BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Tanah

Tanah memiliki peranan penting dalam pelaksanaan suatu pekerjaan konstruksi pada dunia teknik sipil, hal itu dikarenakan tanah berfungsi sebagai pendukung beban yang ada diatasnya. Oleh arena itu tanah yang akan digunakan sebagai tanah dasar (*subgrade*) harus dipersiapkan dan diperiksa terlebih dahulu.

Menurut Braja M. Das (1995) pada pandangan teknik tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak saling terikat secara kimia antara satu sama lain dan terdiri dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) dan disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang kosong antara partikel-partikel padat tersebut.

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

1. Berangkal (*boulders*) adalah potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 sampai 300 mm dan untuk ukuran 150 sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles/pebbles*).
2. Kerikil (*gravel*) adalah partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, yang berkisar dari kasar dengan ukuran 3 mm sampai 5 mm samapi bahan halus yang berukuran < 1 mm.
4. Lanau (*silt*) adalah partikel batuan yang berukuran dari 0,002 mm sampai 0,0074 mm.
5. Lempung (*clay*) adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
6. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam dan berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Kerikil, pasir, lanau, dan lempung merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan tanah tersebut berbutir kasar atau tanah berbutir halus. Kerikil dan pasir dikenal sebagai tanag berbutir kasar, sedangkan lanau dan lempung dikenal sebagai tanah berbutir halus. Distribusi tanah berbutir kasar dapat digunakan dengan melakukan penyaringan pada tanah dengan menggunak satu unit saringan standar sedangkan distribusi tanah berbutir halus ditentukan dengan menggunakan cara sedimentasi yang didasarkan pada hukum stokes.

2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah merupakan suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda tetapi memiliki sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi berfungsi sebagai penjelasan singkat dari sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terperinci. Sistem klasifikasi yang sudah ada dan dikembangkan sebagian besar didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana. Walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tanah, tetapi tidak ada satupun dari sistem-sistem tersebut yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat tanah yang sangat bervariasi. (Braja M. Das, 1995). Pada umumnya tanah dibedakan menjadi beberapa golongan yang tergantung pada ukuran butir dominan tanah tersebut.beberapa institusi memiliki standar dalam pengklasifikasian jenis-jenis tanah.

Tabel 2.1 Klasifikasi Jenis Tanah berdasarkan Ukuran Butir

Nama Golongan	**Ukuran Butir (mm)**			
	Kerikil	**Pasir**	**Lanau**	**Lempung**
Massachusetts Institute of Technology (MIT)	>2	2 – 0,06	0,006 – 0,002	<0,002
U.S Department of Agriculture (USDA)	>2	2 – 0,05	0,05 – 0,002	<0,002

Tabel 2.1 (lanjutan)

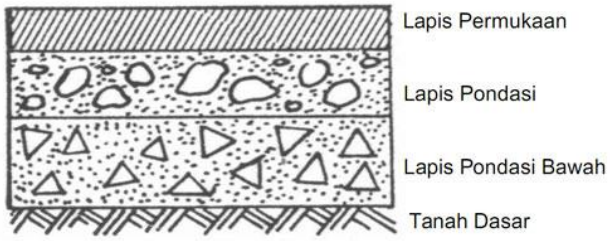
Nama Golongan	Ukuran Butir (mm)			
	Kerikil	**Pasir**	**Lanau**	**Lempung**
American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)	76,2 – 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	<0,002
Unified Soil Classification System (USCS)	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) < 0,075	

(sumber : *Braja M Das, Mekanika Tanah, Jilid I, Erlangga, Jakarta 1995, hal 7*)

2.3 Lapis Fondasi (*Base Course*)

Perkerasan jalan adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang berfungsi memberikan pelayanan pada sarana transportasi, dan selama masa-masa pelayanan diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasan jalan sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuna tentang sifat pengadaan dan pengelolaan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Silvia Sukirman,2003).

Menurut AASHTO dan Bina Marga Konstruksi jalan terdiri atas :



Gambar 2.1 Susunan Lapisan Perkerasan Jalan

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum 1987

Lapis fondasi adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dengan lapis fondasi bawah (atau dengan tanah dasar bila tidak menggunakan lapis fondasi bawah). Fungsi lapis fondasi antara lain:

1. Sebagai bagian perkerasan yang menahan beban roda,
2. Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.

Bahan-bahan untuk lapis fondasi umumnya harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan

untuk digunakan sebagai bahan fondasi, hendaknya dilakukan pengujian untuk mengetahui daya dukung bahan tersebut sesuai spesifikasi yang berlaku.

Adapun sifat untuk lapisan fondasi jalan sebagai berikut

Tabel 2.2 Sifat-sifat Lapis Fondasi Agregat dan Lapis Drainase

Sifat - sifat	**Lapis Fondasi Agregat**			**Lapis Drainase**
	Kelas A	**Kelas B**	**Kelas S**	
Abrasi dari Agregat Kasar (SNI 2417:2008)	0 – 40 %	0 – 40 %	0 – 40 %	0 – 40 %
Butiran pecah, tertahan ayakan nomor 4 (SNI 7619:2012)	95/90[1)]	55/50[2)]	55/50[2)]	80/75[3)]
Batas Cair (SNI 1967:2008)	0 - 25	0 - 35	0 - 35	-
Indeks Plastisitas (SNI 1966:2008)	0 - 6	4 - 10	4 - 15	-
Hasil kali Indeks Plastisitas dengan % Lolos Ayakan nomor 200	Maks. 25	-	-	-
Gumpalan Lempung dan Butiran-butiran Mdah Pecah (SNI 4141:2015)	0 – 5%	0 – 5%	0 – 5%	0 – 5%
CBR Rendaman (SNI 1744:2012)	Min. 90%	Min. 60%	Min. 50%	-
Perbandingan Persen Lolos Aykan nomor 200 dan nomor 40	Maks. 2/3	Maks. 2/3	-	-
Koefisien Keseragaman : $C_v = D_{60}/D_{10}$	-	-	-	>3,5

(sumber : Spesifikasi Bina Marga untuk Jalan dan Jembatan tahun 2018 rev.2)

Dan adapun persyaratan gradasi untuk lapisan fondasi badan jalan sebagai berikut.

Tabel 2.3 Gradasi Lapis Fondasi Agregat dan Lapis Drainase

Ukuran Ayakan		**Persen Berat yang Lolos**			
		Lapis Fondasi Agregat			**Lapis Drainase**
ASTM	**(mm)**	**Kelas A**	**Kelas B**	**Kelas S**	
2”	50		100		
1 ½”	37,5	100	88 - 95	100	100
1”	25,0	79 – 85	70 – 85	77 – 89	71 – 87
¾”	19,0				58 – 74
½”	12,5				44 – 60
3/8”	9,50	44 – 58	30 – 65	41 – 66	34 – 50
No. 4	4,75	29 – 44	25 – 55	26 – 54	19 – 31
No. 8	2,36				8 – 16
No. 10	2,0	17 – 30	15 – 40	15 – 42	
No. 16	1,18				0 – 4
No. 40	0,425	7 – 17	8 – 20	7 – 26	
No. 200	0,075	2 – 8	2 – 8	4 – 16	

(sumber : Spesifikasi Bina Marga untuk Jalan dan Jembatan tahun 2018 rev.2)

2.4 Stabilisasi Tanah

Dalam perekayasaan konstruksi bangunan sipil, sering ditemukan lapisan tanah yang memiliki daya dukung rendah (*low stength*), yang sangat mempengaruhi berbagai tahapan rancang bangun konstruksi, baik dalam tahap perencanaan (*design*), tahap pelaksanaan (*perform*), maupun tahap operasional dan pemeliharaan (*Operational and Maintenance*) (H. Darwis, 2017).

Rendahnya daya dukung tanah sangat dipengaruhi oleh minerologi yang membentuk tanah tersebut, dimana minerologi tanah tersebut terbentuk dari pelapukan material organik dan anorganik. Hasil pelapukan kedua material tersebut sangat mempengaruhi sifat-sifat tanah. Jika partikel lapukan tersebut bergradasi halus, maka cenderung memberikan sifat kohesif dengan konsistensi fisis yang lunak. Sebaliknya jika hasil lapukan memberikan partikel bergradasi kasar, maka cenderung memberikan sifat yang nonkohesif dengan konsistensi yang keras. Kedua karakteristik tersebutlah yang mempengaruhi kinerja lapisan tanah seperti besaran daya dukung, kapasitas permeabilitas tanah, dan potensi kembang susut tanag.

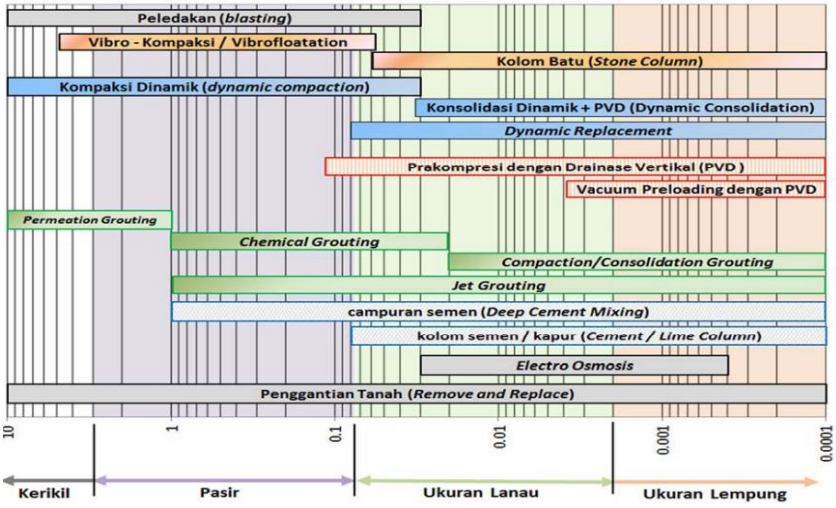
Semua tindakan mengubah sifat-sifat asli dari pada tanah, untuk disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi adalah merupakan tindakan yang dapat dikategorikan sebagai upaya stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah merupakan suatu upaya untuk memperbaiki sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah yang dapat diperbaiki dengan cara stabilisasi yaitu: kestabilan volume, kekuatan atau daya dukung, permeabilitas, dan kekekalan atau keawetan.

Menurut *Bowles,* 1991 beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah sebagai berikut:

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

Apabila ditinjau dari mekanisme global yang terjadi pada tindakan stabilisasi tanah, klasifikasi stabilisasi tanh dibedakan menjadi dua jenis yaitu :

1. Perbaikan tanah (*soil improvement*) adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan menggunakan bahan additive (kimiawi), pencampuran tanah (*re-gradation*), pengeringan tanah (*dewatering*) atau melalui penyaluran energi statis/dinamis ke dalam lapisan tanah (fisik). Perbaikan tanah (*soil improvement*) ini relevan dengan stabilisasi kimia dan stabilisasi fisik. Adapun jenis metode perbaikan tanah dapat dibedakan berdasarkan ukuran butir tanahnya. Jenis-jenis metode perbaikan tanah dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar 2.2 Jenis-jenis metode Perbaikan Tanah
(Sumber : SNI-8460-2017, hal 67)

2. Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan memberikan material sisipan ke dalam lapisan tanah tersebut. Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) ini relevan dengan stabilisasi mekanis.

Namun apabila ditinjau dari proses yang terjadi dalam pelaksanaan stabilisasi tanah, maka stabilisasi tanah dapat dibedakan atas empat jenis, yaitu :

1. Stabilisasi mekanis, yaitu menambahkan energy dari beban dinamis atau beban statis ke dalam lapisan tanah, sehingga terjadi dekomposisi baru dalam massa tanah, yang akan memperbaiki karakteristrik tanah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.
2. Stabilisasi kimia, yaitu menambahkan bahan kimia tertentu dengan material tanah, sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dengan bahan pencampurnya yang akan menghasilkan material yang menghasilkan material baru yang memiliki sifat teknis yang lebih baik.
3. Stabilisasi hidrolis, yaitu upaya untuk mengeluarkan air dari massa tanah, sehingga kuat geser dan daya dukung tanah akan meningkat.
4. Perbaikan menggunakan material perkuatan, yaitu stabiliasi dengan memasukan material sisipan ke dalam lapisan tanah sehingga mampu meningkatkan karakterisitik teknis dalam massa tanah sesuai dengan tujuan tindakan stabilisasi yang ingin dicapai.

Pada penelitian ini digunakan stabilisasi dengan cara kimiawi, dikarenakan stabilisasi menggunakan zat aditif yaitu Matos *Soil Stabilizer*.

2.5 Semen

Semen berasal dari bahasa latin “cementum”, dimana kata ini mula-mula dipakai oleh bangsa Roma yang berarti bahan atau ramuan pengikat. Dengan kata lain semen dapat didefinisikan adalah suatu bahan perekat yang berbentuk serbuk halus, bila ditambahkan air akan terjadi reaksi hidrasi sehingga dapat mengeras dan digunakan sebagai pengikat (mineral glue).

2.4.1 Semen *Portland*

Semen *Portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain. Berdasarkan SNI 2049:2015 semen *portland* dibagi menjadi lima tipe diantara lin adalah sebagai berikut :

1. Tipe I (*Ordinary Portland Cement*)

   Semen *Portland* tipe ini digunakan untuk segala macam konstruksi apabila tidak diperlukan sifat-sifat khusus, misalnya tahan terhadap sulfat, panas hiderasi dan sebagainya. Semen ini mengandung 5 % MgO dan 2,5-3% SO3.

2. Tipe II (*Moderate Heat Portland Cement*)

   Semen *Portland* tipe ini digunakan untuk bahan konstruksi yang memerlukan sifat khusus tahan terhadap sulfat dan panas hiderasi yang sedang. Biasanya digunakan untuk daerah pelabuhan dan bangunan sekitar pantai. Semen ini mengandung 20% SiO2, 6% Al2O3, 6% Fe2O3, 6%MgO , dan 8% C3A.

3. Tipe III (*High Early Strength Portland Cement*)

   Semen ini merupakan semen yang digunakan biasanya dalam keadaan keadaan darurat dan musim dingin. Digunakan juga pada pembuatan beton tekan. Semen ini memiliki kadungan C3S yang lebih tinggi dibandingkan Semen *Portland* tipe I dan II sehingga proses pengerasan terjadi lebih cepat dan cepat mengeluarkan kalor. Semen ini tersusun dari 3,5-45 Al2O3, 6% Fe2O3, 35% C3S, 6% MgO, 40% C2S dan 15% C3A.

4. Tipe IV (*Low Heat Portland Cement*)

   Semen tipe ini digunakan pada bangunan dengan tingkat panas hiderasi yang rendah misalnya pada bangunan beton yang besar dan tebal. Baik sekali untuk mencegah keretakan. *Low Heat Portland Cement* ini memiliki kandungan C3S dan C3A lebih rendah sehingga kalor yang dilepas lebih rendah. Semen ini tersusun dari 6,5% MgO, 2,3% SO3, dan 7% C3A.

5. Tipe V (*(Super Sulphated Cement*)

   Semen yang sangat tahan terhadap pengaruh sulphat misalnya pada tempat pengeboran lepas pantai, pelabuhan dan terowongan. Komposisi komponen utamanya adalah slag tanur tinggi dan kandungan aluminanya yang tinggi. Semen ini tersusun dari 5% terak Portland Cement, 6% MgO, 2,3% SO2 dan 5% C3A.

Menurut spesifikasi umum untuk pekerjaan jalan dan jembatan revisi 2 tahun 2018, penggunaan kadar semen untuk stabilisasi tanah semen adalah pada rentang dari 3% hingga 8% dari berat kering tanah. Pada penelitian ini digunakan kadar semen sebanyak 5%.

Gambar 2.3 Semen Dynamix Tipe I

2.6 Matos *Soil Stabilizer*

Matos berbentuk material serbuk. Komposisi Matos terdiri dari logam dan garam mineral anorganik dan lain-lain, bersumber dari air laut, aman untuk makhluk hidup dan ramah lingkungan. Matos ditambahkan pada tanah-semen dengan cara kita harus melarutkannya ke dalam air pada tingkat kelarutan (molaritas) 10%.

Matos merupakan zat aditif yang ditambahkan dalam stabilisasi tanah-semen dan berfungsi untuk:

1. melarutkan humus pada permukaan partikel tanah yang menghalangi ikatan tanah-semen sehingga ikatan lebih kuat.
2. membentuk struktur sarang lebah 3 dimensi diantara partikel-partikel tanah,
3. mencegah keretakan akibat panas reaksi hidrasi semen. Humus terbentuk akibat tanaman-tanaman yang sudah mati larut kedalam air yang menempel pada permukaan tanah dan humus (humic acid) ini menghambat terjadinya kontak antara kation kalsium (Ca++) semen dan anion (-) partikel-partikel tanah.

Matos memperlemah fungsi negatif humus dan menurunkan kadar humus sehingga kation kalsium (Ca++) pada semen dapat menempel langsung dipermukaan tanah.Matos membantu menyuplai lebih banyak ion pengganti

dan membentuk senyawa asam alumunium silica sehingga membentuk struktur sarang lebah 3 dimensi diantara partikel-partikel tanah.Pada saat terjadi reaksi hidrasi semen, komponen Matos menyerap panas hidrasi dan mengkristal diantara campuran semen yang mengikat partikel tanah. Kristal-kristal tersebut menyerupai jarum, akan bertambah banyak dan membesar mengisi rongga-rongga. Penyerapan panas hidrasi dan terbentuknya kristal yang mengisi rongga akan mengurangi patensi keretakan yang sering timbul pada stabilisasi tanah-semen.

Gambar 2.4 Matos *Soil Stabilizer*

2.7 Pengujian Sifat Mekanis Tanah

Sifat mekanis tanah merupakan sifat perilaku dari struktur massa tanah pada dikenai suatu gaya atau tekanan yang dijelaskan secara teknis mekanis. Pengujian sifat mekanis yang dilakukan pada penelitian ini adalah :

2.7.1 Uji Pemadatan Tanah (ASTM D 698-12)

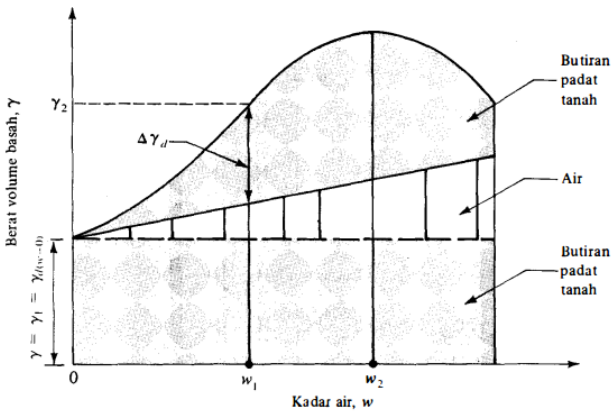
Pemadatan tanah merupakan proses mekanis yang bertujuan untuk mengeluarkan udara di dalam pori tanah. Maksud dari mengeluarkan udara pada pori tanah memiliki tujuan yaitu :

a. Mempertinggi kuat geser tanah.
b. Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas).
c. Mengurangu permeabilitas.
d. Mengurangu perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air.
e. Memperoleh kadar air optimum.

Tujuan dari pemadatan dapat tercapai dengan pemilihan bahan tanah timbunan, cara melakukan pemadatannya, dan pemilihan penggunaan mesin pemadatan. Tingkat kepadatan tanah diukur dari nilai berat volume keringnya (γ_d).

Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan kepada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) pada partikel-partikel tanah. Karena adanya air, partikel- partikel tanah tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat. Untuk usaha pemadatan yang sama, berat volume kering tanah akan meningkat apabila kadar airnya juga meningkat.

Apabila kadar airnya ditingkatakan terus secara bertahap, maka berat dari jumlah bahan padat dalam tanah persatuan volume juga akan meningkat secar bertahap. Akan tetapi apabila tanah mencapai tahap kadar air tertentu, adanya penambahan kadar air justru menurunkan berat volume kering tanah. Hal ini disebabkan karena air menempati pori yang seharusnya dapat terisi oleh partikel padat dari tanah.



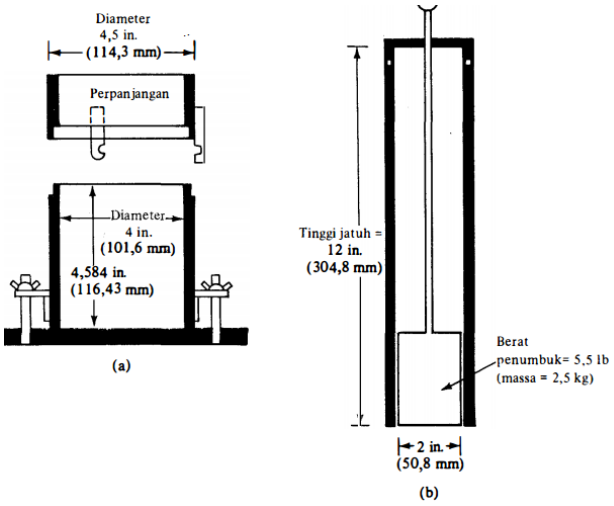
Gambar 2.5 Prinsip-prinsip Pemadatan
(Sumber : Braja M Das, Mekanikan Tanah, Jilid I, Erlangga, Jakarta, hal 235)

Percobaan yang dilakukan di laboraturium untuk mendapatkan nilai berat volume kering maksimum dan kadar air optimum adalah uji Proctor. Nilai berat volume kering tanah yang diperoleh dari percobaan pemadatan bergantung dari kadar air tanah dan juga usaha yang diberikan alat penumbuknya. Terdapat dua macam cara untuk melakukan uji pemadatan uyaitu sebagai berikut:

1. Pemadatan *Standard*

   Pada pengujian ini tanah dipadatkan pada sebuah silinder dengan volume 1/30 ft^3 (943,3 cm^3) dan berdiameter 4 in (101,6 mm). lalu tanah ditumbuk dengan menggunakan penumbuk seberat 2,5 kg, tanah

dipadatkan tiga lapisan dengan masing-masing lapisan ditumbuk sebanyak 25 kali.



Gambar 2.6 Silinder dan Penumbuk Pemadatan *Standard*

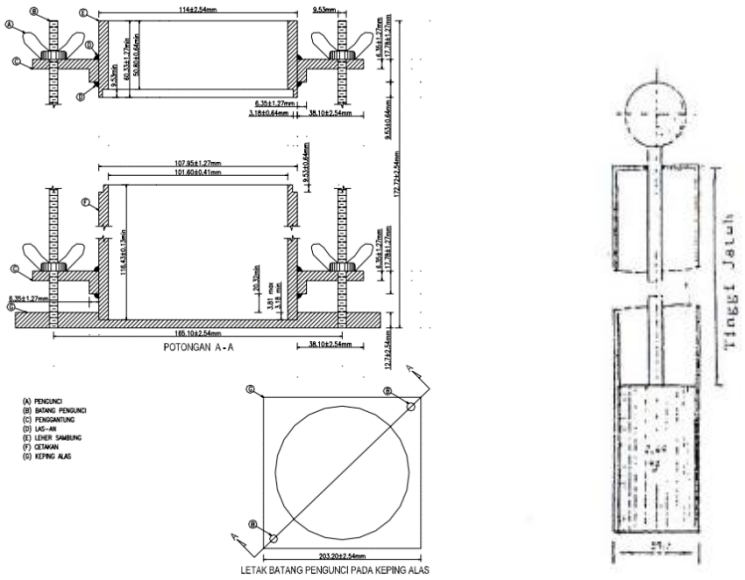
Tabel 2.4 Spesifikasi Percobaan Pemadatan Standard

Uraian	Cara A	Cara B	Cara C	Cara D
Diameter cetakan (mm)	101,60	152,40	101,60	152,40
Tinggi cetakan (mm)	116,43	116,43	116,43	116,43
Volume cetakan (cm^3)	943	2124	943	2124
Massa penumbuk (kg)	2,5	2,5	2,5	2,5
Tinggi jatuh penumbuk (mm)	305	305	305	305
Jumlah lapis	3	3	3	3
Jumlah tumbukan per lapis	25	56	25	56
Bahan lolos saringan	No. 4 (4,75 mm)	No. 4 (4,75 mm)	19,00 mm (3/4")	19,00 mm (3/4")

(Sumber: SNI 1742:2008 hal 14)

2. Pemadatan *Modified*

Pada uji pemadatan ini silinder yang digunakan sama seperti pemadatan *standard* akan tetapi tumbukan yang digunakan memiliki berat sebesar 4,5 kg, dan pada saat uji pemadatan tanah pada silinder ditumbuk sebanyak lima lapisan.



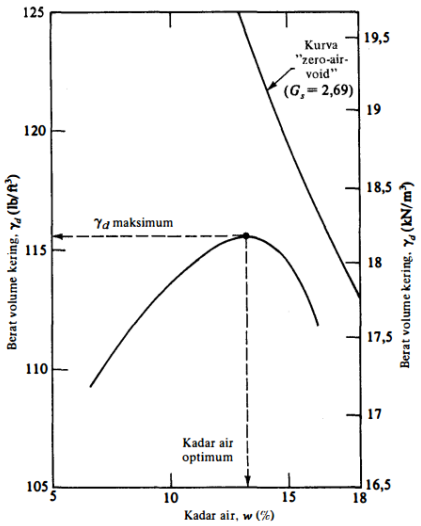
Gambar 2.7 Alat Uji Pemadatan Modified

Tabel 2.5 Spesifikasi Percobaan Pemadatan Modified

Uraian	Cara A	Cara B	Cara C	Cara D
Diameter cetakan (mm)	101,60	152,40	101,60	152,40
Tinggi cetakan (mm)	116,43	116,43	116,43	116,43
Volume cetakan (cm^3)	943	2124	943	2124
Massa penumbuk (kg)	4,54	4,54	4,54	4,54
Tinggi jatuh penumbuk (mm)	457	457	457	457
Jumlah lapis	5	5	5	5
Jumlah tumbukan per lapis	25	56	25	56
Bahan lolos saringan	No. 4 (4,75 mm)	No. 4 (4,75 mm)	19,00 mm (3/4")	19,00 mm (3/4")

(Sumber: SNI 1743:2008 hal 4)

Dalam uji pemadatan setidaknya dilakukan sebanyak lima kali dengan campuran lima kadar air yang berbeda dimulai dari yang terkecil hingga ke terbesar. Setelah dilakukan pengujian gambar kurva yang dihasilkan dengan memperlihatkan nilai kadar air terbaik (kadar air optimum) untuk mendapatkan nilai berat volume kering maksimalnya. Berikut adalah contoh dari grafik uji pemadatan.



Gambar 2.8 Contoh Kurva Hasil Uji Pemadatan
(Sumber : Braja M Das, Mekanikan Tanah, Jilid I, Erlangga, Jakarta, hal 238)

Adapun perhitungan yang yang harus dilakukan :

a. Menghitung kadar air (%)

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_c} \times 100\%$$

Keterangan :

W_c = berat cawan (gr)

W_1 = berat cawan + berat tanah basah (gr)

W_2 = berat cawan + berat tanah kering (gr)

b. Menghitung berat air (gr)

Berat air = $W_1 - W_2$

c. Menghitung tanah kering (gr)

Berat tanah kering = $W_2 - W_c$

d. Menghitung berat volume (gr/cm^3)

Berat volume = *W/V*

Keterangan :

W = $W_{ms} - W_m$ (gr)

W_m = berat *mold* (gr)

W_{ms} = berat *mold* + sampel (gr)

V = volume *mold* (cm^3)

e. Menghitung densitas kering (gr/cm^3)

$$\gamma d = \frac{\gamma}{1+w} \times 100\%$$

2.7.2 *California Bearing Ratio* (ASTM D 1882-21)

Pengujian CBR adalah percobaan dengan tujuan untuk memperoleh daya dukung tanah yang dikembangkan oleh *California State Highway Department.* Nilai CBR yang diperoleh digunakan sebagai dasar untuk melakukan perencanaan perkerasan timbunan pada jalan. Semakin tinggi nilai CBR yang diperoleh maka semakin bagus pula kondisi tanah yang digunakan sebagai timbunan, sebaliknya apabila nilai CBR yang diperoleh bernilai kecil maka kondisi tanah tidak bagus.

Pada dasarnya uji CBR adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu jenis material dan beban standar pada kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Nilai CBR dihitung pada penetrasi sebesar 0,1 inch dan 0,2 inch dan selanjutnya dari hasil kedua perhitungan tersebut diambil nilai terbesarnya. Dari hasil pengujian CBR inilah dapat ditentukan apakah tanah yang digunakan memerlukan stabilisasi atau tidak. Tanah yang diuji sesuai dengan SNI-1744-2012.

Nilai CBR adalah perbandingan (dalam persen) dari tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston dengan penampang melingkar 3 inci^2 pada kecepatan 0,05 inci/menit terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus bahan standar tertentu. Tujuan dari pengujian CBR ini adalah untuk mengetahui nilai CBR pada variasi kadar air pemadatan. Untuk menentukan kekuatan tanah dasar melalui percobaan CBR, diperoleh suatu nilai yang kemudian digunakan untuk menentukan tebal perkerasan yang dibutuhkan pada suatu lapisan dengan nilai CBR tertentu (Wesley, 1977). Tanah dasar dalam pembangunan jalan baru adalah tanah asli, tanah timbunan, atau tanah galian yang telah dipadatkan dengan kerapatan 95% dari kerapatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar adalah nilai kemampuan lapisan tanah untuk memikul beban setelah tanah dipadatkan. CBR ini disebut point plan CBR dan karena disiapkan di laboratorium maka disebut CBR laboratorium. Semakin tinggi nilai CBR tanah (subgrade), semakin tipis lapisan perkerasan di atasnya dan semakin kecil nilai CBR (daya dukung tanah rendah), maka semakin tebal lapisan perkerasan di atasnya sesuai dengan beban yang akan ditanggungnya. Ada dua macam pengukuran CBR, yaitu:

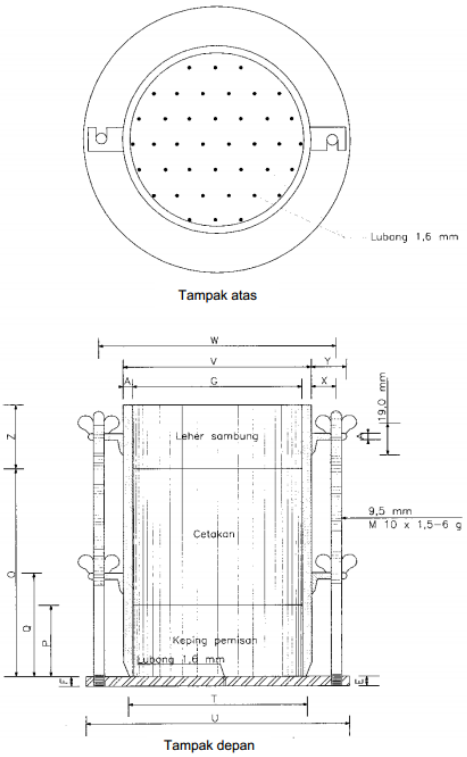
1. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada 0,254 cm (0,1”) terhadap penetrasi *standard* besarnya 70,37 kg/cm^2 (1000 psi).
   Nilai CBR = (PI/70,37) x 100 % (PI, dalam kg / cm^2).

2. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada penetrasi 0,508 cm (0,2") terhadap penetrasi *standard* yang besarnya 105,56 kg/cm^2 (1500 psi)
   Nilai CBR = (PI/105,56) x 100 % (PI, dalam kg / cm^2).

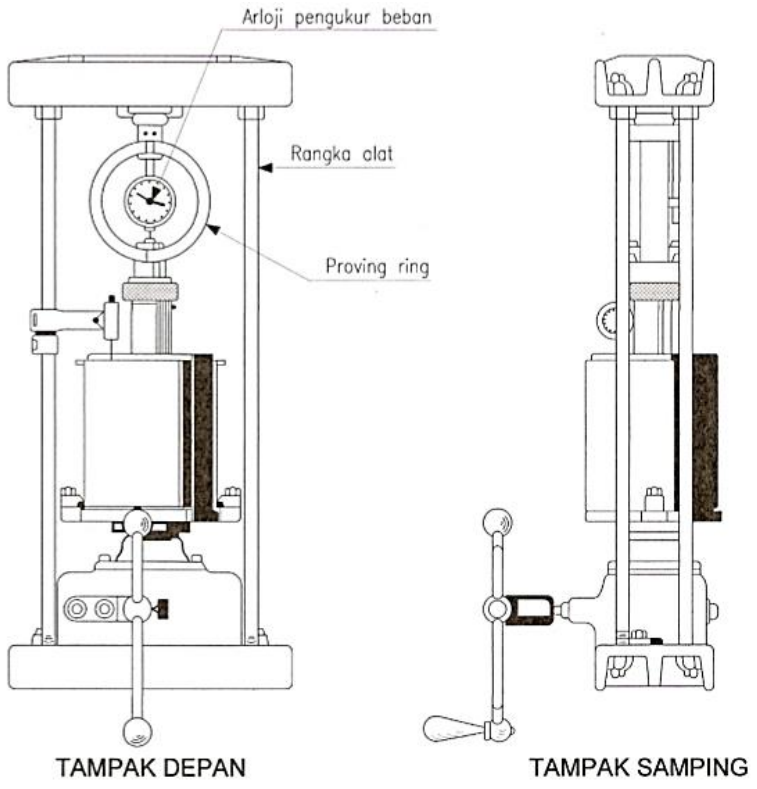
Dari kedua hitungan tersebut digunakan nilai terbesar. CBR laboratorium dapat dibedakan atas dua macam yaitu:

1. CBR laboratorium rendaman (*soaked design CBR*)
2. CBR laboratorium tanpa rendaman (*unsoaked design CBR*)

Pada pengujian CBR laboratorium rendaman pelaksanaannya lebih sulit karena membutuhkan waktu dan biaya relatif lebih besar dibandingkan CBR laboratorium tanpa rendaman.Sedangkan dari hasil pengujian CBR laboratorium tanpa rendaman sejauh ini selalu menghasilkan daya dukung tanah lebih besar dibandingkan dengan CBR laboratorium rendaman.



Gambar 2.9 Silinder Pemadatan CBR
Sumber : SNI 1744-2012



Gambar 2.10 Alat Uji Penetrasi CBR Laboraturium
Sumber: SNI 1744-2012

Adapun perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menghitung berat sampel (gr)

   $W_s = W_m - W_{ms}$

   Keterangan :

   W_m = berat *mold* (gr)

   W_{ms} = berat *mold* + sampel (gr)

2. Menghitung berat volume (gr/cm^3)

   $$W_v = \frac{W_s}{V}$$

   Keterangan :

   V = volume *mold* (cm^3)

3. Menghitung densitas kering (gr/cm^3)

   $$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}\ x\ 100\%$$

   Keterangan :

w = kadar air, dinyatakan dalam desimal

4. Menghitung harga CBR:

$$\text{Penetrasi } 0{,}1'' = \frac{\text{Penetrasi terkoreksi}}{1000} \times 100\%$$

$$\text{Penetrasi } 0{,}2'' = \frac{\text{Penetrasi terkoreksi}}{1500} \times 100\%$$

2.7.3 *Unconfined Compressive Strength Test* (ASTM D 2166)

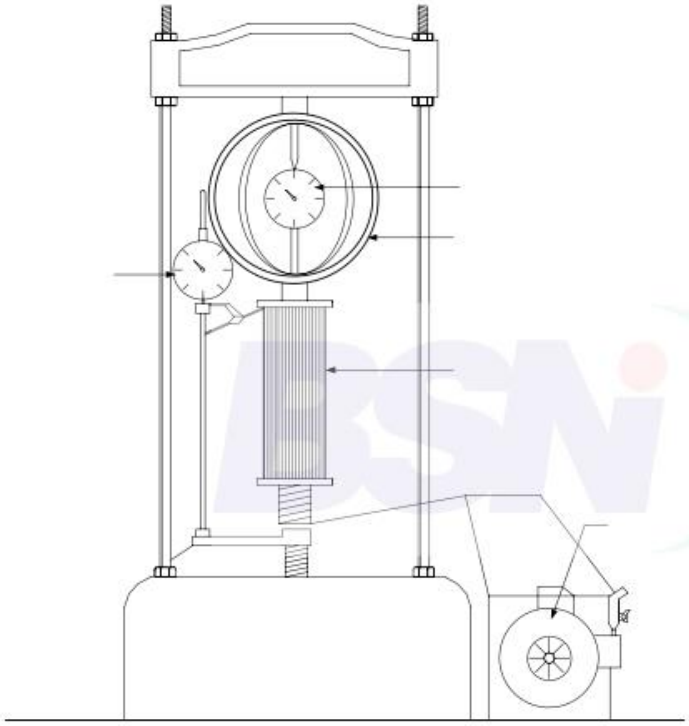
Unconfined Compressive Strength (UCS) atau uji kuat tekan bebas merupakan pengujian yang dilakukan dengan maksud untuk memperoleh nilai konsistensi tanah. Hasil uji ini akan diketahui parameter kuat tekan (q_u) dan (c) yang merupakan nilai kohesi sekaligus nilai tegangan geser benda uji tersebut dan tanah tersebut juga akan dapat diklasifikasikan berdasarkan pada konsistensi tanah tersebut.

Salah satu tujuan dari percobaan ini adalah mencari konsistensi tanah, yaitu evaluasi terhadap hasil-hasil pengujian baik dilapangan (sondir dan SPT) dan di Laboratorium (UCS), yaitu merupakan tingkatan terhadap kekuatan (daya dukung) tanah yaitu dinyatakan sebagai berikut :

Tabel 2.6 Hubungan Kuat Tekan (q_u) dan Konsistensi Tanah

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 : Hary Christady Hardiyatmo , Mekanika Tanah I, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta 2002, hal 300*)



Gambar 2.11 Alat Uji Penetrasi UCS
Sumber: SNI 6887-2012

Adapun perhitungan yang akan dilakukan dalam pengujian UCS adalah sebagai berikut :

1. Menghitung regangan aksial (ε_1)

   $$\varepsilon_1 = \frac{\Delta H}{H_0}\ x\ 100$$

   Keterangan :

   ε_1 = regangan aksial (mm)

   ΔH = perubahan tinggi benda uji (mm)

   H_0 = tinggi benda uji semula (mm)

2. Menghitung luas terkoreksi (A_c)

   $$A_c = \frac{A_0\ x\ 10^{-6}}{(1-\varepsilon_1)}$$

   Keterangan :

   A_c = luas penampang rata-rata atau luas terkoreksi (m^2)

   A_0 = luas penampang rata-rata benda uji semula (mm^2)

   ε_1 = regangan aksial, dinyatakan dalam desimal

3. Menghitung Tegangan (σ_c)

$$\sigma_c = \frac{P}{A_c}$$

Keterangan :

σ_c = tegangan (kN/m^2)

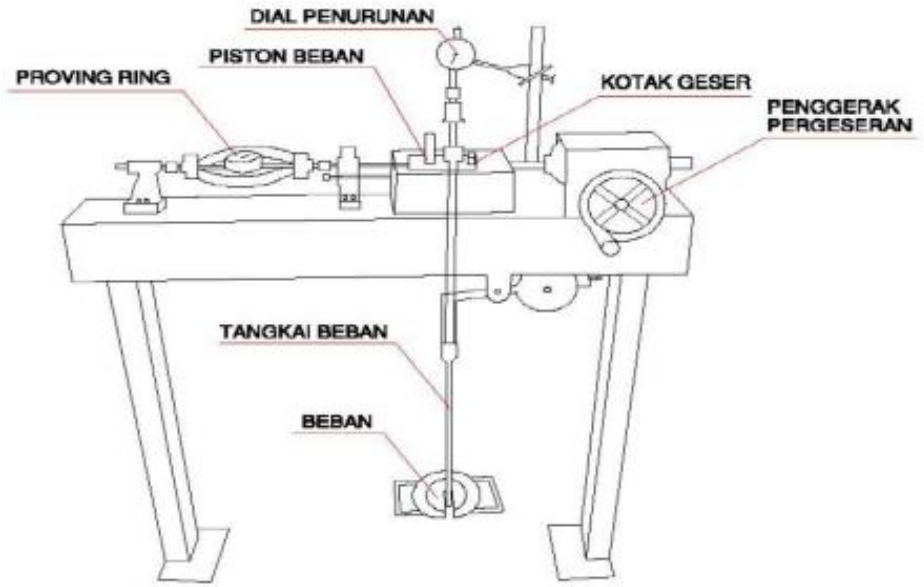
P = beban yang diberikan (kN)

A_c = luas penampang rata-rata atau luas terkoreksi (m^2)

2.7.4 *Direct Shear* (ASTM D3080-11)

Kekuatan geser suatu tanah tergantung pada tahanan geser antara butir-butir tanah dan kohesi pada permukaan butir tanah. Nilai kekuatan geser tanah ini berubah-ubah sesuai dengan jenis dan kondisi tanah. Nilai ini digunakan untuk menghitung daya dukung tanah (*bearing capacity*), tekanan tanah terhadap dinding penahan (*earth pressure*) dan kestabilan lereng (*slope stability*).

Keruntuhan geser (*shear failure*) disebabkan oleh gaya-gaya yang berkerja antara butirannya, dimana ini akan menyebabkan terjadinya gerak relatif anatara butir tanah. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan kohesi tanah (c) dan sudut geser tanah (θ).



Gambar 2.12 Alat Uji Geser Langsung
Sumber: SNI 3420:2016

Adapun perhitungan yang dilakukan sebagai berikut :

a. Tekanan normal (σ)

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

keterangan :

σ = tekanan normal

N = Gaya normal

A = luas penampang

b. Tegangan geser (τ)

$$\tau = \frac{T}{A}$$

keterangan :

τ = tegangan geser

T = gaya geser

A = luas penampang

c. Kuat Geser (T)

$$T = C + \sigma \tan\phi$$

Keterangan :

T = Kuat Geser

C = Kohesi

σ = tekanan normal

ϕ = Sudeut geser

2.7.5 *Consolidation* (ASTM D 4186)

Tanah merupakan suatu material yang berpori besar sehingga mempunyai kesempatan yang besar untuk terjadi pemampatan dan deformasi elastis maupun plastis. Deformasi elastis adalah pemampatan tanah yang terjadi dimana tanah akan kembali ke bentuk semula apabila beban yang bekerja kepadanya ditiadakan. Untuk mencapai deformasi yang tetap (untuk tanah dengan deformasi yang kecil, lempung misalnya) diperlukan waktu yang cukup lama. Gejala yang demikian disebut dengan konsolidasi. Konsolidasi mengakibatkan antara lain:

1. Perubahan isi serta keluarnya air pori (angka pori mengecil).
2. Perubahan susunan butir tanah/susunannya menjadi teratur.

Secara keseuruhan konsolidasi terdiri dari dua bagian yaitu :

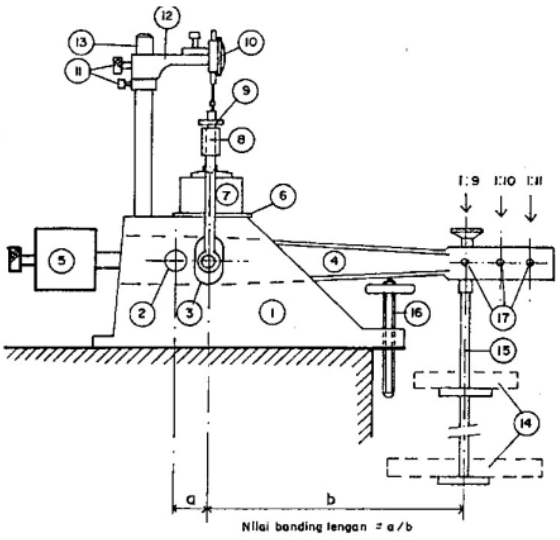
1. *Primary Consolidation*

   Penurunan yang terjadi karena air yang keluar dari dalam pori.

2. *Secondary Consolidation*

   Penurunan yang terjadi karena adanya penyesuaian diri antar butiran tanah, dan langsung dalam waktu yang lama serta nilainya kecil. Penurunan ini berjalan terus setelah *Primary Consolidation* selesai.

Lapisan tanah lempung biasanya terjadi dari proses pengendapan. Selama proses pengendapan, lempung mengalami konsolidasi atau penurunan, akibat tekanan tanah diatasnya. Lapisan tanah yang berada di atas ini, suatu ketika bisa menghilang akibat proses alam. Hal ini berarti tanah lapisan bagian bawah pada suatu saat dalam sejarah geologinya pernah mengalami konsolidasi akibat dari tekanan yang bekerja di waktu sekarang. Tanah semacam ini disebut dalam kondis *over consolidated (OC)* atau terkonsolidasi berlebihan. Kondisi lain, bila tegangan efektif yang bekerja pada suatu titik di dalam tanah pada waktu sekarang merupakan tegangan maksimumnya, maka tanah disebut dalam kondisi *normally consolidated (NC)* atau terkonsolidasi normal.



Gambar 2.13 Alat Uji Konsolidasi
Sumber : SNI 2812:2011

Adapun perhitungan yang dilakukan sebagai berikut :

1. Menghitung tinggi efektif benda uji (H_t)

   $$H_t = \frac{Bk}{A \times Gs}$$

Keterangan :

H_t = tinggi efektif benda uji

A = luas benda uji

Bk = berat kering benda uji

Gs = berat jenis benda uji

2. Menghitung angka pori semula (e_0)

$$e_0 = \frac{H_0 - H_t}{H_t}$$

Keterangan :

e_0 = angka pori awal

H_0 = tinggi semula benda uji

H_t = tinggi efektif benda uji

3. Menghitung perubahan angka pori (Δe)

$$\Delta e = \frac{\Delta H}{H_t}$$

Keterangan :

Δe = perubahan angka pori

ΔH = besar penurunan total

H_t = tinggi efektif benda uji

4. Menghitung angka pori (e)

$$e = e_0 - \Delta e$$

Keterangan :

e = angka pori

e_0 = angka pori semula

Δe = perubahan angka pori

5. Menghitung derajat kejenuhan (S_r)

$$S_r = \frac{w \times Gs}{e}$$

Keterangan :

S_r = derajat kejenuhan

w = kadar air

Gs = berat jenis benda uji

e = angka pori

6. Menghitung koefisien konsolidasi (Cv)

$$Cv = \frac{0{,}848 \times Hm^2}{t_{90}}$$

Keterangan :

Cv = koefisien konsolidasi

Hm = tinggi benda rata-rata

t_{90} = waktu untuk mencapai konsolidasi 90%

2.7.6 Triaxial Compression Test (ASTM D 4767-11)

Pengujian *Triaxial Compression Test* merupakan pengujian kuat geser yang sering digunakan dan cocok untuk semua jenis tanah. Keuntungannya adalah bahwa kondisi pengaliran dapat dikontrol, tekanan air pori dapat diukur dan bila diperlukan, tanah jenuh dengan permeabilitas rendah dapat dibuat terkonsolidasi.

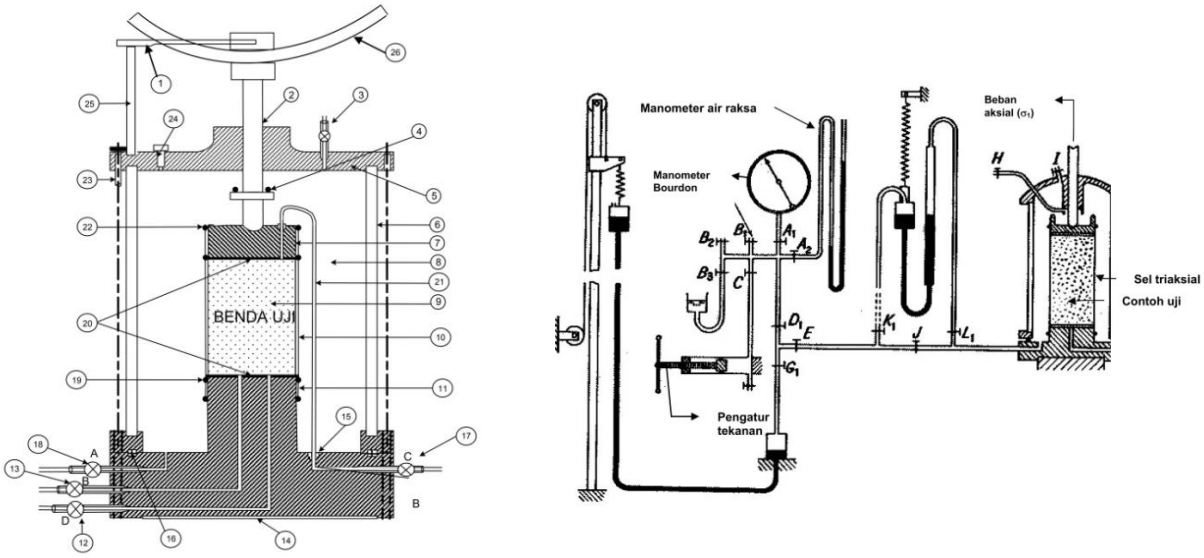
Tegangan geser triaksial adalah salah satu metode yang paling dapat diandalkan untuk menentukan parameter kuat geser. Digunakan secara luas untuk penelitian dan pengujian konvensional. Spesimen tanah pada pengujian ini dengan diameter 35 mm dan panjang umumnya digunakan 70 mm terbungkus membran karet tipis dan ditempatkan didalam ruang silinder plastik yang biasanya diisi air. Spesimen dikenakan tekanan keliling oleh kompresi cairan dalam ruang menyebabkan kegagalan geser dalam spesimen dan juga menerapkan tegangan aksial melalui ram beban vertikal (*deviator stress*).

Tegangan ini dapat diterapkan di salah satu dari cara berikut ini.

1. Tekanan hidrolik dengan penambahan yang sama sampai spesimen gagal (deformasi aksial dari spesimen yang dihasilkan dari beban diterapkan melalui ram diukur dial).
2. Aplikasi deformasi aksial dengan laju yang konstan dengan cara diarahkan atau hidrolik memuat tekan

Pengujian ini merupakan pengujian sampel tanah dengan tiga dimensi tekanan. Pada pengujian ini disamping dapat diketahui tegangan geser (τ) juga diperoleh tegangan normal (σ). Kegunaan dari pengujian adalah untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ) dari suatu sampel tanah, serta sifat-sifat elastic tanah seperti modulus tegangan-regangan (modulus elastis, (Es), modulus geser (G), dan nilai banding (angka) *poisson* (μ). Pengukuran kekuatan geser dilakukan

dengan memberikan tekanan vertikal pada sampel, dari proving ring dapat diketahui tekanan vertikal maksimum, yaitu pada waktu terjadi *failure*.



Gambar 2.14 Alat Uji Triaxial
Sumber SNI 4813:2015

2.8 Penelitian Terdahulu

1. Anwar Muda. (2016) "Analisis Kuat Tekan Bebas pada Penambahan Matos Terhadap Stabilisasi Tanah Lempung dengan Semen". Proporsi rancangan campuran pada penelitian yang dilakukan yaitu terdiri dari Matos sebanyak 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% serta campuran 28% pasir dan 6% semen masing-masing terhadap berat kering tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan matos mampu meningkatkan nilai kuat tekan tanah (UCS) berurutan sebesar 10,92 kg/cm^2; 11,18 kg/cm^2; 11,44 kg/cm^2; 13,78 kg/cm^2; dan 14,56 kg/cm^2.
2. Iswan, Muhammad Karami, I Wayan Diana. (2021) "Pengaruh Pemakaian Difa *Soil Stabilizer* terhadap Daya Dukung Tanah Lempung untuk Konstruksi Jalan". Dengan menggunakan komposis Difa *Soil Stabilizer* sebanyak 3% dan semen sebanyak 4%,6%, dan 8% menunjukkan bahwa penambahan Difa *Soil Stabilizer* dapat meningkatkan nilai CBR tanpa rendaman dan CBR rendaman untuk semua variasi pemeraman dan menurunkan potensi pengembangan tanah lempung.