tanah}}{\text{volume butir tanah}} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\text{Berat jenis (GS)} = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

W_1 = berat piknometer (gram)

W_2 = berat piknometer dan tanah kering (gram)

W_3 = berat piknometer, tanah dan air (gram)

W_4 = berat piknometer dan air (gram)

Tabel 2.9 macam-macam berat jenis tanah

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)

c. Analisis Ukuran Butiran

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 diameter lubang tertentu.

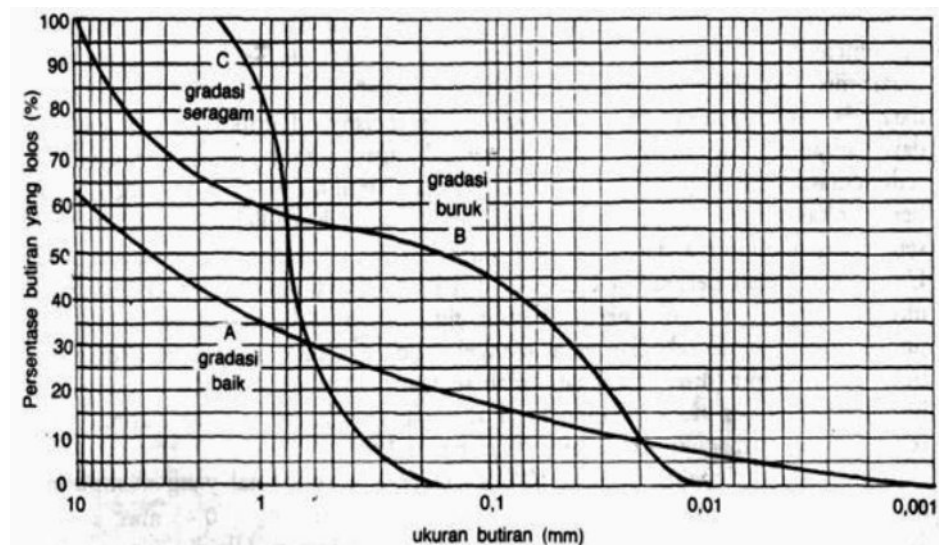
1. Tanah Berbutir Kasar

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

2. 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 2.13 Analisis distribusi ukuran butiran

Perhitungan :

- Persentase tanah yang tertahan pada masing-masing saringan

$$= \frac{\text{berat tanah yang tertahan}}{\text{berat tanah total}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.13)$$
- Persentase kumulatif tanah yang tertahan pada saringan
 - = Jumlah persentase tanah yang tertahan pada semua ayakan
- Persentase tanah lolos saringan
 - = 100% - presentase kumulatif tanah tertahan

d. Batas-batas *Atterberg*

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisnya. 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.

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 dan terpelihara.

Atterberg limits yang dimiliki suatu jenis tanah memberikan gambaran akan plastisitas tanah tersebut, dan sangat berhubungan dengan masalah

kemampuan pengembangan (*swelling*) dan penyusutan (*shrinkage*). 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 :

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

Batas susut didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Percobaan batas susut dilaksanakan dalam laboratorium dengan cawan porselin dengan 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.

$$SL = \left\{ \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} - \frac{(v_1 - v_2) \cdot \gamma_w}{m_2} \right\} \times 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

m_1 = Berat tanah dalam cawan percobaan (g)

m_2 = Berat tanah kering oven (g)

v_1 = Volume tanah basah dalam cawan (cm³)

v_2 = Volume tanah kering oven (cm³)

γ_w = Berat volume air (g/cm³)

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

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

$$\omega = \frac{W \text{ sampel 1} - W \text{ sampel 2}}{2} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$LL = W_N \left(\frac{N}{25}\right)^{tg\beta} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

N = Jumlah pukulan, untuk menutup celah 0,5 in (12,7 mm)

W_N = Kadar air

Tg β = 0,121 (tapi tg β tidak sama dengan 0,121 untuk semua jenis tanah)

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

Batas plastis (PL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plasis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.

4. 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.

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(2.17)$$

Tabel 2.10 Nilai indeks plastisitas dan mcam tanah

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

(Jumiks, 1962)

Tabel 2.11 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)

e. Analisa hydrometer

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 organic, 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 $G_s = 2,50$. 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.

$$\text{Untuk \% lebih halus (N)} = \frac{G_s}{G_s - 1} \frac{V}{W_s} c (r - r_a) \times 100\% \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

G_s = berat jenis tanah

V = volume suspensi

W_s = berat tanah kering

c = berat jenis air pada suhu pengujian

r = pembacaan hidrometer pada suspensi

r_a = pembacaan hidrometer pada air

2.10.2 Pengujian Sifat Mekanis Tanah

a. 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 diperoleh 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.

$$\text{- Berat isi bersih} = \frac{\text{berat tanah}}{1000} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\text{- Berat isi kering} = \frac{\text{berat isi basah}}{100 + (\text{kadar air sebenarnya})} \times 100\% \dots\dots\dots(2.20)$$

$$\text{- Berat} = \text{berat isi kering} \times 1000 \dots\dots\dots(2.21)$$

$$\text{- Volume tanah kering} = \frac{\text{berat tanah kering}}{G_s} \dots\dots\dots(2.22)$$

$$\text{- ZAV} = \frac{G_s \times \gamma_w}{1 + \frac{\text{kadar air asumsi}}{100}} \times G_s \dots\dots\dots(2.23)$$

b. 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 di padatkan 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)**

$$\text{CBR (\%)} = p1 \text{ (psi)} / 1000 \text{ (psi)} \times 100\% \dots\dots\dots (2.24)$$

- **Penetrasi 0,2 “ (0,508 cm)**

$$\text{CBR (\%)} = p2 \text{ (psi)} / 1500 \text{ (psi)} \times 100\% \dots\dots\dots (2.25)$$

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 pasir dengan kadar air optimum dan γ_{smaks} yang konstan. Setelah itu dilanjutkan dengan pengujian CBR (*California Bearing Ratio*).

c. 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

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 \times 100\% \dots\dots\dots(2.26)$$

keterangan : ΔL : pemendekan tinggi benda uji

L_0 : tinggi benda uji semula

b) Luas penampang benda uji dengan koreksi akibat pemendekan

$$A = A_0 / (1 - \varepsilon) \dots\dots\dots(2.27)$$

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

ε : regangan

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

$$\sigma = P / A \dots\dots\dots(2.28)$$

keterangan :

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

d. Kuat Geser (*Direct Shear*)

Kuat geser tanah adalah kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani. Mohr (1910) menyajikan sebuah teori tentang hubungan antara tegangan normal (σ) dan geser (τ) pada sebuah bidang keruntuhan yang dinyatakan dalam bentuk:

$$\tau = f(\sigma) \dots\dots\dots(2.30)$$

Coloumb (1776), mendefinisikan $f(\sigma)$ dengan persamaan :

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots(2.31)$$

Dimana :

τ : kekuatan geser tanah

c : kohesi

ϕ : sudut geser dalam efektif

σ : tegangan normal

2.11 Uji Statistik

Uji statistik bertujuan untuk menguji hipotesis (pernyataan sementara) dari peneliti yang bersifat deskriptif. Penerapan jenis uji statistik yang bersifat deskriptif sangat tergantung dari jenis data penelitian atau variabel berdasarkan skala pengukurannya.

Instrumen penelitian adalah suatu alat yang dapat digunakan untuk memperoleh, mengolah dan menginterpretasikan informasi yang diperoleh dari para responden yang dilakukan dengan menggunakan pola ukur yang sama. Untuk dapat dikatakan instrumen penelitian yang baik, sehingga dapat memenuhi lima kriteria salah satunya uji validitas.

2.11.1 Validasi

Validasi atau kesahihan adalah menunjukkan sejauh mana suatu tolak ukur mampu mengukur apa yang ingin diukur (*Valid Measure if it succesfully measure the phenomenon*). Dalam suatu penelitian yang bersifat deskriptif, maupun eksplanatif yang melibatkan variabel/konsep yang tidak bisa diukur secara langsung masalah validitas tidak sederhana, di dalamnya juga menyangkut penjabaran konsep dari tingkat teoretis sampai empiris (Indikator), namun bagaimana tidak suatu instrumen penelitian harus valid agar hasilnya dapat dipercaya.

1. Validitas Konstruk (*Construct Validity*)

Validitas konstruk adalah kerangka dari suatu konsep, validitas konstruk adalah validitas yang berkaitan dengan kesanggupan suatu alat ukur dalam mengukur pengertian suatu konsep yang diukurnya. Menurut Jack R. Fraenkel validasi konstruk (penentuan validitas konstruk) merupakan yang terluas cakupannya dibanding dengan validasi lainnya, karena melibatkan banyak prosedur termasuk validasi isi dan validasi kriteria.

Cara menguji validitas konstruk :

- Jika koefisien korelasi *Product Moment* melebihi 0,3 (Soegiyono, 1999)
- Jika koefisien korelasi *product moment* > r-tabel (α ; n-2), n = jumlah sampel
- Nilai Sig $\leq \alpha$

Rumus yang bisa digunakan untuk uji validitas menggunakan teknik korelasi *product moment* adalah:

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2][n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}} \dots\dots\dots(2.32)$$

dimana :

n = Jumlah responden

x = Skor variabel (jawaban responden)

y = Skor total variabel untuk responden n

2.11.2 Analisa Deskriptif

Analisa deskriptif merupakan bentuk analisis data penelitian untuk menguji generalisasi hasil penelitian berdasarkan satu sampel. Analisa deskriptif ini dilakukan dengan pengujian hipotesis deskriptif. Hasil analisisnya apakah hipotesis penelitian dapat digeneralisasikan atau tidak. Jika hipotesis (H_a) diterima, berarti hasil penelitian dapat digeneralisasikan. Analisis deskriptif ini menggunakan satu variabel atau lebih tapi bersifat mandiri, oleh karena itu analisis ini tidak berbentuk perbandingan atau hubungan (Iqbal Hasan,2004).

1. Uji Regresi Polinomial

Metode regresi adalah suatu metode statistik untuk menyelidiki dan memodelkan hubungan antara variabel respon y dan variabel prediktor X . Misalnya diberikan himpunan data $\{(X_i, Y_i)\}, i = 1, \dots, n$. Secara umum hubungan antara X dan Y dapat ditulis sebagai berikut :

$$Y_i = m(X_i) + \varepsilon_i \dots\dots\dots(2.33)$$

Dengan $m(x)$ adalah suatu fungsi regresi yang belum diketahui dan ingin diatksir, dan ε_i , adalah suatu variabel acak yang menggunakan variabel y di sekitar $m(x)$. (hardle, 1990).

Model regresi polinomial adalah model regresi yang melibatkan suatu variabel respon y dengan beberapa variabel bebas yang merupakan bentuk perpangkatan dari suatu variabel bebas X .

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \dots + \beta_n X_{in} + \varepsilon_i \dots \dots \dots (2.34)$$

Jadi bentuk regresi polinomial merupakan bentuk lain dari model regresi linier berganda.

Adapun asumsi-asumsi yang harus dipenuhi adalah :

1. $E(\varepsilon_i) = 0$
2. $Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0, i \neq j$ (tidak terjadi autokorelasi)
3. Varians homogen (tidak terjadi heteroskedastisitas)
4. Tidak terjadi multikolinieritas (korelasi antar variabel bebas)
5. Error berdistribusi normal

2.11.3 Uji Validitas Dengan Bantuan *Statistical Package for Social Science* (SPSS)

Dari persoalan di atas dapat dilakukan pengolahan data dengan menggunakan SPSS *for windows 17*, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- a. Masuk ke program SPSS
- b. Klik *Variabel View* pada SPSS data editor
- c. Pengisian data
- d. Pengolahan data
- e. pengisian
- f. pengisian statistik
- g. klik *Continue* untuk kembali ke menu sebelumnya, lalu kemudian klik ok untuk memproses data.
- h. Analisis uji validitas.

2.12 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji asli dengan mencampur tanah asli yaitu tanah lempung A-7-5 dengan penambahan pasir dan air dengan presentase penambahan pasir pada penelitian ini sebesar 0%; 10%; 20%; 25% dan 30%.

2.13 Analisa dan Pembahasan

Pada tahapan analisa dan pembahasan dilakukan perbandingan nilai CBR dan kuat geser yang didapat dari hasil pengujian di laboratorium antara pengaruh penambahan pasir pada tanah lempung A-7-5.