

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah merupakan material yang tersusun agregat mineral-mineral padat yang tidak tersedimentasi satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk yang disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi rongga-rongga diantara partikel padat tersebut (Das, 1985). Fungsi tanah sangat penting pada berbagai macam pekerjaan konstruksi bangunan karena tanah berfungsi sebagai tumpuan beban yang ada di atasnya, oleh karena itu tanah yang akan dipergunakan sebagai pendukung konstruksi harus dipersiapkan terlebih dahulu sebelum dipergunakan sebagai tanah dasar (*subgrade*).

3.2 Sifat-Sifat Fisik Tanah

3.2.1 Kadar Air

Kadar air (w) adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s), dinyatakan dalam persen seperti Persamaan 3.1 berikut.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3.1)$$

3.2.2 Berat Volume

Berat volume (γ) adalah perbandingan antara berat tanah basah (W_2), berat cawan (W_1) dengan Volume tanah (V) bertujuan untuk mengetahui berat volume suatu sampel tanah, berat volume tanah adalah nilai perbandingan berat tanah total volume dinyatakan dalam Persamaan 3.2 berikut ini.

$$\gamma = \frac{W_2 - W_1}{V} \quad (3.2)$$

3.2.3 Berat Jenis

Pengujian bertujuan untuk menentukan berat jenis sampel tanah, berat jenis tanah adalah nilai perbandingan berat butiran tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperatur tertentu. Nilai berat jenis dinyatakan dalam Persamaan 3.3 berikut ini.

$$G_s (t^\circ\text{C}) = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (3.3)$$

dengan :

$G_s (t^\circ\text{C})$ = Berat jenis pada suhu tertentu

W_1 = Berat Piknometer, (gram)

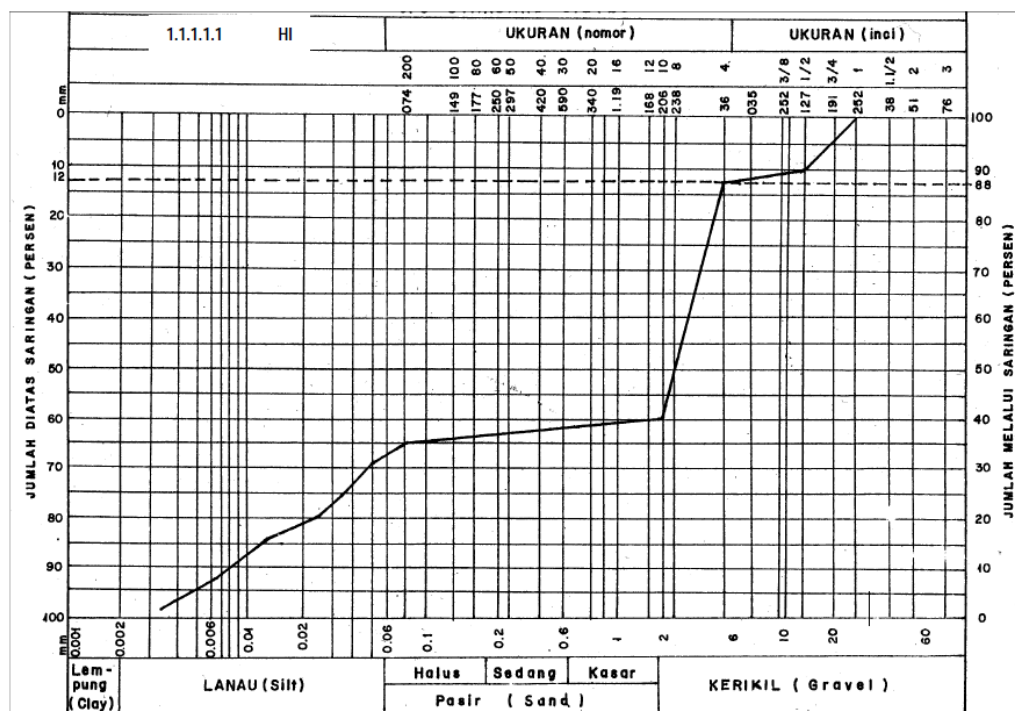
W_2 = Berat Piknometer + Tanah, (gram)

W_3 = Berat Piknometer + Tanah + Air, (gram)

W_4 = Berat Piknometer + Air, (gram).

3.2.4 Analisis Saringan

Cara untuk mendapatkan ukuran butiran yaitu tanah benda uji disaring lewat satu unit saringan. Tanah pada masing-masing saringan yang tertinggal ditimbang, lalu persentase terhadap berat kumulatif tanah dihitung. Grafik analisisaringan ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



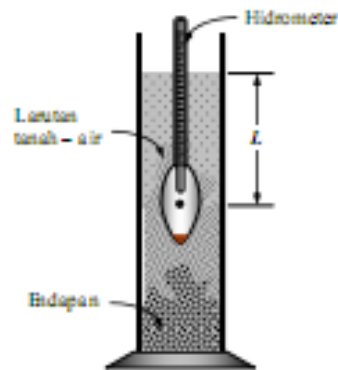
Gambar 3.1 Grafik Analisis Saringan

(Sumber : SNI 3422, 2008)

3.2.5 Analisis Hidrometer

Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi atau pengendapan butir-butir tanah dalam air. Distribusi ukuran tanah berbutir halus atau

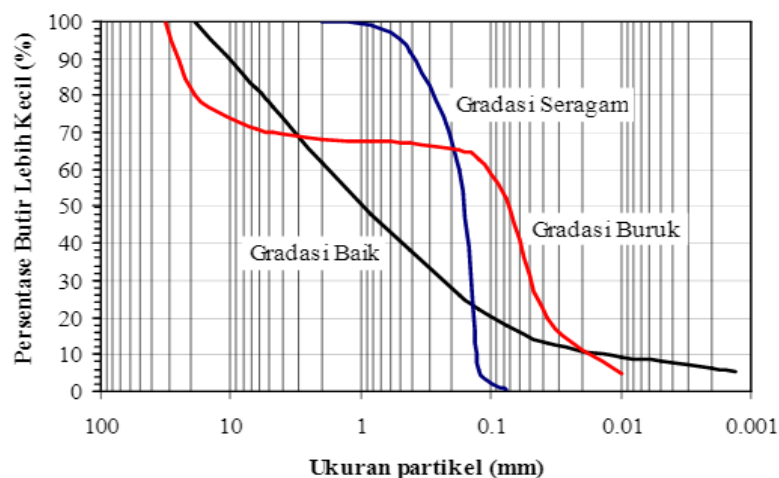
bagian berbutir halus dari tanah berbutir kasar, dapat ditentukan dengan cara sedimentasi. Pengujian dilakukan dengan analisa sedimen menggunakan hidrometer. Untuk mengetahui tanah berbutir halus dapat dilakukan dengan cara pengujian hidrometer. Analisis Hidrometer didasarkan pada prinsip pengendapan butir-butir tanah dalam air. Alat hidrometer seperti pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Alat Uji Hidrometer

Sumber: Muntohar (2007)

Hasil dari analisis mekanis (analisis saringan dan hidrometer) umumnya digambarkan dalam kertas semilogaritmik yang dikenal sebagai kurva distribusi ukuran butiran (*particle-size distribution curve*). Diameter butiran digambarkan dalam skala logaritma dan persentase dari butiran yang lolos saringan digambarkan dalam skala hitung biasa. Lebih jelasnya dapat dilihat kurva analisis distribusi butiran pada Gambar 3.3.

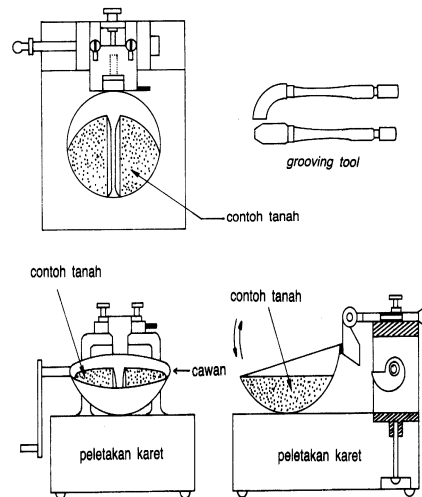


Gambar 3.3 Bentuk-Bentuk Kurva Distribusi Ukuran Butiran

Sumber: Muntohar (2007)

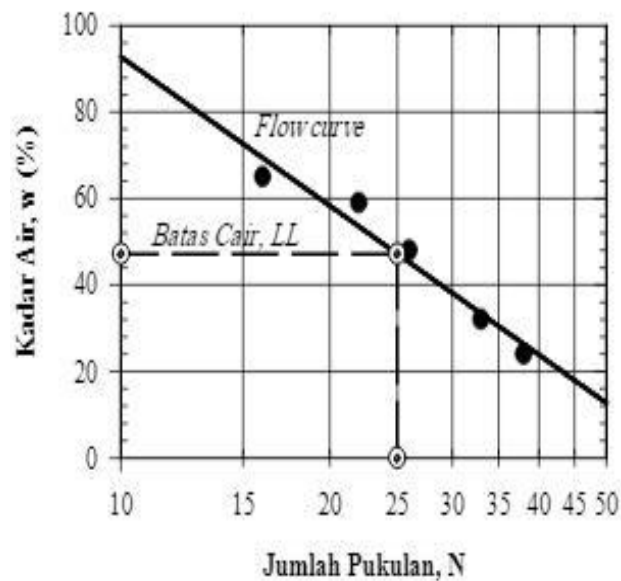
3.2.6 Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair atau *liquid limit* atau disingkat dengan LL yaitu batas (transisi) kadar air antara keadaan plastis dengan keadaan cair. Batas cair ditentukan dari pengujian Casagrande (1948). Skema uji Casagrande dan kurva penentuan batas cair lempung dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Skema Uji Batas Cair (a) Susunan alat uji batas cair, (b) Grooving tool, (c) Pasta tanah sebelum pengujian, (d) Pasta tanah sesudah pengujian.

Sumber: Muntohar (2007)



Gambar 3.5 Kurva Penentuan Batas Cair

Sumber: Muntohar (2007)

3.2.7 Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis atau *plastic limit*(PL) didefinisikan sebagai kadar air pada keadaan antara daerah plastis dan semi padat. Cara pengujiannya sederhana, yaitu dengan cara menggulung massa tanah berukuran elipsoidal (diameter 1/8 inci atau 3,2 mm) dengan telapak tangan di atas kaca datar, hingga menjadi retak-retak. Setelah tanah terlihat retak-retak, diperiksa kadar airnya.

3.2.8 Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Tanah akan menyusut apabila air yang dikandungnya perlahan-lahan hilang dalam tanah. Dengan hilangnya air terus-menerus, tanah akan mencapai suatu tingkat keseimbangan dimana penambahan kehilangan air tidak akan menyebabkan perubahan volume. Kondisi ini dikatakan sebagai batas susut. Batas susut atau *shrinkage limit* didefinisikan sebagai kadar air pada keadaan antara daerah semi padat dan padat, dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak akan menyebabkan perubahan volume.

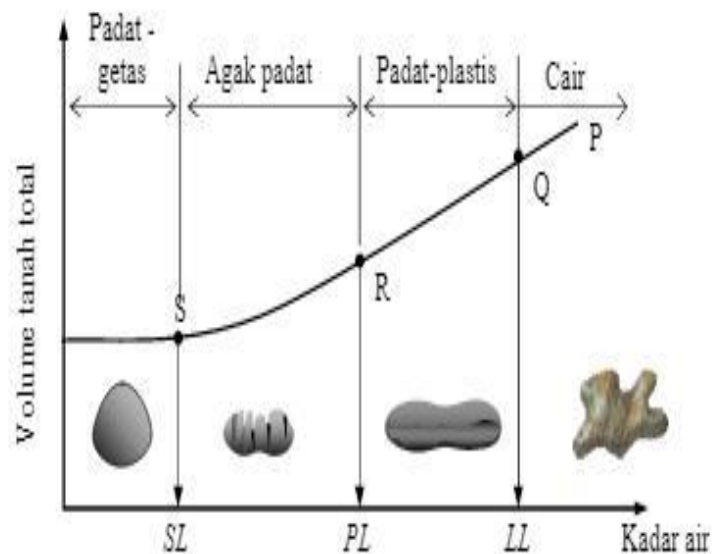
3.2.9 Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Tanah Plastisitas Indeks atau *plasticity Index* adalah perbedaan antara batas cair dengan batas plastis tanah dinyatakan dalam Persamaan 3.5 berikut.

$$PI = LL - PL \quad (3.5)$$

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.

Atterberg (1911), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Batas-batas tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas susut (*shrinkage limit*). Kedudukan batas-batas konsistensi dan variasi volume untuk tanah kohesif dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Variasi Volume dan Kadar Air pada Batas-Batas Konsistensi
 Sumber: Muntohar (2007)

3.3 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaian. Secara umum, klasifikasi tanah dibagi dua, yakni klasifikasi berdasarkan tekstur dan klasifikasi berdasarkan pemakaian. Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang rinci. (Das, 1988)

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

banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik (Hardiyatmo, 2006).

1. Sistem USCS (*Unified Soil Classification System*)

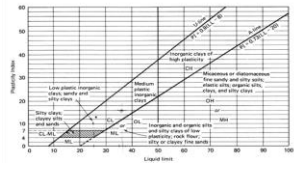
Dalam sistem USCS (Tabel 3.1) dan (Gambar 3.7), tanah diklasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (Kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomer 200 dan sebagai tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200.

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

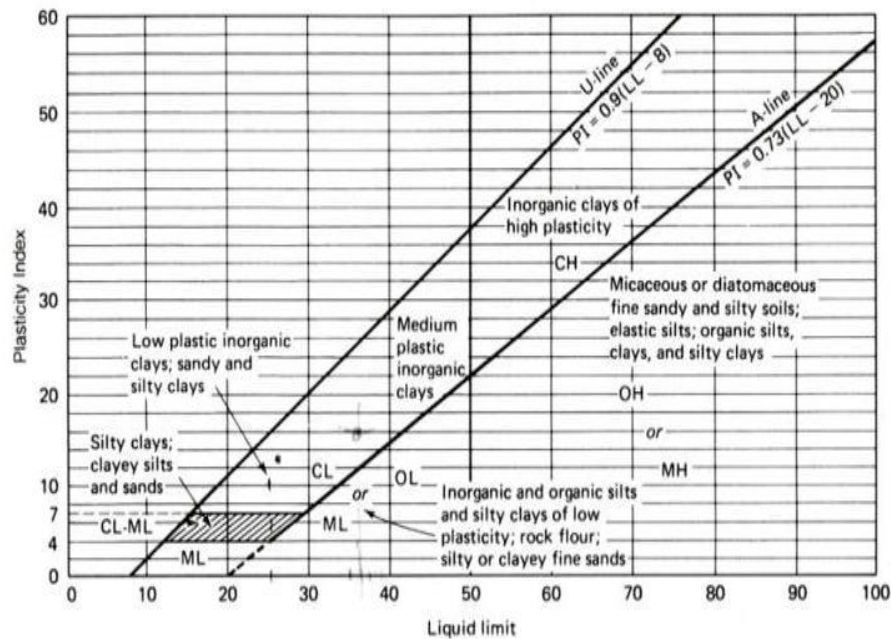
Sistem klasifikasi tanah AASHTO pertama kali diperkenalkan oleh Hoentogler dan Tarzaghi, yang akhirnya diambil oleh Bureau Of Public Roads. Pengklasifikasikan sistem ini berdasarkan kriteria ukuran butir dan plastisitas. Maka dalam mengklasifikasikan tanah membutuhkan pengujian analisis saringan dan batas-batas atterberg. Dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Sistem klasifikasi tanah USCS

Divisi Utama	Simbol kelompok	Nama Umum	kriteria klasifikasi	
Tanah Berbutir Kasar: Lebih dari 50% butiran terahan pada ayakan No. 200	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	$C_u = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		GP		
	Kerikil dengan butiran halus	GM	$C_u = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
		GC		
	Pasir dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Pasir bersih (hanya kerikil)	SW	$C_u = D_{60} / D_{10}$ lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
			SP	
		Kerikil dengan butiran halus	SM	
			SC	
	Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung Batas cair 50% atau kurang	ML	manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat ASTM designation D - 2488
			CL	
OL				
Lanau dan lempung Batas cair lebih dari 50%		MH		
		CH		
		OH		
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi	PT			



Sumber : Hardiyatmo, (1999)



Gamb

ar 3.7 Grafik Diagram Plastisitas

Sumber : Bowles, (1993)

Tabel 3.2 Sistem klasifikasi tanah AASHTO

Klasifikasi Umum	Material granuler (<35% lolos saringan no. 200)						Tanah-tanah lanau-lempung (>35% lolos saringan no. 200)			
	A-1		A-3	A-2		A-4	A-5	A-6	A-7	
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5					A-2-6
Analisis saringan (% lolos)	50 maks -		-	-	-	-	-	-	-	
2,00 mm (no. 10)	30 maks 50 maks		51 min	-	-	-	-	-	-	
0,425 mm (no. 40)	15 maks 25 maks		10 maks	35 maks 35 maks	35 maks 35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min	
0,075 mm (no. 200)										
Sifat fraksi lolos saringan no. 40										
Batas cair (LL)	-		-	40 maks 41 min	40 maks 41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks 10 maks	11 min 11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min	
Indeks kelompok (G)	0		0	0	4 maks	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks	
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir		Tanah berlanau		Tanah berlempung		
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						Sedang sampai buruk			

Catatan:

Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)

Untuk PL > 30, Klasifikasinya A-7-5;

Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6.

Np = nonplastis

Sumber: Das (1988)

3.4 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah dalam pengertian yang luas adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat – sifat teknis tanah atau dapat pula, stabilitas tanah adalah usaha untuk memperbaiki sifat – sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Proses stabilisasi tanah meliputi stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi. Stabilisasi tanah adalah usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah seperti kapasitas dukung, kompreibilitas, permeabilitas, kemudahan dikerjakan, potensi pengembangan dan sensitifitas terhadap perubahan kadar air sehingga dapat memenuhi syarat teknis tertentu (Hardiyatmo, 2010).

Tujuan perbaikan tanah adalah untuk mendapatkan tanah dasar yang stabil pada semua kondisi. Metode stabilisasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah stabilisasi kimia. Stabilisasi tanah secara kimia adalah penambahan bahanstabilisasi yang dapat mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah. Biasanya digunakan untuk tanah yang berbutir halus.

3.5 Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Pada kadar air lebih tinggi lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak (Das, 1995).

3.6 Pupuk UREA

Pupuk urea adalah pupuk kimia mengandung Nitrogen (N) berkadar tinggi. Pupuk urea berbentuk butir-butir kristal berwarna putih atau merah muda. Pupuk urea merupakan pupuk yang mudah larut dalam air dan sifatnya sangat mudah menghisap air (higroskopis), karena itu sebaiknya disimpan di tempat yang kering dan tertutup rapat.

Adapun ciri-ciri pupuk urea adalah.

1. mengandung Nitrogen (N) berkadar tinggi,
2. berbentuk butir-butir Kristal berwarna putih atau merah muda,

3. memiliki rumus kimia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$,
4. Mudah larut dalam air dan sifatnya sangat mudah menghisap air (higroskopis), dan
5. Mengandung unsur hara N sebesar 46% Standar SNI-02-2801-1998.

3.7 Kapur

Batu kapur atau gamping dalam bahasa inggris disebut *limestone* merupakan sebuah batuan sedimen yang terdiri dari mineral kalsit dan argonit yang merupakan dua varian berbeda dari CaCO_3 (kalsium karbonat). Biasanya kapur relatif terbentuk di laut dalam kondisi bebatuan yang mengandung lempengan pelat kalsium (*coccoliths*) yang dibentuk oleh mikroorganisme *coccolothophores*.

Stabilisasi tanah kapur adalah usaha untuk memperbaiki sifat fisik tanah serta memudahkan dalam pelaksanaan pekerjaan dan menambah ketahanan terhadap pengaruh cuaca dengan mencampurkan kapur pada tanah.

Menurut SNI 03-4147-1996, jenis-jenis kapur dibagi menjadi 4 macam.

1. Kapur tipe I yaitu kapur yang mengandung kalsium hidrat tinggi dengan kadar magnesium oksida (MgO) paling tinggi 4 % .
2. Kapur tipe II yaitu kapur magnesium atau dolomite yang mengandung magnesium oksida lebih dari 4 % dan maksimum 36 % berat.
3. Kapur tohor (CaO), yaitu hasil pembakaran batu kapur pada suhu +900 F dengan komposisi sebagian besar kalsium karbonat (CaCO_3) .
4. Kapur padam, yaitu kapur dari hasil pemadaman kapur tohor dengan air, sehingga terbentuk hidrat $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

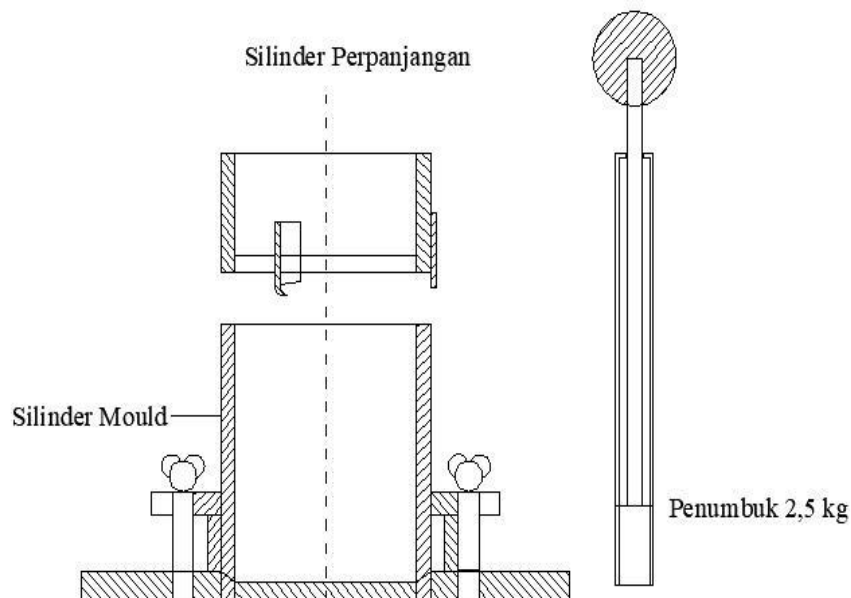
3.8 Pengujian Kepadatan Tanah

Pemadatan adalah peristiwa bertambahnya berat volume kering oleh beban dinamis. Oleh akibat beban dinamis, butir butir tanah merapat satu sama lain sebagai akibat berkurangnya rongga udara. Uji pemadatan dilakukan untuk menentukan hubungan kadar air dan beratvolume, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan. Tingkat kepadatan tanah diukur dari nilai berat volume kering (γ_d). Berat volume tidak berubah oleh adanya kenaikan

kadarair (w). Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ) dan kadar air (w), dinyatakan dalam Persamaan 3.6 berikut.

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{\left(1 + \frac{w(\%)}{100}\right)} \quad (3.6)$$

Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dilihat dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji Proktor. Gambar alat uji proctor dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Alat Standard Proctor Test
(Hardiyatmo, 2010)

3.9 Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) dimaksudkan untuk menentukan kekuatan tanah atau campuran agregat yang dipadatkan pada kadar air tertentu. Nilai CBR dihitung pada penetrasi sebesar 0,1 inci dan penetrasi sebesar 0,2 inci dan selanjutnya hasil kedua perhitungan tersebut dibandingkan diambil hasil terbesar. Pengujian CBR bertujuan menentukan CBR tanah yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air optimal. Pengujian CBR digunakan untuk mengevaluasi potensi kekuatan material tanah dasar, pondasi bawah dan pondasi, termasuk material yang didaur ulang untuk perkerasan jalan dan lapangan terbang.

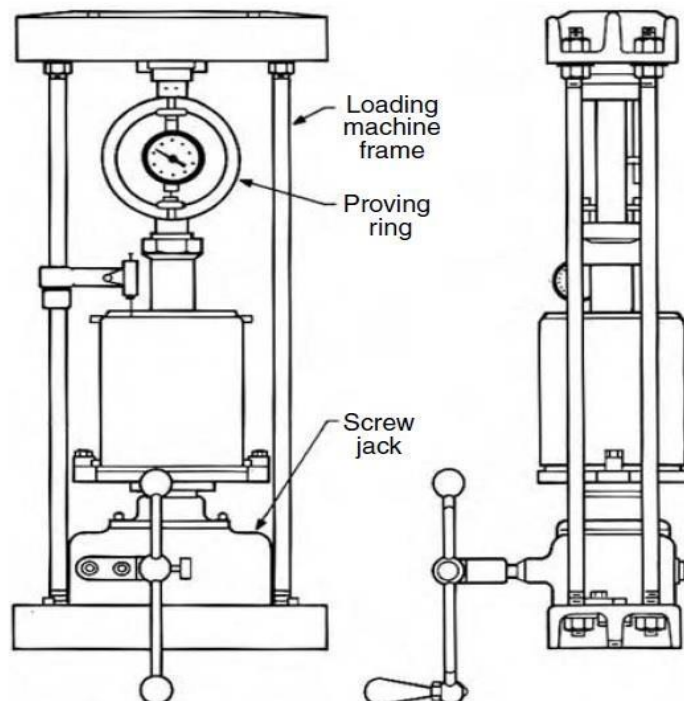
Pengujian CBR di laboratorium dilakukan terhadap beberapa benda uji, umumnya tergantung pada kadar air optimal pemadatan. Pengujian CBR dilakukan dengan 2 kondisi yaitu tanpa rendaman dan kondisi rendaman. Nilai CBR dinyatakan menggunakan Persamaan 3.7 seperti berikut.

$$CBR = \frac{\text{Beban terkoreksi}}{\text{Beban standar}} \times 100 \quad (3.7)$$

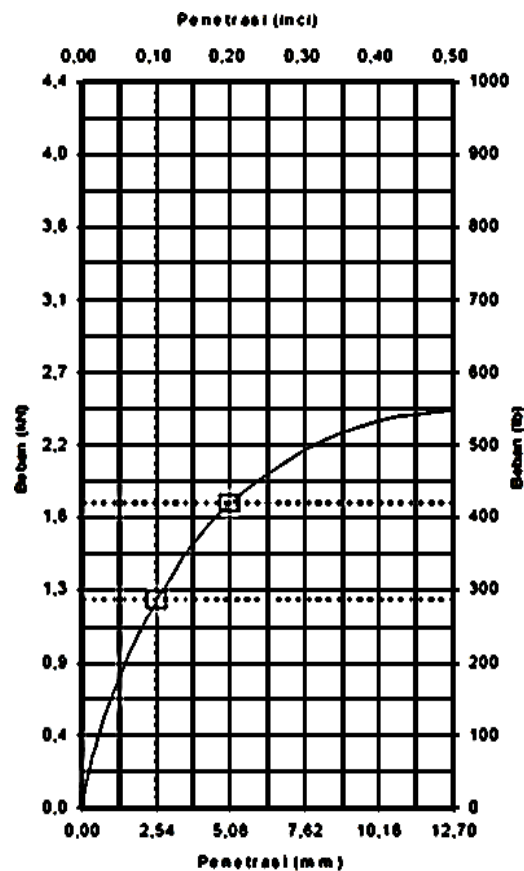
Dengan :

1. CBR umumnya dipilih pada penetrasi 2,54 mm (0,1 inci)
2. Beban terkoreksi harus ditentukan untuk setiap benda uji pada penetrasi 2,54 mm (0,1 inci) dan 5,08 mm (0,2 inci).
3. Beban standar yang digunakan pada CBR 0,1 “ adalah 1000 lbs dan pada CBR 0,2“ adalah 1500 lbs

Gambar alat uji CBR Laboratorium dan grafik CBR dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan 3.10.



Gambar 3.9 Alat Pemeriksa Nilai CBR di Laboratorium
(Sumber : Sudarmono dan Purnomo, 1997)



Gambar 3.10 Hasil Uji CBR
(Sumber : Hardiyatmo, 1999)

CBR laboratorium dibedakan atas 2 macam, yaitu CBR terendam (*soaked*) dan CBR tidak terendam (*unsoaked*), dengan uraian sebagai berikut.

1. CBR terendam (*soaked*) dilakukan perendaman selama 4 hari, perendaman ini bertujuan untuk membuat tanah menjadi jenuh air.
2. CBR tidak terendam (*unsoaked*) dilakukan langsung setelah tanah dipadatkan untuk pengujian.

3.10 Pengujian Triaksial

Pengujian Triaksial ini juga dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kuat geser tanah. Pengujian ini digunakan untuk kuat geser tanah lempung pada kondisi tempat aslinya, dimana angka pori benda uji pada permulaan pengujian tidak berubah dari nilai aslinya.

Terdapat berbagai macam kemungkinan prosedur pengujian dengan alat Triaksial, tetapi hanya ada tiga jenis pengujian yang pokok, yaitu:

1. Tak terkonsolidasi-tak terdrainasi (*Unconsolidated-Undrained*).

Contoh tanah mengalami tekanan sel tertentu, kemudian digunakan selisih tegangan utama secara tiba-tiba tanpa pengaliran pada setiap tahap pengujian.

2. Terkonsolidasi-tak terdrainasi (*Consolidated-Undrained*).

Pengaliran pada contoh tanah diperbolehkan dibawah tekanan sel tertentu konsolidasi selesai. Kemudian digunakan selisih tegangan utama tanpa pengaliran. Pengukuran tekanan air pori dilakukan selama keadaan tanpa pengaliran.

3. Terdrainasi (*Drained*).

Pengaliran pada contoh tanah diperbolehkan dibawah tekanan tertentu sampai konsolidasi selesai. Kemudian dengan pengaliran yang masih diperbolehkan, digunakan selisih tegangan utama dengan kecepatan sedang untuk membuat kelebihan tekanan air pori tetap nol.

Uji triaksial merupakan salah satu cara untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Terdapat dua cara untuk mendapatkan nilai (c) dan (ϕ) tersebut yaitu dengan menggunakan lingkaran Mohr dan regresi linier. Pada lingkaran Mohr, cara untuk mendapatkan sudut geser dalam (ϕ) dan nilai kohesi (c) dilakukan pada sampel benda uji tanah campuran dengan jumlah 3 buah, yang digunakan untuk tegangan sel (σ_3) $0,5 \text{ kg/cm}^2$, 1 kg/cm^2 , $1,5 \text{ kg/cm}^2$ dengan Persamaan 3.8 dan Persamaan 3.9.

$$\Delta\sigma = P/A \quad (3.8)$$

$$\sigma_1 = \Delta\sigma + \sigma_3 \quad (3.9)$$

Keterangan :

P = beban

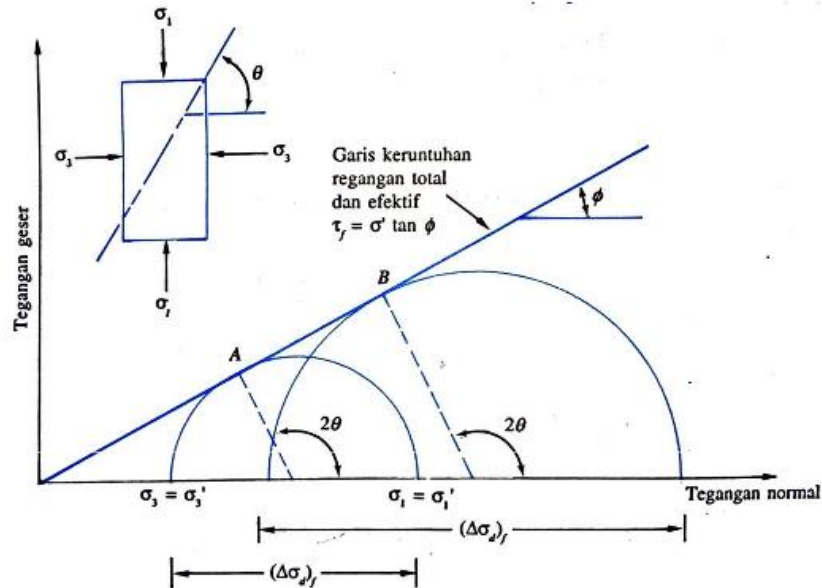
A = luas permukaan benda uji

$\Delta\sigma$ = tegangan deviator

σ_1 = tegangan total

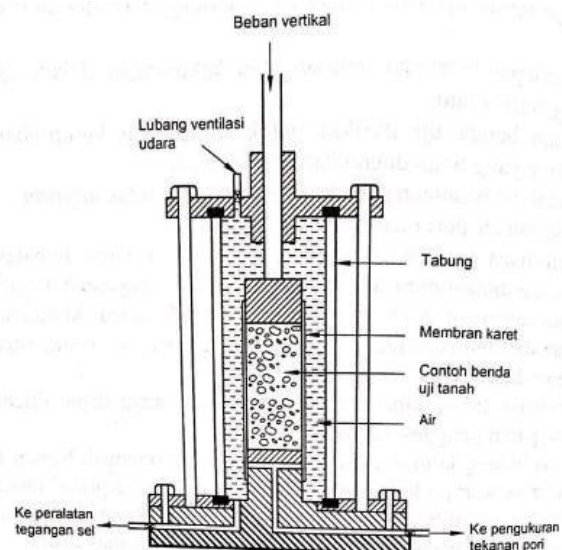
σ_3 = tegangan sel

Dari rumus diatas maka dapat dibuat gambar lingkaran Mohr, dari lingkaran Mohr tersebut dapat ditarik garis singgung antar lingkaran dan didapat nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Hasil Lingkaran Mohr
(Sumber : DAS, 1995)

Alat uji triaksial dapat dilihat pada Gambar 3.12 berikut ini.



Gambar 3.12 Alat Uji Triaksial
(Sumber : Hardiyatmo, 2010)