

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Pengertian Tanah

Tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. (Das, 1985)

Menurut Hardiyatmo (1992) mendefinisikan tanah sebagai himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*).

Sedangkan pengertian tanah menurut Bowles (1984), 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 mm 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 sampai 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.

Adapun Pembagian jenis tanah menurut AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Pembagian Jenis Tanah Berdasarkan Ukuran Butiran AASHTO

Jenis Tanah	Batasan Ukuran Butiran
Berangkal (<i>Boulder</i>)	8 inci
Kerakal (<i>Cobblestone</i>)	3 inci – 8 inci
Batu Kerikil (<i>Gravel</i>)	2 mm – 10 mm
Pasir Kasar (<i>Course Sand</i>)	0,6 mm – 2 mm
Pasir Sedang (<i>Medium Sand</i>)	0,2 mm – 0,6 mm
Pasir Halus (<i>Fine Sand</i>)	0,06 mm – 0,2 mm
Lanau (<i>Silt</i>)	0,002 mm – 0,06 mm
Lempung (<i>Clay</i>)	<0,002 mm

Sumber : Hardiyatmo (1992)

3.2 Klasifikasi Tanah

Tanah adalah suatu unsur yang sangat penting dalam dunia teknik sipil khususnya konstruksi bangunan, oleh karena itu perlunya perhatian khusus dalam mengelola agar dapat bermanfaat sebagaimana mestinya. Awal mula terbentuknya tanah menjadikan jenis-jenis tanah beragam. Sebagai langkah memudahkan pemanfaatan tanah tersebut maka perlu dilakukannya pengklasifikasian tanah.

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengelolaan beberapa jenis tanah yang beragam namun mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran dan plastisitas.

Terdapat banyak macam sistem klasifikasi tanah dari hasil pengembangan yang digunakan secara umum yang dimodifikasi dari sistem klasifikasi yang sudah ada. Beberapa sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas *Atterberg*, sistem-sistem tersebut adalah sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan sistem klasifikasi tanah *unified* (USCS). Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dapat dilihat pada

Tabel 3.2, serta berdasarkan sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) dapat dilihat pada Tabel 3.3.

3.2.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO mulanya membagi tanah kedalam 7 kelompok, yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 41
Tipe material yang paling Dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi Kelompok	A-4		A-5	A-6		A-7	

Lanjutan Tabel 3.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem AASHTO

Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

Sumber : Das (1995)

Tanah dalam kelompok A-1 sampai A-3 merupakan tanah berbutir (granular) yang tidak lebih dari 35 persen lolos saringan No.200. Tanah yang termasuk dalam kelompok A-1 yaitu campuran bergradasi yang terdiri dari kerikil, pasir kasar, pasir halus, dan suatu bahan pengikat (*binder*) yang mempunyai plastisitas sangat kecil atau tidak sama sekali ($I_p \leq 6$). Kelompok A-3 terdiri dari campuran pasir halus, bergradasi buruk, serta sebagian kecil pasir kasar dan kerikil, fraksi lanau yang merupakan bahan tidak plastis lolos saringan No.200. Kelompok A-2 juga merupakan bahan berbutir tetapi dengan jumlah bahan yang lolos saringan No.200 yang terhitung banyak (tidak lebih dari 35 persen). Tanah ini terletak di antara golongan dalam kelompok A-1 dan A-3 dan tanah lanau – lempung dari kelompok A-4 sampai A-7. Kelompok A-4 sampai A-7 adalah tanah berbutir halus dengan prosentase lebih dari 35 persen dari tanah lolos saringan No.200.

3.2.2 Sistem Klasifikasi USCS

Pada sistem klasifikasi USCS, *Cassagrande* membagi tanah menjadi tiga golongan (Sukirman, 1992) yaitu tanah berbutir kasar yang termasuk didalamnya

kerikil dan pasir yang prosentasenya kurang dari 50% berat total tanah lolos ayakan no.200, kemudian kelompok tanah berbutir halus yaitu dengan prosentase tanah lebih dari 50% berat total tanah lolos ayakan no.200, dan yang terakhir golongan tanah organik yang dapat diketahui dari bau, warna dan sisa-sisa tumbuh-tumbuhan yang terkandung di dalamnya.

Tanah berbutir kasar diberi simbol G untuk *Gravel* atau kerikil dan diberi simbol S untuk *sand* atau pasir. Untuk tanah berbutir halus memiliki simbol M untuk *silt* atau lanau, C untuk *clay* atau lempung, dan O untuk lempung ataupun lanau organik. Untuk tingkat plastisitas disimbolkan H untuk plastisitas tinggi dan L untuk plastisitas rendah.

Sistem klasifikasi USCS ini paling banyak digunakan dalam pekerjaan teknik seperti; pondasi, bendungan, bangunan gedung sederhana ataupun bertingkat dan konstruksi lainnya yang sejenis, juga biasa untuk desain lapangan udara dan untuk spesifikasi pekerjaan tanah untuk pembangunan jalan. Berikut ini adalah Tabel 3.3 klasifikasi tanah menurut USCS.

Tabel 3.3 Klasifikasi Tanah Sistem USCS

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi		
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
			Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus: Kurang dari 5% lolos saringan No. 200: GM, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan No. 200: GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan No. 200: Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol double			$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60}}$ Antara 1 dan 3 $D_{10} \times$
			Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW			
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. 60 50 CH 40 CL 30 Garis A 20 CL-ML 4 ML ML atau OH 0 10 20 30 40 50 60 70 80 Batas Cair LL (%) Garis A: $PI = 0.73 (LL-20)$		
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)			
		OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah			
	Lanau dan lempung batas cair $> 50\%$	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis			
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)			
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
		PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi		Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488	

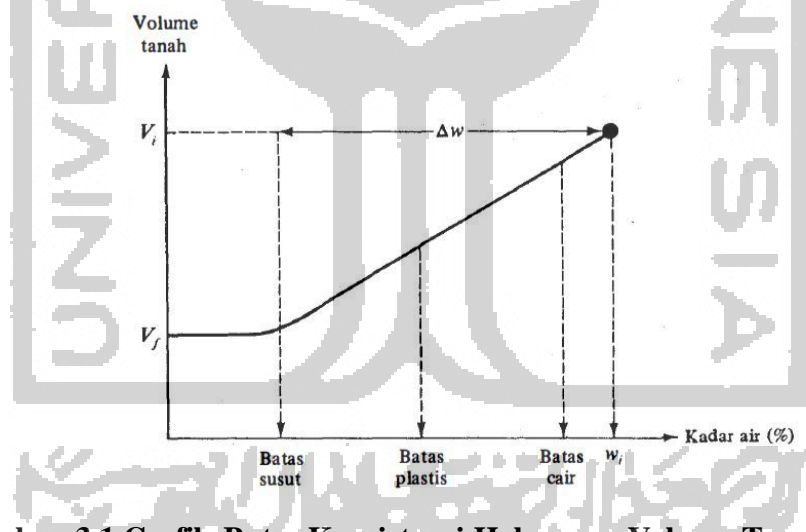
Sumber :Hardiyatmo, 1992.

3.3 Konsistensi dan Plastisitas

Konsistensi merupakan suatu kondisi fisik pada tanah berbutir halus (lanau dan lempung) dengan kandungan kadar air tertentu, adapun plastisitas adalah kemampuan tanah dalam perubahan tekstur dan bentuknya dalam keadaan volume yang tetap tanpa adanya retakan-retakan. Dari definisi diatas, konsistensi tanah dikelompokkan menjadi 4 kondisi dasar yaitu padat, semi padat, plastis, cair.

1. Peralihan dari padat ke semi padat disebut juga batas susut/SL (*shrinkage limit*)
2. Peralihan dari semi padat ke plastis disebut juga batas plastis/PL (*plastic limit*)
3. Peralihan dari plastis ke cair disebut juga batas cair/LL (*liquid limit*)

Berikut ini adalah Gambar 3.1 yang menerangkan tentang kondisi fisik tanah yang digambarkan oleh volume tanah dengan kadar air.



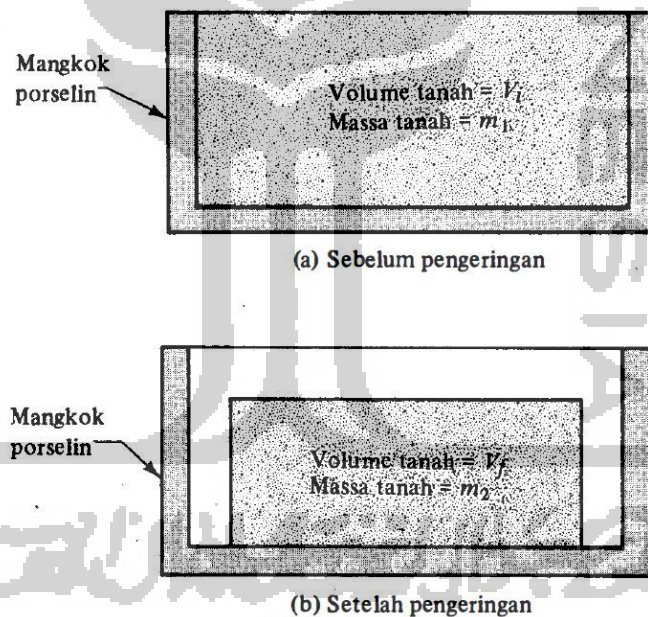
Gambar 3.1 Grafik Batas Konsistensi Hubungan Volume Tanah Dengan Kadar Air

(Sumber: Das, 1995)

3.3.1 Batas Susut/SL (Shrinkage Limit)

Batas susut adalah nilai kadar air tanah pada suatu tanah yang memiliki volume paling kecil saat airnya mengering. Yaitu batas kadar air pada derajat kejenuhan 100% dengan nilai-nilai dibawahnya jika tanah tersebut dikeringkan,

maka tanah tersebut tidak akan berubah volumenya. Pada batas susut tanah yang kecil, akan lebih mudah menyebabkan terjadinya perubahan volume dan tanah tersebut hanya akan membutuhkan sedikit saja air untuk dapat berubah volume. Pada saat pengujian batas susut, alat yang digunakan adalah porselen yang memiliki ukuran diameter 44,4 mm dan tinggi 12,7 mm, kemudian sampel tanah yang diuji dimasukkan ke dalam porselen, yang selanjutnya tanah tersebut dikeringkan menggunakan bantuan oven. Setelah dikeluarkan dari oven, perlunya melakukan penimbangan tanah sebelum dan setelah dimasukkan ke dalam oven yang nantinya akan diperoleh kadar air mula-mula sebelum dimasukkan oven dan perubahan kadar air setelah dimasukkan ke dalam oven. Berikut ini adalah Gambar 3.2 yang mengilustrasikan perubahan volume dan massa tanah sebelum dan setelah pengeringan.



Gambar 3.2 Perubahan Volume Pengujian Batas Susut

(Sumber: Das, 1995)

Untuk batas susut dapat dicari menggunakan Persamaan 3.1, 3.2 serta 3.3 seperti dibawah ini.

$$SL = (w_i - \Delta w) \quad (3.1)$$

$$W_i = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \% \quad (3.2)$$

$$\Delta w = \frac{(V_i - V_f) p_w}{m_2} \times 100\% \quad (3.3)$$

Dengan :

Δw = Perubahan kadar air setelah dioven

m_1 = Massa tanah basah

m_2 = Massa tanah kering

V_i = Volume tanah awal

V_f = Volume tanah kering

P_w = Berat volume air (gr/cm³)

3.3.2 Batas Plastis/PL (*Plastic Limit*)

Batas plastis adalah angka besarnya kadar air yang terkandung pada tanah yang dibuat dengan cara dipilin dengan diameter 3,2 mm tanah akan mulai timbulnya keretakan. Indeks plastisitas/PI (*Plasticity Index*) adalah selisih antara batas cair dengan batas plastis pada tanah yang dituliskan pada Persamaan 3.4 berikut. Indeks Plastisitas yang semakin tinggi menghasilkan jumlah partikel lempung dalam tanah semakin banyak, akan tetapi jika PI rendah maka kadar air bisa mengakibatkan tanah menjadi kering serta penambahan kadar air dapat menyebabkan tanah menjadi cair

$$PI = LL - PL \quad (3.4)$$

dengan :

PI = Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

LL = Batas Cair (*Liquid Limit*)

PL = Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Berikut adalah Tabel 3.4 tentang pengelompokan macam tanah terhadap nilai indeks plastisitasnya.

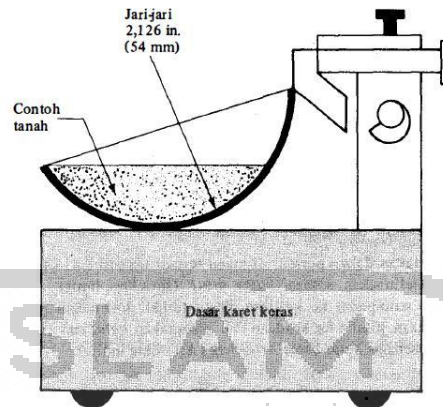
Tabel 3.4 Nilai Indeks Plastisitas Dan Macam Tanah

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

Sumber : Hardiyatmo (2002)

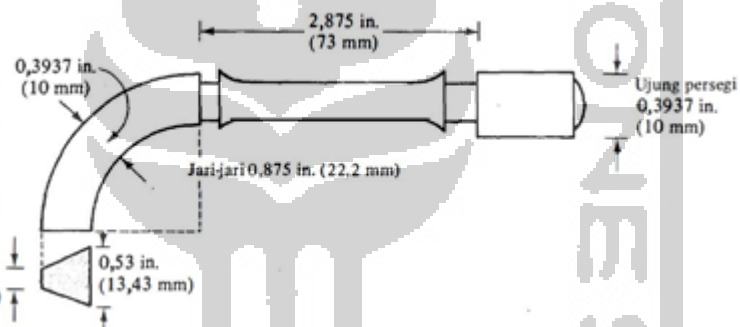
3.3.3 Batas Cair/LL (Liquid Limit)

Batas cair adalah nilai besarnya kadar air pada tanah, saat tanah dapat mengalir akibat berat sendirinya. Pada kondisi ini, butiran menyebar dan berkurang kadar airnya menyebabkan berkurang pula volume tanah. Pengujian batas cair dilakukan menggunakan alat bernama *cassagrande* yaitu berupa mangkok kuningan dengan cara meletakkan benda uji lalu digores tepat ditengah mangkok dengan memakai alat gores yang disebut *grooving tools* hingga membuat jarak goresan tanah menjadi 0,5 in (12,7 mm), dengan cara memutar tuas maka mangkok tersebut akan terjadi naik turun setinggi 0,3937 in (10 mm) dan dilakukan dengan mengamati ketukan pada interval 12-18, 19-25, 26-32, dan 33-40, berikut adalah Gambar 3.3, 3.4 dan 3.5 alat yang digunakan untuk pengujian batas cair.



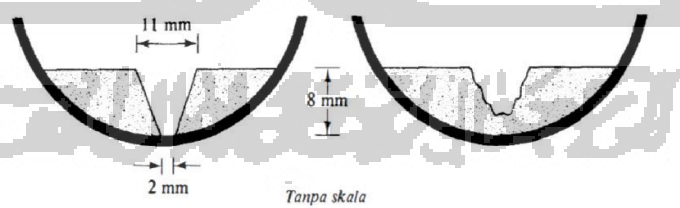
Gambar 3.3 Alat Cassagrande

(Sumber: Das, 1995)



Gambar 3.4 Grooving Tools

(Sumber: Das, 1995)



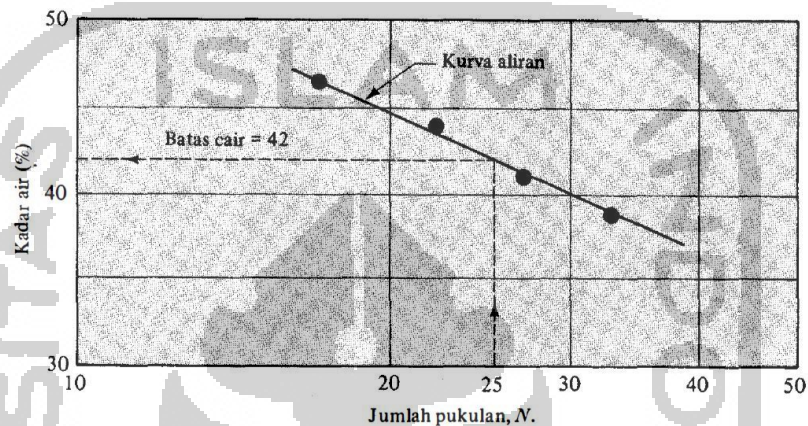
(a)

(b)

Gambar 3.5: (a) Tanah Setelah Di Gores (b) Tanah Setelah Dilakukan Pengujian

(Sumber: Das, 1995)

Setelah seluruh data yang diperlukan sudah diperoleh, kemudian membuat grafik hubungan antara ketukan sebagai sumbu y (skala log) dan kadar air sebagai ordinat (dalam persen skala biasa) seperti tampak pada Gambar 3.6 sebagai berikut.



Gambar 3.6 Grafik Hubungan Kadar Air Dengan Jumlah Pukulan Pada Uji Batas Cair

(Sumber: Das, 1995)

Dari pengujian batas-batas konsistensi yang telah dilakukan dapat diketahui jenis tanah yang diambil untuk sampel penelitian, dapat diketahui sifat-sifat tanahnya untuk keperluan perencanaan, tanah yang memiliki batas cair tinggi mempunyai sifat teknik yang buruk, yaitu kekuatan daya dukungnya rendah, pemampatannya tinggi dan sulit dipadatkan. (Soedarmo, 1993), dengan adanya uji batas-batas konsistensi tersebut juga dapat diketahui seberapa besar pengaruh penambahan bahan stabilisasi dalam hal ini adalah pupuk urea dan semen yang diberikan terhadap perilaku pada tanah sampel. Berikut adalah potensi pengembangan tanah lempung ditentukan dengan beberapa kriteria yang terdapat pada Tabel 3.5, Tabel 3.6 dan Tabel 3.7 dibawah ini.

Tabel 3.5 Kriteria Pengembangan Berdasarkan IP

Plasticity Index (%)	Swelling Potensial
0 – 15	Low
10 – 35	Medium
35 – 55	High
>55	Very High

Sumber : Chen (1975)

Tabel 3.6 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SI

Plasticity Index (%)	Shrinkage Index (%)	Degree Of Expansion
<12	<15	Low
12 – 23	15 – 30	Medium
23 – 30	30 – 40	High
>30	>40	Verry High

Sumber : Raman (1967)

Tabel 3.7 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Linear Shrinkage dan SL

Plasticity Index (%)	Shrinkage Limit (%)	Probable Swell	Degree Of Expansion
<5	<12	<0,5	Non Critical
5 – 8	10 – 12	0,5 – 1,5	Marginal
>8	<10	<1,5	Critical

Sumber : Almayer (1995)

Skempton (1953), merumuskan sebuah parameter aktivitas tanah pada Persamaan 3.5 sebagai berikut :

$$\text{Activity (A)} = \frac{PI}{C} \quad (3.5)$$

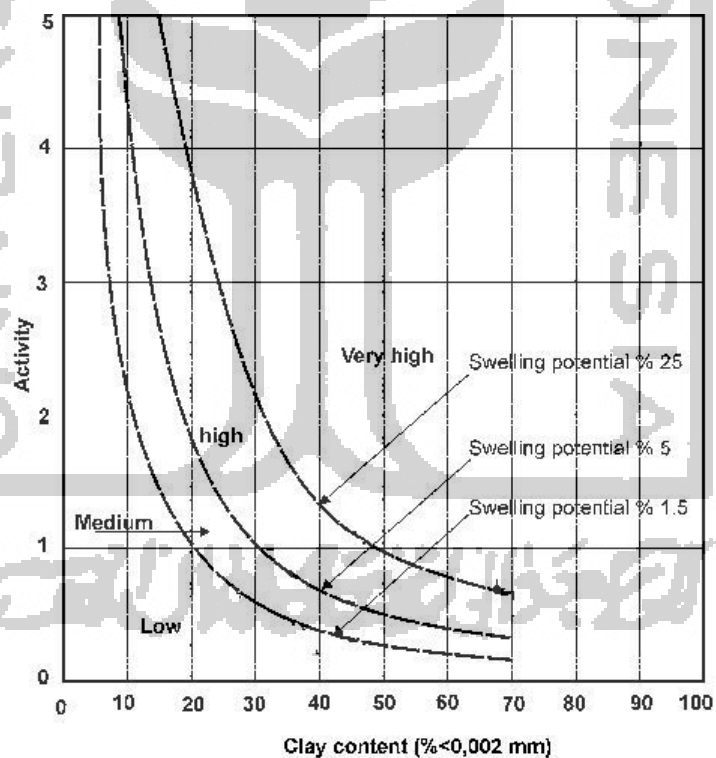
dengan :

A = Aktivitas

PI = Indeks Plastisitas

C = Prosentase lempung < 0,002 mm

Seed et al.(1962) mengembangkan chart berdasarkan nilai aktifitas (A) dengan prosentase tanah lempung seperti Gambar 3.7 di bawah ini :



Gambar 3.7 Hubungan Aktifitas dengan Prosentase Lempung

(Sumber: Seed et al., 1962)

3.4 Stabilisasi Tanah

Tanah yang tersedia di lapangan sangat beragam dan sifat tanah tersebut tidak tentu selalu baik untuk pemanfaatan, khususnya untuk pemanfaatan konstruksi. Dalam hal ini, sebagai seorang perencana harus mampu menyelesaikan permasalahan tersebut, cara memperbaiki kondisi tanah yang buruk antara lain dengan cara melakukan stabilisasi, dalam subbab ini akan dibahas tentang stabilisasi tanah baik stabilisasi secara mekanis, fisis maupun kimiawi.

3.4.1 Pengertian Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah secara umum dapat diartikan sebagai usaha memperbaiki atau meningkatkan kapasitas dukung tanah, mengurangi sifat kembang susut tanah, memudahkan dalam pelaksanaan pekerjaan dan menambah ketahanan terhadap pengaruh cuaca dengan cara mencampur tanah asli dalam kondisi terganggu dengan bahan stabilisasi.

Menurut Bowles (1986) jika suatu tanah yang ada di lapangan memiliki sifat sangat lepas atau mudah tertekan, atau bila tanah tersebut mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitas yang terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka perlu dilakukannya stabilisasi pada tanah tersebut. 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 cara mekanis dan kimiawi yang akan dijelaskan lebih detail pada subbab berikut ini.

3.4.2 Stabilisasi Mekanik

Stabilisasi tanah mekanis dapat dilakukan dengan beragam cara, antara lain adalah pemadatan menggunakan alat/mesin pemadat (*stamper*) untuk diterapkan di lapangan atau bisa juga dengan alat pemadat tanah sampel dari lapangan yang dibawa ke laboratorium. Menurut Panguriseng (2001) stabilisasi mekanis yaitu stabilisasi dengan menggunakan material sisipan ke lapisan tanah, sehingga dapat memperbaiki karakteristik massa tanah sesuai dengan alasan dilakukannya stabilisasi. Sedangkan pendapat Ingles dan Metcalf (1972), perbaikan tanah menggunakan cara mekanis merupakan perbaikan tanah dengan tanpa penambahan bahan-bahan lainnya. Stabilisasi mekanis umumnya dilakukan dengan memanfaatkan peralatan mekanis seperti mesin gilas, penumbuk, peledak, tekanan statis dan sebagainya. Metode ini umumnya dilakukan pada tanah berbutir kasar yang memiliki fraksi tanah lolos saringan nomor 200 ASTM paling banyak 25%.

3.4.3 Stabilisasi 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.

3.4.4 Stabilisasi Kimiawi

Menurut Panguriseng (2001) stabilisasi tanah secara kimia adalah metode perbaikan parameter tanah menggunakan bahan campur yang memiliki kandungan mineral dimana mineral ini mampu bereaksi dengan mineral yang ada dalam massa tanah, dan menghasilkan senyawa baru yang lebih stabil dari senyawa yang terkandung dalam tanah sebelum dilakukan pencampuran.

Adapun menurut Ingles dan Metcalf (1972) Perbaikan tanah secara kimiawi adalah penambahan bahan stabilisasi yang mampu mengubah sifat-sifat yang kurang baik dari tanah. Metode stabilisasi tersebut umumnya digunakan untuk tanah berbutir halus. Pencampuran bahan kimia yang kebanyakan dilakukan yaitu dengan menggunakan semen, kapur, abu batubara dan sebagainya.

3.5 Pupuk Urea

Berdasarkan persyaratan SNI 02-2801-1998, pupuk urea adalah pupuk kimia yang mengandung Nitrogen (N) berkadar tinggi. Unsur Nitrogen merupakan zat hara yang sangat diperlukan oleh tanaman. Pupuk urea berbentuk butir-butir kristal berwarna putih kemerah-merahan. Pupuk urea memiliki rumus kimia NH_2CONH_2 merupakan pupuk yang mudah larut dalam air dan sifatnya yang sangat mudah menghisap air (higroskopis), oleh karena itu sebaiknya disimpan di tempat yang kering dan tertutup rapat. Pupuk urea mengandung unsur hara N sebesar 46% dengan maksud setiap 100 kg mengandung 46kg Nitrogen, Moisture 0,5%, Kadar Biuret 1%, ukuran 13,35 mm, dan 90% Min serta berbentuk prill.

Sifat pupuk urea yang mudah larut dalam air serta mudah menghisap air tersebut menjadikan pupuk urea tersebut suatu bahan yang sangat baik untuk dijadikan campuran stabilisasi pada tanah yang erat hubungannya dengan konsistensi tanah, khususnya sifat kembang susut tanah.

Stabilisasi menggunakan pupuk urea sudah banyak digunakan terutama pada tanah jenis berbutir halus, namun dari beberapa kasus stabilisasi menggunakan pupuk urea biasanya ditinjau dari segi kuat geser tanah ataupun daya dukung tanah tersebut, namun untuk penelitian kali ini akan ditinjau dari daya dukung tanah berdasar nilai CBR dan faktor pengembangan tanah (*swelling factor*) yang dibandingkan sebelum dan setelah dilakukan stabilisasi.

3.6 Semen

Semen diartikan sebagai bahan perekat yang memiliki sifat mengikat bahan padat menjadi satu kesatuan yang kuat dan kuat menurut (Bonardo Pangaribuan, Holcim). Bahan dasar semen pada umumnya yaitu 70-95% merupakan hasil olahan pembakaran batu kapur, pasir silika, pasir besi dan lempung, serta sekitar 5% mengandung *gypsum* untuk memperlambat proses pengerasan dan material tambahan lainnya seperti abu terbang, pozzolan, batu kapur, dan lain sebagainya. Semen adalah bahan kimia yang memiliki nilai optimum jika dicampur dengan material lainnya, khususnya tanah. Maka dari itu, banyak atau sedikitnya penambahan semen sangat berpengaruh pada materialnya. Penambahan semen

yang terlalu banyak atau melebihi batas optimum dapat menyebabkan campuran menjadi sangat kaku lalu terjadilah keretakan (*cracking*).

Stabilisasi tanah menggunakan semen dimana kekuatan, karakteristik deformasi, daya tahan terhadap air, cuaca dan sebagainya yang bisa disesuaikan dengan kebutuhan perencana dalam artian penambahan semen akan meningkatkan daya dukung tanah dan memperbaiki daya tahan tanah terhadap air (*swelling* rendah) yang menyebabkan durabilitas tanah meningkat.

Jenis semen yang biasa digunakan untuk bahan stabilisasi adalah semen *Portland* tipe 1 yaitu semen berjenis PCC (*Portland Composite Cement*) yang mempunyai panas hidrasi rendah selama proses pendinginan sehingga proses pengerjaan akan lebih mudah dan menghasilkan permukaan yang lebih rapat dan halus. Persoalan yang umum terjadi pada penggunaan semen tipe ini yaitu pada saat digunakan pada tanah yang mengandung kadar air serta bahan organik, sulfat dan garam-garaman dengan kadar yang tinggi, selain itu tipe semen ini memiliki kemampuan penyerapan air untuk hidrasi semen dan reaksi awal *Ettringite* relatif kecil dibanding jenis semen yang lain.

3.7 Kembang Susut Tanah

Fenomena pengembangan (*swelling*) menimbulkan berbagai dampak pada konstruksi bangunan sipil. Banyak negara di dunia yang menghadapi masalah pada pengembangan tanah lempung ini seperti negara Amerika Serikat, Canada, Israel, Australia dan banyak negara di Afrika dan Asia Barat, tak terkecualikan Indonesia.

Tanah mengembang yang biasa dikenal dengan *expansive soil*, adalah tanah yang memiliki ciri-ciri kembang susut yang besar, mengembang pada musim hujan dan menyusut pada musim kemarau dalam artian kondisi tanah yang mengandung kadar air cukup banyak ia akan mengembang dan ketika kadar air berkurang tanah akan mengalami kekeringan. Untuk lebih detailnya mengenai tanah kembang susut akan dibahas pada subbab-subbab berikut ini.

3.7.1 Pengertian Kembang Susut pada Tanah

Kembang susut adalah suatu sifat pada tanah yang dalam keadaan jenuh air ia akan mengembang dan ketika kadar air berkurang maka tanah akan menyusut atau kering. Umumnya tanah seperti ini terjadi pada tanah berbutir halus.

Tanah yang memiliki kembang susut tinggi dinilai cukup mengganggu jika akan dibangun sebuah konstruksi di atasnya, terutama jika akan dibangun gedung. Banyak terjadinya keretakan memanjang arah vertikal yang disebabkan tanah dasar memiliki nilai kembang susut yang tinggi dan tidak merata dalam satuan luasan tertentu, sehingga ada bagian gedung yang mengalami penurunan namun bagian lainnya tidak, hal inilah yang menjadi faktor utama timbulnya keretakan pada dinding gedung tersebut. Selain itu, jika dalam kondisi banyak air, misalnya ketika musim hujan maka jika gedung dibangun di atas tanah yang memiliki nilai kembang susut tinggi akan mengalami kenaikan, dan ketika airnya sudah mulai mengering bangunan tersebut akan mengalami penurunan.

Tanah jenis diatas perlu adanya upaya stabilisasi untuk memperbaiki sifat tanah yang umumnya distabilisasi dengan bahan-bahan yang sesuai dengan sifat tanah berbutir halus, sehingga menjadi lebih baik dan memenuhi syarat sebagai bahan konstruksi.

Karakteristik tanah mengembang dipengaruhi oleh dua hal, yaitu faktor mikroskopik dan faktor makroskopik. Faktor mikroskopik yaitu faktor dalam tanah yang menyebabkan tanah ekspansif mengalami kembang susut, antara lain: mineralogi tanahnya, perilaku air dan jumlah *exchangeable cation* serta besarnya *specific surface* dari partikel tanah. Adapun yang dimaksud faktor makroskopik adalah properti tanah secara fisik, antara lain indeks plastisitas dan berat volume tanah termasuk didalamnya batas-batas *Atterberg*.

3.7.2 Identifikasi Tanah kembang Susut Tinggi (Ekspansif)

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

1. Identifikasi Mineralogi

Analisa mineralogi sangat berguna untuk mengidentifikasi potensi kembang susut suatu tanah berbutir halus. Identifikasi dilakukan dengan cara dibawah ini.

a. Difraksi sinar X (*X-Ray Diffraction*)

Metode ini digunakan untuk menentukan perbandingan berbagai mineral yang terdapat pada koloid lempung, yaitu dengan membandingkan intensitas dari garis difraksi dari berbagai mineral terhadap garis bahan standar.

b. Penyerapan terbilas (*Dye Absorption*)

Bahan celup dan bahan reagen lainnya akan menimbulkan warna tertentu bila diserap oleh lempung. Metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi lempung.

c. Penurunan panas (*Differential Thermal Analysis*)

Cara ini baik digunakan untuk memeriksa material yang mengalami perubahan karakteristik akibat panas.

d. Analisa kimia (*Chemical Analysis*)

Digunakan sebagai pelengkap pada metode difraksi sinar X.

e. *Elektron microscope resolution*

Digunakan untuk menentukan komposisi mineral, tekstur, dan struktur internal. Hasil dari metode ini juga dapat digunakan untuk membedakan karakteristik dan morfologinya.

2. Cara Tidak Langsung

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

a. Batas-batas *Atterberg*

b. Kembang Susut Tanah (*Swelling*)

c. Aktivitas Tanah

3. Cara Langsung

Metode pengukuran langsung, yaitu dengan menggunakan Oedometer Terzaghi. Besarnya pengembangan adalah pengembangan tanah dibagi dengan tebal awal contoh tanah.

3.7.3 Sifat Fisik dan Mekanik Tanah yang Memiliki Nilai Kembang Susut Tinggi

1. Sifat Fisik

Sifat fisik tanah lempung dapat diketahui dengan melihat beberapa keadaan, antara lain sebagai berikut.

a. Ukuran Butiran tanah

Ditinjau dari butirannya tanah lempung merupakan suatu jenis tanah dengan ukuran butiran lebih kecil dari 2 mikron ($< 0,002$ mm)

b. Batas-batas *Atterberg*

Yaitu nilai dari batas-batas konsistensi tanah yang meliputi batas plastis, indeks plastisitas, batas susut, dan batas cair.

c. Berat Jenis Spesifik (*Specific Gravity*, *GS*)

Adalah perbandingan antara berat isi butir tanah dengan berat isi air suling dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Berat jenis spesifik (*GS*) ini tanpa satuan dan nilai rata-ratanya adalah sebesar 2,65.

d. Angka Aktivitas (*Activity*)

Dengan cara membandingkan nilai Indeks plastisitas dengan presentase partikel tanah yang berukuran kurang dari 2 mikron.

2. Sifat Mekanik

Sifat Mekanik tanah dapat diketahui dengan melakukan uji pemadatan, diantaranya seperti dibawah ini.

a. Uji Proktor Standar

Uji untuk mendapatkan kadar air optimum dan berat kering maksimum tanah.

b. Uji CBR

CBR merupakan perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Makin tinggi kadar airnya semakin kecil nilai CBR dari tanah tersebut. Walaupun demikian, hal itu tidak berarti bahwa sebaiknya tanah dasar dipadatkan dengan kadar air yang rendah supaya mendapat nilai CBR yang tinggi, karena kadar tidak konstan

c. Uji Kuat Tekan Bebas

Merupakan suatu metode pengujian untuk mendapatkan daya dukung ultimit tanah (q_u). Yang diperoleh dalam percobaan UCT adalah kuat tekan bebas dari tanah yaitu besarnya tekanan axial yang diperlukan untuk menekan suatu silinder tanah sampai pecah, atau besarnya tekanan yang memberikan perpendekan tanah sebesar 20% bila tanah tersebut tidak pecah.

3.7.4 Uji Kembang Susut pada Tanah

Salah satu uji pengembangan oleh *US Water and Power Resources Service* adalah Uji Pengembangan Bebas (*Free Swelling Test*). Pengujian ini dilakukan dengan cara menabur perlahan-lahan 10 ml tanah kering dengan butiran lolos saringan no.40, ke dalam tabung gelas ukur yang telah diisi air destilasi dengan volume 1000 ml, dan diamati volume saat keseimbangan terjadi.

Uji pengembangan bebas dapat dihitung dengan membandingkan selisih volume tanah setelah diberi air destilasi dengan volume tanah mula-mula yang hasilnya dibuat dalam bentuk persentase.

Pengujian lainnya untuk mengetahui nilai kembang susut tanah yaitu dilakukan dengan membuat benda uji berbentuk silinder yang diuji proktor standar terlebih dahulu untuk mengetahui kadar air optimum dan kepadatan maksimum, kemudian diuji CBR setelah itu direndam pada jumlah hari tertentu, untuk penelitian ini direndam selama 4 hari dalam keadaan dial yang dipasang dan dicatat pembacaan dialnya selama 4 hari tersebut. Sebelum diangkat dari rendaman, dicatat lagi penurunannya melalui dial, lalu diangkat benda ujinya dan diuji menggunakan mesin CBR dan kembali dicatat pembacaan dialnya.

3.8 Proktor Standar

Proktor standar adalah suatu pengujian pemadatan tanah yang dilakukan di laboratorium dengan sampel dibuat silinder yang bertujuan untuk mencari nilai kadar air optimum dan berat kering maksimum tanah. Perlunya pengujian ini dikarenakan hasil atau output dengan bentuk nilai kadar air optimum yang nantinya akan digunakan untuk pengujian CBR. Ada beberapa persyaratan teknis yang perlu diterapkan pada pengujian ini guna menghindari kekeliruan data yang diperoleh dari hasil pengujian.

1. Material dan Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan pengujian kepadatan tanah di Laboratorium antara lain :

- a. material test : Tanah
- b. tabung Mold
- c. *proctor test*
- d. saringan
- e. timbangan
- f. alat Penumbuk
- g. alat perlengkapan lainnya

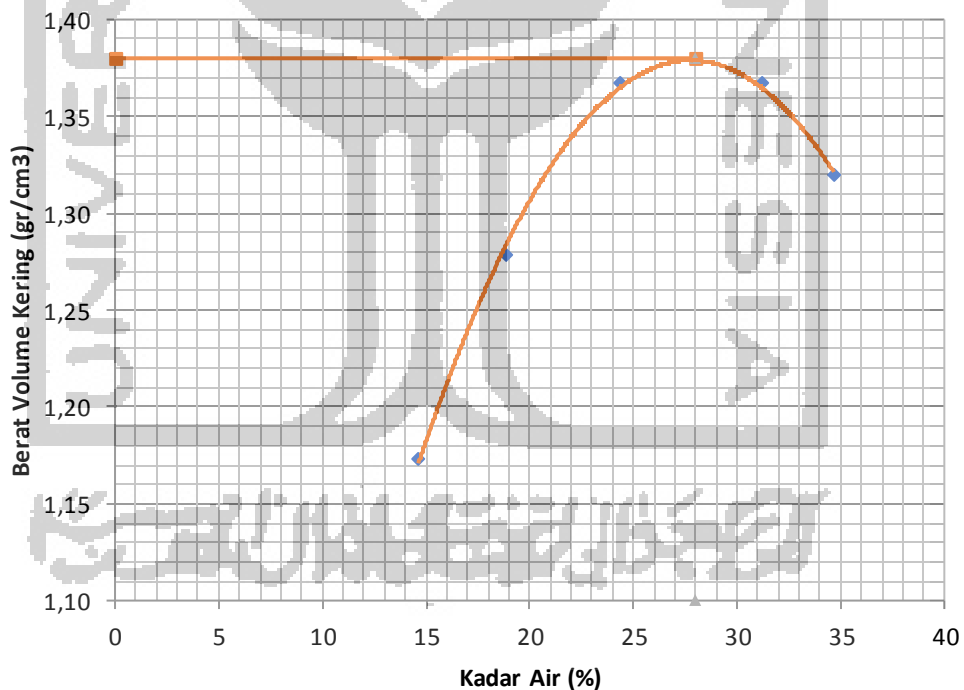
2. Pelaksanaan Pengujian

Pelaksanaan pengujian kepadatan tanah di laboratorium dilakukan sebagai berikut.

- a. Material tanah yang telah diambil dijemur dibawah sinar matahari selama 2 jam sampai 4 jam atau sampai kering lalu ditumbuk.
- b. Timbang mold tanpa kepala.
- c. Tanah yang sudah ditumbuk diayak menggunakan saringan no. 4 sebanyak kurang lebih 2 kg untuk satu uji kadar air, kemudian disemprotkan air dengan jumlah tertentu (biasanya 100ml).
- d. Kemudian masukan tanah kedalam tabung Mold sebanyak 1/3 dari tinggi mold lalu ditumbuk 25 kali dan dipadatkan, lalu masukkan lagi tanah 1/3 bagian lagi dan lakukan cara yang sama seperti diawal sampai mold terisi penuh tanah.

- e. Ratakan permukaan tanah dalam tabung Mold menggunakan alat perata.
 - f. Setelah rata timbang tanah yang masih dalam tabung Mold kemudian dicatat berapa beratnya (berat basah).
 - g. Hitung volume mold
 - h. Setelah ditimbang, tanah dikeluarkan menggunakan struder lalu diiris dan diambil sedikit untuk pengujian kadar air dengan dimasukkan kedalam oven.
 - i. Lakukan kembali langkah-langkah diatas untuk kadar air berbeda.
3. Hasil Akhir Pengujian Proktor Standar

Hasil pengujian proktor standar dibuat dalam bentuk grafik yang menentukan kadar air optimum dan berat volume kering maksimum, yang dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Grafik Kadar Air vs Berat Kering tanah

Grafik didapat dengan cara memasukkan nilai berat kering dan kadar air tiap pengujian dibuat titik, dengan sumbu x berat kering dan sumbu y kadar air. Lalu

dicari titik yang segaris (masuk dalam kurva). Lalu dicari titik yang paling tinggi di dalam kurva dan ditarik ke sumbu x dan sumbu y. dicatat untuk sumbu x yaitu kadar air optimum, dan sumbu y adalah berat kering maksimumnya.

3.9 California Bearing Ratio

CBR (*California Bearing Ratio*) adalah percobaan daya dukung tanah yang dikembangkan oleh *California State Highway Departement*. Prinsip pengujian ini adalah pengujian penetrasi dengan menusukkan benda ke dalam benda uji. Dengan cara ini dapat dinilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang dipergunakan untuk membuat perkerasan.

Kekuatan tanah diuji dengan uji CBR sesuai dengan SNI-1744-1989. Nilai kekuatan tanah tersebut digunakan sebagai acuan perlu tidaknya distabilisasi setelah dibandingkan dengan yang disyaratkan dalam spesifikasinya. Perbandingan ini dilakukan dengan pengujian yang telah dilakukan di *California* dan dihitung berapa persen perbandingannya.

Pengujian CBR adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Nilai CBR dihitung pada penetrasi sebesar 0,1 inci dan penetrasi sebesar 0,2 inci dan selanjutnya hasil kedua perhitungan tersebut dibandingkan sesuai dengan SNI 03-1744-1989.

Nilai CBR adalah perbandingan (dalam persen) antara tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston berpenampang bulat seluas 3 inci² terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus bahan standard tertentu. Tujuan dilakukan pengujian CBR ini adalah untuk mengetahui nilai CBR pada variasi kadar air pemadatan, dimana nilai CBR ini mempengaruhi kekuatan dan kekerasan tanah tersebut untuk menentukan daya dukung tanah tersebut baik atau buruk.

Dengan demikian daya dukung tanah dasar tersebut merupakan nilai kemampuan lapisan tanah memikul beban setelah tersebut tanah dipadatkan. CBR ini disebut CBR rencana titik dan karena disiapkan di laboratorium, disebut CBR laboratorium. Ada dua macam pengukuran CBR yang dapat dijabarkan pada Persamaan 3.6 dan 3.7 berikut ini.

1. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada 0,254 cm (0,1") terhadap penetrasi standard besarnya (1000 psi).

$$\text{Nilai CBR} = \frac{P_1}{3 \times 1000} \times 100 \% \quad (3.6)$$

2. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada penetrasi 0,508 cm (0,2") terhadap penetrasi standard yang besarnya 105,56 kg/cm² (1500 psi).

$$\text{Nilai CBR} = \frac{P_2}{3 \times 1500} \times 100 \% \quad (3.7)$$

Dari kedua hitungan tersebut jika CBR 0,1" lebih besar dari CBR 0,2" maka digunakan nilai terbesar CBR 0,1", namun jika kebalikannya maka diambil nilai CBR tertinggi.

1. Material dan Peralatan

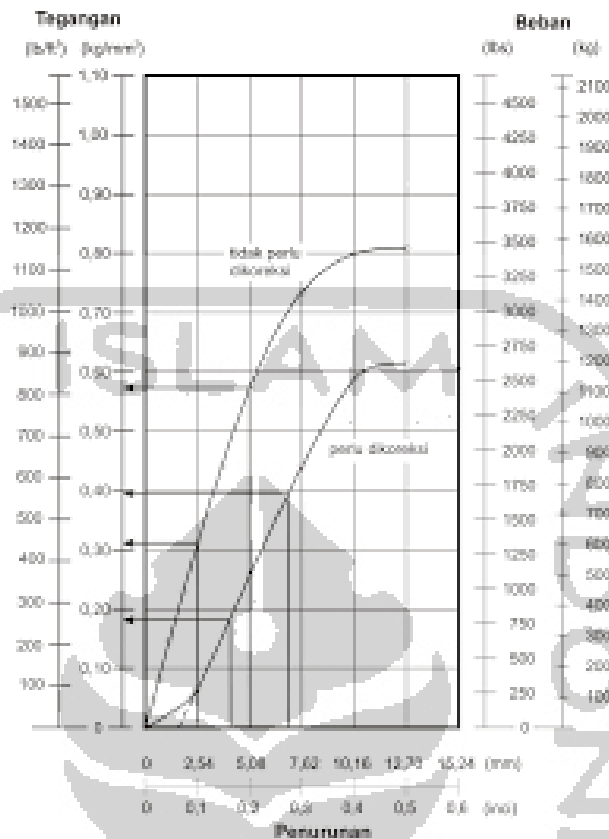
Adapun material dan peralatan yang digunakan untuk pengujian CBR adalah sebagai berikut.

- a. Alat uji CBR yang terdiri dari dial, piston, dan proving ring
 - b. Sampel tanah
2. Langkah Pengujian
 - a. Material tanah yang telah diambil dijemur dibawah sinar matahari selama 2 jam sampai 4 jam atau sampai kering lalu ditumbuk.
 - b. Timbang mold tanpa kepala.
 - c. Tanah yang sudah ditumbuk diayak menggunakan saringan no. 4 sebanyak kurang lebih 5 kg untuk satu uji, kemudian disemprotkan air dengan sebanyak kadar air optimum yang didapat dari pengujian proctor standar.
 - d. Kemudian pasang pelat dibawah mold lalu masukan tanah kedalam tabung Mold sebanyak 1/3 dari tinggi mold dan ditumbuk 56 kali dari pinggir ke tengah (dilakukan secara manual) dan dipadatkan, lalu masukkan lagi tanah 1/3 bagian lagi dan lakukan cara yang sama seperti diawal sampai mold terisi penuh tanah.

- e. Ratakan permukaan tanah dalam tabung Mold menggunakan alat perata.
- f. Setelah rata timbang tanah yang masih dalam tabung Mold kemudian dicatat berapa beratnya (berat basah).
- g. Hitung volume mold
- h. Lakukan pengujian lalu dibaca dan dicatat dial penetrasi dan bebannya
- i. Jika dilakukan pemeraman maka sebelum diuji, tanah yang sudah ditimbang dibungkus plastic dan didiamkan selama beberapa hari tertentu, baru dilakukan pengujian dan pembacaan dial.
- j. Untuk pengujian CBR *soaked* setelah diuji CBR *unsoaked*, benda uji direndam pada jumlah hari tertentu, untuk penelitian ini direndam selama 4 hari dalam keadaan dial yang masih terpasang dan dicatat pembacaan dialnya. Setelah direndam sesuai hari yang ditentukan, dicatat lagi penurunannya melalui dial, lalu diangkat benda ujinya dan diuji lagi menggunakan mesin CBR dan kembali dicatat pembacaan dialnya.

3. Hasil Pengujian

Hasil dari pengujian CBR ini dibuat dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut ini.



Gambar 3.9 Grafik Pengujian CBR

Grafik didapat dari pembacaan dial dengan penetrasi diletakkan di sumbu x dan beban tekan diletakkan di sumbu y lalu dibuatlah grafik sesuai titik. Kemudian Tarik garis dari sumbu x 0,1 inchi yang disentuhkan ke grafik yang dibuat lalu tarik ke sumbu y dan dibaca berapa bebannya. Lalu lakukan seperti yang diatas untuk pembacaan penetrasi 0,2 inchi. Kemudian hitung nilai CBR 0,1” dan 0,2” sesuai dengan rumus yang sudah tertulis diatas, maka didapatkan nilai CBR tanah tersebut.