

BAB III

LANDASAN TEORI

2.1 Tanah

2.1.1 Definisi Tanah

Hardiyatmo (2010) menyatakan tanah merupakan himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik atau oksida-oksida yang mengedap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat terjadi secara fisis atau kimiawi.

Ukuran butiran pada tanah berbeda-beda dan beragam tergantung jenis tanahnya, maka digunakanlah istilah seperti kerikil, pasir, lumpur, lempung dan lanau. Istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat dari tanah yang ada. Tanah terdiri dari beberapa campuran, atau terdiri lebih dari satu partikel. Seperti halnya tanah lempung yang tidak hanya terdiri dari partikel-partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur dengan mineral lain seperti lanau, lumpur, dan pasir serta zat organik lainnya. Ukuran butiran tanah dapat bervariasi mulai dari lebih besar 100 mm hingga lebih kecil dari 0,001 mm.

2.1.2 Tanah Berdasarkan Ukuran Butiran

Berdasarkan ukuran butirannya tanah diklasifikasikan menjadi berangkal (*boulders*), kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*), dan koloid (*colloids*). Bowles, J.E (1991) menyatakan pembagian jenis tanah dibagi menjadi sebagai berikut:

1. berangkal (*boulders*) merupakan potongan batuan yang besar, biasanya diambil lebih dari ukuran 250 mm sampai 350 mm. Untuk kisaran diambil lebih dari ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini dapat disebut kerakal (*cobbles*),
2. kerikil (*gravel*) merupakan partikel batuan yang memiliki ukuran 5 mm sampai 150 mm,
3. pasir (*sand*) merupakan partikel batuan berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (5 mm- 3mm) sampai halus (< 1 mm),
4. lanau (*silt*) adalah batuan yang berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm,
5. lempung (*clay*) merupakan partikel kecil yang berukuran kurang dari 0,002 mm, partikel-partikel ini menyebabkan adanya sifat kohesi pada tanah lempung, dan
6. mineral yang berukuran kurang dari 0,001 mm disebut Koloid (*Colloids*).

2.1.3 Penyusun Material Tanah

Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya, besarnya ukuran butiran dijadikan sebagai dasar dalam pemberian nama dan pengklasifikasian tanah. Susunan butiran pada tanah dapat bermacam-macam dipengaruhi dimana tanah tersebut terjadi. Tanah merupakan hasil reaksi kimia dengan pengaruh panas dari asam "*Hidrosilone*" (HE) dapat dilihat pada Persamaan 3.1 di bawah:



Untuk menentukan parameter seperti berat butiran pada tiap ukuran saringan maka dilakukan pengujian analisis distribusi ukuran butiran. Dengan analisis saringan dapat diketahui jenis tanah dan gradasi penyusun material tanah tersebut termasuk jenis tanah lempung, pasir, lanau dan jenis tanah lainnya.

2.1.4 Sistem Klasifikasi Tanah

Bowles (1991) menyatakan, jenis tanah ditentukan mengacu pada kemiripan sifat fisiknya dan dikelompokkan dengan kategori yang umum. Sistem klasifikasi tanah digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik dan sifat tanah. Sistem klasifikasi tanah juga bermanfaat untuk studi terperinci mengenai keadaan tanah serta untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, daya dukung tanah, berat jenis dan lain sebagainya. Sistem klasifikasi tanah yang dikembangkan sebagai tujuan rekayasa mengacu pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas tanah.

Ada beberapa macam sistem klasifikasi tanah diantaranya sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification Sistem*) dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*). Pada sistem klasifikasi tanah ini, tanah ditentukan berdasarkan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana. Indeks-indeks tanah yang digunakan seperti sebaran ukuran butir tanah dan parameter batas-batas *Atterberg* seperti batas cair dan indeks plastisitas.

2.1.4.1 Sistem Klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification Sistem*)

Sistem klasifikasi USCS mengklasifikasikan tanah berdasarkan ukuran butiran. Tanah diklasifikasikan berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% tanah lolos saringan No.200, sedangkan tanah diklasifikasikan berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% tanah lolos saringan No.200. Adapun simbol-simbol yang digunakan dalam sistem klasifikasi USCS adalah:

1. *G* = *Gravel (Kerikil)*
2. *S* = *Sand (Pasir)*
3. *C* = *Clay (Lempung)*
4. *M* = *Silt (Lanau)*
5. *O* = *Organik Silt or Clay (Lanau atau Lempung Organik)*
6. *Pt* = *Peat and Highly Organik Soil (Tanah Gambut dan Tanah Organik tinggi)*
7. *W* = *Well-Graded (Tanah bergradasi Baik)*
8. *P* = *Poorly-Graded (Tanah bergradasi Buruk)*
9. *H* = *High-Plasticity (Plastisitas Tinggi) ($LL < 50$)*
10. *L* = *Low Plasticity (Plastisitas Rendah) ($LL > 50$)*

Sistem Klasifikasi USCS dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Sistem Klasifikasi USCS

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Laboratorium	
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk GW
		Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus	
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir - lempung	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir - lempung	
	Pasir lebih dari 50 % saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk SW
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50 % atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau	<p>Diagram plastisitas. Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol</p>	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("lean clays")		
		OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
	Lanau dan lempung batas cair > 50 %	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatome, lanau elastis		
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")		
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi		
		Pt	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi		

Sumber: Hardiyatmo (2010)

2.1.4.2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Sistem klasifikasi tanah metode AASHTO digunakan agar dapat mengetahui kualitas tanah dalam merencanakan timbunan jalan, lapisan pondasi bawah (*subbase*), dan lapisan tanah dasar (*subgrade*). Sistem klasifikasi ini digunakan untuk menentukan kondisi dan jenis tanah yang berkaitan dengan pembangunan jalan. Sistem klasifikasi tanah metode AASHTO mengelompokkan material tanah kedalam dua kelompok utama yaitu, tanah granular dan tanah lanau atau lempung. Kedua kelompok tanah tersebut terbagi menjadi menjadi tujuh kelompok dan dari beberapa kelompok memiliki sub kelompok. Dua kelompok utama pada sistem klasifikasi tanah ini adalah:

1. material tanah granular yaitu tanah yang memiliki presentase kurang dari 35% lolos saringan no.200. (Kelompok A-1,A-2, dan A-3), dan
2. material tanah lanau dan lempung yaitu tanah yang memiliki presentase lebih dari 35% lolos saringan no.200. (Kelompok A-4,A-5,A-6, dan A-7.

Setiap kelompok dievaluasi terhadap nilai indeks kelompok tanah yang dihitung dengan rumus-rumus empiris.

Bowles (1991) menyatakan jika pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Indeks kelompok (*group index*) (GI) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya.

Untuk mencari indeks kelompok digunakan Persamaan 3.2 berikut :

$$GI = (f-35)[0,2+0,005(LL-40)]+0.01(F-15)(PI-10) \quad (3.2)$$

Dengan :

GI = Indeks Kelompok (*Group Index*)

f = Persen Butiran Lolos Saringan No. 200. (0,075 mm)

LL = Batas Cair (*Liquid Limit*)

PI = Indeks Plastisitas

Pengelompokan pada sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) dijabarkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan 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	A-2-7				
Analisis saringan (% lolos) 2,00 mm (no. 10) 0,425 mm (no. 40) 0,075 mm (no. 200)	50maks 30 maks 15 maks	- 50 maks 25 maks	- 51 min 10 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40 Batas cair (LL) Indeks plastis (PI)	- 6 maks	-	- Np	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 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			

Sumber : Hardiyatmo (2010)

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 = Non plastis

2.1.5 Tanah Lempung

Das (1994) menyatakan bahwa tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung bersifat sangat keras dalam keadaan kering dan plastis dalam selang kadar air sedang. Pada keadaan kadar air lebih tinggi, lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak. Hardiyatmo (2010) menyatakan tanah lempung ialah tanah yang butirannya berukuran halus, memiliki ukuran diameter kurang dari 0,002 mm, dan memiliki nilai rendah pada permeabilitas, kemudian kenaikan air kapiler yang tinggi, memiliki sifat yang sangat kohesif, kadar kembang susut tinggi dan proses konsolidasi yang lambat. Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung sifatnya sangat mudah dipengaruhi oleh gaya-gaya di permukaan. Mineral lempung terdiri dari kelompok mineral : *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite*.

Mineral lempung adalah mineral sekunder yang terbentuk akibat proses pemecahan yang disebabkan oleh perubahan iklim dan alterasi air (*hidrous alteration*) dari suatu batuan induk dan kandungan mineral yang terdapat pada batuan tersebut. Dari kandungan mineral lempung inilah yang sangat menentukan sifat dan karakteristik tanah lempung. Bowles (1991) menyatakan mineral-mineral pada tanah lempung umumnya memiliki sifat-sifat sebagai berikut.

1. Hidrasi

Partikel mineral lempung mempunyai atom bermuatan negatif sehingga menyebabkan partikel lempung selalu mengalami hidrasi yang dikelilingi oleh molekul air yang disebut air teradsorpsi. Lapisan ini mempunyai tebal dua molekul yang disebut difusi ganda atau lapisan ganda. Lapisan ini dapat menarik molekul air atau kation yang ada disekitarnya.

2. Pengaruh Air

Pada pengujian batas-batas Atterberg, ASTM menentukan bahwa air suling ditambahkan sesuai dengan keperluan. Pemakaian air suling yang relatif bebas menyebabkan ion dapat membuat hasil berbeda dari apa yang didapatkan dari tanah di lapangan dengan air yang terkontaminasi. Air berpengaruh terhadap sifat plastis

pada tanah lempung. Molekul air memiliki muatan positif dan muatan negatif pada ujung yang berbeda (*dipolar*) menyebabkan sangat mudah beraksi dengan mineral lempung.

3. Flokulasi dan Dispersi

Beberapa partikel yang terikat oleh muatan negatif dari tanah lempung akan membentuk flok (*flock*) yang bergerak secara acak atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dan membentuk sedimen. Flokulasi adalah peristiwa menggumpalnya partikel lempung di bawah larutan air akibat mineral lempung yang umumnya mempunyai $\text{pH} > 7$. Flokulasi dapat dinetralkan dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (ion H^+), sedangkan penambahan bahan-bahan alkali mempercepat flokulasi.

4. Sifat Kembang Susut (*swelling*)

Tanah yang mengandung lempung akan mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Sifat kembang susut tanah lempung dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya, tipe dan jumlah mineral yang ada di dalam tanah, kadar air, susunan tanah, konsentrasi garam dalam air pori, kandungan bahan organik serta sedimentasi.

2.2 Aspal

3.2.1 Definisi Aspal

Hardiyatmo (2010) menyatakan bahwa aspal adalah material hasil penyaringan minyak mentah dan merupakan hasil dari industri perminyakan. Aspal merupakan material perekat, yang berwarna coklat gelap sampai hitam, dengan unsur pokok yang dominan adalah bitumen. Bahan dasar dari aspal merupakan hidrokarbon. Pembentukan koloid aspal bergantung pada sifat kimia dan persen dari molekul hidrokarbon, serta hubungan satu dengan yang lain. Dalam SNI 03-1737-1989, aspal keras didefinisikan sebagai suatu jenis aspal minyak yang merupakan residu hasil destilasi minyak bumi pada keadaan hampa udara, yang pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk padat, sedangkan aspal cair adalah aspal minyak yang pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk cair. Aspal ini terdiri dari aspal keras yang diencerkan dengan bahan pelarut.

Penggunaan aspal dalam stabilisasi kimia diantaranya berpengaruh pada kepadatan dan kadar air optimum dan nilai CBR lapangan pada tanah yang distabilisasi.

3.2.2 Aspal Alam dari Pulau Buton (ASBUTON)

Qomar (1996) menyatakan asbuton merupakan aspal alam yang terbentuk selama jutaan tahun yang lalu, terjadinya asbuton berawal dari adanya minyak bumi yang kemudian terdestilasi secara alamiah karena adanya intrusi magma. Bagian-bagian yang ringan dari minyak bumi telah menguap, residu yang berupa bitumen terdesak mengisi lapisan batuan yang ada di sekitarnya melalui patahan dan rekahan.

Asbuton pada umumnya berbentuk padat yang terbentuk secara alami akibat proses geologi. Proses terbentuknya asbuton berasal dari minyak bumi yang terdorong muncul ke permukaan menyusup di antara batuan yang porous. Total deposit aspal alam pulau buton diperkirakan tidak kurang dari sekitar 150 hingga 300 juta ton. Mineral asbuton terdiri dari batuan dasar batu kapur. Berdasarkan jenis mineralnya dibedakan menjadi dua yaitu.

1. Mineral Kapur Globigerine (Fosil Bintang Laut)

memiliki bentuk seperti batu warna hitam, pada udara dingin bersifat rapuh dan mudah pecah dan pada udara panas bersifat agak plastis sukar dipecah.

2. Mineral Kapur Mergel (Kapur Mengandung Lempung)

Merupakan benda plastis berwarna hitam dan sifatnya plastis sukar ditambang.

Kandungan mineral asbuton hampir 85% nya terdiri dari batuan dasar batu kapur (*limestone*) yang berasal dari endapan bintang laut, memiliki sifat sangat porous dan relatif ringan.

Penggunaan asbuton butir dalam campuran beraspal sekarang ini, dianggap aspal pada asbuton bisa keluar seluruhnya, dan mineral dari butiran asbuton tersebut terlepas satu sama lain, serta menyebar secara merata dalam campuran. Kadar aspal pada asbuton berfungsi sebagai bahan ikat pada stabilisasi tanah. Ketentuan asbuton butir dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Ketentuan Asbuton Butir

Sifat-Sifat Asbuton Butir	Metode Pengujian	Tipe B5/20	Tipe B30/25	Tipe B50/30
Sifat Bentuk Asli				
- Ukuran Butir Asbuton Butir				
✓ Lolos Ayakan 3/8 Inchi (9,5 Mm); %	SNI 03-4142-1996			100
✓ Lolos Ayakan No 4 (4,75 Mm); %	SNI 03-4142-1996		100	
✓ Lolos Ayakan No 8 (2,36 Mm); %	SNI 03-4142-1996	100		
- Kadar Air ;%	SNI 2490;2008	Mak 2	Mak 2	Mak 2
- Kadar Bitumen Asbuton; %	SNI 03-3640-1994	18--22	223--27	25--30
Sifat Hasil Ekstraksi				
- Kelarutan dalam TCE; % Berat	RSNI M 04-2004	Min 99	Min 99	Min 99
- Penetrasi Aspal Asbuton Pada 25 °C, 100g, 5 Detik; 0,1 Mm	SNI 2456;2011	≤ 15	25--35	40--60
- Titik Lembek; °C	SNI 2434;2011	-	-	Min 55
- Daktilitas Pada 25 °C ; cm	SNI 2434;2011	-	-	≥ 100
- Berat Jenis	SNI 2434;2012	-	-	Min 1,0
- Titik Nyala; °C	SNI 2434;2013	-	-	Min 232
- Penurunan Berat (dengan TFOR); LOH (%)	SNI 06-2440-1991	-	≤ 3	< 3
- Penetrasi Aspal Asbuton Setelah LOH Pada 25 °C 100g, 5 Detik; % Terhadap Penetrasi Awal	SNI 2456;2011	-	≥ 54	> 54

Sumber : Spesifikasi Teknis Campuran Beraspal dengan Asbuton (2014)

3.3 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu upaya yang dilakukan untuk mengubah atau memperbaiki sifat tanah yang kurang baik menjadi tanah yang baik digunakan untuk menunjang struktur di atasnya. Bowles (1991) menyatakan bahwa stabilisasi tanah dibagi menjadi stabilisasi dengan cara mekanis dan dengan menggunakan bahan campuran (*additive*) yang disebut juga stabilisasi kimiawi. Ingles dan Metcalf (1992) menyatakan proses stabilisasi dapat dilakukan menggunakan beberapa metode sebagai berikut.

1. Stabilisasi mekanis adalah stabilisasi yang bertujuan untuk mendapatkan kepadatan tanah maksimum. Stabilisasi mekanis dilakukan menggunakan peralatan mekanis, diantaranya mesin gilas (*roller*), benda berat yang dijatuhkan (*pounder*), ledakan (*explosive*), *preloading*, tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan dan sebagainya.
2. Stabilisasi fisik merupakan stabilisasi yang bertujuan mengubah sifat-sifat tanah dengan cara pemanasan (*heating*), pendinginan (*cooling*) dan menggunakan arus listrik pada proses stabilisasi tanah.
3. Stabilisasi kimiawi merupakan stabilisasi yang dilakukan dengan menambahkan bahan kimia tambahan pada tanah sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dan bahan tambah yang mengubah sifat-sifat tanah tersebut. Penambahan atau pencampuran bahan kimia yang sering dilakukan pada umumnya menggunakan *Portland Cement*, kapur, aspal, *clean set cement*, dan bahan tambah lainnya.

Dari penjelasan diatas secara umum tujuan stabilisasi adalah untuk meningkatkan karakteristik tanah sehingga mampu menerima beban struktural yang ada di atasnya. Dalam pembangunan jalan, kondisi tanah yang baik sangat berpengaruh pada kekuatan struktur jalan. Pemilihan metode stabilisasi tanah yang tepat sangat diperlukan sehingga pekerjaan yang dilakukan menjadi ekonomis, efektif dan efisien. Beberapa faktor yang dapat menjadi pertimbangan dalam pemilihan metode stabilisasi tanah adalah sebagai berikut ini.

1. Kondisi cuaca dan drainase.
2. Ketersediaan alat dan bahan.

3. Pengambilan sampel dan pengujian bahan.
4. Kondisi lapangan yang memungkinkan.
5. Menentukan metode stabilisasi yang mungkin dilakukan.
6. Pemilihan akhir jenis stabilisasi tanah.

3.4 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Penelitian ini menggunakan jenis tanah lempung. Kondisi tanah lempung pada tiap lokasi tentunya berbeda-beda, maka diperlukan pengujian sifat fisik tanah lempung. Tanah lempung yang digunakan adalah tanah lempung pada kondisi terganggu (*disturbed*), dimana tanah ini didapatkan dengan cara menggali tanah kemudian tanah dimasukkan kedalam karung, sesampainya di laboratorium bongkahan tanah dikeluarkan dan dikeringkan. Setelah sampel tanah dikeringkan kemudian tanah ditumbuk dan diayak menggunakan ayakan berdiameter 4,75 mm. Setelah menyiapkan tanah yang akan diuji selanjutnya dilakukan uji sifat fisik tanah.

3.4.1 Kadar Air (*Moisture Content/Water Content*)

Kadar air pada sampel tanah dapat diketahui dengan melakukan pengujian kadar air. Kadar air tanah merupakan perbandingan antara 'berat air (W_w)' dalam satuan tanah dengan 'berat kering tanah (W_s)'. Rumus mencari kadar air ialah seperti Persamaan 3.3:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (3.3)$$

Dengan:

w = Kadar Air (%)

W_w = Berat Air (gram)

W_s = Berat Tanah Kering (gram)

3.4.2 Berat Volume Kering (*Dry Density*)

Berat volume kering suatu sampel tanah dapat diketahui dengan uji berat volume tanah. Berat volume tanah dapat dicari dengan membandingkan berat tanah

kering dan volume total tanah (volume tanah dan volume air yang terkandung pada tanah). Untuk mencari nilai berat volume kering digunakan Persamaan 3.4 berikut:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.4)$$

Dengan :

γ_d = Berat Volume Kering Tanah

W_s = Berat Kering Tanah (gram)

V = Volume Tanah Total (Tanah + Air) (cm^3)

3.4.3 Berat jenis

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis suatu sampel tanah dengan menggunakan *picknometer*. Berat jenis tanah adalah suatu perbandingan berat butiran tanah dan berat air di udara dengan volume yang sama pada temperatur tertentu, biasanya pada temperatur 27,5 °C. Rumus yang digunakan untuk mencari berat jenis ditunjukkan pada Persamaan 3.5 berikut:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3.5)$$

Dengan :

γ_s = Berat Volume Butiran Padat

γ_w = Berat Volume Air

G_s = Berat Jenis Tanah

1.4.4 Analisa Ukuran Butiran

Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butiran tanah. Ukuran butiran dijadikan acuan atas pemberian nama dan klasifikasi tanah. Dalam suatu penelitian yang berkaitan dengan tanah pengujian ini sangat penting untuk dilakukan. Analisis ukuran butiran adalah dilakukan dengan menentukan presentase berat butiran pada satu unit saringan yang memiliki diameter lubang saringan tertentu. Hal ini untuk menentukan jenis agregat kasar dan agregat halus. Untuk

tanah berbutir kasar dilakukan uji analisa saringan, sedangkan untuk tanah berbutir halus dilakukan uji *hydrometer*.

1.4.4.1 Analisa Saringan

Distribusi ukuran tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan menyaring. Caranya dengan benda uji (tanah) disaring lewat satu unit saringan standar. Berat tanah yang tertinggal pada masing-masing saringan kemudian ditimbang, presentase terhadap berat tanah kemudian dihitung. Pengujian ini menggunakan saringan standar Amerika dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 4 Saringan Berdasarkan Diameter Bukaannya

No.Saringan	Diameter lubang (mm)	No.Saringan	Diameter lubang (mm)
3	6,35	40	0,42
4	4,75	50	0,3
6	3,35	60	0,25
8	2,36	70	0,21
10	2	100	0,15
16	1,18	140	0,106
20	0,85	200	0,075
30	0,6	270	0,053

Sumber: Hardiyatmo (2010)

3.4.4.2 Uji *Hydrometer*

Distribusi butiran tanah berbutir halus dapat dilakukan dengan cara sedimentasi. Uji *hydrometer* benda uji harus dibersihkan dari zat organik, kemudian benda uji dilarutkan ke dalam air destilasi yang dicampur dengan bahan pendeflokulasi yang berupa *sodium hexametaphosphate* agar partikel-partikel menjadi bagian yang terpisah satu dengan yang lainnya. Selanjutnya meletakkan larutan suspensi pada tabung *hydrometer*. Pada saat *hydrometer* dimasukkan ke dalam larutan suspensi (pada waktu t dihitung dari permulaan sedimentasi), *hydrometer* akan mengukur berat jenis larutan di sekitar gelembung *hydrometer* yang berada pada kedalaman L . Berat jenis suspensi merupakan fungsi dari jumlah

partikel tanah yang per volume satuan larutan suspensi pada kedalaman L . Pada waktu t partikel-partikel tanah dalam larutan suspensi pada kedalaman L akan berdiameter lebih kecil dari D yang dihitung menggunakan Persamaan 3.6 berikut:

$$D = K \sqrt{\frac{L \text{ (cm)}}{t \text{ (menit)}}} \quad \text{dengan} \quad K = \sqrt{\frac{30\mu}{G_s - 1}} \quad (3.6)$$

Dengan :

D = Diameter Butiran Tanah (mm)

μ = Kekentalan Air Absolut (g.det/cm²)

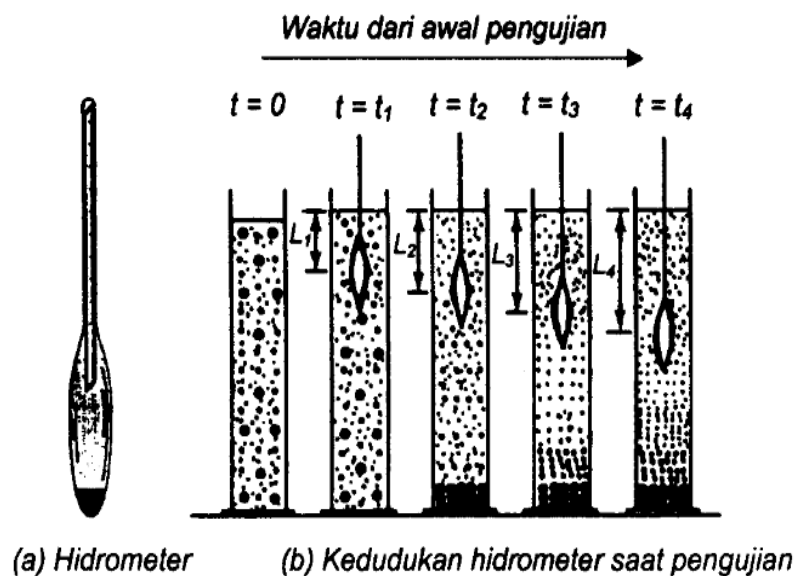
G_s = Garvitasi Khusus

L = Kedalaman Hydrometer, (cm)

t = Waktu Pengendapan (menit)

K = Konstanta yang Dipengaruhi oleh G_s dan μ

Pengujian Hydrometer dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.



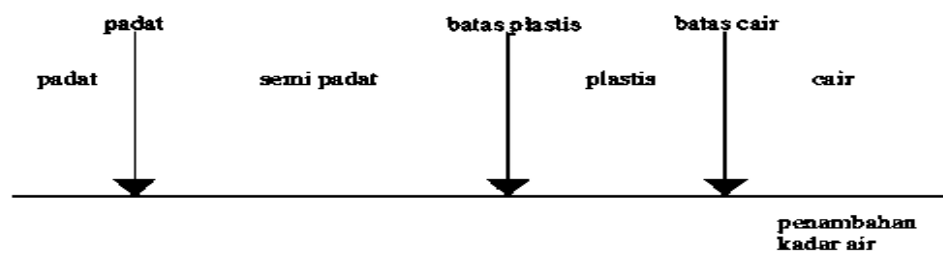
Gambar 3. 1 Alat Uji Hydrometer

Sumber: (Hardiyatmo, 2010)

1.4.5 Batas-Batas Atterberg

Batas-batas *Atterberg* menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus yang bergantung pada kadar air pada tanah, *Atterberg* (1911).

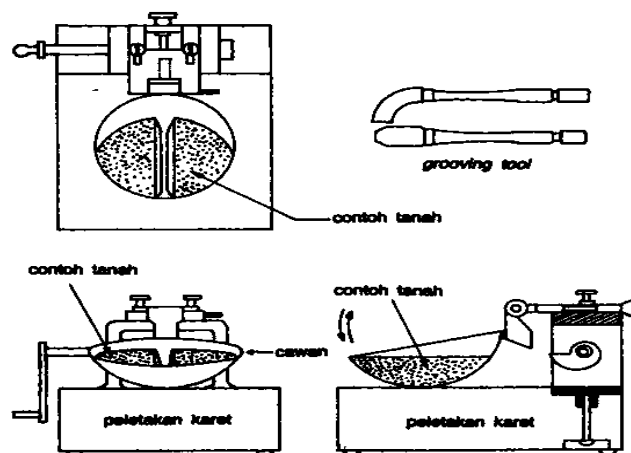
Kedudukan fisik tanah berbutir halus terhadap kadar air tertentu disebut konsistensi. Konsistensi bergantung pada gaya tarik partikel mineral lempung. Pada kadar air yang tinggi kondisi tanah berbutir halus menjadi sangat lembek sedangkan pada kadar air yang rendah kondisi tanah akan menjadi kering dan sangat keras. Berdasarkan kandungan air yang terkandung dalam tanah, tanah dapat dibedakan menjadi: padat, semi padat, plastis dan cair. Nilai kadar air dinyatakan dalam persen. Dalam pengujian batas cair tanah lempung digunakan alat yang bernama *Atterberg* sedangkan untuk batas susut tanah lempung menggunakan cawan yang terbuat dari logam kemudian diukur seberapa besar penyusutan tanah menggunakan air raksa. Pengujian batas plastis tanah lempung dilakukan dengan memilin-milin tanah di atas permukaan yang rata hingga terlihat retakan pada tanah yang diuji. Batas-batas *Atterberg* dapat dilihat pada Gambar 3. 2.



Gambar 3. 2 Batas-Batas *Atterberg*

Sumber: (Hardiyatmo, 2010)

Batas cair didapatkan dengan uji cassagrande, alat uji cassagrande dapat dilihat pada Gambar 3.3.



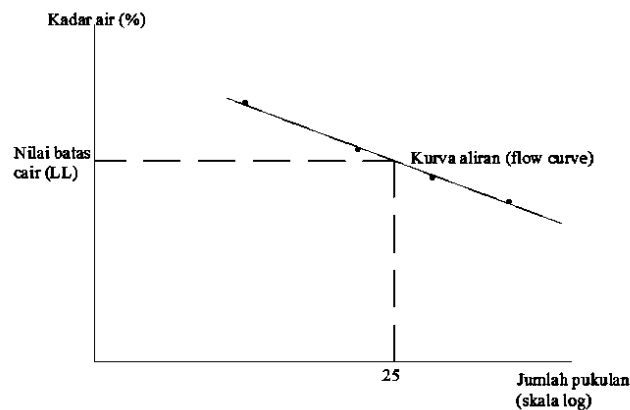
Gambar 3. 3 Alat *Cassagrande*

Sumber: (Hardiyatmo, 2010)

Batas-batas Atterberg meliputi:

1. Batas Cair (ASTM D4318-10)

Batas cair merupakan kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan kadar air suatu sampel tanah pada batas cair. Batas cair ditentukan pada pukulan ke 25 pengujian *cassagrande*, tanah diketukkan hingga celah sepanjang 12,7 mm berhimpit. Grafik pengujian batas cair dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Grafik Pengujian Batas Cair Tanah Lempung

Sumber: (Hardiyatmo,2010)

Kemiringan garis dalam kurva didefinisikan sebagai indeks aliran (*flow indeks*), didapatkan dari Persamaan 3.7 berikut:

$$I_F = \frac{w_1 - w_2}{\log(N_2 - N_1)} \quad (3.7)$$

dengan :

I_F = Indeks Aliran

w_1 = Kadar Air (%) pada N_1 Pukulan

w_2 = Kadar Air (%) pada N_2 Pukulan

Dari berbagai pengujian batas cair, *Waterways Experiment Station* di *Vicksburg, Mississippi* (1949), mengusulkan persamaan batas cair seperti Persamaan 3.8 berikut:

$$LL = w_N \left(\frac{N}{25} \right)^{tg\beta} \quad (3.8)$$

dengan:

N = Jumlah Pukulan, Untuk Menutup Celah 0,5 in (12,7 mm)

w_N = Kadar Air

$tg\beta$ = 0,121 (tetapi $tg\beta$ tidak sama dengan 0,1221 untuk semua jenis tanah)

2. Batas Plastis

Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air pada kondisi antara daerah plastis dan semi padat, diketahui pada dimana benda uji tanah lempung dengan diameter 3,2 mm mulai retak-retak ketika dipilin-pilin menggunakan tangan Hardiyatmo (2010). Batas plastis tanah dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.9 berikut ini:

$$PL = \frac{wp+wk}{wk} \times 100\% \quad (3.9)$$

Dengan:

PL = Batas Plastis Tanah

Wp = Berat Tanah Basah Pada Kondisi Plastis

Wk = Berat Tanah Kering

3. Batas Susut

Keadaan ketika kadar air berada pada kondisi semi padat dan kondisi padat disebut batas susut (*shrinkage limit*). Yang dimaksud dengan kondisi semi padat dan kondisi padat adalah presentase kadar air ketika terjadi pengurangan kadar air tetapi tidak mengakibatkan perubahan volume pada tanah. Rumus mencari batas susut dapat dilihat pada Persamaan 3.10 berikut:

$$SL = \frac{V_0}{W_0} - \frac{1}{G_s} \times 100\% \quad (3.10)$$

Dengan:

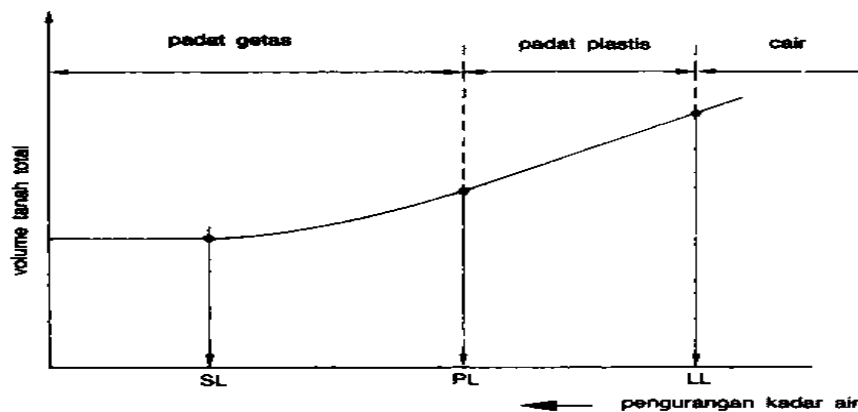
SL = *Batas Susut Tanah*

V_o = *Volume Benda Uji Kering*

W_o = *Berat Benda Uji Kering*

G_s = *Berat Jenis Tanah*

Variasi hubungan volume tanah dengan kadar air pada ketiga kondisi diatas seperti pada Gambar 3.5 dibawah:



Gambar 3. 5 Variasi Hubungan Volume Tanah dengan Pengurangan Kadar Air Pada Kondisi Batas Cair, Batas Susut dan Batas Plastis

Sumber : (Hardiyatmo,2010)

4. Indeks Plastisitas (ASTM D4318-10)

Indeks plastisitas yang tinggi menandakan tanah tersebut mengandung banyak mineral lempung sebaliknya, indeks plastisitas tanah yang rendah menandakan tanah tersebut mengandung banyak lanau. Selisih antara nilai batas cair dengan nilai batas plastis disebut indeks plastisitas (PI) (*Plasticity Index*). Indeks plastisitas menandakan kadar air yang tetap berada pada keadaan plastis. Kadar air yang berkurang mengakibatkan tanah menjadi kering, sebaliknya jika kadar air mengalami penambahan akan membuat tanah menjadi cair. Indeks plastisitas (PI) dirumuskan dalam Persamaan 3.11 dibawah:

$$PI = LL - PL \quad (3.11)$$

Dengan:

PI = *Indeks Plastisitas*

LL = *Batas Cair*

PL = *Batas Plastis*

Ketentuan tentang indeks plastisitas, sifat tanah, jenis tanah dan kondisi sifat kohesi pada tanah dapat dilihat pada Tabel 3.5 Berikut.

Tabel 3. 5 Nilai Indeks Plastisitas dan Jenis Tanah

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

Sumber : Hardiyatmo (2010)

3.5 Pemadatan Tanah

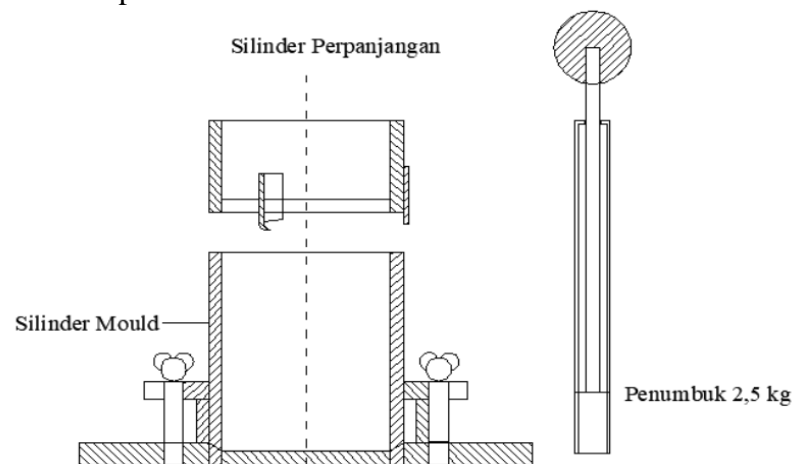
R.R. Proctor. ialah orang yang pertama kali mengembangkan metode orisinil yang dipublikasikan melalui serangkaian artikel dalam *Engineering New Record*. Bowles (1991) menyatakan prosedur dinamik laboratorium yang standar biasanya disebut dengan uji *proctor*. *Proctor* mendefinisikan empat variabel pemadatan yaitu usaha pemadatan atau energi pemadatan, jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel dan sebagainya), kadar air, dan berat isi kering.

Wesley (1977) menyatakan Pemadatan adalah suatu proses pengeluaran udara pada pori-pori tanah dengan salah satu cara mekanis. Setiap daya pemadatan tertentu, kepadatan bergantung pada banyaknya kadar air pada tanah tersebut. Jika kadar air rendah maka tanah itu keras atau kaku dan sukar dipadatkan. Kemudian dengan meningkatnya kadar air tanah menjadi mudah dipadatkan hingga mencapai kepadatan maksimum, kemudian setelah mencapai kondisi kepadatan maksimum penambahan kadar air akan menurunkan kepadatan tanah dikarenakan air akan memenuhi pori-pori pada tanah.

Hardiyatmo (2010) menyatakan pemadatan dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. meningkatkan kuat geser tanah,
2. menurunkan sifat mudah mampat,
3. menurunkan permeabilitas,
4. menurunkan perubahan volume akibat perubahan air kadar air, serta
5. kepadatan tanah ditentukan dari berat volume tanah kering tanah yang sudah dipadatkan.

Proktor standar adalah usaha memadatkan contoh tanah yang dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat uji proktor standar. Alat pengujian proktor standar dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3. 6 Alat Pengujian Proktor Standar

Sumber : (Hardiyatmo, 2010)

Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dijelaskan dengan Persamaan 3.12 berikut:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \quad (3.12)$$

Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada beberapa faktor diantaranya jenis tanah, kadar air, dan energi alat pemadatnya. Bila seluruh udara di dalam tanah dipaksa keluar pada saat pemadatan, tanah akan berada dalam keadaan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum, namun

dalam prakteknya kondisi ini sulit dicapai. Berat volume kering jenuh dinyatakan dengan Persamaan 3.13 berikut :

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + w G_s} \quad (3.13)$$

Dengan:

G_s = *Specific Gravity*

γ_w = *Berat Jenis Air*

1. **Pemadatan Standar (*Standard Compaction*)**

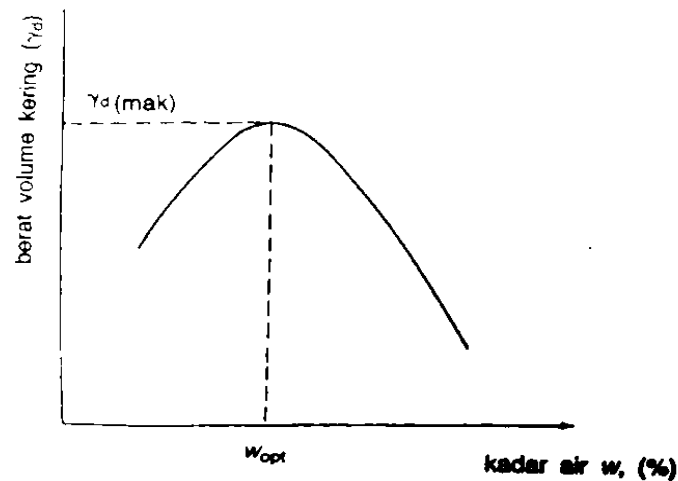
Pemadatan standar merupakan usaha memadatkan contoh tanah yang dilakukan di aboratorium dengann menggunakan alat-alat pemadatan standar. ketentuan pemadatan proktor standar ditunjukkan pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3. 6 Aturan-Aturan Pemadatan Standar

No	Keterangan	Standar			
		Cara A	Cara B	Cara C	Cara D
1	Silinder Pemadatan	Kecil	Besar	Kecil	Besar
2	Material lolos saringan	No.4	No.4	3/4"	3/4"
3	Penumbuk	Standar	Standar	Standar	Standar
4	Jumlah lapisan	3	3	3	3
5	Jumlah tumbukan tiap lapis	25	56	25	56
6	Material siap ditumbuk yang perlu disediakan	2,7 kg	6,4 kg	4,5 kg	10 kg

Sumber : Sudarmono dan Purnomo (1997)

Hasil pengujian proktor standar ini digunakan untuk mencari kadar air optimum (OMC/ *Optimum Moisture Content*). Kadar air optimum ini kemudian digunakan untuk pengujian CBR (*California Bearing Ratio*). Grafik pengujian proktor standar dapat dilihat pada Gambar 3.7



Gambar 3. 7 Uji Proktor Standar

Sumber : (Hardiyatmo,2010)

1.5.1 Faktor- Faktor yang Mempengaruhi Hasil Pemadatan

Kepadatan tanah dipengaruhi oleh pengaruh jenis tanah dan energi pemadat (energi per volume satuan).

1. Pengaruh jenis tanah, seperti distribusi ukuran butiran, bentuk butiran, berat jenis dan macam mineral lempung yang terdapat dalam tanah sangat berpengaruh terhadap berat volume kering maksimum (γ_d) dan kadar air optimumnya (OMC).
2. Energi pemadatan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya jumlah pukulan per lapisan, jumlah lapisan tanah, berat pemukul, tinggi jatuh pemukul terhadap volume *mould* yang dituliskan dalam Persamaan 3.14 berikut:

$$E = \frac{Nb \times N1 \times W \times H}{V} \quad (3.14)$$

Dengan:

N_b = Jumlah Pukulan Per Lapisan

N_2 = Jumlah Lapisan

W = Berat Pemukul

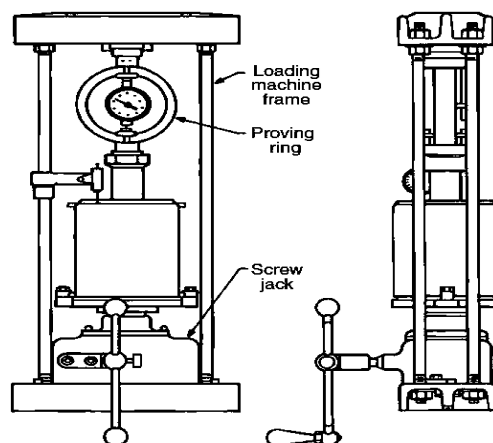
V = Volume Mould

H = Tinggi Jatuh Pemukul

Jumlah lapisan pada saat pemadatan di dalam *mould* sama, yaitu 3 lapisan, akan tetapi jumlah pukulan pada tiap lapisan dibedakan, yaitu antara 20 sampai 50 kali pukulan.

1.6 Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR)

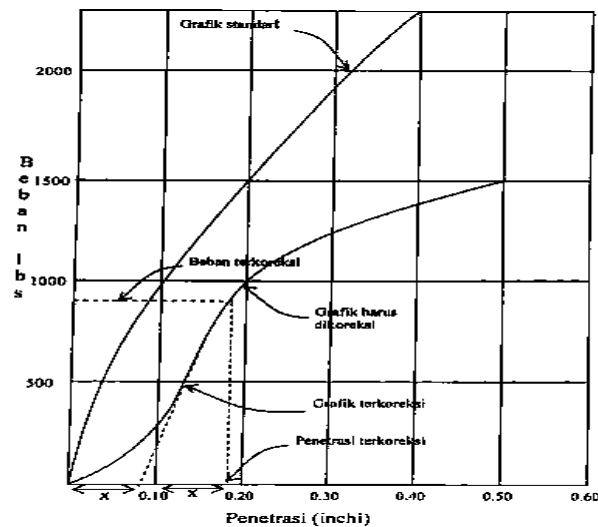
Kekuatan tanah atau campuran agregat yang dipadatkan dengan kadar air tertentu dapat ditentukan dengan pengujian (CBR/ *California Bearing Ratio*). CBR merupakan perbandingan beban penetrasi suatu bahan terhadap beban standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Pengujian ini dikembangkan oleh *California State Highway Departement*, Amerika Serikat pada tahun 1930 untuk menentukan kekuatan tanah yang akan digunakan sebagai lapisan tanah dasar jalan (*Subgrade*). Alat pengujian yang digunakan untuk uji CBR laboratorium dapat dilihat Gambar 3.8 berikut:



Gambar 3. 8 Alat Uji CBR Laboratotium

Sumber : (Soedarmono dan Purnomo,1997)

CBR merupakan suatu perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standard load*) kemudian dinyatakan dalam presentase. Harga CBR menyatakan kualitas daya dukung tanah dasar yang ada. CBR di laboratorium dijelaskan pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Grafik Standar Pengujian CBR di Laboratorium

Sumber: (Soedarmono dan Purnomo dalam Mekanika Tanah I,1997)

Pengujian CBR menggunakan piston dengan ukuran penampang 3 inch dipenetrasikan kedalam benda uji yang akan dipadatkan dengan penetrasi berkecepatan 0,05 inch/menit terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus beban standar dan dilakukan pengukuran beban yang diperlukan untuk penetrasi.” Berikut merupakan perhitungan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai CBR:

1. Menghitung beban P dalam (lbs) dengan Persamaan 3.16 sebagai berikut:

$$\text{Beban } P = k \times \text{dial} \quad (3.16)$$

Dengan:

$$k = \text{Nilai Kalibrasi (lbs)}$$

$$\text{dial} = \text{Pembacaan Dial (div)}$$

kemudian beban P digambarkan kedalam grafik hubungan beban P dan penetrasi. Pada beberapa keadaan permulaan kurva beban berbentuk cekung dikarenakan kurang ratanya pemadatan atau beberapa faktor lainnya. Pada keadaan ini perlu adanya koreksi pada titik nol ketika pembacaan data.

2. Setelah membuat grafik kemudian menghitung harga CBR dengan membagi masing-masing beban dengan beban standar CBR pada penetrasi 0,1 dengan beban standar 70,31 kg (1000 psi), penetrasi 0,2 dengan beban standar 105,47 kg (1500 psi) kemudian dikalikan dengan 100%. Biasanya nilai CBR yang diambil adalah nilai CBR penetrasi 0,1 inch. Apabila terjadi koreksi grafis, maka beban yang digunakan adalah beban terkoreksi pada 2,54 mm (0,1 inch) dan 5,08 mm (0,2 inch).

3.8 Persyaratan CBR tanah dasar

Direktorat Jenderal Bina Marga menetapkan dalam 'Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013' telah mengatur persyaratan nilai CBR minimum yang dapat digunakan sebagai lapisan tanah dasar jalan (*subgrade*). Tanah lempung yang daya dukungnya sangat bergantung pada kadar air, akan menjadi rawan ketika musim penghujan tiba. Daya dukung tanah dasar desain untuk tanah lempung didapat dengan perendaman selama 4 hari, dengan nilai CBR pada 95% kepadatan kering maksimum.

CBR untuk timbunan biasa dan tanah dasar dari tanah asli di Indonesia umumnya 4% atau berkisar antara 2,5% - 7%. Desainer sering berasumsi bahwa dengan material setempat dapat dicapai CBR untuk lapisan tanah dasar sebesar 6%, yang sering tidak tercapai. Karena itu perlu dilakukan pengambilan sampel dan pengujian yang memadai. Adapun beberapa faktor penting yang harus diperhatikan pada tanah dasar (*subgrade*) jalan adalah sebagai berikut:

1. memiliki setidaknya CBR rendaman minimum desain,
2. dibentuk dengan baik,
3. terpadatkan dengan benar,
4. tidak sensitif terhadap hujan, dan
5. mampu mendukung lalu lintas konstruksi.

Berdasarkan dari uraian diatas Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013 menyatakan CBR minimum yang dapat digunakan sebagai CBR tanah dasar (*subgrade*) jalan adalah 6%. Solusi desain pondasi jalan minimum dapat dilihat pada Tabel 3.7

Tabel 3. 7 Solusi Desain Pondasi Jalan Minimum

CBR Tanah Dasar	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Prosedur desain pondasi	Deskripsi struktur pondasi jalan	lalu lintas lajur desain umur rencana 40 tahun (juta CESA ₅)		
				< 2	2 - 4	> 4
				Tebal minimum peningkatan tanah dasar		
≥ 6	SG6	A	Perbaiki tanah dasar meliputi bahan stabilisasi kapur atau timbunan pilihan (pemadatan berlapis ≤200 mm tebal lepas)	Tidak perlu peningkatan		
5	SG5					100
4	SG4			100	150	200
3	SG3			150	200	300
2.5	SG2.5			175	250	350
Tanah ekspansif (<i>potential swell</i> > 5%)		AE		400	500	600
Perkerasan lentur diatas tanah lunak ⁵	SG1 aluvial ¹	B	Lapis penopang (<i>capping layer</i>) ⁽²⁾⁽⁴⁾	1000	1100	1200
			Atau lapis penopang dan geogrid ⁽²⁾⁽⁴⁾	650	750	850
Tanah gambut dengan HRS atau perkerasan Burda untuk jalan kecil (nilai minimum – peraturan lain digunakan)		D	Lapis penopang berbutir ⁽²⁾⁽⁴⁾	1000	1250	1500

- (1) Nilai CBR lapangan CBR rendaman tidak relevan.
- (2) Datas lapis penopang harus diasumsikan memiliki nilai CBR ekuivalen 2,5%.
- (3) Ketentuan tambahan mungkin berlaku, desain harus mempertimbangkan semua isu kritis.
- (4) Tebal lapis penopang dapat dikurangi 300 mm jika tanah asli dipadatkan (tanah lunak kering pada saat konstruksi).
- (5) Ditandai oleh kepadatan yang rendah dan CBR lapangan yang rendah di bawah daerah yang dipadatkan

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013 (2013)