

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Dalam pengertian teknik sipil, tanah didefinisikan sebagai suatu material yang merupakan akumulasi partikel yang tidak mempunyai atau lemah ikatan partikelnya, yang terbentuk akibat pelapukan batuan dengan atau tanpa konstituen organik, yang dapat dipisahkan dengan cara mekanis ringan seperti pengadukan air (*R.F.Craig,1991*). Menurut (*Braja M. Das,1998*) Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agragat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak teresimentasi (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 di antara partikel-partikel padat tersebut.

Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan secara fisis dan kimiawi. Pembentukan tanah secara fisis yang mengubah batuan menjadi partikel yang lebih kecil dapat terjadi karena adanya pengaruh erosi, angin, air, es, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu dan cuaca. Tanah yang terjadi akibat penghancuran ini masih mempunyai komposisi yang sama dengan batuan asalnya serta mempunyai ukuran partikel yang hampir seragam dan dideskripsikan berbentuk utuh (*bulky*), yaitu berbentuk agak bersudut, ataupun bulat.

Proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu penyebab adalah air yang mengandung asam atau alkali, oksigen, dan karbondioksida. Pelapukan kimiawi menghasilkan kelompok-kelompok partikel kristal berukuran koloid ($<0,002$ mm) yang dikenal dengan mineral lempung. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran partikelnya, terdapat jenis-jenis tanah yang dipisahkan (*soil separated soil limits*) yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Batasan-batasan Ukuran Golongan Tanah

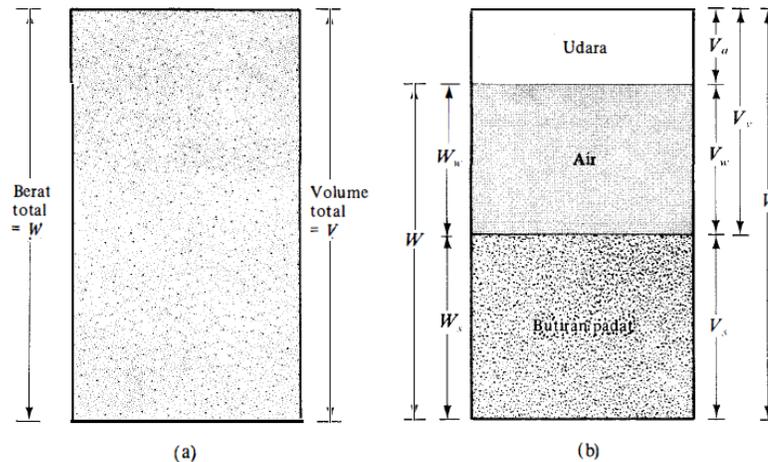
Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
<i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i>	> 2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	< 0,002
<i>U.S. Department of Agriculture (USDA)</i>	> 2	2 – 0,05	0,05 – 0,002	< 0,002
<i>American Association of State Highway and Transportation Officials (ASSHTO)</i>	76,2 - 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	< 0,002
<i>Unified Soil Classification System (U.S. Army Corps of Engineers, U.S. Bureau of Reclamation)</i>	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) < 0,075	

(Sumber: Braja M.Das, *Mekanika Tanah, Jilid I, Erlangga, Jakarta 1995, hal.7*)

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

kurang dari 5 mm, maka dapat diklasifikasikan sebagai pasir. Nama ini biasanya dimodifikasi lebih lanjut sebagai kasar, sedang, dan halus.

Tanah terdiri dari 3 (tiga) fase elemen yaitu: butiran padat (*solid*), air (*water*), dan udara (*air*). Ketiga fase elemen tersebut dapat dilihat dalam Gambar 2.1 (*Braja M. Das, 1995:30*)



Gambar 2.1 (a) Elemen tanah dalam keadaan asli, (b) tiga fase elemen tanah

2.2 Sifat Fisis Tanah

Sifat fisis tanah (*index properties*) merupakan sifat tanah dalam keadaan asli untuk menentukan jenis tanah. Sifat-sifat fisik tanah meliputi ukuran butiran tanah, warnanya, bentuk butiran, dan kekerasan tanah. Untuk mengetahui sifat fisik tanah perlu dilakukan penyelidikan di lapangan maupun laboratorium. Adapun manfaat mengetahui jenis tanah dan sifat-sifatnya adalah untuk merencanakan fondasi, jalan, jembatan, stabilitas lereng, dan lain sebagainya.

Untuk mendapatkan sifat-sifat fisik tanah, ada beberapa ketentuan yang harus diketahui terlebih dahulu, diantaranya sebagai berikut :

2.2.1 Kadar Air (w) (ASTM D 2216-19)

Digunakan untuk menentukan kadar air tanah, yaitu perbandingan berat air dalam tanah dengan berat kering tanah yang dinyatakan dalam persen (%). Kadar air tanah dapat dihitung dengan rumus :

$$w = \left[\frac{(W_1 - W_2)}{(W_2 - W_3)} \right] \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

w = Kadar Air

- W1 = Berat Cawan + Tanah Basah
 W2 = Berat Cawan + Tanah Kering
 W3 = Berat Cawan

2.2.2 Berat Jenis Tanah (Gs) (ASTM D 854-02)

Digunakan untuk menentukan berat jenis butiran tanah (Gs). Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir tanah dengan berat air yang mempunyai volume sama pada suhu tertentu. Temperatur yang diambil biasanya pada suhu 27,5°C. Berat jenis tanah diperlukan untuk menghitung indeks propertis tanah lainnya (misalnya: angka pori, derajat kejenuhan, karakteristik pemampatan), dan sifat-sifat penting tanah lainnya

Mencari berat jenis pada suhu t°

$$Gs(t^{\circ}) = \frac{(W2-W1)}{[(W2-W1)-(W3-W4)]} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

- W1 = Berat piknometer
 W2 = Berat piknometer + tanah
 W3 = Berat piknometer + tanah + air
 W4 = Berat piknometer + air

Mencari berat jenis tanah pada temperatur 27,5° :

$$Gs(27,5^{\circ}) = Gs(t^{\circ}) \frac{\text{berat jenis air pada } t^{\circ}\text{C}}{\text{berat jenis air pada } 27,5^{\circ}\text{C}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk mengetahui macam-macam tanah berdasarkan berat jenis tanah dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Macam-macam Tanah Berdasarkan Berat Jenis

Macam Tanah	Berat Jenis
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Tak Organik	2,62 – 2,68
Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Tak Organik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber : Hardiyatmo, 1992)

2.2.3 Berat Volume Tanah (γ) (ASTM D 7263)

Digunakan untuk mendapatkan berat volume tanah yang merupakan perbandingan antara berat tanah basah dengan volume yang dinyatakan dalam (gr/cm^3)

$$\gamma = \frac{W_2 - W_1}{V} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

- γ = Berat Volume Tanah
- W_1 = Berat *ring*
- W_2 = Berat *ring* + tanah basah
- V = Volume *ring* = Volume tanah

2.2.4 Batas-batas *Atterberg* (ASTM D 4318-00)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui batas plastis, batas plastis, dan batas susut. Batas-batas konsistensi digunakan untuk mengkarakteristikan perilaku tanah lempung dan lanau ketika kadar air berubah. Dalam pengertian masalah tanah, maka tidak kalah pentingnya mengetahui kadar air terhadap sifat mekanis tanah. Dimana untuk menghitung IP digunakan rumus sebagai berikut:

$$IP = LL - LP \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

- IP = Indeks Plastis
- LL = Batas Cair
- LP = Batas Plastis

1. Batas Cair (ASTM D 423-66)

Digunakan untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair tanah adalah kadar air dimana tanah berada dalam batas peralihan antara keadaan cair dan keadaan plastis. Batas cair dapat digunakan suatu data jumlah ketukan dan kadar air yang dapat dihitung dengan rumus :

$$LL = w_n \left(\frac{N}{25}\right)^{0,121} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

- LL = Batas Cair
- W_n = Kadar air pada N ketukan
- N = Jumlah Ketukan

2. Batas Plastis (ASTM D 424-74)

Digunakan untuk mengetahui batas plastis suatu contoh tanah, yaitu nilai kadar air terendah dari suatu contoh tanah dimana tanah tersebut masih dalam keadaan plastis.

3. Batas Susut (ASTM-427-74)

Digunakan untuk menentukan batas susut suatu contoh tanah, dimana kadar air pada kedudukan antara semi plastis dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah.

$$SL = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2} - \frac{(v_1 - v_2)\gamma_w}{m_2} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

- SL = *Shrinkage Limit*
 m1 = Berat tanah basah + cawan
 m2 = Berat tanah kering oven
 v1 = Volume tanah basah cawan
 v2 = Volume tanah kering oven
 γ_w = Berat jenis air

Tabel 2. 3 Nilai Indeks Plastisitas dan Sifat Tanah

PI	Sifat	Macam tanah	Kohesi
0	Non Plastis	Pasir	Non – Kohesif
< 7	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
7-17	Plastisitas Sedang	Lempung Berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber : Hardiyatmo, 1992)

2.2.5 Analisa Gradasi

1. Analisa Saringan (ASTM D 7928-21e1).

Digunakan untuk menentukan pembagian ukuran butir suatu contoh tanah

2. Analisa Hidrometer (ASTM D 422-63).

Digunakan untuk pembagian ukuran butir tanah yang lewat saringan no.200.

Sifat tanah berdasarkan distribusi partikelnya:

1. C_c (*Curvature Coefisient*) adalah koefisien gradasi. Untuk mencari nilai C_c dapat menggunakan rumus:

$$C_u = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

D_{10} = Diameter yang bersesuaian dengan 10% lolos ayakan.

D_{30} = Diameter yang bersesuaian dengan 30% lolos ayakan.

D_{60} = Diameter yang bersesuaian dengan 60% lolos ayakan.

2. C_u (*Coefisien Uniformitad*) adalah koefisien keseragaman dimana menunjukkan kemiringan kurva dan menunjukkan sifat seragam (*uniform*) tanah. Untuk mencari C_u dapat menggunakan rumus :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots \dots \dots (2.9)$$

Tanah bergradasi baik jika mempunyai koefisien gradasi $1 < C_c < 3$ dengan $C_u > 4$ untuk kerikil dan $C_u > 6$ untuk pasir, selanjutnya tanah tersebut bergradasi sangat baik, bila $C_u > 15$.

2.2.6 Permeabilitas (ASTM D-653)

Permeabilitas adalah kemampuan tanah meneruskan air melalui pori-pori tanah. Koefisien permeabilitas ini tergantung dari jenis tanah dan kerapatan tanah. Menurut hukum Darcy, kecepatan aliran dalam tanah sebanding dengan gradien hidroliknya.

$$V = k.i \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

V = Kecepatan

k = Koefisien Permeabilitas

i = Gradien Hidrolik

Sedangkan besarnya debit yang melalui penampang massa tanah adalah

$$Q = k.i.A \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

Q = Besarnya debit yang lewat

A = Luas penampang tanah

Penentuan koefisien permeabilitas dapat dilakukan di lapangan dan di laboratorium. Untuk di laboratorium dapat dilakukan percobaan.

1. Pengukuran dalam tegangan tetap (*constan head*)

Nilai “k” dapat diukur dari banyaknya air yang masuk dan keluar dari suatu contoh tanah dalam waktu tertentu. Besarnya koefisien permeabilitas dari percobaan ini dapat dihitung dengan rumus:

$$Q = k.i.A.t \dots\dots\dots (2.12)$$

$$k = \frac{Q}{(i.A.t)} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

T = Waktu

2. Pengukuran dalam tegangan berubah (*varied falling head*)

Penentuan nilai “k” dalam percobaan ini dilakukan dengan mengukur perubahan ketinggian air pada pipa yang mengalirkan air ke contoh tanah dalam jangka waktu tertentu. Rumus yang digunakan untuk menghitung besarnya nilai koefisien permeabilitas dari percobaan ini, yaitu:

$$k = \frac{a.L}{A.t} \ln \frac{h_0}{h_t} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

a = Luas pipa

L = Tinggi contoh tanah

A = Luas contoh tanah

h_0 = Tinggi mula-mula

h_t = Tinggi pada saat tertentu

Nilai “k” untuk rumus diatas merupakan konstanta, untuk suatu contoh tanah tertentu adalah suhu pada air tanah tidak berubah. Perubahan suhu pada air tanah ini akan mengakibatkan berubahnya kekentalan (*viskositas*), sehingga nilai “k” akan berubah juga.

Menurut Terzaghi klasifikasi (derajat) kejenuhan dapat dilihat pada tabel 2.5 berikut:

Tabel 2. 4 Klasifikasi (derajat) kejenuhan.

Jenis Tanah	k (cm/detik)	Keterangan
Kerikil	$>10^{-1}$	Permeabilitas tinggi
Kerikil halus/pasir	$10^{-1} - 10^{-3}$	Permeabilitas sedang
Pasir sangat halus Pasir lunak Lanau tidak padat	$10^{-3} - 10^{-5}$	Permeabilitas rendah
Lanau padat Lanau lempung Lanau tidak murni	$10^{-5} - 10^{-7}$	Permeabilitas sangat rendah
Lempung	$< 10^{-7}$	Tidak tembus air

(Sumber : Soedarmo,1993)

2.3 Angka Pori, Porositas dan Derajat Kejenuhan

Tanah terdiri dari tiga fase elemen yaitu : butiran padat, air, dan udara. Hubungan yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*), dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).

2.3.1 Angka Pori (e)

Angka pori (*void ratio*), didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \text{ atau } \frac{G_s \cdot (w+1) - \gamma}{\gamma} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

- V_v = Volume pori
- V_s = Volume butiran padat
- G_s = Berat Jenis
- w = Kadar air
- γ = Berat volume basah

2.3.2 Porositas (n)

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan volume pori dengan volume tanah total, yang dinyatakan dalam persen, atau :

$$n = \frac{V_v}{V} \text{ atau } \frac{e}{1+e} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

- V_v = Volume pori
- V = Volume tanah total

2.3.3 Derajat Kejenuhan (Sr)

Derajat kejenuhan merupakan perbandingan antara volume air dengan volume pori, yang dinyatakan dalam persen atau :

$$Sr = \frac{V_w}{V_v} \text{ atau } \frac{w.G_s}{e} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

V_w = Volume air

2.4 Aktivitas Tanah

Dibagian-bagian tepi mineral lempung terdapat muatan negative netto yang mengakibatkan terjadinya usaha yang menyeimbangkan muatan ini dengan tarikan kation. Tarikan ini akan sebanding dengan kakurangan muatan-muatan netto dan dapat dihubungkan dengan aktivitas lempung. Hasil pengujian indeks propertis tanah dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan tanah lempung mengembang. Berdasarkan penentuan indeks plastisitas (IP) dari pengujian *atterberg*, dan presentase lempung yang didapat dari analisis besar butir, kedua parameter tersebut dibandingkan untuk mengetahui angka aktivitas mineral lempung (Skempton,1953)

$$Ac = \frac{IP}{c} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

Ac : Aktivitas Lempung

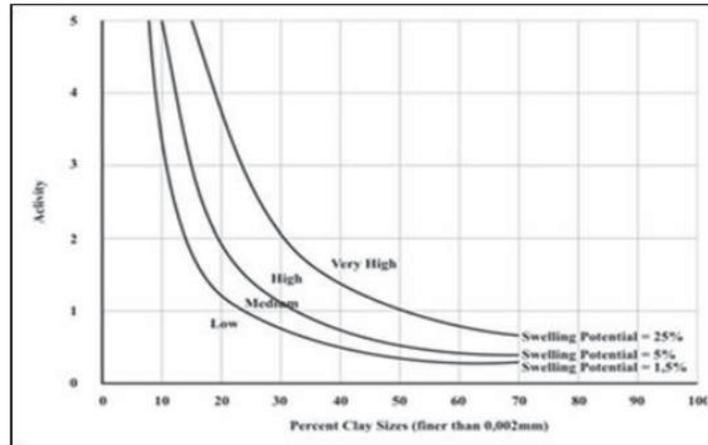
IP : Indeks Plastisitas

c : Presentase Lolos Saringan No.200

Tabel 2. 5 Hubungan Aktivitas dan Kandungan Mineral Tanah

<i>Activity</i>	<i>Classification</i>
<0.75	<i>Inactive Clays (Kaolinite)</i>
0,75-1.25	<i>Normal Clays (Illite)</i>
>1.25	<i>Active Clays (Montmorilonite)</i>

(Sumber : Skempton,1953, dalam Hunt,2007)



Gambar 2. 2 Grafik Klasifikasi Potensi Mengembang
(Sumber : Seed et al.,1962)

2.5 Klasifikasi Tanah

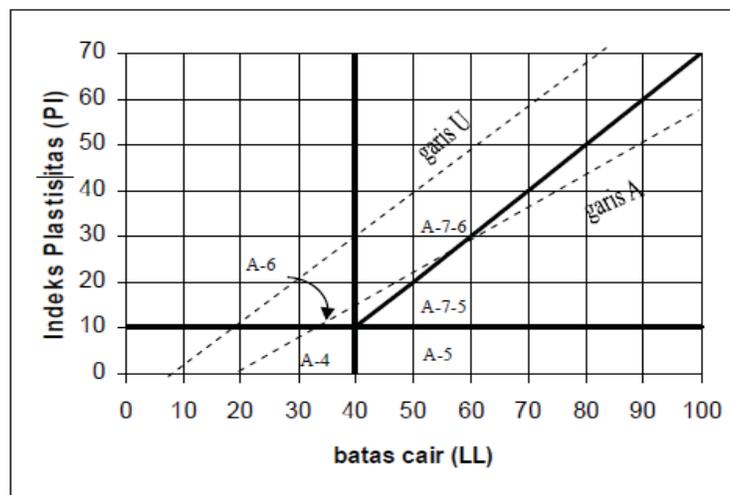
Sistem Klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat serupa kedalam kelompok-kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terperinci (Das,1995).Klasifikasi umum yang sering digunakan sebagai berikut.

2.5.1 Sistem Klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*

Sistem klasifikasi AASHTO bermanfaat 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 kedalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan kedalam A-1, A-2, dan A-3 adalah tanah berbutir di mana 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200. Tanah di mana lebih dari 35 % butirannya tanah lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan kedalam kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. 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
 - a. Kerikil
Bagian tanah yang lolos ayakan diameter 75 mm (3 in) dan yang tertahan pada ayakan No. 10 (2 mm).
 - b. Pasir
Bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0.075 mm).
 - c. Lanau dan lempung
Bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.
2. Plastisitas
 - a. Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bila mana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.

Dapat dilihat hubungan antar nilai kadar air dengan indeks plastisitas tanah pada Gambar 2.2 (*Braja M Das, 1995: 68*).



Gambar 2.3 Rentang (*range*) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI)

Tabel 2. 6 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

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

Indeks Plastisitas (PI)	Max 10	Max 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

(Sumber: Braja M Das, *Mekanika Tanah, Jilid I, Erlangga, Jakarta 1995, hal. 67*)

2.5.2 Sistem Klasifikasi *Unified Soil Classification System (USCS)*

Sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System (USCS)* mulanya diperkenalkan oleh *Casagrande* pada tahun 1942 untuk dipergunakan dalam pekerjaan pembuatan lapangan terbang oleh *The Army Corps of engineers* selama perang dunia II. Kemudian *American Society for Testing and Materials (ASTM)* telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah. Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik. Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan kedalam dua kategori utama yaitu:

1. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soil*), < 50% lolos saringan No. 200.
2. Tanah berbutir halus (*fine-grained soil*), > 50% lolos saringan No. 200.
3. Tanah organik yang dapat dikenal dari warna, bau dan sisa-sisa tumbuh-tumbuhan yang terkandung di dalamnya.

Tabel 2. 7 Sistem Klasifikasi Tanah Unified Berdasarkan Kelompok

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

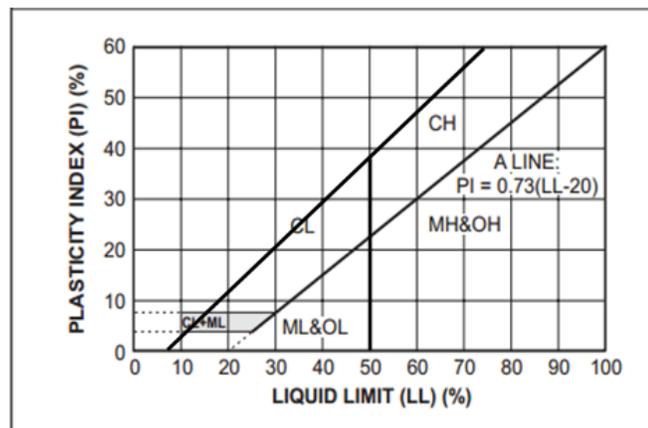
(Sumber: *bowles, 1991*)

Klasifikasi berdasarkan *Unified Soil Classification System (USCS)* (Braja M Das, 1995), tanah dikelompokkan menjadi:

1. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang lebih dan 50% bahannya tertahan pada ayakan No. 200. Tanah butir kasar terbagi atas kerikil dengan simbol G (*gravel*), dan pasir dengan simbol S (*sand*).
2. Tanah butir halus adalah tanah yang lebih dan 50% bahannya lewat pada saringan No. 200. Tanah butir 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 tanda H untuk plastisitas tinggi.

Simbol-simbol yang digunakan tersebut adalah:

- G = Kerikil (*Gravel*)
 S = Pasir (*Sand*)
 C = Lempung (*Clay*)
 M = Lanau (*Silt*)
 O = Lanau atau lempung organik (*Organic silt or clay*)
 W = Gradasi baik (*Well-graded*)
 P = Gradasi buruk (*poorly-graded*)
 H = Plastisitas tinggi (*high-plasticity*)
 L = Plastisitas rendah (*low-plasticity*)
 Pt = Tanah gambut dan tanah organik tinggi



Gambar 2.4 Diagram plastisitas tanah berbutir halus USCS

(Sumber: Braja M Das, 1995)

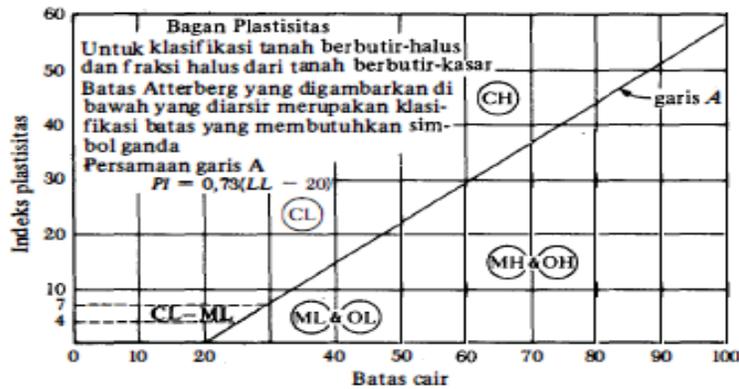
Tabel 2. 8 Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama umum	
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200†	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SP	Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung
Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan Lempung Batus cair 50% atau kurang	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)	
		OL	Lanau - organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan Lempung Batus cair lebih dari 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomac, atau lanau diatomae, lanau yang elastis.	
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

*Menurut ASTM (1982)

†Berdasarkan tanah yang lolos ayakan 75 mm (3 in)

Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 5% sampai 12% lolos ayakan No. 200	Kriteria klasifikasi	
	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3.	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas Atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam ASTM Designation D-2488	

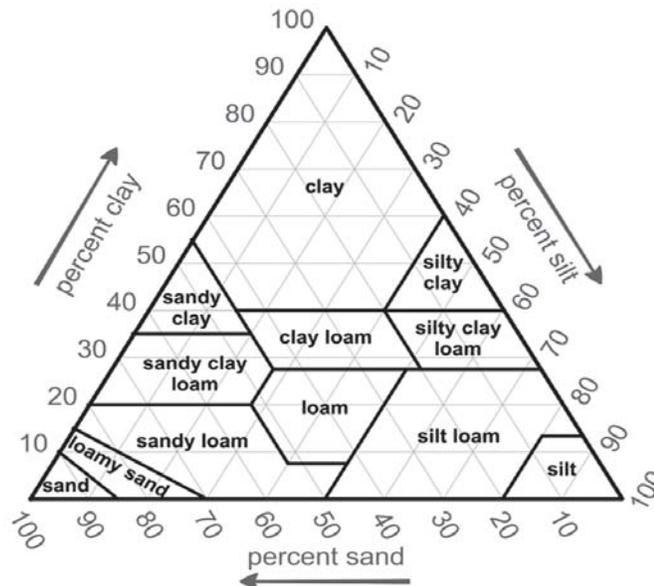


(Sumber: Braja M Das, *Mekanika Tanah, Jilid I*, Erlangga, Jakarta 1995, hal. 71-72)

2.5.3 Sistem Klasifikasi United State Department of Agriculture (USDA)

Kehalusan tanah yang terjadi karena terdapatnya perbedaan komposisi kandungan fraksi pasir, debu dan liat yang terkandung pada tanah (Badan Pertanahan Nasional). Dari ketiga jenis fraksi tersebut partikel pasir mempunyai ukuran diameter paling besaryaitu 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.

Butir-butir yang paling kecil adalah butir liat, diikuti oleh butir debu (*silt*), pasir, dan kerikil. Selain itu, ada juga tanah yang terdiri dari batu-batu. Tekstur tanah dikatakan baik apabila komposisi antara pasir, debu dan tanah liatnya hampir seimbang. Tanah seperti ini disebut tanah lempung. Semakin halus butir-butir tanah (semakin banyak butir liatnya), maka semakin kuat tanah tersebut memegang air dan unsur hara. Tanah yang kandungan liatnya terlalu tinggi akan sulit diolah, apalagi bila tanah tersebut basah maka akan menjadi lengket. Tanah jenis ini akan sulit melewatkan air sehingga bila tanahnya datar akan cenderung tergenang dan pada tanah berlereng erosinya akan tinggi. Tanah dengan butir-butir yang terlalu kasar (pasir) tidak dapat menahan air dan unsur hara. Dengan demikian tanaman yang tumbuh pada tanah jenis ini mudah mengalami kekeringan dan kekurangan hara. Pembagian ukuran fraksi-fraksi tanah (tekstur) Menurut Sistem Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) Tahun 1938 dapat di lihat pada Gambar 2.4 (*Braja M Das, 1995: 65*).



Gambar 2.5 Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)

2.6 Matos *Soil stabilizer*

Matos *soil stabilizer* adalah aditif yang berfungsi untuk memadatkan (*solidifikasi*) dan menstabilkan (*stabilizer*) tanah secara kimia yang berupa material serbuk halus yang terdiri dari komposisi mineral anorganik. Stabilisasi dengan menggunakan bahan tambahan atau sering disebut juga stabilisasi kimiawi bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, dengan cara mencampur tanah dengan penggunaan bahan tambahan dengan komposisi perbandingan yang sudah ditetapkan. Jika pencampuran hanya dimaksudkan untuk mengubah gradasi dan plastisitas tanah, dan kemudian dikerjakan, maka hanya diperlukan penambahan zat *additive* yang sedikit. Namun stabilisasi dimaksudkan untuk mengubah tanah agar mempunyai kekuatan tinggi, maka diperlukan bahan campuran zat *additive* ini harus dihampar dan disimpan di tempat yang baik agar mendapat nilai yang diinginkan.

2.7 Semen

Semen adalah material yang mempunyai sifat-sifat adhesif dan kohesif sebagai perekat yang mengikat fragmen-fragmen mineral menjadi suatu kesatuan yang kompak. Semen dikelompokkan ke dalam 2 (dua) jenis yaitu semen hidrolis dan semen non-hidrolis.

Semen hidrolis adalah suatu bahan pengikat yang mengeras jika bereaksi dengan air serta menghasilkan produk yang tahan air. Contohnya seperti semen *portland*, semen putih dan sebagainya, sedangkan semen non-hidrolis adalah semen yang tidak dapat stabil dalam air.

Unsur utama pembentuk semen adalah kalsium oksida, silika, dan aluminat yang membentuk seperti pasta pengikat, ketika terhidrasi. Media perekat ini kemudian akan memadat dan membentuk massa yang keras. Reaksi pembentukan media perekat ini disebut hidrasi. Pada proses hidrasi tersebut, hasil hidrasi akan mengendap di bagian luar, sedang di bagian dalam akan terhidrasi secara bertahap, sehingga volumenya mengecil.

Umumnya terdapat 5 tipe semen, yaitu (SK SNI S-04-1989-F, Rollings, 1996): Tipe I, semen *portland* biasa (*ordinary portland cement*), digunakan untuk bangunan-bangunan pada umumnya, dimana tidak ada persyaratan khusus.

Tipe II, semen tahan sulfat sedang (*moderately sulfate-resistan cement*), digunakan untuk bangunan-bangunan pada umumnya, terutama bila disyaratkan agak tanah terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

Tipe III, semen kekuatan cepat tinggi (*high early strenght cement*), digunakan pada bangunan-bangunan yang menuntut persyaratan kekuatan awal tinggi.

Tipe IV, Semen hidrasi panas rendah (*low heat of hydration cement*), digunakan untuk bangunan yang mensyaratkan panas hidrasinya rendah.

Tipe V, Semen tahan sulfat tinggi (*highly sulfate-resistant cement*), digunakan untuk bangunan-bangunan yang mensyaratkan sangat tanah terhadap sulfat.

Sembarang semen untuk digunakan untuk stabilisasi, tapi semen portland biasa (Tipe I) lebih banyak digunakan. Semen Tipe II atau Tipe V juga pernah digunakan, karena ketahanan yang lebih besar terhadap sulfat, dengan biaya yang dikeluarkan relatif sama. Semen Tipe III yang mempunyai ukuran butir lebih halus dan terdiri dari beberapa komposisi campuran yang berbeda menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi pada stabilisasi tanah tipe tertentu.

Tipe semen yang digunakan harus cocok dengan standar normal, yaitu bahan yang jelek harus tidak digunakan. Jika semen khusus digunakan, maka pengaruh lingkungan hidup perlu dipertimbangkan, sehingga perubahan dari pemakaian semen yang biasa digunakan masih dibenarkan.

2.8 Stabilisasi Tanah

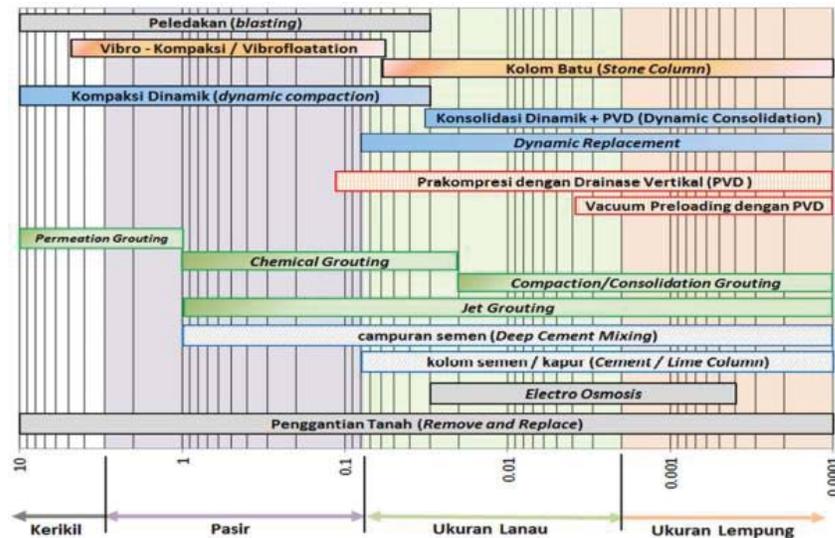
Dalam pengertian luas, yang dimaksud stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu, guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, atau dapat pula, stabilisasi tanah adalah usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Proses stabilisasi tanah meliputi pencampuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan-tambahan buatan pabrik.

Menurut *Bowles*, 1991 berberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilkan 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 yang menyebabkan perubahan kimiawi dan fisis tanah
4. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah).
5. Mengganti tanah yang buruk.

Adapun kriteria penentuan jenis perbaikan tanah menurut SNI-8460:2017 dimana perbaikan tanah yang tepat untuk bangunan atau infrastruktur yang akan didirikan dapat ditentukan berdasarkan Gambar 2.5



Gambar 2. 6 Jenis-Jenis Metode Perbaikan Tanah

(Sumber: SNI 8460:2017 hal.67)

Dalam menstabiliskan tanah, ada beberapa metode yang dapat digunakan yaitu sebagai berikut:

1. Stabilisasi Mekanis

Stabilitas mekanis atau stabilisasi mekanikal dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Pencampuran tanah ini dapat dilakukan di lokasi proyek, di pabrik atau di tempat pengambilan bahan timbunan. Prinsip kerja perbaikan tanah secara mekanis adalah dengan energi gilasan, tumbukan dan getaran berperan mendorong udara dan air tanah dari rongga/ pori-pori tanah, sekaligus memampatkan rongga menjadi semakin kecil, proses pemampatan tanah juga merubah susunan butir menjadi lebih kompak.

2. Stabilisasi Kimiawi

Stabilisasi tanah secara kimiawi merupakan penambahan bahan stabilisasi yang dapat mengubah sifat-sifat kurang menguntungkan dari tanah, dengan cara mencampur tanah dengan menggunakan bahan tambah dengan perbandingan tertentu. Perbandingan campuran tergantung pada kualitas campuran yang diinginkan. Namun, bila stabilisasi dimaksudkan untuk merubah tanah agar mempunyai kekuatan yang tinggi, maka diperlukan bahan tambah yang harus diamparkan dan dipadatkan dengan baik. Contoh bahan tambah yang umum digunakan adalah : kapur, semen portland, abu terbang, dan lain-lain.

3. Stabilisasi Menggunakan Geosintetik

Secara bahasa, *Geosynthetics* (geosintetik) berasal dari kata *geo* (bumi), dan *synthetics* (buatan), sehingga geosintetik merupakan material buatan manusia yang digunakan untuk pekerjaan yang berhubungan dengan bumi atau tanah.

Secara istilah, geosintetik merupakan material buatan manusia, terutama polymer (sejenis plastik) yang digunakan dalam pekerjaan-pekerjaan ketekniksipilan yang berhubungan dengan tanah dan batuan.

Beberapa pengertian yang berhubungan dengan geosintetik berdasarkan *International Geosynthetic Society* (IGS) antara lain :

- a. *Geotekstil* ; bahan yang dapat meloloskan air dari anyaman (*woven*) atau tanpa anyaman (*non-woven*) dari benang-benang atau serat-serat sintetik yang digunakan dalam pekerjaan tanah.
- b. *Geogrid* ; *geotekstil* yang berupa lubang-lubang berbentuk segi empat (*geotextile grid*) atau lubang berbentuk jaring (*geotextile net*, biasanya terbuat dari bahan *Polyester* (PET) atau *High Density Polyethylene* (HDPE).
- c. *Geocomposite* ; kombinasi dua atau lebih tipe geosintetik
- d. *Geomembrane* ; geosintetik yang bersifat *impermeable* atau tidak tembus air, biasanya dibuat dari bahan *High Density Polyethylene* (HDPE).
- e. *Geocell* ; geosintetik berbentuk sel-sel sebagai bahan penahan erosi atau perkuatan, terbuat dari bahan *High Density Polyethylene* (HDPE).
- f. *Geospacer* ; bahan sintesis yang ditempatkan di antara dua bahan sintesis lain biasanya digunakan pada konstruksi drain.

4. Stabilisasi Tanah Secara Hidrolis

Lapusan tanah lunak (kuat dukung rendah) umumnya disebabkan banyaknya kandungan air yang tertahan dalam tanah, secara sederhana upaya perbaikan lapisan tanah dengan cara mengeluarkan air dari pori-pori tanah ini disebut perbaikan tanah secara hidrolis.

Perbaikan tanah secara hidrolis dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

a. Pra Pembebanan (*preloading*)

Pra pembebanan (*preloading*) merupakan suatu metode perbaikan tanah dengan cara memampatkan timbunan pada lokasi yang akan distabilisasi dengan berat sekurang-kurangnya sama dengan berat struktur (beban permanen) dimasa yang akan datang. Akibat adanya beban timbunan tersebut. Akibat adanya beban timbunan tersebut maka lapisan tanah dibawahnya akan tertekan sehingga air yang berada di dalam pori-pori tanah akan diperas keluar (terkonsolidasi) lebih cepat. Apabila konsolidasi yang diinginkan telah tercapai sebagian atau timbunan *preloading* dapat dibuang.

b. Drainase vertikal (*vertical drain*) dikombinasikan dengan *preloading*.

- Drainase vertikal dari kolom pasir ; pada tahun 1925, Daniel E.Moran (USA) memperkenalkan pemakaian drainase vertikal dari kolom-kolom pasir untuk mempercepat proses konsolidasi tanah pada kedalaman yang besar. Tipe drainase vertikal ini selanjutnya dikenal dengan *sand drain*.
- Drainase vertikal dengan bahan sistetis (Wick darin) ; pada tahun 1936, Kjellman (Swedia) memperkenalkan sistem vertikal drain dengan bahan sistetis. Bahan sistetis yang dipilih karena dibandingkan dengan bahan lain, bahan ini lebih cepat mengalirkan air (*drain*) dari dalam tanah lunak menuju permukaan tanah sehingga proses konsolidasi berlangsung lebih singkat. Perbaikan tanah secara hidrolis lebih efektif dengan mengkombinasikan antara *preloading* dengan *vertical drain*.

Dalam pembangunan perkerasan jalan, stabilisasi tanah didefinisikan sebagai perbaikan material jalan lokal yang ada, dengan cara stabilisasi mekanis atau dengan cara menambahkan suatu bahan-tambah (*additive*) ke dalam tanah. Dalam

perancangan perkerasan jalan, kualitas setiap lapisan pembentuk perkerasan harus memenuhi syarat tertentu. Setiap komponen lapisan perkerasan harus mampu menahan geseran, lendutan berlebihan yang menyebabkan retaknya lapisan di atasnya dan mencegah deformasi permanen yang berlebihan akibat memadatnya material penyusun.

2.9 Stabilitas Tanah dengan Campuran Semen dan Matos *Soil stabilizer*

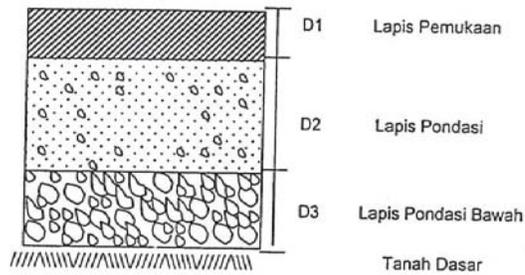
Dalam pekerjaan stabilisasi tanah dengan menggunakan campuran semen dan matos *soil stabilizer*. Ada beberapa hal yang dikerjakan sebagaimana pekerjaan stabilisasi tanah. Salah satu cara menstabilisasikan tanah dengan pencampuran bahan additive dengan prosentasi tertentu sehingga menghasilkan kuat dukung tanah maksimum.

Stabilisasi tanah dengan semen dan matos *soil stabilizer* adalah salah satu alternatif perbaikan tanah dengan menambah bahan *additive*. Stabilisasi tanah dengan semen dan matos *soil stabilizer* sebagai pencampuran antara tanah yang telah dihancurkan, semen, matos *soil stabilizer*, dan air yang kemudian dipadatkan sehingga menghasilkan suatu material baru, dimana kekuatan, karakteristik deformasi, daya tahan terhadap air, cuaca, dan sebagainya dapat disesuaikan dengan kebutuhan untuk perkerasan jalan, fondasi bangunan dan jalan, aliran sungai, dinding penahan tanah dan lain sebagainya.

2.10 Konstruksi Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa masa pelayanan diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasan jalan sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan, dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Silvia Sukirman, 2003).

Menurut Pedoman Perencanaan Perkerasan Lentur Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah tahun 2022 susuna lapisan perkerasan diperlihatkan pada gambar dibawah



Gambar 2. 7 Susunan Lapis Perkerasan Jalan

(Sumber:Pt-01-2002-B)

1. Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapisan tanah dasar merupakan lapisan tanah yang berfungsi sebagai tempat perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan di atasnya. Menurut spesifikasi, tanah dasar ialah lapisan teratas dari timbunan badan jalan dengan tebal 30 cm, yang mempunyai persyaratan tertentu sesuai fungsinya.

2. Lapisan Fondasi Bawah (*Sub-Base Course*)

Lapisan fondasi bawah merupakan lapisan perkerasan yang terletak di atas lapisan tanah dasar dan dibawah lapisan fondasi atas, dengan fungsinya sebagai:

- a. Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar
- b. Lapisan peresapan agar air tidak berkumpul di fondasi
- c. Lapisan ini mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapisan fondasi atas.

3. Lapisan Fondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan ini sebagai lapisan perkerasan yang terletak di antara lapis fondasi bawah dan lapis fondasi permukaan yang mempunyai fungsi sebagai berikut :

- a. Perkerasan yang dapat menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya.
- b. Sebagai bantalan terhadap lapisan permukaan.

4. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan merupakan lapisan yang bersentuhan langsung dengan beban roda kendaraan. Lapisan permukaan ini memiliki fungsi sebagai berikut:

- a. Lapisan yang langsung menahan beban akibat roda kendaraan

- b. Lapisan yang langsung menahan gesekan akibat rem kendaraan (lapis aus)
- c. Lapisan yang mencegah air hujan agar tidak meresap ke lapisan bawahnya yang dapat melemahkan lapisan tersebut
- d. Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan di bawahnya.

Berdasarkan Peraturan Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2) ada beberapa syarat yang harus dipenuhi dalam lapis fondasi agregat yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 9 Sifat-sifat Lapis Fondasi Agregat dan Lapis Drainase

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

(Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2))

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan penelitian ini adalah

1. Hasil penelitian Ir. Banta Charullah, M.Ing. (2011) dalam jurnal penelitian yang berjudul “Stabilisasi Tanah Lempung Lunak Untuk Material Tanah Dasar *Sub Grade* Dan *Sub Base* Jalan Raya”. Dimana pada hasil penelitian ini menyatakan bahwa keberadaan semen dalam tanah telah merubah sifat-sifat fisis tanah. Berat jenis meningkat yang disebabkan oleh berat jenis semen lebih besar dari berat jenis tanah. Selain dari berat jenis yang meningkat perubahan kedua sifat batas konsistensi (batas cair dan batas plastis) tanah campuran semen tersebut juga berubah signifikan untuk menurunkan sifat plastisitas (indeks plastis)

2. Hasil penelitian Rasmia Noor Janah, Rida Respati, dan Norseta Ajie Saputra (2017) dalam jurnal penelitian yang berjudul “Pengaruh Matos Terhadap Stabilisasi Tanah Lempung Desa Mintin Dengan Semen Untuk Perkerasan Jalan Raya”. Dimana hasil penelitian ini menunjukkan bahwa stabilisasi semen ditambah matos dapat memperbaiki sifat fisik dan mekanik tanah lempung, pada sifat fisik berat volume, kadar air, berat jenis dan batas-batas *atterberg* mengalami penurunan setelah dilakukan stabilisasi.