

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak terasidikasi (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). Tanah adalah kumpulan-kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef,1994).

Dalam pandangan Teknik Sipil tanah merupakan himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*), yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*). Ikatan butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang-ruang diantara partikel dapat berisi air, udara, ataupun keduanya (Hardiyatmo. 1996). Ikatan yang lemah antara partikel-partikel tanah disebabkan oleh karbonat dan oksida yang tersenyawa diantara partikel-partikel tersebut, atau dapat juga disebabkan oleh adanya material organik. Bila hasil dari pelapukan tersebut berada pada tempat semula maka bagian ini disebut sebagai tanah sisa (*residu soil*). Hasil pelapukan terangkut ke tempat lain dan mengendap di beberapa tempat yang berlainan disebut tanah bawaan (*transportation soil*).

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran atau lebih dari satu macam partikel (Hardiyatmo, 2002). Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja akan tetapi dapat bercampur dengan butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik. Ukuran partikel tanah tersebut dapat bervariasi dari lebih besar dari 100 mm sampai dengan yang lebih kecil dari 0,001 mm

Menurut Bowles (1989 dalam Made, 2011) tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

1. Berangkal (*boulders*), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).
2. Kerikil (*gravel*), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm).
4. Lanau (*silt*), partikel batuan berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai.
5. Lempung (*clay*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
6. Koloid (*colloids*), partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Kerikil, pasir lanau, dan lempung adalah istilah-istilah umum dipakai untuk menyatakan tanah. Kerikil dan pasir dikenal sebagai tanah berbutir kasar, sedangkan lanau dan lempung dikenal sebagai tanah halus. Material butir kasar adalah fragmen mineral yang dapat diidentifikasi terutama berdasarkan ukuran partikel. Apabila diameter partikelnya melebihi 5 mm diklasifikasikan sebagai kerikil. Apabila butiran tanah dapat dilihat dengan mata telanjang diameter partikelnya kurang dari 5 mm diklasifikasikan sebagai pasir nama ini biasanya dimodifikasi lebih lanjut sebagai kasar, sedang, dan halus.

Lanau adalah bahan yang merupakan peralihan antara lempung dan pasir halus. Perbedaan antara lempung dan lanau tidak dapat didasarkan pada ukuran partikelnya, karena sifat-sifat fisis penting dari kedua material ini hanya berkaitan secara tidak langsung terhadap ukuran partikel. Penentuan antara lanau dan lempung dilakukan atas dasar hasil percobaan batas atterberg atau dilantasi karena keduanya

bersifat mikroskopis. Menurut Bowles (1989) system klasifikasi tanah yang paling dikenal dikalangan para ahli teknik tanah dan fondasi adalah klasifikasi tanah sistem *Unified (Unified Soil Clasification System)*. Sistem *Unified* membagi tanah atas tiga kelompok utama:

1. Tanah berbutir kasar merupakan tanah yang lebih dari 50% bahannya tertahan pada ayakan No.200 (0,075mm) yang dibagi atas kerikil dan pasir.
2. Tanah berbutir halus merupakan tanah yang lebih dari 50% bahannya lewat ayakan No. 200 (0,075 mm) yang dibagi menjadi lanau, lempung, serta lanau dan lempung organik.
3. Tanah sangat organik merupakan tanah gambut.

Tabel 2.1. Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempun g
<i>Massachusetts Institute of Technonogy (MIT)</i>	> 2	2 - 0,06	0,06 - 0,002	< 0,002
<i>U.S Departement of Agriculture (USDA)</i>	> 2	2 - 0,05	0,05 - 0,002	< 0,002
<i>American Association of State Highway abd Transportation Officials (ASSHTIO)</i>	76,2 - 2	2 - 0,075	0,075 - 0,002	< 0,002
<i>Unified Soil Clasification System (U.S. Army Crops of Engineers, U.S. Burean of Reclamaton)</i>	76,2 - 2	4,75 - 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung)	

Sumber: Braja M Das, *Mekanika Tanah, Jilid I, Erlangga, Jakarta 1998, Hal. 7*

2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok - kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (Das, 1998). Sistem klasifikasi tanah yang dikembangkan untuk tujuan rekayasa umumnya didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti gradasi butiran tanah dan nilai-nilai batas Atterberg sebagai petunjuk kondisi plastisitas tanah, hal ini dikarenakan tanah tidak tersedimentasi, sehingga partikel-partikel tanah mudah untuk dipisah-pisahkan.

Klasifikasi tanah digunakan untuk memperkirakan atau mengelompokkan tanah berdasarkan sifat-sifat tanah di lapangan. Secara umum klasifikasi tanah menggunakan data dari pengujian *properties* di laboratorium untuk dapat menentukan karakteristik fisik tanahnya. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasinya yang didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari pengujian analisis saringan dan plastisitasnya (Hardiyatmo, 2011). Sistem klasifikasi bukan merupakan sistem identifikasi untuk menentukan sifat-sifat mekanis dan geoteknis tanah. Karenanya, klasifikasi tanah bukanlah satu-satunya cara yang digunakan sebagai dasar untuk perencanaan dan perancangan konstruksi. Klasifikasi tekstur ini dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (*U.S. Department of Agriculture*) dan deskripsi batas-batas susunan butir tanah di bawah sistem USDA. Kemudian dikembangkan lebih lanjut dan digunakan untuk pekerjaan jalan raya yang lebih dikenal dengan klasifikasi tanah berdasarkan persentase susunan butir tanah oleh *U.S. Public Roads Administration*.

2.2.1 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Klasifikasi tanah sistem AASHTO (*American Association of State Highway Transportation Official*) dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Kemudian sistem ini mengalami beberapa perbaikan, sampai saat ini versi yang berlaku adalah yang diajukan oleh *Committee on*

Classification of Materials for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board pada tahun 1945. Sistem klasifikasi AASHTO berguna untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Karena sistem ini ditujukan untuk pekerjaan jalan tersebut, maka penggunaan sistem ini dalam prakteknya harus dipertimbangkan terhadap maksud aslinya. Sistem ini membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1 sampai A-3 adalah tanah berbutir yang 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan no. 200. Sedangkan tanah A-4 sampai A-7 adalah tanah yang lebih dari 35% butirannya lolos ayakan no. 200.

Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini:

1) Ukuran Butir

Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 10 (2 mm).

Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0.075 mm).

Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

2) Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis indeks plastisnya 11 atau lebih.

3) Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) di temukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

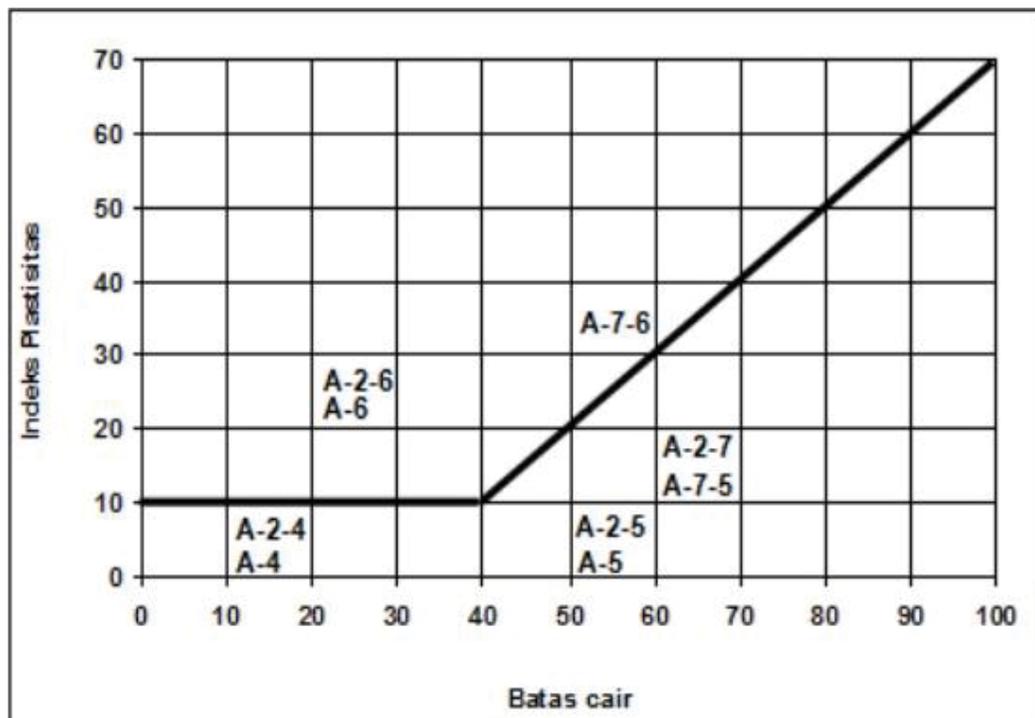
Tabel 2.2 Sistem Klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Office)

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35 % atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						Tanah lanau - lempung (lebih dari 35 % dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7
A-1a	A-1b	A-2-4		A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisis ayakan (% lolos)										
No. 10	50 maks	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	30 maks	50 maks	51 min	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40										
Batas Cair (LL)	---	---	---	40 maks	41 min	40 maks	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indek Plastisitas (PI)	6 maks	NP	NP	10 maks	10 maks	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir	Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau	Tanah berlanau	Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik			Baik sekali sampai baik			sedang sampai jelek			

Keterangan : * Untuk A-7-5, PL > LL - 30

** Untuk A-7-6, PL < LL - 30

Apabila sistem klasifikasi AASHTO digunakan untuk mengklasifikan tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam tabel 2.2 dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai. Gambar 2.1 menunjukkan suatu gambar dari senjang batas cair dan indeks plastisitas untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6 dan A-7



Gambar 2.1 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Untuk mengevaluasi mutu (kualitas) dari suatu tanah sebagai bahan lapisan tanah dasar (*subgrade*) dari suatu jalan raya, suatu angka yang dinamakan indeks grup (*group indeks*, GI) juga diperlukan selain kelompok dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan. indeks grup dapat dihitung dengan memakai persamaan seperti dibawah ini:

$$GI = (F - 35) [0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15) (PI - 10) \quad (2.1)$$

Keterangan:

F = Persentase butiran yang lolos ayakan No. 200

LL = Batas cair (*liquid limit*)

PI = Indeks plastisitas

Suku pertama persamaan di atas yaitu $(F - 35) [0,2 + 0,005(LL - 40)]$, adalah bagian dari indeks grup yang ditentukan dari batas cair (LL). Suku yang kedua yaitu $0,01(F - 15) (PI - 10)$, adalah bagian dari indeks grup yang ditentukan dari indeks plastisitas (PI). Berikut ini adalah aturan untuk menentukan harga dari indeks grup:

- Apabila persamaan di atas menghasilkan GI yang negatif, maka harga GI dianggap nol.
- Indeks grup yang dihitung dengan menggunakan persamaan di atas dibulatkan ke angka yang paling dekat.
- Tidak ada batas atas untuk indeks grup.
- Indeks grup untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-1a, A-1b, A-2-4, A-2-5 dan A-3 selalu sama dengan nol.
- Untuk tanah yang masuk kelompok A-2-6 dan A-2-7, hanya bagian dari indeks grup untuk PI saja yang digunakan, yaitu:

$$GI = 0,01 (F - 15) (PI - 10) \quad (2.2)$$

Pada umumnya, kualitas tanah yang digunakan untuk bahan tanah dasar dapat dinyatakan sebagai kebalikan dari harga indeks grup.

2.2.2 Klasifikasi tanah sistem USCS

Sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) pada mulanya diperkenalkan oleh Prof. Arthur Cassagrande pada tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang selama Perang Dunia II. Sistem ini disempurnakan oleh *United Bureau of Reclamation* pada tahun 1952. Sistem klasifikasi tanah ini yang paling banyak dipakai untuk pekerjaan teknik fondasi seperti bendungan, bangunan dan konstruksi yang sejenis. Sistem ini biasa digunakan untuk desain lapangan udara dan untuk spesifikasi pekerjaan tanah untuk jalan. Klasifikasi berdasarkan *Unified System* (Das, 1995), tanah dikelompokkan menjadi:

- a. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dengan simbol G (*gravel*) dan pasir dengan simbol S (*sand*) yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ($F_{200} < 50$). Sifat teknis tanah ini ditentukan oleh ukuran butir dan gradasi butirnya.
- b. Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} \geq 50$). Tanah ini ditentukan oleh sifat plastisitas tanahnya, sehingga pengelompokannya berdasar plastisitas dan ukuran butirnya. Tanah berbutir halus terbagi atas lanau dengan simbol M (*silt*), lempung dengan simbol C (*clay*), serta lanau dan lempung organik dengan simbol O, bergantung pada tanah itu terletak pada grafik plastisitas. Tanda L untuk plastisitas rendah dan H untuk plastisitas tinggi.
- c. Tanah organik (Gambut/Humus), secara laboratorium dapat ditentukan jika perbedaan batas cair tanah contoh yang belum dioven dengan yang telah dioven sebesar $> 25\%$.

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam klasifikasi USCS sebagai berikut :

- a. Persentase lolos ayakan No. 200 dan lolos ayakan No. 4
- b. Koefisien keseragaman (C_u) dan koefisien gradasi (C_c)
- c. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI).

Menurut Bowles (1991 dalam Hasnia, 2011) kelompok – kelompok tanah utama sistem klasifikasi Unified dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah *Unified Soil Classification System* (USCS)

Jenis Tanah	Prefiks	Sub Kelompok	Sufiks
Kerikil	G	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	LL < 50 %	L
Organik	O	LL > 50 %	H
Gambut	Pt		

Sumber : Bowles (1991, dalam Hasnia, 2011).

Keterangan :

G = Untuk kerikil (*Gravel*) atau tanah berkerikil (*Gravelly Soil*)

S = Untuk pasir (*Sand*) atau tanah berpasir (*Sandy soil*)

M = Untuk lanau anorganik (*inorganic silt*)

C = Untuk lempung inorganik (*inorganic clay*)

O = Untuk lanau dan lempung organik

Pt = Untuk gambut (*peat*) dan tanah dengan kandungan organik tinggi

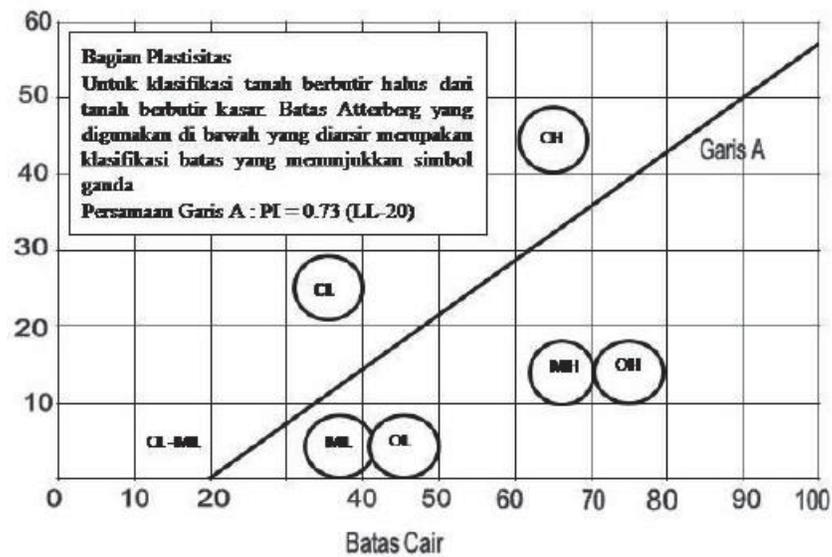
W = Untuk gradasi baik (*well graded*)

P = Gradasi buruk (*poorly graded*)

L = Plastisitas rendah (*low plasticity*)

H = Plastisitas tinggi (*high plasticity*)

LL = Batas Cair (*Liquid Limit*)



Gambar 2.2 Grafik Plastisitas USCS

Lanau adalah tanah berbutir halus yang mempunyai batas cair dan indeks plastisitas terletak dibawah garis A dan lempung berada diatas garis A. Lempung organis adalah pengecualian dari peraturan diatas karena batas cair dan indeks plastisitasnya berada dibawah garis A. Lanau, lempung dan tanah organis dibagi lagi menjadi batas cair yang rendah (L) dan tinggi (H). Garis pembagi antara batas cair yang rendah dan tinggi ditentukan pada angka 50 seperti:

1. Kelompok ML dan MH adalah tanah yang diklasifikasikan sebagai lanau pasir, lanau lempung atau lanau organis dengan plastisitas relatif rendah. Juga termasuk tanah jenis butiran lepas, tanah yang mengandung mika juga beberapa jenis lempung *kaolinite dan illite*.
2. Kelompok CH dan CL terutama adalah lempung organik. Kelompok CH adalah lempung dengan plastisitas sedang sampai tinggi mencakup lempung gemuk. Lempung dengan plastisitas rendah yang diklasifikasikan CL biasanya adalah lempung kurus, lempung kepasiran atau lempung lanau.
3. Kelompok OL dan OH adalah tanah yang ditunjukkan sifat-sifatnya dengan adanya bahan organik. Lempung dan lanau organik termasuk dalam kelompok ini dan mereka mempunyai plastisitas pada kelompok ML dan MH.

Tabel 2.4 Sistem Klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*)

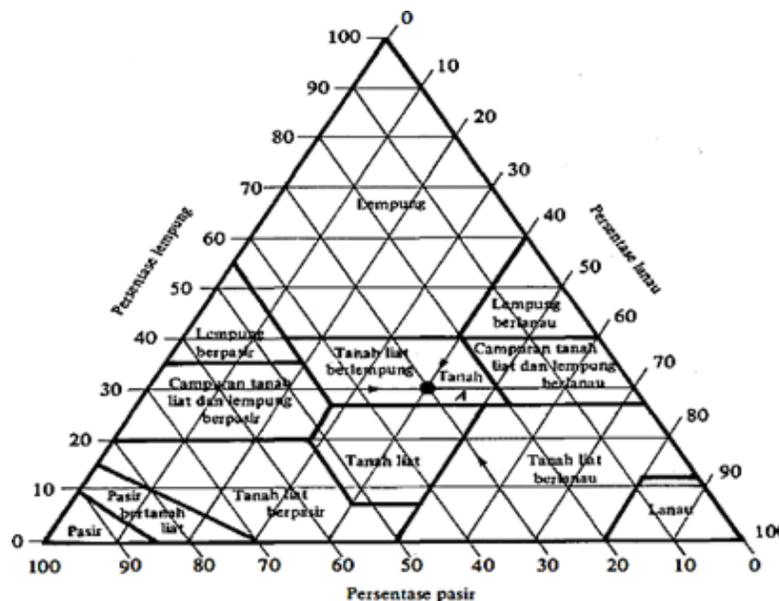
Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi			
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3		
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW		
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$		
		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	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
				SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
	Pasir dengan butiran halus		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari	
	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						

2.2.3 Klasifikasi Tanah USDA (*United States Department of Agriculture*)

Klasifikasi tanah yang telah disusun antara lain sistem klasifikasi Dudal-Soepraptohardjo, *Sistem Soil Taxonomy* (USDA), *Sistem World Reference Base for Soil Resources*, *Sistem Unified Soil Classification System* (USCS) dan *Sistem American Association Of State Highway and Transporting Official* (AASHTO).

Kehalusan tanah yang terjadi karena terdapatnya perbedaan komposisi kandungan fraksi pasir, lanau dan lempung yang terkandung pada tanah (Badan Pertanahan Nasional). Dari ketiga jenis fraksi tersebut partikel pasir mempunyai ukuran diameter paling besar yaitu $2 - 0.05$ mm, lanau dengan ukuran $0.05 - 0.002$ mm dan lempung dengan ukuran < 0.002 mm (penggolongan berdasarkan USDA). keadaan tekstur tanah sangat berpengaruh terhadap keadaan sifat-sifat tanah yang lain seperti struktur tanah, permeabilitas tanah, porositas dan lain-lain.

Pembagian Ukuran Fraksi-Fraksi Tanah (Tekstur) Menurut Sistem Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) Tahun 1938 dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.5 Klasifikasi Tanah berdasarkan USDA

2.3 Tanah Timbunan

Tanah timbunan dibagi dalam dua macam sesuai dengan maksud penggunaannya yaitu:

2.3.1 Timbunan Biasa

Timbunan biasa adalah timbunan yang digunakan untuk pencapaian elevasi akhir *subgrade* yang disyaratkan dalam gambar perencanaan tanpa maksud khusus lainnya. Timbunan biasa ini juga digunakan untuk penggantian material eksisting *subgrade* yang tidak memenuhi syarat.

Bahan urugan biasa harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

- a. Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan biasa harus terdiri dari tanah yang disetujui oleh Pengawas yang memenuhi syarat untuk digunakan dalam pekerjaan permanen.
- b. Bahan yang dipilih tidak termasuk tanah yang plastisitasnya tinggi, yang diklasifikasi sebagai A-7-6 dari persyaratan AASHTO M-145 atau sebagai CH dalam sistem klasifikasi “*Unified* atau *Casagrande*”. Sebagai tambahan, timbunan ini harus memiliki CBR yang tak kurang dari 6 %, bila diuji dengan AASHTO T 193.
- c. Tanah yang pengembangannya tinggi yang memiliki nilai aktif lebih besar dari 1,25 bila diuji dengan AASHTO T-258, tidak boleh digunakan sebagai bahan urugan. Nilai aktif diukur sebagai perbandingan antara Indeks Plastisitas (PI) – (AASHTO T-90) dan persentase ukuran lempung (AASHTO T-88).

2.3.2 Timbunan Pilihan

Timbunan pilihan adalah timbunan yang digunakan untuk pencapaian elevasi akhir *subgrade* yang disyaratkan dalam gambar perencanaan dengan maksud khusus lainnya, misalnya untuk mengurangi tebal lapisan fondasi bawah, untuk memperkecil gaya lateral tekanan tanah dibelakang dinding penahan tanah badan jalan. Bahan timbunan pilihan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

- a. Timbunan hanya boleh diklasifikasikan sebagai “Timbunan Pilihan” bila digunakan pada lokasi atau untuk maksud yang telah ditentukan atau disetujui secara tertulis oleh Pengawas.
- b. Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan pilihan harus terdiri dari bahan tanah berpasir (*sandy clay*) atau padas yang memenuhi persyaratan dan sebagai tambahan harus memiliki sifat tertentu tergantung dari maksud penggunaannya. Dalam segala hal, seluruh timbunan pilihan harus memiliki CBR paling sedikit 10 %, bila diuji sesuai dengan AASHTO T-193.

2.4 Hidrasi

Partikel mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air dalam jumlah yang besar.

Partikel mineral selalu mengalami hidrasi, hal ini dikarenakan lempung biasanya bermuatan negatif, yaitu partikel dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air yang disebut sebagai air teradsorpsi. Lapisan ini umumnya memiliki tebal dua m, lapisan difusi ganda atau lapisan ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air atau kation yang disekitarnya. Lapisan ini akan hilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 60° sampai 100° C dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat menghilang cukup dengan pengeringan udara saja.

2.5 Pengaruh Air

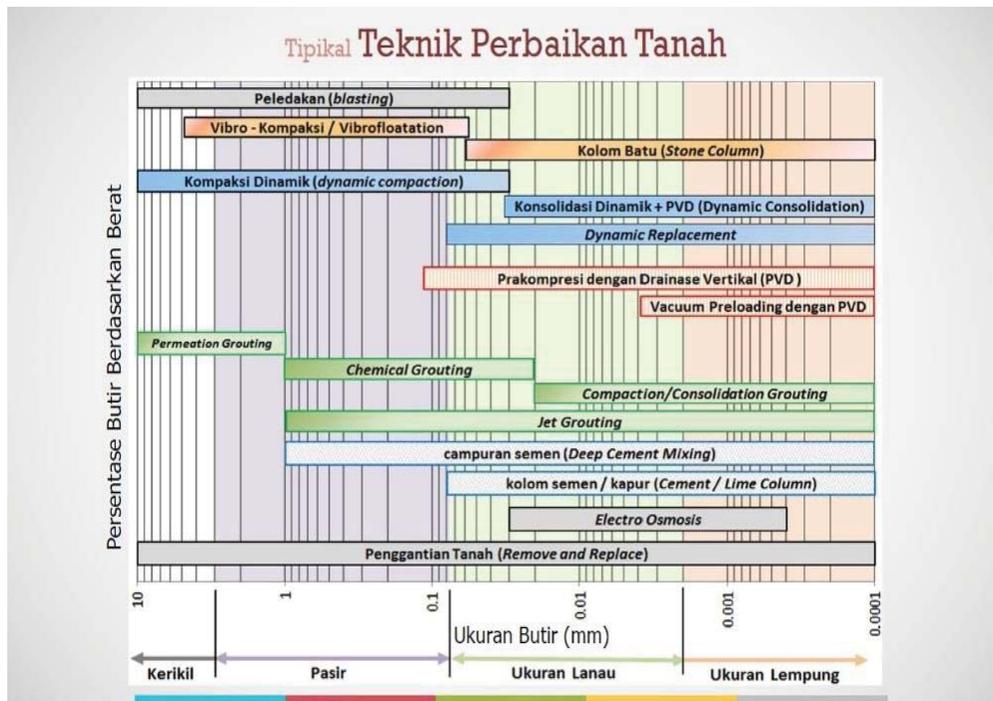
Fase air yang berada di dalam struktur tanah lempung adalah air yang tidak murni secara kimiawi. Pada pengujian di laboratorium untuk batas-batas *Atterberg*, ASTM menentukan bahwa air suling ditambahkan sesuai dengan keperluan. Air berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung. Satu molekul air memiliki muatan positif dan muatan negatif pada ujung yang berbeda (dipolar).

2.6 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan usaha untuk merubah atau untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi persyaratan teknis tertentu (Hardiyatmo, 2010). Stabilisasi tanah adalah suatu metode rekayasa tanah yang bertujuan untuk meningkatkan atau mempertahankan sifat-sifat tertentu pada tanah, agar selalu memenuhi persyaratan teknis yang dibutuhkan. Dalam hal ini berbagai syarat teknis yang dibutuhkan dalam mengoptimalkan kinerja konstruksi, antara lain : daya dukung tanah, kuat geser tanah, penurunan (*settlement*), dan lain sebagainya, yang mana syarat teknis tersebut selalu dikaitkan dengan jenis dan fungsi konstruksi yang dibangun/dibuat.

Dalam buku ajar stabilisasi tanah oleh Darwis (2001), stabilisasi tanah adalah suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan daya dukung suatu lapisan tanah dengan cara memberikan perlakuan (*treatment*) khusus terhadap lapisan tanah tersebut. Dengan demikian dapat diketahui bahwa tujuan dari stabilisasi tanah adalah minimal memenuhi satu dari empat sasaran berikut ini:

1. Untuk memperbaiki (meningkatkan) daya dukung tanah.
2. Untuk memperbaiki (memperkecil) penurunan lapisan tanah.
3. Untuk memperbaiki (menurunkan) permeabilitas dan *swelling* potensial tanah.
4. Untuk menjaga (mempertahankan) potensi tanah yang ada (*existing strength*).



Gambar 2.4 Jenis-Jenis Metode Perbaikan Tanah

Sumber: SNI 8460:2017 Perancangan Geoteknik, Halaman : 67

Dari keempat sasaran dari suatu proses stabilisasi yang diuraikan di atas, sangat jarang dapat dicapai secara bersamaan. Akan tetapi harus selalu diupayakan agar dapat tercapai perbaikan parameter yang diinginkan, tanpa mengakibatkan pengrusakan parameter lainnya. Menurut *Bowles* (1986), beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah sebagai berikut:

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

Untuk mencapai tujuan tersebut, proses stabilisasi ini dapat dilakukan dengan cara paling sederhana seperti pemadatan, hingga menggunakan teknik yang lebih

efektif dan juga memerlukan dana yang cukup besar, yakni dengan mencampur tanah dengan pasir atau semen, *grouting* atau injeksi semen, abu terbang, pemanasan dan lain sebagainya

Dalam perancangan konstruksi bangunan teknik sipil, sering ditemukan lapisan tanah yang memiliki daya dukung rendah (*low strength*), yang sangat mempengaruhi berbagai tahapan rancangan bangunan konstruksi, baik dalam perencanaan (*design*), tahap pelaksanaan (*perform*), maupun tahap operasional dan pemeliharaan (*operational and maintenance*). Stabilisasi tanah dapat dilakukan dalam dua metode yaitu:

1. Stabilisasi mekanik

Stabilisasi mekanis dilakukan dengan cara pemadatan menggunakan alat berat atau mesin gilas untuk diterapkan di lapangan menurut panguriseng (2001) stabilisasi mekanis yaitu stabilisasi dengan menggunakan material sisipan ke lapisan tanah, sehingga dapat memperbaiki fisik tanah sesuai dengan alasan dilakukannya stabilisasi. Metode ini umumnya dilakukan pada tanah berbutir kasaryang memiliki fraksi tanah lolos saringan no.200 ASTM paling banyak 25%.

2. Stabilisasi kimiawi

Stabilisasi kimiawi dilakukan dengan menambahkan bahan stabilisasi untuk memperbaiki sifat tanah dengan cara mencampurkan tanah dan bahan stabilisasi dengan kadar tertentu, kemudian dihamparkan dan dipadatkan. Pencampuran dilakukan untuk mengubah gradasi, plastisitas tanah dan *workability*.

stabilisasi tanah dilakukan untuk mengubah sifat-sifat dari material yang ada dan kurang baik menjad imaterial yang memiliki sifat yang baik sehingga stabilisasi ini dapat memenuhi kebutuhan perencanaan konstruksi yang diinginkan.

3. Stabilisasi secara hidrolisis

Cara ini dilakukan dengan memanfaatkan lembaran plastik sebagai drainase vertikal yang panjang dan mempunyai kantung yang merupakan

kombinasi antara *polypropylene* dan lapisan pembungkus dari bahan geotekstil atau yang umumnya dinamai *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). PVD merupakan metode umum yang digunakan untuk memampatkan lapisan tanah lunak dengan kapasitas daya dukung dasar yang rendah. PVD mampu meningkatkan kekuatan tanah yang diperoleh dari pemadatan tanah halus, dimana stabilitas adalah faktor yang harus diperhatikan. Jika dilihat dari sudut pandang yang berbeda, dibandingkan dengan *sand drain*, PVD lebih ekonomis dan mengurangi gangguan yang dapat mengurangi stabilitas tanah serta pemasangan yang lebih mudah.

4. Stabilisasi dengan bahan tambahan

Cara ini dilakukan dengan menambahkan bahan tertentu pada tanah agar dapat memenuhi syarat. Bahan yang ditambahkan biasanya dari pabrik dan zat kimia dicampurkan dengan perbandingan tepat sehingga meningkatkan sifat tanah dan membuatnya lebih kuat serta memenuhi syarat.

Ukuran Partikel	Lebih dari 25% lolos 0.425 mm			Kurang dari 25% lolos 0.425 mm		
	Plastisitas PI ≤ 10	10 ≤ PI ≤ 20	PI ≥ 20	PI ≤ 6, WPI < 60	PI ≤ 10	PI > 10
Tipe Pengikat						
Semen dan semen campuran*						
Kapur						
Bitumen						
Campuran aspal/ semen						
Berbutir						
Polimer						
Bahan Kimia Lain**						

Keterangan:

umumnya sesuai		diragukan atau memerlukan bahan pengikat		umumnya tidak sesuai	
----------------	--	--	--	----------------------	--

* Penggunaan beberapa pengikat bahan kimia sebagai bahan tambahan dapat memperpanjang efektivitas pengikat bersemen (cementitious). Bahan kimia adalah bahan tambahan semen atau *additive* sesuai buku petunjuk beton.

** Hanya diambil sebagai panduan. Rujuk literatur lain untuk informasi lainnya pada tanah berbutir halus atau plastisitas lebih tinggi.

Gambar 2.5 Pemilihan Metode Stabilisasi

Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan, Halaman: 8-4

2.6.1 Perbaikan Tanah

Apabila mengacu pada klasifikasi dari stabilisasi tanah sebagaimana yang telah diuraikan sebelumnya, maka ruang lingkup dari perbaikan tanah meliputi dua klasifikasi, yakni :

1. Perbaikan tanah dengan metode kimiawi ; yang selanjutnya dapat dibedakan dalam beberapa sudut tinjauan, antara lain :
 - a. Perbaikan tanah dengan metode fisik ; yang bila ditinjau dari aspek metode pelaksanaannya dapat dibedakan dalam beberapa jenis, antara lain :
 - 1) Perbaikan tanah dengan bubuk (*powder stabilization*).
 - 2) Perbaikan tanah dengan larutan (*solvent stabilization*).
 - b. Ditinjau dari jenis material bubuk (*powder*) ; perbaikan tanah dengan metode kimiawi, dibedakan atas :
 - 1) Perbaikan tanah dengan semen (*soil cement*).
 - 2) Perbaikan tanah dengan kapur (*soil lime*).
 - 3) Perbaikan tanah dengan abu (*soil ash*).
 - c. Ditinjau dari cara pencampuran ; perbaikan tanah dengan metode kimiawi, dibedakan atas :
 - 1) Perbaikan tanah dengan metode pengadukan (*mixing method*).
 - 2) Perbaikan tanah dengan metode penyuntikan (*grouting method*).
2. Perbaikan tanah dengan metode fisik ; yang bila ditinjau dari aspek metode pelaksanaannya dapat dibedakan dalam beberapa jenis, antara lain :
 - a. Pemadatan tanah (*compaction*),
 - b. Konsolidasi tanah (*consolidation or preloading*),
 - c. Pengeringan tanah (*dewatering*),
 - d. Penggantian tanah (*replacement*),
 - e. Perlekatan partikel tanah (*permeation resin*), dan lain-lain.

2.6.2 Perkuatan Tanah

Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa perkuatan tanah (soil reinforcement), adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan memberikan material sisipan ke dalam lapisan tanah tersebut.

Selanjutnya material lapisan tanah yang terbentuk dari hasil tindakan perkuatan tanah disebut tanah perkuatan (*reinforced earth*). Tanah perkuatan, adalah lapisan tanah yang telah diberikan material sisipan yang mampu membentuk suatu sistem yang dapat bekerja sebagai satu kesatuan, sehingga kemampuan dari sistem tersebut menjadi jauh lebih besar atau lebih optimal dari pada kemampuan awal dari lapisan tanah tersebut.

Secara garis besar perkuatan tanah dapat diklasifikasikan berdasarkan tujuan utama dari tindakan perkuatan, yakni :

1. Secara garis besar Perkuatan tanah dasar (*bearing capacity reinforcement*).
2. Perkuatan dinding penahan (*retaining wall reinforcement*).

2.7 Lapis Fondasi

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

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

Bahan-bahan untuk lapis fondasi umumnya harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda. Sebelum menentukan suatu bahan untuk digunakan sebagai bahan pondasi, hendaknya dilakukan pengujian untuk mengetahui daya dukung bahan tersebut sesuai spesifikasi yang berlaku. Berbagai macam bahan alam / bahan setempat ($CBR > 50\%$, $PI <$

4%) dapat digunakan sebagai bahan lapis fondasi, antara lain : batu pecah, kerikil pecah dan stabilisasi tanah dengan semen atau kapur

Tabel 2.6 Persyaratan Lapis Fondasi

Sifat – sifat	Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
Abrasi dari Agregat Kasar (SNI 2417:2008)	0 - 40 %	0 - 40 %	0 - 40 %	0 - 40 %
Butiran pecah, tertahan ayakan No.4 (SNI 7619:2012)	95/90 ¹⁾	55/50 ²⁾	55/50 ²⁾	80/75 ³⁾
Batas Cair (SNI 1967:2008)	0 - 25	0 - 35	0 - 35	-
Indek Plastisitas (SNI 1966:2008)	0 - 6	4 - 10	4 - 15	-
Hasil kali Indek Plastisitas dengan % Lolos Ayakan No.200	maks.25	-	-	-
Gumpalan Lempung dan Butiran-butiran Mudah Pecah (SNI 4141:2015)	0 - 5 %	0 - 5 %	0 - 5 %	0 - 5 %
CBR rendaman (SNI 1744:2012)	min.90 %	min.60 %	min.50 %	-
Perbandingan Persen Lolos Ayakan No.200 dan No.40	maks.2/3	maks.2/3	-	-
Koefisien Keseragaman : $C_v = D_{60}/D_{10}$	-	-	-	> 3,5

Catatan :

- 1) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.
- 2) 55/50 menunjukkan bahwa 55% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 50% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.
- 3) 80/75 menunjukkan bahwa 80% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 75% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos			
		Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
2"	50		100		
1½"	37,5	100	88 - 95	100	
1"	25,0	79 - 85	70 - 85	77 - 89	
¾"	19,0				
½"	12,5				
3/8"	9,50	44 - 58	30 - 65	41 - 66	
No.4	4,75	29 - 44	25 - 55	26 - 54	
No.8	2,36				
No.10	2,0	17 - 30	15 - 40	15 - 42	
No.16	1,18				
No.40	0,425	7 - 17	8 - 20	7 - 26	
No.200	0,075	2 - 8	2 - 8	4 - 16	

2.8 Sifat Mekanis Tanah

2.8.1 Pemadatan Tanah (*Compaction*)

Pemadatan tanah merupakan suatu proses mekanis dimana udara dalam pori tanah dikeluarkan. Proses tersebut dilakukan pada tanah yang digunakan sebagai bahan timbunan dengan tujuan sebagai berikut ini.

- a. Mempertinggi kekuatan tanah
- b. Memperkecil pengaruh air pada tanah
- c. Memperkecil *compressibility* dan daya rembes airnya
- d. Kepadatan tanah itu mulai dari berat isi kering tanah (*dry density*) dan tergantung pada kadar air tanahnya (*water content*). Pada derajat
- e. Kepadatan tinggi
- f. Berat isi maksimum
- g. Kadar air tanah (*w*) optimum
- h. Angka pori (*e*) minimum

Tujuan tersebut dapat tercapai dengan pemilihan tanah bahan timbunan, cara pemadatan, pemilihan mesin pemadat dan jumlah lintasan yang sesuai. Tingkat kepadatan tanah diukur dari nilai berat volume keringnya (γ_d).

Tanah granuler dipandang paling mudah penanganannya untuk pekerjaan lapangan. Material ini mampu memberikan kuat geser yang tinggi dengan sedikit perubahan volume sesudah dipadatkan. Permeabilitas tanah granuler yang tinggi dapat menguntungkan maupun merugikan.

Tanah lanau yang dipadatkan umumnya akan stabil dan mampu memberikan kuat geser yang cukup dan sedikit kecenderungan perubahan volume. Tapi, tanah lanau sangat sulit dipadatkan bila keadaan basah karena permeabilitas rendah.

Tanah lempung yang dipadatkan dengan cara yang benar akan dapat memberikan kuat geser tinggi. Stabilitas terhadap sifat kembang-susut tergantung dari jenis kandungan mineralnya. Sebagai contoh, lempung montmorillonite akan mempunyai kecenderungan yang lebih besar terhadap perubahan volume disbanding dengan lempung kaolinite. Lempung padat mempunyai permeabilitas yang rendah dan

tanah ini tidak dapat dipadatkan dengan baik pada waktu sangat basah (jenuh). Bekerja dengan tanah lempung yang sangat basah akan mengalami banyak kesulitan.

Peristiwa bertambahnya berat volume kering oleh beban dinamis disebut pemadatan. Oleh akibat beban dinamis, butir-butir tanah merapat satu sama lain sebagai akibat berkurangnya rongga udara. Ada perbedaan yang mendasar antara peristiwa pemadatan dan peristiwa konsolidasi tanah. Konsolidasi adalah pengurangan pelan-pelan volume pori yang berakibat bertambahnya berat volume kering akibat beban statis yang bekerja dalam periode tertentu. Sebagai contoh, pengurangan volume pori tanah jenuh air akibat berat tanah timbunan atau karena beban struktur di atasnya. Dalam tanah kohesif yang jenuh, proses konsolidasi akan diikuti oleh pengurangan volume tanahnya. Pada pemadatan dengan dinamis, proses bertambahnya berat volume kering tanah sebagai akibat pemadatan partikel yang diikuti oleh pengurangan volume udara dengan volume air tetap tidak berubah. Saat air ditambahkan pada pemadatan, air ini melunakkan partikel-partikel tanah. Partikel-partikel tanah mnggelincir satu sama lain dan bergerak pada posisi yang lebih rapat.

Pada awal pemadatan berat volume kering bertambah ketika kadar air bertambah. Pada kadar air nol ($w = 0$), berat volume tanah basah (γ_b) sama dengan berat volume tanah kering (γ_d), atau

$$\gamma_b (w = 0) = \gamma_d = \gamma_1 \quad (2.7)$$

Ketika kadar air berangsur-angsur ditambah dan usaha pemadatan yang sama digunakan pada saat pemadatan, berat butiran tanah per volume satuan juga bertambah. Misalnya, pada saat kadar air sama dengan w_1 , maka berat volume basah (γ_b) menjadi:

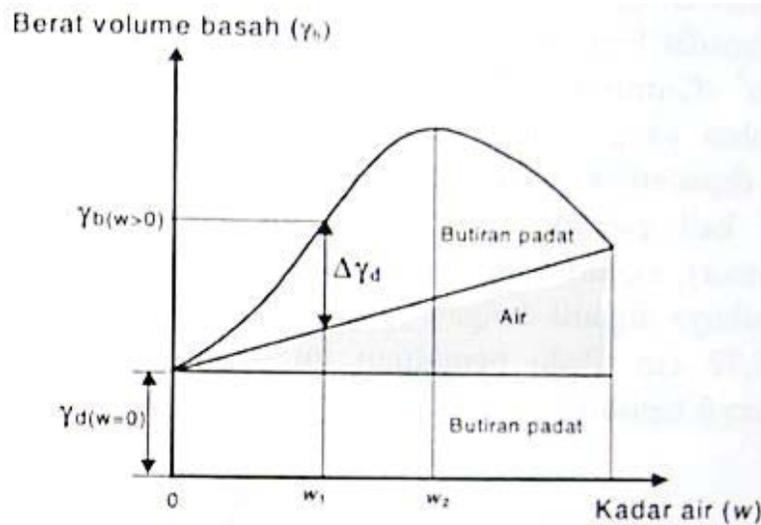
$$\gamma_b = \gamma_2 \quad (2.8)$$

Berat volume kering (γ_d) pada kadar air tersebut:

$$\gamma_d (w = w_1) = \gamma_d (w = 0) + \Delta\gamma_d \quad (2.9)$$

Pada kadar air lebih besar dari kadar air tertentu, yaitu $w = w_2$ (saat kadar air optimum) kenaikan kadar air justru mengurangi berat volume keringnya. Hal ini karena, air mengisi rongga pori yang sebelumnya diisi oleh butiran padat. Kadar air

saat berat volume kering mencapai maksimum (γ_{dmak}) disebut kadar air optimum (w_{opt}).



Gambar 2.6 Prinsip-prinsip Pemadatan

Untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan maka umumnya dilakukan uji pemadatan.

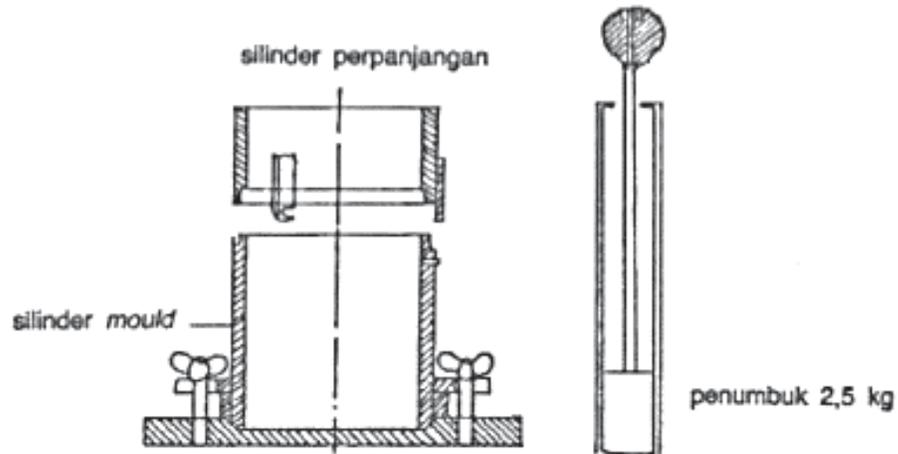
Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya. Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \quad (2.1)$$

Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji *proctor*. Ada dua macam pemadatan laboratorium yang biasa digunakan untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum yaitu sebagai berikut:

- a. Pemadatan *Standard*

Dalam percobaan ini, tanah dipadatkan dalam *mould* yang volumenya $1/30 \text{ ft}^3$ dengan memakai alat penumbuk seberat 5,5 lbs atau 2,5 kg yang dijatuhkan setinggi 30,5 cm (1 ft), tanah dipadatkan 3 (tiga) lapisan dengan masing-masing lapisan 25 kali tumbukan.



Gambar 2.7 Alat Uji Pematatan *Standard*

Tabel 2.7 Spesifikasi Pemadatan *Standard*

Deskripsi	Ukuran	ASTM D-698		AASHTO T-99	
		Metoda A	Metoda B	Metoda C	Metoda D
<i>Tabung</i>					
Isi	ft ³	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33
	cm ³	943,90	2124,30	943,90	2124,30
Tinggi	in	4,58	4,58	4,58	4,58
	mm	116,33	116,33	116,33	116,33
Diameter	in	4	6	4	6
	mm	101,60	152,40	101,60	152,40
Berat palu	lb	5,5	5,5	5,5	5,5
	kg	2,5	2,5	2,5	2,5
Tinggi jatuh palu	in	12	12	12	12
	mm	304,80	304,80	304,80	304,80
Jumlah lapis tanah		3	3	3	3
Jumlah pukulan / lapis		25	56	25	56
Tanah yang dicoba lolos / lewat ayakan		No.4	No.4	3/4 inch	3/4 inch

Sumber: G. Djatmiko Soedarmo, *Mekanika Tanah 1*, 1993

b. Pemadatan *Modified*

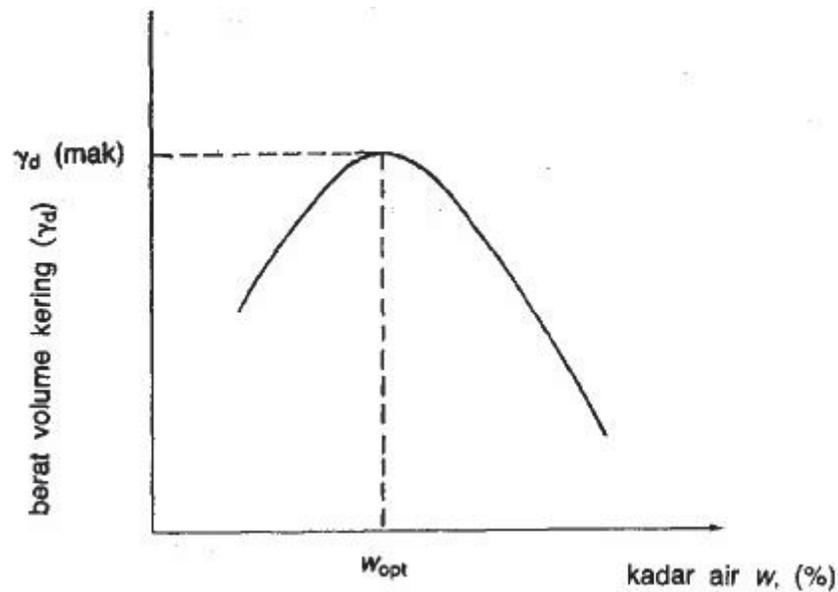
Pada pemadatan *modified*, *mould* yang digunakan masih tetap sama dengan pemadatan *standard*, hanya berat alat penumbuknya yang berbeda yaitu 10 lbs atau 4,5 kg. Pada pengujian ini, tanah di dalam *mould* ditumbuk dalam 5 lapisan.

Tabel 2.8 Spesifikasi Pemadatan *Modified*

Deskripsi	Ukuran	ASTM D-698		AASHTO T-99	
		Metoda A	Metoda B	Metoda C	Metoda D
<i>Mould</i> Isi	ft ³	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33
	cm ³	943,90	2124,30	943,90	2124,30
Tinggi	in	4,58	4,58	4,58	4,58
	mm	116,33	116,33	116,33	116,33
Diameter	in	4	6	4	6
	mm	101,60	152,40	101,60	152,40
Berat palu	lb	5,5	5,5	5,5	5,5
	kg	4,54	4,54	4,54	4,54
Tinggi jatuh palu	in	18	18	18	18
	mm	457,20	457,20	457,20	457,20
Jumlah lapis tanah		5	5	3	3
Jumlah pukulan / lapis		25	56	25	56
Tanah yang dicoba lolos / lewat ayakan		No.4	No.4	3/4 inch	3/4 inch

Sumber: G. Djatmiko Soedarmo, *Mekanika Tanah 1*, 1993

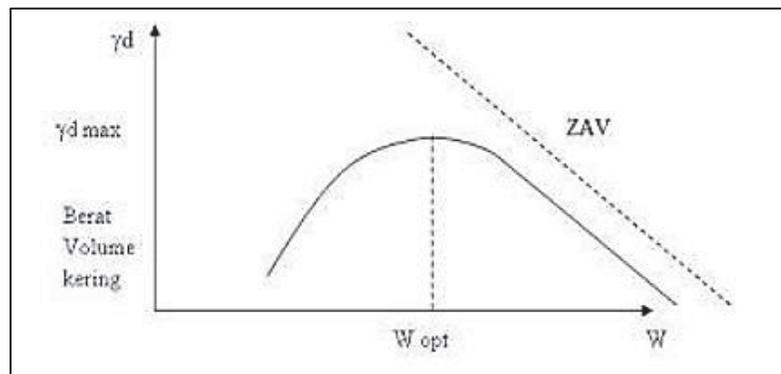
Dalam uji kepadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Kemudian, digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya (lihat gambar 2.5). Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik (W_{opt}) untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum. Pada nilai kadar air rendah, untuk kebanyakan tanah, tanah cenderung bersifat kaku dan sulit dipadatkan. Setelah kadar air ditambah, tanah menjadi lebih lunak. Pada kadar air yang tinggi, berat volume kering berkurang. Bila seluruh udara di dalam tanah dapat dipaksa keluar pada waktu pemadatan, tanah akan berada dalam kedudukan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum. Akan tetapi dalam praktek, kondisi ini sulit dicapai (Hary C.H, *Mekanika Tanah I*, 2002).



Gambar 2.8 Hubungan Kerapatan Kering terhadap Kadar Air

Pengujian-pengujian tersebut dilakukan dengan pemadatan sampel tanah dalam suatu cetakan dengan jumlah lapisan tertentu. Setiap lapisan dipadatkan dengan sejumlah tumbukan yang ditentukan dengan penumbuk dengan massa dan tinggi jatuh tertentu. Standar ASTM dan AASHTO hendaknya digunakan sebagai acuan untuk rincian pengujian tersebut.

Kadar air yang memberikan berat isi kering yang maksimum disebut kadar air optimum (*optimum moisture content*). Usaha pemadatan diukur dari segi energi tiap satuan volume dari tanah yang telah dipadatkan. Untuk usaha pemadatan yang lebih rendah kurva pemadatan bagi tanah yang sama akan lebih rendah dan tergeser ke kanan, yang menunjukkan suatu kadar air optimum yang lebih tinggi. Hasil dari pengujian pemadatan berupa kurva yang menunjukkan hubungan antara kadar air dan berat isi kering tanah yang ditunjukkan **Gambar 2.9**



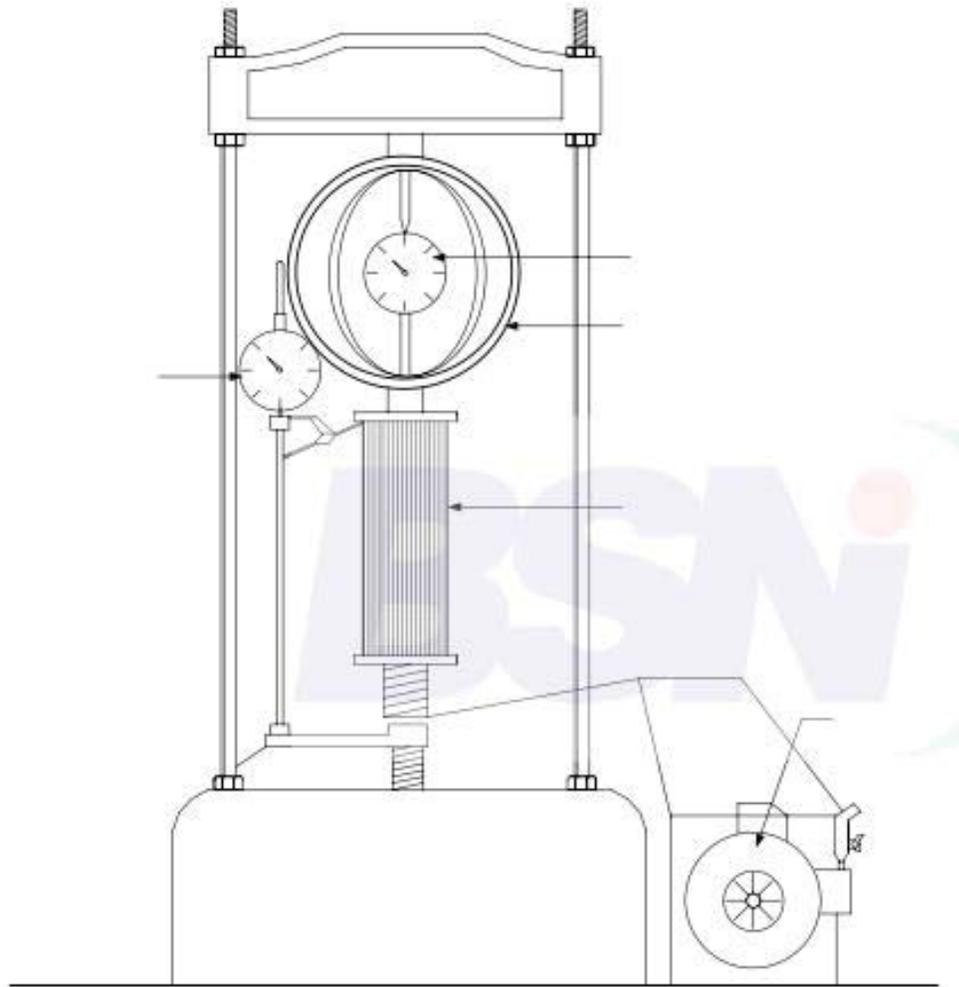
Gambar 2.9 Hubungan antara kadar air dan berat isi kering tanah (Hardiyatmo, 1992)

Garis ZAV (*zero air void line*) adalah hubungan antara berat isi kering dengan kadar air bila derajat kejenuhan 100%, yaitu bila pori tanah sama sekali tidak mengandung udara. Grafik ini berguna sebagai petunjuk pada waktu menggambarkan grafik pemadatan. Grafik tersebut berada di bawah ZAV dan biasanya grafik tersebut tidak lurus tetapi agak cekung ke atas. Apabila kurva pemadatan yang dihasilkan berada lebih dekat di bawah dengan garis ZAV maka hal tersebut menunjukkan tanah yang dipadatkan memiliki derajat kejenuhan mendekati 100% dan sedikit mengandung udara. Pada penelitian ini, percobaan pemadatan tanah di laboratorium yang digunakan untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum adalah percobaan pemadatan standar (*standard compaction test*). Penggunaan *Proctor standard* pada penelitian ini dikarenakan penggunaan *Proctor standard* merupakan pemadatan yang digunakan untuk pemadatan dengan beban lalu lintas kecil.

2.8.2 *Unconfined Compressive Strength (UCS)*

Unconfined Compressive Strength (UCS) adalah metode pengujian yang dimaksudkan untuk menentukan kuat tekan bebas tanah yang memiliki kohesi, baik tanah tidak terganggu (*undisturbed*), dicetak ulang (*remoulded*) maupun contoh tanah yang dipadatkan (*compacted*) selanjutnya dibebani beban aksial. Umumnya uji *Unconfined Compressive Strength* ini dimaksudkan untuk mendapatkan dengan cepat

kuat tekan bebas tanah berkohesi sehingga dapat dilakukan pengujian tanpa tahanan keliling.



Gambar 2.10 Alat Uji Penetrasi *Unconfined Compressive Strength*

Tabel 2.9 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Kuat Tekan Bebas

Sifat Tanah	<i>Unconfined Compressive Strength</i> (kg/cm ²)
<i>Very Soft</i>	< 0,25
<i>Soft</i>	0,25 - 0,50
<i>Firm / Medium</i>	0,50 - 1,00
<i>Stiff</i>	1,00 - 2,00
<i>Very Stiff</i>	2,00 - 4,00
<i>Hard</i>	> 4,00

Sumber: Das, 1988

Adapun perhitungan yang akan dilakukan dalam pengujian *Unconfined Compressive Strength* adalah sebagai berikut

1. Menghitung regangan aksial (ε_1)

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta H}{H_0} \times 100 \quad (2.13)$$

Keterangan:

- ε_1 = regangan aksial (mm)
 ΔH = perubahan tinggi benda uji (mm)
 H_0 = tinggi benda uji semula (mm)

2. Menghitung luas terkoreksi (A_c)

$$A_c = \frac{A_0 \times 10^{-6}}{(1-\varepsilon_1)} \quad (2.14)$$

Keterangan:

- A_c = luas penampang rata-rata atau luas terkoreksi (m²)
 A_0 = luas penampang rata-rata benda uji semula (mm²)
 ε_1 = regangan aksial, dinyatakan dalam desimal

3. Menghitung Tegangan (σ_c)

$$\sigma_c = \frac{P}{A_c} \quad (2.15)$$

Keterangan:

- σ_c = tegangan (kN/m²)
 P = beban yang diberikan (kN)

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

4. Menghitung Sensitifitas (S_T)

$$S_T = \frac{qu (asli)}{qu (remoulded)} \quad (2.16)$$

2.8.3 California Bearing Ratio (CBR)

Pengujian CBR (*California Bearing Ratio*) adalah percobaan daya dukung tanah yang dikembangkan oleh *California State Highway Departement*. Pada dasarnya 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-1744-2012. Nilai kekuatan tanah tersebut digunakan sebagai acuan perlu tidaknya distabilisasi setelah dibandingkan dengan yang disyaratkan dalam spesifikasinya. 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 inch dan penetrasi sebesar 0,2 inch dan selanjutnya hasil kedua perhitungan tersebut dibandingkan sesuai dengan SNI 03-1744-2012 kemudian diambil hasil terbesar.

Nilai CBR adalah perbandingan (dalam persen) antara tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston berpenampang bulat seluas 3 $inch^2$ dengan kecepatan 0,05 $inch$ per menit terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus bahan *standard* tertentu. Tujuan dilakukan pengujian CBR ini adalah untuk mengetahui nilai CBR pada variasi kadar air pemadatan. Untuk menentukan kekuatan lapisan tanah dasar dengan cara percobaan CBR diperoleh nilai yang kemudian dipakai untuk menentukan tebal perkerasan yang diperlukan di atas lapisan yang nilai CBR nya tertentu (Wesley, 1977). Dalam menguji nilai CBR tanah dapat dilakukan di laboratorium. Tanah dasar (*subgrade*) pada kontruksi jalan baru merupakan tanah asli, tanah timbunan, atau tanah galian yang sudah dipadatkan sampai mencapai kepadatan 95% dari kepadatan maksimum. 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. Semakin tinggi nilai CBR tanah (*subgrade*) maka lapisan perkerasan di atasnya akan semakin tipis dan semakin kecil nilai CBR (daya dukung tanah rendah), maka akan semakin tebal lapisan perkerasan di atasnya sesuai beban yang akan dipikulnya. Ada dua macam pengukuran CBR yaitu:

1. Nilai CBR untuk tekanan penetrasi pada 0,254 cm (0,1") terhadap penetrasi *standard* besarnya 70,37 kg/cm² (1000 psi).

$$\text{Nilai CBR} = (\text{PI}/70,37) \times 100 \% (\text{PI, dalam kg / cm}^2). \quad (2.11)$$

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

$$\text{Nilai CBR} = (\text{PI}/105,56) \times 100 \% (\text{PI, dalam kg / cm}^2). \quad (2.12)$$

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

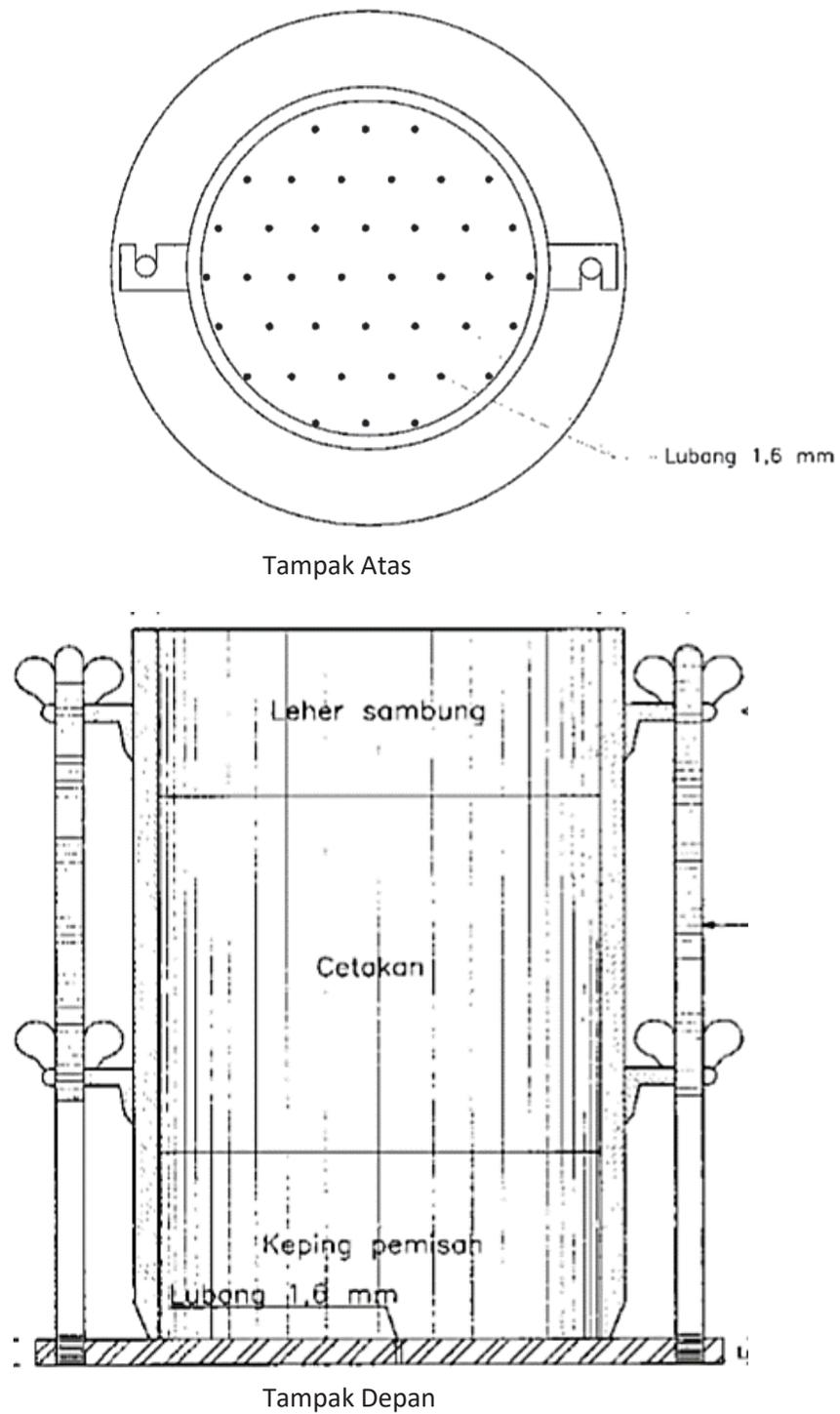
1. CBR laboratorium rendaman (*soaked design CBR*)
2. CBR laboratorium tanpa rendaman (*unsoaked design CBR*)

Pada pengujian CBR laboratorium rendaman pelaksanaannya lebih sulit karena membutuhkan waktu dan biaya relatif lebih besar dibandingkan CBR laboratorium tanpa rendaman. Sedangkan dari hasil pengujian CBR laboratorium tanpa rendaman sejauh ini selalu menghasilkan daya dukung tanah lebih besar dibandingkan dengan CBR laboratorium rendaman. Nilai CBR sangat bergantung pada proses pemadatan. Selain digunakan untuk menilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang hendak dipakai, CBR juga digunakan sebagai dasar untuk menentukan tebal lapisan dari suatu perkerasan serta untuk menilai *subgrade* yang dipadatkan hingga mencapai kepadatan kering maksimum dan memben tuk profil sesuai yang direncanakan.

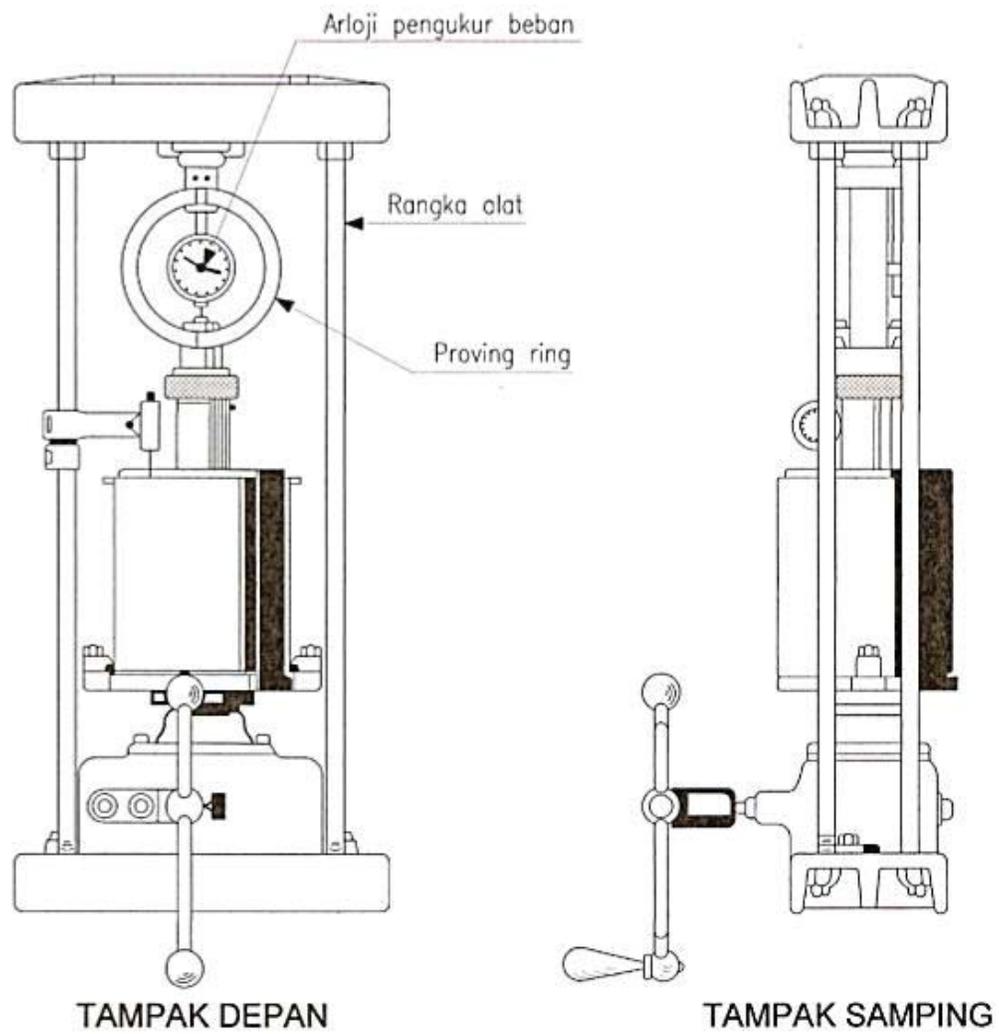
Tabel 2.10 Standar Lapisan Perkerasan Jalan Raya

CBR (%)	<i>General Rating</i>	Kegunaan
0-3	<i>Very Poor</i>	<i>Sub-grade</i>
3-7	<i>Poor to Fair</i>	<i>Sub-grade</i>
7-20	<i>Fair</i>	<i>Sub-base</i>
20-50	<i>Good</i>	<i>Base of Sub-base</i>
>50	<i>Excellent</i>	<i>Base</i>

Sumber : Braja M. Das (2015)



Gambar 2.11 Cetakan CBR Dengan Leher Sambung



Gambar 2.12 Alat Uji Penetrasi CBR Laboratorium

2.8.4 Konsolidasi

Bila suatu lapisan tanah mengalami pembebanan akibat beban di atasnya, maka tanah di dibawah beban yang bekerja tersebut akan mengalami kenaikan tegangan, akibat dari kenaikan tegangan ini adalah terjadinya penurunan elevasi tanah dasar (*settlement*). Pembebanan ini mengakibatkan adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel tanah, dan keluarnya air pori dari tanah yang disertai berkurangnya volume tanah. Hal inilah yang mengakibatkan terjadinya penurunan tanah.

Konsolidasi adalah suatu proses pengecilan volume secara perlahan-lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori. Dengan kata lain, pengertian konsolidasi adalah proses terperasnya air tanah akibat bekerjanya beban, yang terjadi sebagai fungsi waktu karena kecilnya permeabilitas tanah (Simatupang, 2016).

Konsolidasi tanah dapat dibagi menjadi konsolidasi primer dan konsolidasi sekunder, dimana konsolidasi sekunder terjadi setelah proses konsolidasi primer selesai. Pada konsolidasi primer, tekanan air pori akan berkurang akibat keluarnya air dari pori-pori tanah, kemudian dilanjutkan dengan konsolidasi sekunder dengan tekanan air pori konstan (Rahayu, 2012).

Perpindahan permukaan tanah secara vertikal yang berhubungan dengan perubahan volume tanah pada suatu tingkat pada saat proses konsolidasi terjadi disebut sebagai penurunan konsolidasi. Secara umum, penurunan dapat diklasifikasikan menjadi 3 tahap, yaitu:

1. *Immediate Settlement* (penurunan seketika), diakibatkan dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air, tanpa adanya perubahan kadar air. Umumnya, penurunan ini diturunkan dari teori elastisitas. *Immediate settlement* ini biasanya terjadi selama proses konstruksi berlangsung. Parameter tanah yang dibutuhkan untuk perhitungan adalah *undrained modulus* dengan uji coba tanah yang diperlukan seperti SPT, Sondir (*dutch cone penetration test*), dan *Pressuremeter test*.
2. *Primary Consolidation Settlement* (penurunan konsolidasi primer), yaitu penurunan yang disebabkan perubahan volume tanah selama periode

keluarnya air pori dari tanah. Pada penurunan ini, tegangan air pori secara kontinyu berpindah ke dalam tegangan efektif sebagai akibat dari keluarnya air pori. Penurunan konsolidasi ini umumnya terjadi pada lapisan tanah kohesif (*clay / lempung*).

3. *Secondary Consolidation Settlement* (penurunan konsolidasi sekunder), adalah penurunan setelah tekanan air pori hilang seluruhnya. Hal ini lebih disebabkan oleh proses pemampatan akibat penyesuaian yang bersifat plastis dari butir-butir tanah.

Penurunan akibat konsolidasi diberikan menurut persamaan berikut (Endah dan Eding, 2000):

$$S_c = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H$$

Dimana:

H = Tebal lapisan tanah yang menurun (m)

S_c = ΔH = Penurunan tanah (cm)

Δe = Perubahan angka pori

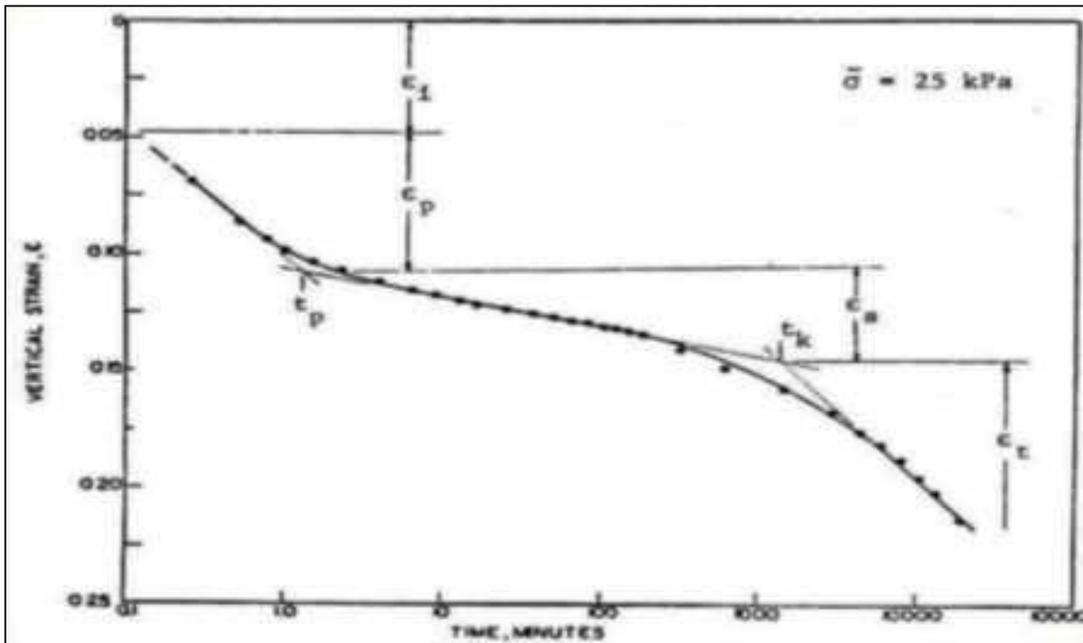
e = Angka pori awal

Pemampatan tanah gambut dapat diamati dengan melihat kurva regangan terhadap log waktu. Komponen-komponen pemampatan tanah gambut terdiri dari (Nursawemi *et al.*, 2015):

- a. regangan seketika (*instantaneous strain*) Terjadi dengan segera setelah beban diberikan karena tertekannya rongga udara.
- b. Regangan primer (*primary strain*) Terjadi pada waktu yang relatif singkat sampai waktu t_p dengan kecepatan pemampatan yang tinggi karena disipasi tekanan air pori, hal ini biasanya terjadi 10 menit.
- c. Regangan sekunder (*secondary strain*) Terjadi setelah regangan primer berakhir dengan waktu yang relatif lama dimulai waktu (t_p) sampai batas waktu (t_k) dimana perubahan regangan linier.

- d. Regangan tersier (*tertiery strain*) Dimulai setelah waktu t_k dimana perubahan regangan mulai tidak linier lagi. Regangan tersier berlangsung terus untuk waktu yang takterhingga sampai seluruh proses pemampatan berakhir.

Adapun hubungan antara regangan dengan log waktu dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 2.13 Kurva regangan – log waktu pada tanah gambut dengan beban 25 kPa (Soepandji dan Bharata, 1996)

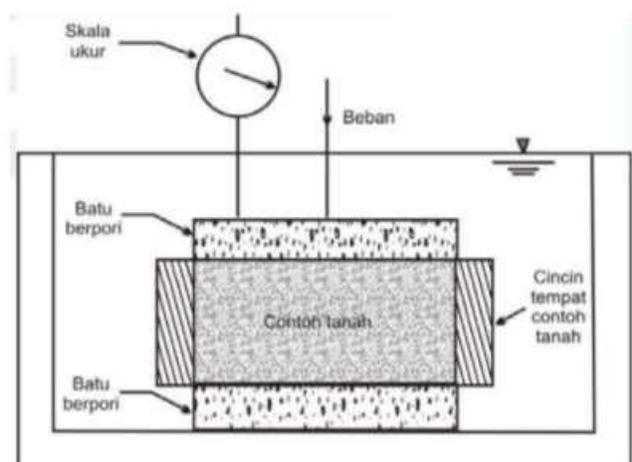
Untuk tekanan efektif yang besar (25 kPa sampai dengan 400 kPa), penelitian yang telah dilakukan oleh Soepandji dan Bharata menunjukkan hubungan vertikal dengan waktu terlihat pada **Gambar 2.13**. Respon tekanan air pori akibat peningkatan tekanan efektif dapat ditunjukkan pula dengan berkurangnya daya rembes secara cepat.

Uji konsolidasi satu dimensi yang biasa digunakan untuk memprediksi penurunan tanah yang dikenalkan oleh Terzaghi. Uji tersebut menjelaskan bahwa deformasi dan arah aliran yang terjadi hanya pada satu arah yaitu hanya pada arah vertikal. Pengujian konsolidasi tanah di laboratorium, biasanya digunakan alat konsolidasi (*Consolidated apparatus atau oedometer*). Oedometer pertama kali diciptakan oleh Terzaghi (1936).



Gambar 2.14 Alat konsolidasi

(Dokumentasi Laboratorium Mekanika Tanah FT UNTAN, 2022)



Gambar 2.15 Sketsa konsolidometer (oedometer)

Pada **Gambar 2.15** diatas memperlihatkan prinsip alat konsolidasi oedometer, contoh tanah pada percobaan konsolidasi dimasukkan ke dalam suatu cincin dan diapit oleh batu berpori pada sisi atas dan bawah cincin. Kemudian, cincin tersebut diletakkan ke dalam sel konsolidasi yang diisi oleh air agar tidak kering. Setelah sel konsolidasi dipasang pada alat, contoh tanah diberikan beban vertikal dengan berat tertentu dan

penurunan yang terjadi diukur dengan arloji petunjuk. Pembebanan pada contoh tanah diberikan secara bertahap (sedikit demi sedikit), setiap beban dibiarkan sampai penurunan berhenti. Umumnya diberikan waktu 24 jam untuk tujuan ini, dan penurunan diukur serta dicatat selama 24 jam. Besarnya penurunan yang terjadi pada setiap tegangan diambil dari pembacaan arloji (BSN, 2011).

2.8.5 Kuat Geser Tanah

Pengujian ini dimaksudkan untuk memperoleh tahanan geser tanah pada tegangan normal tertentu. Tujuannya adalah untuk mendapatkan kuat geser tanah. Suatu beban yang dikerjakan pada suatu masa tanah akan selalu menghasilkan tegangan dengan intensitas yang berbeda-beda di dalam zona berbentuk bola lampu di bawah beban tersebut (Bowles, 1993).

Kuat geser tanah sebagai perlawanan internal tanah terhadap persatuan luas terhadap keruntuhan atau pengerasan sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud (Das, 1994).

Menurut teori Mohr (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\tau = f(\sigma)$$

Dimana :

τ = Tegangan Geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan (failure)

σ = Tegangan Normal

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan (Hary Cristady, 2002). Coulomb (1776) mendefinisikan $f(\sigma)$ seperti pada persamaan sebagai berikut:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \Phi$$

Dengan:

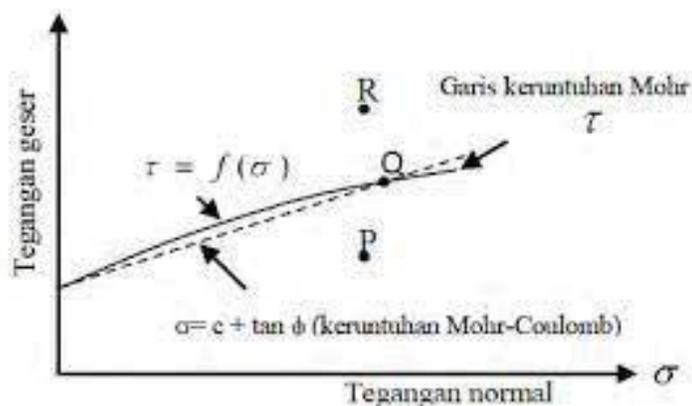
τ = Kuat geser tanah (Kg/m²)

c = Kohesi tanah (Kg/m²)

Φ = Sudut gesek dalam tanah (derajat)

σ = Tegangan normal pada bidang runtuh (Kg/m²)

Garis keruntuhan (failure envelope) menurut Coulomb (1776) berbentuk garis lengkung seperti pada gambar 2.2 dimana untuk sebagian besar masalah- masalah mekanika tanah, garis tersebut cukup didekati dengan sebuah garis lurus yang menunjukkan hubungan linear antara tegangan normal dan kekuatan geser (Das,1995). Tanah, seperti halnya bahan padat, akan runtuh karena tarikan maupun geseran. Tegangan tarik dapat menyebabkan retakan pada suatu keadaan praktis yang penting. Walaupun demikian, sebagian besar masalah dalam teknik sipil dikarenakan hanya memperhatikan tahanan terhadap keruntuhan oleh geseran



Gambar 2. 16 Garis keruntuhan menurut Mohr dan Hukum keruntuhan Mohr – Coulomb (Hary Cristady, 2002)

Jika tegangan-tegangan baru mencapai titik P, keruntuhan tanah akibat geser tidak akan terjadi. Keruntuhan geser akan terjadi jika tegangan-tegangan mencapai titik Q yang terletak pada garis selubung kegagalan (*failure envelope*). Kedudukan tegangan yang ditunjukkan oleh titik R tidak akan pernah terjadi, karena sebelum tegangan yang terjadi mencapai titik R, bahan sudah mengalami keruntuhan. Tegangan-tegangan efektif yang terjadi di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh tekanan air pori.

2.9 Matos Soil Stabilizer

Matos merupakan bubuk halus yang terdiri dari komposisi mineral aditif anorganik yang berfungsi untuk memperkuat dan menstabilkan tanah secara fisik dan kimia. Matos membantu menyuplai lebih banyak ion pengganti dan membentuk senyawa asam alumunium silica sehingga membentuk struktur sarang lebah 3 dimensi di antara partikel-partikel tanah. Dan membentuk rongga-rongga mikron yang bisa menyerap air (porositas), sehingga tidak akan terjadi pembentukan *sulfuric acid* yang menyebabkan terjadinya keretakan (Matos.co.id). Adapun bentuk Matos dapat dilihat pada **Gambar 2.17**



Gambar 2.17 Serbuk Matos

Dalam penggunaannya di lapangan Matos *soil stabilizer* tidak bis bekerja sendiri, tetapi selalu dipadukan dengan unsur-unsur lainnya. Oleh karena itu kita harus memahami beberapa prinsip dalam penggunaan matos dengan uraiannya sebagai berikut:

- a. Membuat campuran tanah + semen, kemudian dihamparkan secara merata.
- b. Membuat larutan matos, dengan cara campurkan bubuk matos kedalam air dan diaduk hingga merata.
- c. Selanjutnya menyiramkan larutan matos pada hamparan tanah-semen, setelah itu dapat dilakukan pemadatan dengan *Tire Roller*.

Berikut merupakan beberapa keunggulan dalam menggunakan Matos *soil stabilizer*:

1. Meningkatkan parameter daya dukung tanah (pengganti LPA dan LPB), sekaligus stabilisasi tanah dasar badan jalan).
2. Jalan menjadi tidak lembek/becek Jalan menjadi tidak lembek/becek saat musim hujan dan tidak berdebu di musim kering.
3. Jalan dapat dilalui pada hari ke 4 (*curing time* 4 – 14 hari), tergantung tanah dan cuaca.
4. Sesudah *curing time*, semakin sering terendam air semakin baik, tanah yang distabilisasi akan menjadi lebih keras.
5. Tidak *brittle* , karena mampu memanfaatkan kadar air di udara secara optimum (dikembangkan di Indonesia), bahan Soil Stabilizer lainnya umumnya dikembangkan di daerah sub tropis.
6. Memperkecil permeabilitas tanah sehingga dapat digunakan sebagai lapis kedap air (substitusi *geosynthetic* dan beton).
7. Memaksimalkan fungsi bahan stabilitas lain seperti semen PC dan kapur.
8. Meminimalkan *settlement* karena elastisitas (E) MATOS[®] antara E_{tanah} dan E_{beton} .

Prosedur aplikasi Matos sangat sederhana, pertama tanah yang akan dicampur dengan Matos dikeruk dan diaduk hingga mencapai adukan yang homogen. Proses ini juga dapat menghancurkan butiran-butiran yang besar menjadi lebih kecil, dan menjadikan tanah yang terlalu lembab menjadi lebih kering. Matos kemudian ditambahkan ke tanah dan diaduk kembali untuk memastikan campuran telah tercampur menyeluruh. Air ditambahkan ke dalam campuran sesuai dengan hitungan untuk mencapai *Optimum Moisture Content* (OMC) dan menjadikan proses kimiawi berjalan. Pemadatan adalah salah satu aspek penting yang harus dilakukan secara menyeluruh dan dengan peralatan yang sesuai untuk memastikan pemadatan maksimal tercapai.

Bahkan sebelum aplikasi selesai, hasil sudah mulai bisa dilihat. Dengan penambahan Matos, kepadatan tanah juga bertambah. Namun proses tersebut masih dalam tahap awal. Dalam 24 jam pertama reaksi Matos dengan tanah sudah berlangsung, dan dalam 7 hari pertama sebagian besar reaksi kimia telah selesai.

Namun karena sifat Matos dan berdasarkan fakta hidrasi, reaksi kimia akan terus berlangsung selama periode 365 hari.

Sebelum aplikasi di lapangan dilakukan kita harus memperhatikan beberapa aspek, survey awal harus diperoleh. Survey tersebut meliputi kondisi iklim, jumlah lalu lintas yang direncanakan, beban, dan survey tanah. Berdasarkan hasil survey tersebut kita dapat membuat rancangan jalan yang sesuai

Tabel 2.11 Batas-Batas Perawatan 7 Hari

Pengujian	Batas-batas sifat setelah perawatan 7hari			Metode pengujian
	Minimum	Target	Maksimum	
UCS kg/cm ²	20	24	35	ASTM D1633- 63
CBR %	100	120	200	SNI 03- 1744- 1989

Sumber: Spesifikasi Teknik Bina Marga

Penggunaan bahan tambah matos adalah meningkatkan parameter daya dukung tanah (pengganti base dan subbase, sekaligus stabilisasi tanah dasar badan jalan. Sifat-sifat campuran untuk perkerasan jalan raya disyaratkan seperti pada table diatas

2.10 Fly Ash

Dalam beberapa kasus, seperti pembakaran limbah padat untuk menciptakan listrik (fasilitas “resource recovery” atau konveresi limbah ke energi), abu terbang dapat mengandung kontaminan dari *bottom ash* berkadar tinggi serta pencampuran abu terbang dan *bottom ash* Bersama-sama membawa tingkat proposional kontaminan dalam jangkauan untuk memenuhi syarat sebagai limbah berbahaya.

Abu terbang tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun dengan kehadiran air dan ukurannya yang halus, silika oksida (SiO₂) yang terkandung dalam abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang

terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan yang mengikat (Oscar, et al. 2009).

Terdapat dua tipe abu terbang didefinisikan oleh ASTM C618: Abu terbang tipe C dan abu terbang tipe F. perbedaan utama antara kelas-kelas tersebut adalah jumlah kalsium, silika, alumina, serta kandungan besi dalam abu. Sifat-sifat kimia dari abu terbang tersebut sangat dipengaruhi oleh kandungan kimia dari batu bara yang dibakar (yaitu, antrasit, bituminus, serta lignit). (ASTM Internasional, 2008)

Tabel 2.12 Komposisi Kimia Fly Ash

Komponen	Bituminus	Subbituminus	Lignit
SiO₂ (%)	20-60	40-60	15-45
Al₂O₃ (%)	5-35	20-30	20-25
Fe₂O₃ (%)	10-40	4-10	4-15
CaO (%)	1-12	5-30	15-40
LOI (%)	0-15	0-3	0-5

Sumber: Mulyono, T. (2004)

a. Fly Ash tipe C

Abu terbang tipe C merupakan abu terbang yang mengandung CaO diatas 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignit atau sub-bituminus batu bara (batu bara muda). Untuk abu terbang tipe C, kadar total SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ lebih besar dari 50%. Dalam campuran beton, jumlah abu terbang yang digunakan sebanyak 15% - 35% dari berat silinder.

b. Abu terbang tipe F

Abu terbang tipe F merupakan abu terbang yang mengandung CaO lebih kecil dari 10%, yang dihasilkan dari pembakaran antrasit atau bituminous batubara. Abu terbang tipe F mempunyai kadar total dari SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 Kurang dari 70%. Kadar Cao abu terbang tipe F kurang dari 5%. Dalam campuran beton, jumlahnya abu terbang yang digunakan sebanyak 10%-30% dari berat silinder (ASTM International, 2008).



Gambar 2.18 Fly Ash

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian oleh Andreas Dharmawan (2017) melakukan penelitian tentang stabilitas tanah dengan *fly ash* dan semen untuk badan jalan PLTU Asam-Asam. Pemanfaatan limbah batu bara dan semen untuk badan jalan PLTU asam-asam sebagai bahan stabilitas tanah yang kurang baik pada badan jalan di PLTU Asam-Asam. Hasil CBR tanah asli kondisi rendam sebesar 3.52 %. Nilai CBR tanah asli tersebut tidak memenuhi batas minimum yang ditetapkan dalam SNI 03-1744-1989 yaitu sekurang-kurangnya 6%. Selain sebagai stabilitas tanah dapat digunakan untuk mengantisipasi pencemaran lingkungan, tetapi tepatnya berapa banyak *fly ash* yang digunakan yang digunakan agar tidak mencemari lingkungan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Dalam penelitian ini metode stabilisasi kimiawi digunakan sebagai cara untuk memperbaiki kondisi jalan tanah dasar yaitu mencampur tanah asli dengan stabilizing agent berupa campuran semen dan *fly ash* dalam berbagai variasi yaitu : Semen 4% + *fly ash* 5%; semen 4% + *fly ash* 8%; semen 4% + *fly ash* 10%; semen 2% + *fly ash* 7% dan semen 4.5% + *fly ash* 8% terhadap berat kering basah

Penelitian Miswar dkk, (2018) menguji stabilitas tanah lempung menggunakan kapur untuk meningkatkan daya dukung CBR tanah. Menurut peneliti, penggunaan bahan aditif kapur sebagai bahan stabilisasi tanah lempung menambah berat jenis tanah asli, menurunkan nilai IP (Indeks Plastisitas, meningkatkan nilai CBR rendaman (*soaked*) dan tak direndam.

Novita Simbolon (2015) melakukan penelitian tentang stabilisasi tanah lempung menggunakan semen dan *fly ash* dengan pengujian kuat tekan bebas dan CBR. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai Indeks Properties akibat penambahan 2% PC dan variasi kadar *fly ash* pada tanah lempung, kemudian untuk mengetahui nilai Kuat Tekan Maksimum dengan pengujian *Unconfined Compression Test*, nilai CBR dengan pengujian *California Bearing Ratio* laboratorium akibat adanya penambahan bahan stabilisasi, serta kadar optimum penambahan *fly ash*