

BAB III LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang realtif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antar butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antar partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atas proses geologi lainnya yang terjadi didekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia.

Tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah kering, maka tanah hanya terdiri dari dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Berat Jenis Tanah

Macam Tanah	Berat Jenis (G_s)
Kerikil	2,65 – 2, 68
Pasir	2,65 – 2, 68
Lanau anorganik	2,62 – 2, 68
Lempung organik	2,58 – 2, 65
Lempung anorganik	2,68 – 2, 75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

Sumber : Hardiyatmo (2006)

3.2 Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah sangat diperlukan untuk mengetahui karakteristik tanah dan sifat-sifat tanah, tetapi sistem klasifikasi tanah tidak untuk menentukan dan mengidentifikasi sifat mekanis tanah. Sistem klasifikasi tanah yang sering digunakan ada 2 macam, yaitu sistem klasifikasi tanah AASHTO dan sistem klasifikasi tanah USCS. Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair, dan indeks plastisitas.

3.2.1 Sistem Klasifikasi Tanah Metode AASHTO

Sistem Klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompok dievaluasi terhadap indeks kelompoknya. Tanah granuler diklasifikasikan ke dalam A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granuler bergradasi baik, sedangkan A-3 adalah pasir bersih bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granuler (kurang dari 35% lolos saringan no. 200), tetapi masih mengandung lanau dan lempung. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung sampai tanah lanau. Beda keduanya didasarkan pada batas-batas Atterbeg dapat digunakan untuk memperoleh batas-batas antara batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk kelompok A-4 sampai A-7 dan untuk sub kelompok dalam A-2. Tanah organik tinggi seperti tanah gambut (*peat*) diletakkan dalam kelompok A-8. Indeks kelompok (*group index*) (GI) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dengan Persamaan 3.1 berikut ini.

$$GI = (F - 35) [0.2 + 0.005 (LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (PI - 10) \quad (3.1)$$

dengan :

GI = indeks kelompok (*group index*)

F = persen butiran lolos saringan no. 200 (0.075 mm)

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

Bila indeks kelompok (GI) semakin tinggi, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaan. Nilai GI biasanya dituliskan pada bagian belakang dengan tanda kurung. Terdapat beberapa aturan untuk menggunkan nilai GI , yaitu:

1. bila $GI < 0$, maka dianggap $GI = 0$,
2. nilai GI yang dihitung dari Persamaan (3.4), dibulatkan pada angka terdekat,
3. nilai GI untuk kelompok tanah A-1a, A-1b, A-2-4, A-2-5, dan A-3 selalu nol,
4. untuk kelompok tanah A-2-6 dan A-2-7, hanya bagian dari persamaan indeks kelompok yang digunakan, $GI = 0.01 (F - 15) (PI - 10)$, dan
5. tidak ada batas atas nilai GI , GI maksimum 20.

Klasifikasi menurut AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah Metode ASSHTO

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				A-7-5/A-7-6
Analisis saringan (% lolos)											
2,00 mm (no. 10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no.40)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (no. 200)	15 maks	25 maks	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)	-	-	-	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			

Sumber : Hardiyatmo, 2006

Catatan:

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

Untuk $PL > 30$, klasifikasinya A-7-5Untuk $PL < 30$, klasifikasinya A-7-6

Np = Non plastis

3.2.2 Sistem Klasifikasi Tanah Metode USCS

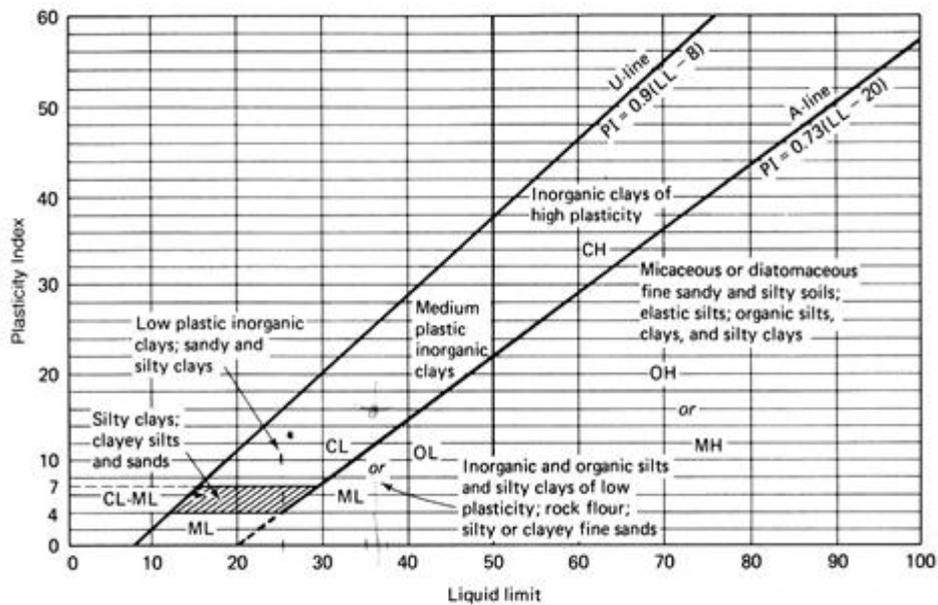
Pada Sistem *Unified*, tanah diklasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan no. 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau atau lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan no. 200. Tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok yang. Simbol-simbol yang digunakan dalam Sistem *Unified* adalah sebagai berikut.

G	= Kerikil (<i>gravel</i>)
S	= pasir (<i>sand</i>)
C	= lempung (<i>clay</i>)
M	= lanau (<i>silt</i>)
O	= lanau atau lempung organik (<i>organic sily or clay</i>)
Pt	= tanah gambut dan tanah organik tinggi (<i>peat and highly organic g soil</i>)
W	= gradasi baik (<i>well-graded</i>)
P	= gradasi buruk (<i>poorly-graded</i>)
H	= plastisitas tinggi (<i>high-plasticity</i>)
L	= plastisitas rendah (<i>low-plasticity</i>)

Saat ini sistem *USCS* banyak dipakai oleh para ahli Rekayasa Teknik Sipil. Sistem *Unified* membagi tanah dalam 2 kelompok, yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus.

1. Tanah berbutir kasar (*coarse grained – soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir yang kurang dari 50% berat total, contoh tanah lolos saringan no. 200. Simbol kelompok ini adalah G (untuk tanah berkerikil), dan S (untuk tanah berpasir). Selain itu juga dinyatakan gradasi tanah dengan simbol W (untuk tanah bergradasi baik) dan P (untuk tanah bergradasi buruk).
2. Tanah berbutir halus (*fine – grained – soil*), yaitu tanah yang lebih dari 50% berat contoh tanahnya lolos dari saringan no. 200. Simbol kelompok ini adalah C (untuk tanah berlempung anorganik), M (untuk tanah berlanau anorganik), dan O (untuk lanau atau lempung organik). Selain itu plastisitas dinyatakan dengan simbol H (plastisitas tinggi) dan L (plastisitas rendah).

Untuk dapat mengklasifikasikan tanah berbutir halus yang lebih spesifik, maka grafik plastisitas dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Grafik Klasifikasi Tanah Metode USCS

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Tabel 3.3 Sistem Klasifikasi Tanah Metode USCS

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama jenis		
tanah berbutir kasar Lebih dari 50% butiran tertahan saringan no. 200 (0,075 mm)	kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan 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	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, C_c = \frac{(D_{20})^2}{D_{20} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GP	Kerikil Gradasi buruk dan campuran pasir kerikil, atau tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
		Pasir bersih (hanya pasir)	Pasir berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	Batas-batas Atterberg dibawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ bila batas Atterberg berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
			Pasir dengan butiran halus	GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung	
	pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Pasir Gradasi baik, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	SW	Pasir Gradasi baik, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, C_c = \frac{(D_{20})^2}{D_{20} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
		Pasir Gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	SP	Pasir Gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
		Pasir berlanau, campuran pasir lanau	Pasir berlanau, campuran pasir lanau	SM	pasir berlanau, campuran pasir lanau	Batas-batas Atterberg dibawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ bila batas Atterberg berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
			pasir berlempung, campuran pasir-lempung	SC	pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
	Klasifikasi berdasarkan presentase butiran halus, kurang dari 5% lolos saringan no. 200 : GW, 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					
	tanah berbutir halus $\geq 50%$ 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 berlempung	<p>Diagram Plastisitas : Untuk mengidentifikasi kadar air dan plastisitas yang dimiliki suatu tanah berbutir halus dan medium berbutir kasar, batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang ditunjukkan dengan simbol</p>	
			CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (lean clays)		
		Lanau dan lempung batas cair > 50%	OL	lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
MH			lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elasis.			
CH			lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fatclays")			
OH			lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi			
Pt			Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi			
Tanah dengan kadar organik tinggi	Pt	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488			

Sumber : Hardiyatmo (2006)

3.3 Tanah Lempung

Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang mempunyai ukuran < 0,002 mm (Das, 1988). Hal ini disebabkan karena terjadinya proses kimiawi yang mengubah susunan mineral batuan asalnya yang disebabkan oleh air yang mengandung asam atau alkali, oksigen, dan karbondioksida. Di tinjau dari segi mineralnya lempung didefinisikan sebagai tanah yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah. Partikel-

partikel itu merupakan sumber utama kohesi didalam tanah yang kohesif. Tanah lempung merupakan tanah yang berukuran mikroskopis sampai dengan sub mikroskopis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan, tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada kadar air lebih tinggi lempung berifat lengket (*kohesif*) dan sangat lunak. Untuk itu tanah tersebut perlu di stabilkan dengan cara dipadatkan atau menambahkan bahan lain yang sifatnya dapat mengutkan struktur tanah.

Tanah lempung adalah tanah yang berasal dari pelapukan tanah akibat reaksi kimia menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran halus $\leq 0,002$ mm. Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus (Hardiyatmo, 2006).

3.4 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser. Tujuan stabilisasi tanah adalah untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada sehingga membentuk struktur jalan atau pondasi jalan yang padat. Apabila dalam suatu kondisi tanah mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai standar, permeabilitas yang tinggi, dan sifat lain yang tidak memenuhi standar untuk pembangunan suatu proyek, maka tanah tersebut harus distabilisasi. Stabilisasi dapat terdiri dari salah satu tindakan sebagai berikut:

1. pemadatan langsung dengan alat pemadat maupun aplikasi teknologi seperti geomembran atau geotextile,
2. pencampuran tanah asli dengan tanah lain yang mempunyai sifat dan karakteristik yang lebih baik lalu dipadatkan dengan alat pemadat,
3. pencampuran tanah asli dengan semen, kapus ataupun aspal sebagai bahan pengikat partikel tanah,
4. merendahkan muka air (drainase tanah), dan
5. menggantikan tanah yang buruk.

3.4.1 Stabilisasi Tanah dengan Cara Bahan Tambah

Sifat-sifat plastisitas, kompresibilitas, dan permeabilitas dapat diubah oleh penambahan bahan tambah tertentu. Mekanisme kedap air pada campuran tanah dengan bahan tambahan adalah menjaga supaya kadar air tanah tetap rendah sehingga kekuatan tanah tetap terjaga. Tidak ada bahan tambah yang membuat tanah menjadi total kedap air, sehingga air tidak menembus tanah yang telah terstabilisasi tersebut, namun tingkat kepadatan tergantung seberapa besar pengurangan tingkat permeabilitas tanah (Bowles, 1993).

Metode pencampuran untuk stabilisasi tanah dengan bahan tambah ada 3 jenis, yaitu:

1. metode pencampuran terpusat tanah dicampur dengan bahan stabilisasi pada suatu tempat, kemudian diangkut ke tempat pekerjaan,
2. metode pencampuran dalam galian bahan stabilisasi dicampur dengan tanah pada lobang galian tanah lalu diangkut ke tempat pekerjaan, dan
3. metode pencampuran di tempat pekerjaan tanah dihamparkan di tempat pekerjaan kemudian ditaburi bahan stabilisasi dan dicampur atau tanah yang akan distabilisasi dikeruk dan dicampur dengan bahan stabilisasi.

Penelitian ini dilakukan pada pegujian-pengujian dilaboratorium adapaun metode yang digunakan oleh penulis adalah pencampuran terpusat, yaitu pada sampel tanah dalam keadaan kering dicampur dengan bahan stabilisasi sesuai dengan persentase yang telah direncanakan kemudian diaduk secara merata untuk selanjutnya dilakukan pengujian-pengujian sesuai dengan prosedur pengujiannya.

3.4.2 Stabilisasi Tanah dengan Semen (PC)

Stabilisasi tanah dengan semen diartikan sebagai pencampuran antara tanah yang telah dihancurkan, semen dan air, yang kemudian dipadatkan sehingga menghasilkan suatu material baru disebut tanah – semen yaitu pada kekuatan, karakteristik deformasi, daya tahan terhadap air, cuaca dan sebagainya dapat disesuaikan dengan kebutuhan untuk perkerasan jalan, pondasi bangunan dan jalan, aliran sungai dan lain-lain.

Semen portland atau *portland cement* atau semen hidraulis merupakan bahan ikat yang banyak dipergunakan dalam pembangunan fisik. Terdapat empat unsur penting yang terkandung dalam *portland cement* yaitu Trikalsium Silikat (C_3S atau $3CaO.SiO_2$), Dikalsium Silikat (C_2S atau $2CaO.SiO_2$), Trikalsium Aluminat (C_3A atau $3CaO.AL_2O_3$), Tetrakalsium Aluminoforit (C_3AF atau $4CaO.AL_2O_3.Fe_2O_3$). Tahapan proses kimia pada stabilisasi tanah menggunakan semen adalah sebagai berikut.

1. Absorpsi air dan reaksi pertukaran ion

Bila *portland cement* ditambahkan pada tanah, ion kalsium Ca^{++} dilepaskan melalui proses hidrolisa dan pertukaran ion berlanjut pada permukaan partikel-partikel lempung. Ion positif seperti reaksi-reaksi kimia tersebut di atas, maka reaksi utama yang berkaitan dengan kekuatan ialah hidrasi dari trikalsium silikat ($3CaO.SiO_2$) dan Dikalsium Silikat ($2CaO.SiO_2$). Dengan reaksi ini partikel-partikel lempung menggumpal sehingga mengakibatkan konsistensi tanah menjadi lebih baik.

2. Reaksi pembentukan kalsium silikat dan kalsium aluminat

Secara umum hidrasi adalah sebagai berikut :



Reaksi anatar silika (SiO_2) dan alumina (AL_2O_3) halus yang terkandung dalam tanah lempung dengan kandungan mineral reaktif, sehingga dapat bereaksi dengan kapur dan air.

3.4.3 Stabilisasi Tanah dengan Additive Alkali (*Magnesium Carbonate*)

Magnesium Carbonate adalah salah satu bahan additive alkali yang dapat digunakan sebagai bahan stabilisasi dan pemadatan (*solidifikasi*) tanah. Bahan *magnesium carbonate* sendiri berupa serbuk halus yang memiliki kandungan senyawa kimia alkali. *Magnesium Carbonate* terbentuk dari proses pembentukan antara *magnesium salt* dan *sodium bicarbonate*. Berikut adalah reaksi kimia pembentukan *magnesium carbonate*.



Magnesium Carbonate digunakan sebagai bahan campuran stabilisasi tanah dengan campuran semen, di karenakan *magnesium carbonate* dan semen memiliki daya pengikat yang tinggi, dimana mampu mempercepat pengkristalan selama proses hidrasi pada tanah sehingga lapisan tanah tidak mudah tembus air (kedap air) dan merupakan bahan stabilisasi yang ramah lingkungan. Kandungan mineral yang terkandung dalam *magnesium carbonate* adalah mineral magnesit dan dolomit.

Adapun tujuan penambahan *magnesium carbonate* pada stabilisasi tanah dengan semen sebagai berikut:

1. meningkatkan parameter daya dukung tanah,
2. memperkecil permeabilitas tanah,
3. melarutkan humus pada permukaan partikel tanah yang menghalangi ikatan tanah-semen, sehingga ikatan menjadi lebih kuat,
4. menjaga kadar air agar tetap stabil, dan
5. memaksimalkan fungsi bahan stabilisasi semen.

Dalam penelitian ini penulis menggunakan magnesium carbonate sebagai bahan tambah dalam stabilisasi tanah lempung dengan semen, di karenakan magnesium carbonate memiliki beberapa keunggulan sebagai berikut:

1. dapat meningkatkan parameter daya dukung tanah,
2. mempercepat proses kristalisasi pada semen,
3. memperkecil permeabilitas tanah, sehingga dapat digunakan sebagai lapisan kedap air,
4. memaksimalkan fungsi bahan stabilisasi lain seperti semen,
5. bahan tambah yang ramah lingkungan dan tidak berbahaya, dan
6. sebagai bahan pengikat yang kuat.

3.5 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Percobaan pengujian sifat fisik tanah bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat fisik yang dimiliki oleh tanah yang meliputi pengujian fisik dan mekanis tanah. Sifat sifat tanah tergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanahnya. Distribusi butiran merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan. Terdapat 2 cara untuk mendapatkan distribusi ukuran-ukuran partikel tanah, yaitu:

1. untuk tanah berbutir kasar digunakan pengujian analisa saringan
2. untuk tanah berbutir halus digunakan analisa hidrometer

3.5.1 Analisa Saringan

Untuk tanah berbutir kasar yang memiliki diameter butiran tanah yang lebih besar dari 0,075 mm atau yang tertahan saringan no. 200 dapat ditentukan dengan cara menyaringnya. Nomor-nomor saringan dan diameter lubang dari standar Amerika dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Saringan Standar Amerika

No. Saringan	Diameter Lubang (mm)	No. Saringan	Diameter Lubang (mm)
3	6,35	40	0,42
4	4,75	50	0,30
6	3,35	60	0,25
8	2,36	70	0,21
10	2,00	100	0,15
16	1,18	140	0,106
20	0,85	200	0,075
30	0,60	270	0,053

Sumber : Hardiyatmo (2006)

3.5.2 Analisa Hidrometer

Analisa hidrometer adalah suatu pengujian dengan cara sedimentasi. Pengujian ini untuk tanah berbutir halus atau bagian berbutir halus dari tanah berbutir kasar (butir-butir tanah yang memiliki diameter < 0,075 mm atau yang lolos saringan no. 200). Metode ini didasarkan pada hukum Stokes, yang berkenaan dengan kecepatan mengendap butiran pada larutan suspensi.

Menurut Stokes, kecepatan mengendap butiran dapat ditentukan dari Persamaan 3.2 sebagai berikut:

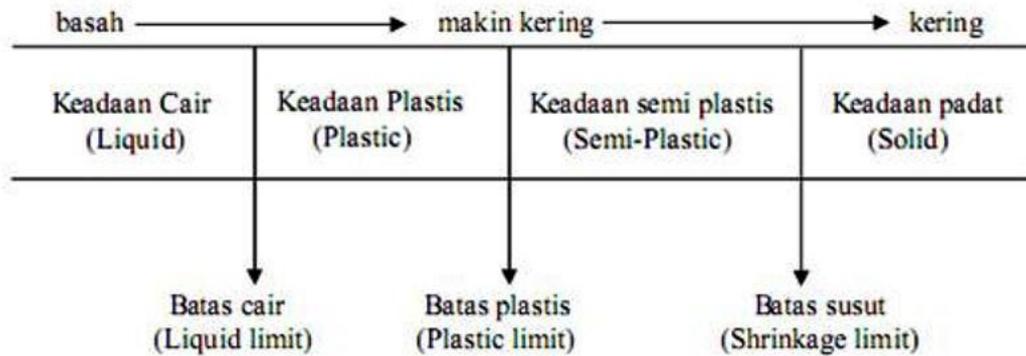
$$D \text{ (mm)} = \sqrt{\frac{L \text{ (cm)}}{t \text{ (menit)}}} \quad \text{dengan } K = \sqrt{\frac{30\mu}{G_s - 1}} \quad (3.2)$$

Keterangan:

- D = diameter butiran tanah (mm)
- L = kedalaman hidrometer (cm)
- t = waktu pengendapan (menit)
- K = konstanta yang dipengaruhi oleh G_s dan μ
- μ = kekentalan air absolut ($\text{g}\cdot\text{det}/\text{cm}^2$)
- G_s = gravitasi khusus

3.5.3 Batas-Batas Atterberg

Seorang ahli tanah berkebangsaan Swedia, A. Atterberg yang bekerja dalam bidang keramik dan pertanian. Pada tahun 1911 Atterberg memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Kedudukan batas-batas konsistensi untuk tanah kohesif dapat dilihat pada Gambar 3.2.



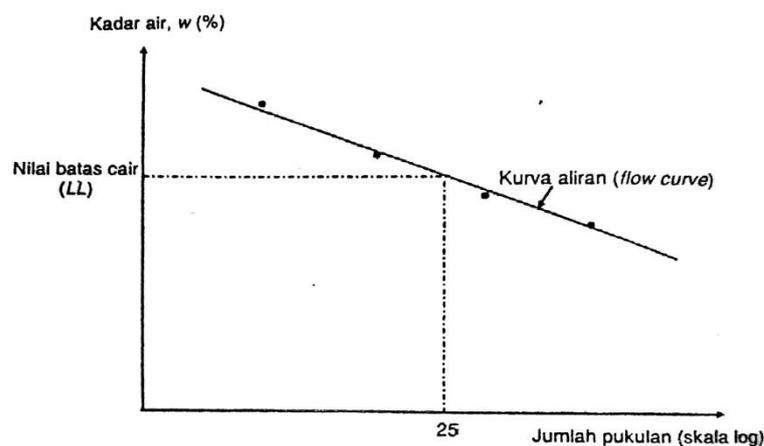
Gambar 3.2 Batas-Batas Atterberg

(Sumber: L. D. Wesley, 1977)

Batas-bata atterberg dapat dibedakan menjadi 3, yaitu:

1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (*LL*), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari uji Casagrande, yang dipisah selebar 3 mm dan menyatu kembali selebar 0,5 inchi pada pukulan ke 25. Percobaan ini dilakukan dengan sampel tanah yang berbeda dengan beberapa variasi kadar air.



Gambar 3.3 Kurva Penentuan Batas Cair Tanah Lempung

(Sumber : Hardiyatmo, 2006)

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas Plastis (*PL*) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung. Batas plastis dinyatakan dalam Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$PL = \frac{w_p - w_k}{w_k} \times 100\% \quad (3.3)$$

Keterangan:

- PL = batas plastis tanah (%)
- w_p = berat tanah basah kondisi plastis (gr)
- w_k = berat tanah kering (gr)

3. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (*SL*) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Percobaan batas susut dilaksanakan dalam laboratorium dengan cawan porselin diameter 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. Bagian cawan dilapisi dengan pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna. Kemudian dikeringkan didalam oven. Batas susut dinyatakan dalam Persamaan 3.4 berikut ini.

$$SL = w - \left\{ \frac{V - V_o}{W_o} \right\} \times 100\% \quad (3.4)$$

Keterangan:

- SL = batas susut tanah
- w = kadar air
- W_o = berat tanah kering (gr)
- V_o = volume tanah kering oven (cm^3)
- V = volume tanah basah (cm^3)

4. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (*PI*) adalah selisih batas cair dan batas plastis

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

dengan:

PI = Indeks Plastisitas

LL = Batas cair

PL = Batas plastis

Indeks plastisitas (*PI*) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai *PI* tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika *PI* rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg yang terdapat dalam Tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.5 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

<i>PI</i>	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, 2006

3.5.4 Pengembangan (*Swelling*)

Pengembangan (*Swelling*) adalah nilai perbandingan antara perubahan tinggi selama perendaman terhadap tinggi benda uji semula yang dinyatakan dalam persen. Penilaian pengembangan (*swelling*) tanah yang umum dipakai ialah dengan merendam tanah yang sudah dipadatkan dalam tabung atau silinder CBR selama 4 hari (Marzuko,2002). Selama waktu itu pula dipermukaan benda uji dipasang arloji pengukur untuk mengukur besar pengembangan tanahnya dalam

tabung dan merendamnya serat mengukur besarnya *swelling*. Pengembangan (*swelling*) dapat dihitung dengan Persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$S_w = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (3.6)$$

Keterangan:

S_w = Pengembangan (%)

ΔL = Perubahan tinggi dibaca dari dial (mm)

L_0 = Tinggi sampel mula-mula (mm)

Tabel 3.6 Klasifikasi *Swelling Potensial*

Swelling Potential (%)	Swelling Degree
0 – 1,5	Low
1,5 – 5	Medium
5 – 25	High
> 25	Very High

Sumber : Seed et al.1962 dalam Das, (1995)

3.5.5 Pengujian Kepadatan Tanah (*Proctor Standar*)

Untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan, maka umumnya dilakukan uji pemadatan. Tingkat kepadatan tanah diukur dari nilai berat volume keringnya (γ_d). Berat volume kering tidak berubah oleh adanya kenaikan kadar air. Maksud dari pemadatan tanah, antara lain:

1. mempertinggi kuat geser tanah,
2. mengurangi sifat mudah mampat (*compresibilitas*),
3. mengurangi permeabilitas, dan
4. mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air.

Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah pada

umunya, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya.

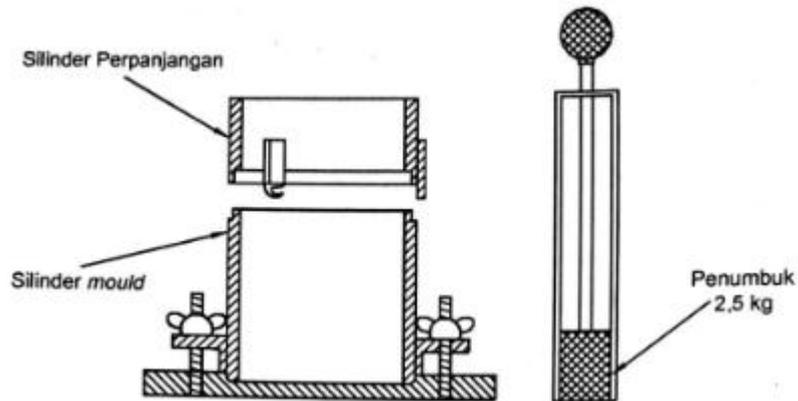
Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (Y) dan kadar air (w), dinyatakan dalam Persamaan 3.7 sebagai berikut :

$$\gamma_d = \frac{Y}{1+w} \quad (3.7)$$

Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh lat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji Proctor. Prinsip pengujiannya diterangkan sebagai berikut.

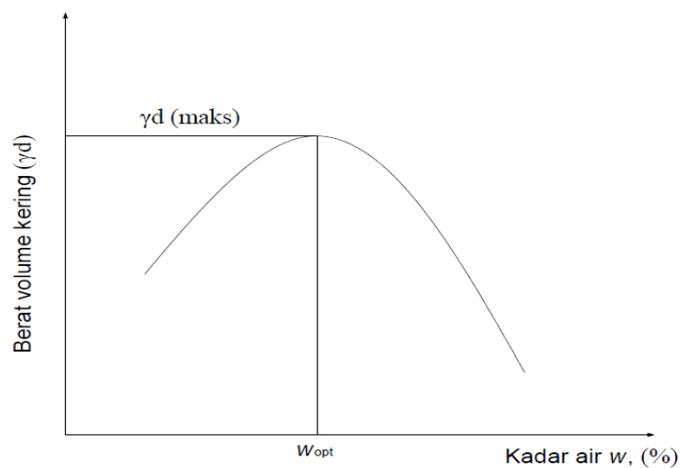
Alat pemadat berupa silinder *mould* yang mempunyai volume $9,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. Tanah di dalam *mould* dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm (1ft). Tanah dipadatkan dalam tiga lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk 25 kali pukulan. Pada uji proctor dimodifikasi (*modified proctor*), *mould* yang digunakan masih tetap sama, hanya berat penumbuknya diganti dengan 4,54 kg dengan tinggi jatuh penumbuk 45,72 cm. Pada pengujian ini, tanah di dalam *mould* ditumbuk dalam 5 lapisan.

Dalam uji pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan dan kemudian, digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya. Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik (w_{opt}) untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum (*MDD*). Alat pengujian proctor standar dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan kurva hubungan kadar air dan berat volume dapat dilihat pada Gambar 3.5 (Hardiyatmo, 2006).



Gambar 3.4 Alat Uji Proctor Standar

(Sumber: Hardiyatmo, 2006)



Gambar 3.5 Kurva Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering pada Pengujian Proctor Standar

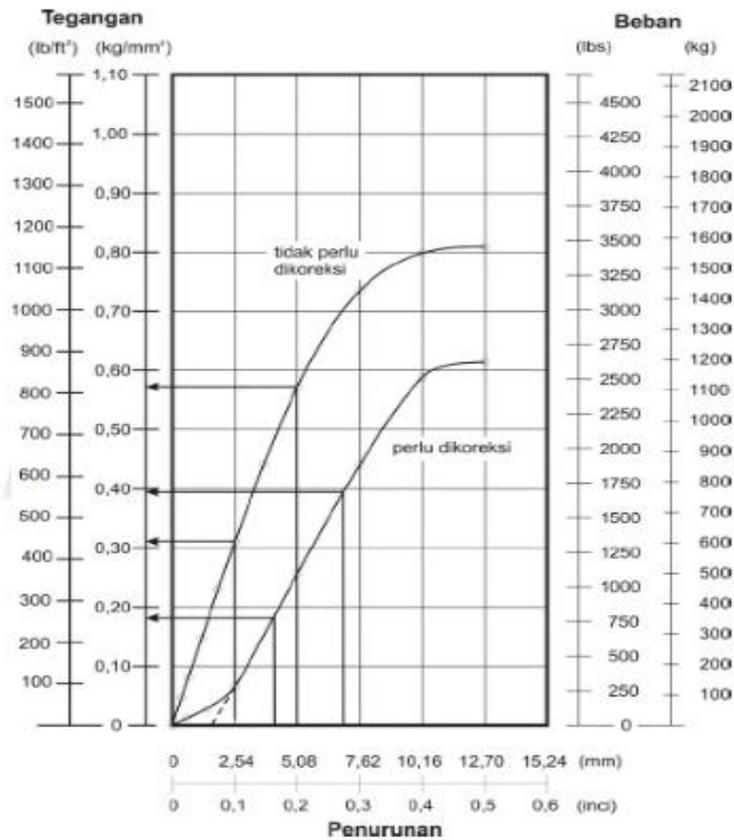
3.5.6 Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*)

Pengujian CBR adalah pengujian yang dimaksudkan untuk menentukan nilai CBR tanah atau campuran agregat yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. CBR (*California Bearing Ratio*) adalah dapat berupa tanah atau material perkerasan jalan) dengan bahan standar dengan kedalaman tertentu dan kecepatan penetrasi yang sama.

Pengujian CBR di laboratorium dilakukan dengan cara *soaked* dan *unsoaked* dan pemeraman sampel. Tujuan pengujian CBR dengan cara perendaman selama 4 hari dikarenakan disesuaikan dengan iklim cuaca di Indonesia yang sering terjadi hujan dan menyebabkan timbulnya genangan atau banjir, dengan menganalogikan kekuatan daya dukung tanah setelah tergenang banjir dengan waktu asumsi maksimal selama 4 hari. Sedangkan pengujian CBR dengan pemeraman sampel yaitu bertujuan untuk memberikan waktu proses reaksi kimia yang terjadi antara tanah dengan bahan tambah. Prinsip pengujian CBR yaitu sampel tanah ditekan dalam cetakan silinder dengan alat tekan standar berupa piston dengan kecepatan penetrasi 1,27 mm/menit.

Sampel tanah yang digunakan untuk benda uji pada pengujian CBR adalah sampel tanah yang lolos saringan no. 4 dan yang di masukan ke dalam *mould* berbentuk silinder dengan diameter 152 mm dengan dipadatkan dalam 3 lapis, dengan masing-masing ditumbuk dengan penumbuk standar sebanyak 56 kali. Letakan benda uji beserta keping alas di atas mesin penetrasi dan letakan keping pemberat diatas permukaan benda uji seberat minimal 4,5 kg (10 pound). Arloji penunjuk penetrasi dan arloji penunjuk beban diatur sehingga menunjukkan angka nol. Berikan pembebanan secara teratur sehingga kecepatan penetrasi mendekati kecepatan 1,27 mm/menit. Pembacaan pembebanan dilakukan pada interval penetrasi 0,025 inch (0,64 mm), hingga mencapai penetrasi 0,5 inch (12,7 mm).

Pada kejadian permulaan kurva beban cekung akibat kurang rataanya permukaan pada saat pemadatan benda uji atau sebab-sebab yang lain, dalam keadaan ini titik nolnya harus dikoreksi seperti pada Gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6 Kurva Hubungan Beban dan Penetrasi pada Pengujian CBR
(Sumber : SNI 1738 : 2011)

Menggunakan grafik yang telah dibuat, hitung harga CBR dengan cara membagi masing-masing beban dengan beban standar CBR pada penetrasi 0,1” atau 2,54 mm dengan beban standar 70,31 kg/cm² atau 1000 psi dan penetrasi 0,2” atau 5,08 mm dengan beban standar 105,47 kg/cm² atau 1500 psi dan dikalikan dengan 100%. Adapun cara untuk menentukan nilai CBR sebagai berikut :

1. CBR pada penetrasi 0,1” atau 2,54 mm dengan beban standar 70,31 kg/cm² atau 1000 psi

$$CBR_{0,1} = \frac{P_1}{3 \times 1000} \times 100\% \quad (3.8)$$

2. CBR pada penetrasi 0,2” atau 5,08 mm dengan beban standar 105,47 kg/cm² atau 1500 psi

$$CBR_{0,2} = \frac{P_2}{3 \times 1500} \times 100\% \quad (3.9)$$

Pada umumnya nilai CBR diambil pada penetrasi 0,1” atau 2,54 mm dengan beban standar 70,31 kg/cm² atau 1000 psi, namun pada keadaan tertentu bila nilai CBR pada penetrasi 0,1” atau 2,54 mm lebih kecil dari pada penetrasi 0,2” atau 5,08 mm maka pengujian harus diulang dan apabila pada pengujian kedua ini nilai CBR pada penetrasi 0,2” atau 5,08 mm masih lebih besar dari CBR penetrasi 0,1” atau 2,54 mm, maka nilai CBR yang dipakai adalah nilai CBR terbesar atau pada penetrasi 0,2” atau 5,08 mm.