

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tanah

Tanah adalah suatu benda alam yang terdapat dipermukaan kulit bumi, yang tersusun dari bahan-bahan mineral sebagai hasil pelapukan batuan, dan bahan-bahan organik sebagai hasil pelapukan sisa-sisa tumbuhan dan hewan, yang merupakan medium atau tempat tumbuhnya tanaman dengan sifat-sifat tertentu, yang terjadi akibat dari pengaruh kombinasi faktor-faktor iklim, bahan induk, jasad hidup, bentuk wilayah dan lamanya waktu pembentukan (Yuliprianto, 2010).

Dalam dunia konstruksi, tanah menduduki peran yang sangat penting dalam sebuah konstruksi bangunan. Tanah berguna sebagai bahan bangunan dalam berbagai macam pekerjaan teknik sipil. Fungsi utama dari tanah adalah sebagai pendukung pondasi dari sebuah bangunan. Fungsi tanah sebagai pendukung pondasi bangunan memerlukan kondisi tanah yang stabil, sehingga apabila ada sifat tanah yang kurang mampu mendukung bangunan harus diperbaiki terlebih dahulu agar mencapai daya dukung tanah yang diperlukan.

Menurut Das (1995) Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral - mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, di samping itu tanah berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan.

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

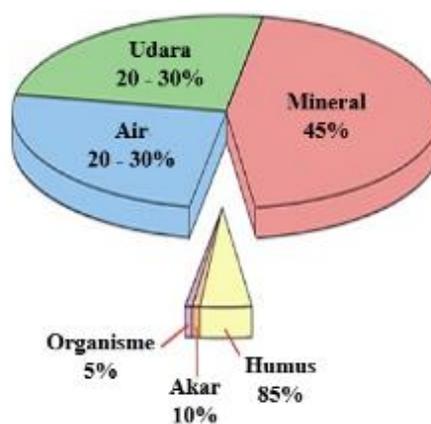
- a. Berangkal (*boulders*), merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).
- b. Kerikil (*gravel*), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
- c. Pasir (*sand*), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm)

- d. 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.
- e. Lempung (*clay*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif
- f. Koloid (*colloids*), partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

### 2.1.1 Komponen Penyusun Tanah

Bahan penyusun tanah tersusun atas empat komponen, yaitu bahan padat mineral, bahan padat organik, air dan udara. Bahan padat mineral terdiri atas bibir batuan dan mineral primer, lapukan batuan dan mineral, serta mineral sekunder. Bahan padat organik terdiri atas sisa dan rombakan jasad, terutama tumbuhan, zat humik, dan jasad hidup penghuni tanah, termasuk akar tumbuhan hidup (Darusman, 2006).

Secara umum bahan padatan menyusun sekitar 50% bahan tanah, dan 50% lagi berupa cairan dan gas. Bahan padatan terbagi menjadi sekitar 45% bahan mineral dan 5% bahan organik. Bahan cairan (air) dan gas (udara) secara bersamaan dan bergantian mengisi pori-pori tanah, masing-masing dengan kisaran 20-30% (Darusman, 2006)

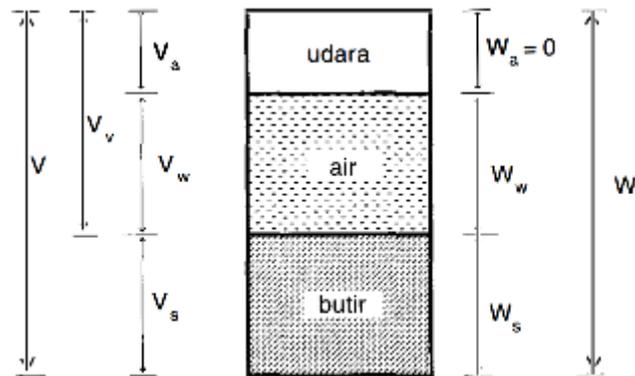


**Gambar 2.1** Penyusun tanah secara umum

Menurut Hardiyatmo (1992), tanah adalah ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun yang lainnya.

### 2.1.2 Komposisi Tanah

Segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Pada tanah kering hanya akan terdiri dari dua bagian yaitu butiran tanah dan pori-pori udara. Pada tanah jenuh juga terdapat dua bagian yaitu bagian padat atau butiran dan bagian air pori. Dalam keadaan tak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori (Hardiyatmo, 2002).



**Gambar 2.2** Penampang struktur tanah dalam sistem tiga fase

(Sumber: Soedarmo dan Purnomo, 1993)

Berdasarkan gambar diatas, maka dianggap bahwa massa tanah tersebut dalam sistem tiga fase yaitu udara, air, dan butir-butir padat. Didapat hubungan antara berat isi, kadar air, angka pori dan lain lain.

### 2.1.3 Jenis - Jenis Tanah

Jenis - jenis tanah berikut ini merupakan nama-nama yang biasa dipakai oleh insinyur praktis serta mandor berpengalaman, untuk klasifikasi tanah di lapangan. Adapun jenis – jenis tanah adalah sebagai berikut:

1. Pasir dan Kerikil, merupakan agregat tak berkohesi yang tersusun dari fragmen-fragmen *sub-angular* atau *angular*, agaknya berasal dari batuan atau mineral yang belum mengalami perubahan. Partikel berukuran sampai 1/8 inci dinamakan pasir dan yang berukuran 1/8 sampai 6 atau 8 inci disebut kerikil. Fragmen-fragmen bergaris-tengah lebih besar dari 8 inci dikenal sebagai bongkah (*Boulder*)
2. Lanau anorganik (*Inorganic Silt*), merupakan tanah berbutir halus dengan plastisitas kecil atau sama sekali tak ada. Jenis yang plastisitasnya paling kecil biasanya mengandung butiran kuarsa sedimensi, yang kadang-kadang disebut: tepurig batuan (*rock flour*), sedangkan yang sangat plastis mengandung partikel berwujud serpihan dan dikenal sebagai lanau plastis. Karena teksturnya halus, lanau anorganik sering dianggap sebagai lempung, tetapi sebenarnya dapat dibedakan tanpa pengujian laboratorium. Jika diguncang dalam telapak tangan, selapis lanau anorganik jenuh akan mengeluarkan air sehingga permukaannya akan terlihat berkilat. Selanjutnya bila dilekukkan di antara jari tangan. permukaannya kembali pudar tak berkilat. Prosedur ini dikenal sebagai uji guncangan. Setelah kering, lapisan menjadi rapuh, dan debu dapat dikelupas dengan menggosokkan jari tangan. lanau relatif bersifat kedap air. namun dalam keadaan lepas lanau bisa naik ke lubang pengeborana atau lubang galian seperti layaknya suatu cairan kental. Tanah paling tidak stabil. menurut kategori ini, dikenal secara setempat dengan nama berbeda-beda, misalnya: hati sapi (*hull's liver*).
3. Lanau organik merupakan tanah agak plastis, berbutir halus dengan campuran partikel-partikel bahan organik terpisah secara halus. Mungkin pula dijumpai adanya kulit-kulit dan fragmen tumbuhan yang meluruh sebagian. Warna tanah bervariasi dari abu-abu terang ke abu-abu sangat gelap, di samping itu mungkin mengandung  $H_2S$ ,  $CO_2$ , serta berbagai gas lain hasil peluruhan tumbuhan yang akan memberikan bau khas kepada tanah. Permeabilitas lanau organik sangat rendah sedang kompresibilitasnya sangat tinggi.
4. Lempung, merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan. dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam

keadaan kering sangat keras, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah. Istilah "gumbo" digunakan, khususnya di Amerika bagian barat, untuk lempung yang keadaan plastisnya ditandai dengan wujudnya yang bersabun atau seperti terbuat dari lilin, serta amat keras. Pada kadar air yang lebih tinggi (basah) lempung tersebut bersifat lengket.

5. Lempung organik, adalah lempung yang sebagian sifat-sifat fisis pentingnya dipengaruhi oleh adanya bahan organik yang terpisah. Dalam keadaan jenuh lempung organik cenderung bersifat sangat kompresibel, tapi pada keadaan kering kekuatannya (*strength*) sangat tinggi. Warnanya biasanya abu-abu tua atau hitam, di samping itu mungkin berbau menyolok.
6. Gambut (*peat*) adalah agregat agak berserat yang berasal dari serpihan makroskopik dan mikroskopik tumbuh-tumbuhan. Warnanya bervariasi antara coklat terang dan hitam. Gambut juga kompresibel, sehingga hampir selalu tak mungkin menopang pondasi. Berbagai macam teknik telah dicoba pengembangannya dalam rangka mendirikan tanggul tanah di atas lapisan gambut tanpa risiko runtuh, namun penurunan (*settlement*) tanggul semacam ini tetap cenderung besar serta berlanjut dengan laju yang makin berkurang selama bertahun - tahun.

Seandainya suatu tanah tersusun dari dua jenis tanah yang berbeda, maka campuran yang terbanyak (dominan) dinyatakan sebagai kata benda, sedang yang lebih sedikit atau kurang menonjol dinyatakan sebagai kata sifat. Misalnya: pasir lanauan, menyatakan tanah yang mengandung banyak pasir, sedangkan lanau hanya berjumlah sedikit saja. Lempung pasiran adalah tanah yang memperlihatkan sifat-sifat sebuah lempung tetapi mengandung sedikit pasir (Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck, 1987). Untuk menggolongkan tanah berdasarkan ukuran partikelnya, terdapat jenis-jenis tanah yang di pisahkan (*soil separated soil limits*) pada tabel berikut:

**Tabel 2.1** Batas-batas ukuran 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 (USCS)</i>	76,2 - 4,75	4,75 - 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) < 0,075	

(Sumber: Braja M Das, 1995)

## 2.2 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah pengelompokan berbagai jenis tanah ke dalam kelompok yang sesuai dengan karakteristiknya. Sistem klasifikasi ini menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi namun tidak ada yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai kemungkinan pemakainya (Das, 1995).

Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar. seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989 dalam Adha 2014). Klasifikasi tanah pada umumnya dibedakan dengan beberapa sistem, yaitu:

### 2.2.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini telah mengalami beberapa perbaikan, yang berlaku saat ini adalah yang diajukan oleh *Commite on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* pada tahun 1945 (ASTM Standar No. D-3282, AASHTO model M145).

Sistem klasifikasi AASHTO bermanfaat untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*sub-base*) dan tanah dasar (*sub-grade*). Karena sistem ini ditujukan untuk pekerjaan jalan tersebut, maka penggunaan sistem ini dalam prakteknya harus dipertimbangkan terhadap maksud aslinya.

Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO awalnya membagi tanah kedalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk subkelompok. Sistem ini membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam 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 ke dalam 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 sebagai berikut:

#### 1. Ukuran Butir

##### a. Kerikil

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

##### b. Pasir

bagian tanah yang lolos ayakan No. 20 (0,850 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0.075 mm).

##### c. Lanau dan lempung

bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.

## 2. Plastisitas

Plastisitas merupakan kemampuan tanah menyesuaikan perubahan bentuk pada volume konstan tanpa retak-retak atau remuk. Bergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat. Tingkat keplastisitas suatu tanah umumnya ditunjukkan dari nilai indeks plastisitas, yaitu selisih nilai batas cair dan batas plastis suatu tanah. Nama berlanau digunakan apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung digunakan apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.

3. Apabila batuan ukuran lebih besar dari 75 mm ditemukan dalam contoh tanah yang akan diuji maka batuan-batuan tersebut harus dicatat. Pengujian yang dijadikan patokan untuk mengklasifikasi adalah sama dengan sistem klasifikasi tanah unified yaitu analisis saringan dan batas-batas atterberg.

**Tabel 2.2** Sistem klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO

Klasifikasi Umum	Material Glanural ( <35% lolos saringan no. 200 )							Tanah - Tanah Lanau - Lempung ( > 35% lolos saringan no. 200 )			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analisa saringan , % lolos : No. 10 (2,00 mm) No. 40 (0,425 mm) No. 200 (0,075 mm)	50 maks 30 mks 15 maks	- 50 maks 25 maks	- 51 min 10 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min
Karakteristik fraksi lolos saringan no. 40 : Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	-		-	40 maks 10 maks	41min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min
Indeks Kelompok (GI)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar (Subgrade)	Sangat Baik sampai Baik							Sedang dampai Buruk			

(Sumber: Braja M Das, 1995)

Catatan:

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

Kelompok PL > 30, klasifikasinya A-7-5

Kelompok PL < 30, klasifikasinya A-7-6

Np = Nonplastis

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:

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

Dimana:

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:

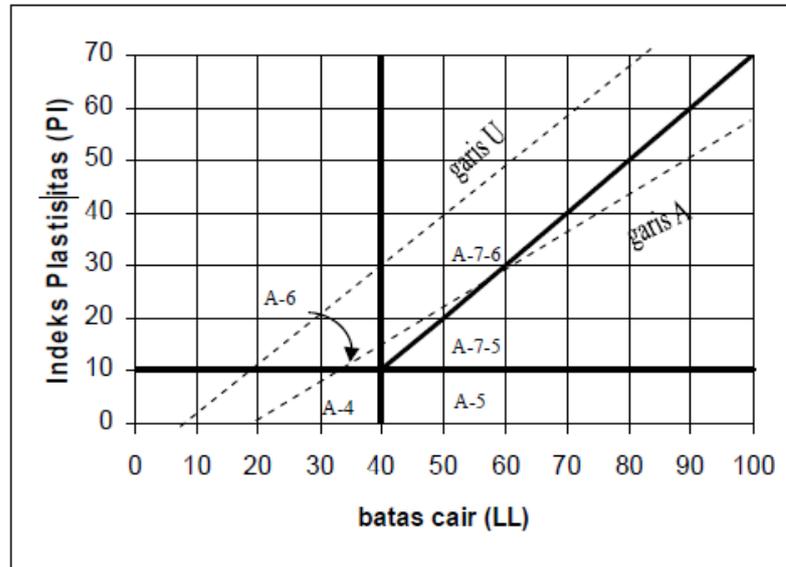
- a. Apabila persamaan di atas menghasilkan GI yang negatif, maka harga GI dianggap nol.
- b. Indeks grup yang dihitung dengan menggunakan persamaan di atas dibulatkan ke angka yang paling dekat.
- c. Tidak ada batas atas untuk indeks grup.
- d. Indeks grup untuk tanah yang masuk dalam kelompok A-1a,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

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

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

Apabila nilai indeks kelompok (GI) semakin tinggi, maka semakin berkurang pula ketepatan dalam penggunaan tanahnya. Tanah granuler masuk ke dalam klasifikasi A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granuler bergradasi baik sedangkan tanah A-3 merupakan pasir bersih yang bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk ke tanah granuler (kurang 35% lolos saringan no. 200), tetapi masih

mengandung lanau dan lempung. Klasifikasi tanah A-4 sampai A-7 merupakan tanah lempung-lanau yang perbedaannya didasarkan oleh nilai batas-batas Atterberg. **Gambar 2.3** dapat digunakan untuk memperoleh batas-batas antara batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk kelompok A-4 sampai A-7.



**Gambar 2.3** Nilai batas-batas atterberg untuk kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7  
(Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, *Mekanika Tanah I*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta 2002, hal 62)

### 2.2.2 Sistem Klasifikasi Unified Soil Classification System (USCS)

Sistem ini awalnya diperkenalkan oleh *Casagrande* dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers* selama Perang Dunia II. Pada masa kini sistem ini telah disempurnakan, sistem klasifikasi tersebut digunakan secara luas oleh para ahli teknik. Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu:

- a. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soil*), < 50% lolos saringan No. 200.
- b. Tanah berbutir halus (*fine-grained soil*), > 50% lolos saringan No. 200.

**Tabel 2.3** Sistem klasifikasi tanah *unified* berdasarkan kelompok

Jenis Tanah	Sifat	Sub Kelompok	Kohesi
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)

Simbol-simbol yang digunakan untuk sistem klasifikasi USCS adalah sebagai berikut:

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*)

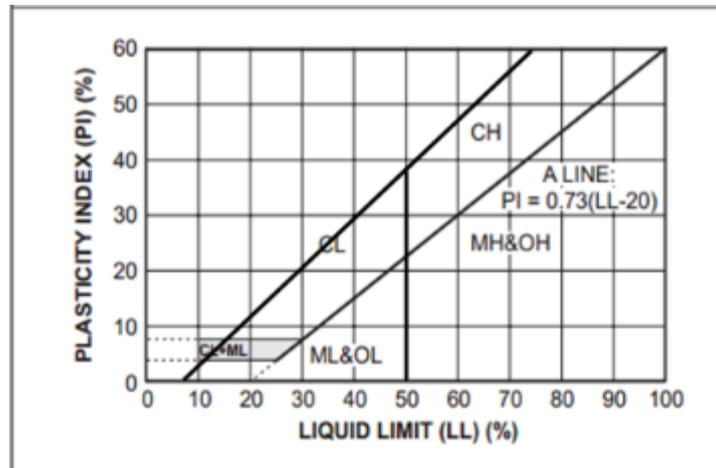
L = Plastisitas rendah (*low-plasticity*)

Pt = Tanah gambut (*peat*) dan tanah organik tinggi

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

1. Tanah berbutir-kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir-halus (*fine-grained-soil*), yaitu tanah di mana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung

(*clay*) anorganik, dan O untuk lanau-organik dan lempung-organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), muck, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.



**Gambar 2.4** Diagram plastisitas tanah berbutir halus USCS

(Sumber: Braja M Das, 1995)

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 organik 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 organik 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 dikalsifikasikan 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 Klasifikasi tanah berdasarkan USCS

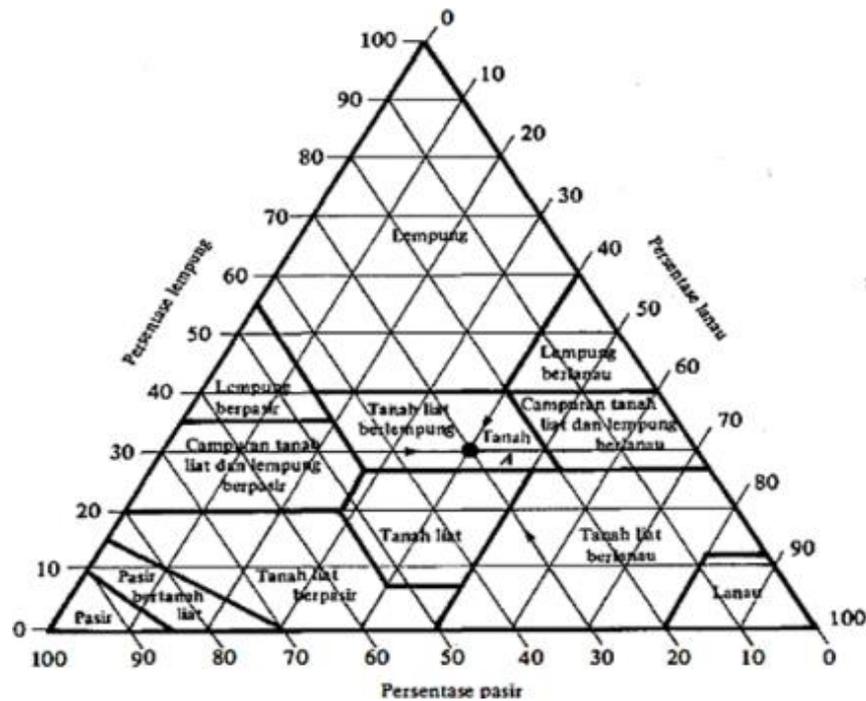
Divisi		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi		
Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar terahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3		
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 60$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ atau 1 dan 3	
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
		Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$	
			SC	Pasir berlanau, campuran pasir-lempung		Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol
		Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram plastisitas untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas atterberg yang termasuk dalam daerah yang diarsir berarti batasan. Miniskusnya menggunakan dua simbol.
				CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('clean clays')	
				OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
				MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis.	
Lanau dan lempung batas cair > 50%	Lanau dan lempung batas cair > 50%	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')	Batas Cair LL (%) Garis A: $PI = 0,73 (LL - 20)$		
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi			
		CL-ML				
		ML atau OL				
Tanah dengan organik tinggi			Gambut ('peat'), dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat ASTM Designation D-2488		

(Sumber: Braja M Das, 1995)

### 2.2.3 Sistem Klasifikasi United States Department of Agriculture (USDA)

*United States Department of Agriculture* (USDA) merupakan sebuah lembaga atau departemen pertanian Amerika Serikat yang mengklasifikasi tanah atau yang biasa dikenal dengan *soil taxonomy*. 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.

Butir-butir yang paling kecil adalah butir lempung, diikuti oleh butir lanau (*silt*), pasir, dan kerikil. Selain itu, ada juga tanah yang terdiri dari batu-batu. Tekstur tanah dikatakan baik apabila komposisi antara pasir, debu dan 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 padatanah jenis ini mudah mengalami kekeringan dan kekurangan hara. Pembagian Ukuran Fraksi-Fraksi Tanah (Tekstur) Menurut Sistem Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) Tahun 1938 dapat dilihat pada gambar berikut,



**Gambar 2.5** Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh departemen pertanian amerika serikat (USDA)

(Sumber: Braja M Das, 1995)

### 2.3 Tanah Lunak

Dalam Panduan Geoteknik 1, penggunaan istilah tanah lunak berkaitan dengan tanah-tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara berhati-hati dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir. Tanah tersebut mempunyai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi.

Pengertian tanah lunak menurut Rachlan (1986) dan Bina Marga (1999) adalah tanah yang umumnya terdiri dari tanah lempung termasuk material pondasi yang sangat jelek, karena kadar airnya yang tinggi, permeabilitas rendah dan sangat *compressible* dan tanah yang secara visual dapat ditembus dengan ibu jari minimum sedalam  $\pm 25$  mm, atau mempunyai kuat geser 40 kpa berdasarkan uji geser baling lapangan.

Menurut Oltz dan Kovacs (1981), mereka mendefinisikan tanah lunak adalah sebagai tanah yang mempunyai sebagian besar ukuran butirnya sangat halus atau lolos ayakan no. 200.

Menurut Dini (2014), beberapa sifat tanah lunak adalah sebagai berikut:

1. Gaya gesernya kecil
2. Kemampatan yang besar
3. Permeabilitas tinggi
4. Tanah lunak memiliki sifat kompresibilitas yang sangat tinggi. Salah satunya faktor penyebab tingginya tingkat kompresibilitas pada tanah lunak adalah karena tanah jenis ini memiliki angka pori yang tinggi.
5. Memiliki kadar air yang tinggi sehingga menyebabkan tanah lunak memiliki daya dukung yang sangat rendah dan memiliki masalah penurunan yang besar selama dan setelah konstruksi dibangun.

Menurut Panduan Geoteknik 1 (2001), tanah lunak dibagi dalam dua tipe, yaitu:

1. Lempung Lunak

Tanah ini mengandung mineral- mineral lempung dan memiliki kadar air yang tinggi, yang menyebabkan kuat geser yang rendah.

2. Gambut

Suatu tanah yang pembentuk utamanya terdiri dari sisa-sisa tumbuhan. Tipe tanah yang ketiga yaitu, lempuk organik, adalah suatu material transisi antara lempung dan gambut, tergantung pada jenis dan kuantitas sisa-sisa tumbuhan mungkin berperilaku seperti lempung atau gambut.

Dalam rekayasa geoteknik, klasifikasi ketiga tipe tanah tersebut dibedakan berdasarkan kadar organiknya, sebagai berikut:

**Tabel 2.5** Jenis tanah berdasarkan kadar organik

Jenis Tanah	Kadar Organik (%)
Lempung	< 25
Lempung Organik	25 - 75
Gambut	> 75

(Sumber: Panduan Geoteknik 1)

## 2.4 Stabilisasi Tanah

Sebagai salah satu hal penting dalam mendukung sebuah konstruksi tetap aman, tanah sebagai penahan beban haruslah memiliki daya dukung yang cukup untuk menahan beban dari konstruksi. Stabilisasi tanah adalah proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan atau memodifikasi struktur lapisan tanah agar dapat menaikkan daya dukung tanah, mempertahankan kekuatan geser dan mengurangi terjadinya deformasi tanah.

Semua tindakan mengubah struktur atau sifat asli pada tanah untuk disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi dan dapat memenuhi persyaratan menggunakan bahan-bahan tertentu merupakan tindakan yang dikategorikan sebagai upaya stabilisasi tanah. Punmia (1980) menyatakan bahwa stabilisasi tanah dalam pengetahuan luas mencakup berbagai metode yang digunakan untuk memodifikasi sifat tanah untuk memperbaiki kinerja tekniknya. Dalam hal ini menurut Punmia, stabilisasi memiliki tujuan utamanya yaitu untuk meningkatkan kekuatan atau stabilisasi tanah dan mengurangi biaya konstruksi dengan memanfaatkan sebaik-baiknya bahan yang tersedia secara lokal.

Menurut Darwis (2017) jika dilihat dari mekanisme global yang terjadi pada tindakan stabilisasi tanah, maka klasifikasi tindakan dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu sebagai berikut:

1. Perbaikan tanah (*soil improvement*) adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksud untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan dengan menggunakan bahan *additive* (kimiawi), pencampuran (*re-gradation*), pengeringan tanah (*dewatering*) atau melalui penyaluran energi statis/dinamis ke dalam lapisan tanah (fisik)
2. Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksud untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan dengan memberikan material sisipan ke dalam tanah tersebut.

Menurut Bowles (1991) dalam Jatmiko (2014), beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilkan tanah adalah sebagai berikut:

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

Untuk mencapai tujuan tersebut, proses stabilisasi ini bisa dilakukan dengan cara yang sederhana seperti pemadatan, hingga menggunakan teknik yang lebih efektif dan juga memerlukan dana yang cukup besar, yaitu dengan mencampur tanah dengan campuran pasir atau semen, grouting atau injeksi semen, abu terbang, Spent Bleaching Earth, kapur dan lain sebagainya. Adapun jenis-jenis stabilisasi tanah yang diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu:

#### 1. Stabilisasi Mekanis

Stabilisasi mekanis yaitu dengan memberikan material sisipan ke dalam lapisan tanah sehingga mampu meningkatkan karakteristik teknis dalam massa tanah sesuai dengan kebutuhan tindakan stabilisasi yang ingin dipenuhi. Karena keberadaan material sisipan dalam lapisan tanah, stabilisasi mekanis ini dapat diistilahkan sebagai perkuatan tanah (*soil reinforcement*)

#### 2. Stabilisasi Kimiawi

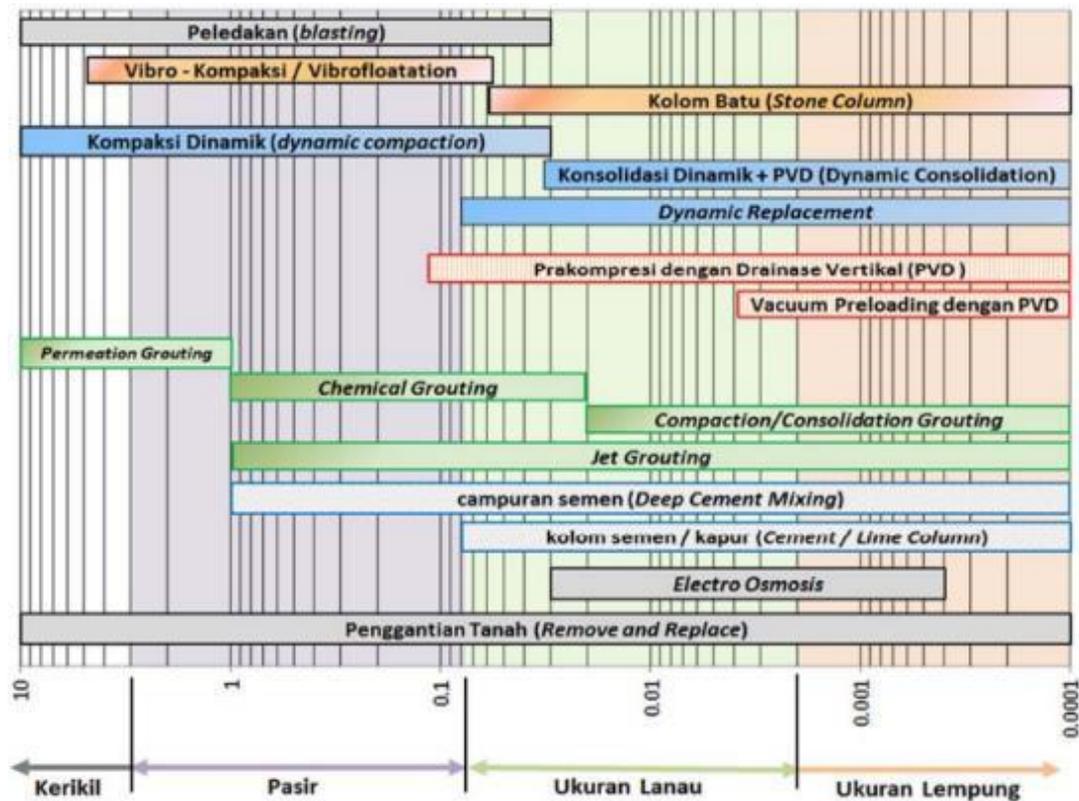
Stabilisasi dengan cara kimiawi yaitu dengan menambahkan bahan kimia tertentu dengan material tanah sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dengan bahan pencampurannya yang akan menghasilkan material baru yang memiliki sifat teknis yang lebih baik. Metode perbaikan tanah dengan bahan kimia dapat menggunakan bahan kimia dan/atau bubuk kimia yang dicampurkan dengan tanah yang akan diperbaiki dengan beberapa metode pencampuran yang disesuaikan kondisi bahan stabilizer maupun kondisi tanahnya. Jenis bahan *stabilizer* yang digunakan mempengaruhi target perbaikan

dimana jenis bahan secara kimiawi terdapat variasi bahan contohnya dengan menggunakan semen, kapur, *fly ash*, matos, dan beberapa limbah hasil pabrik.

### 3. Stabilisasi Hidrolis

Stabilitas dengan cara hidrolis yaitu upaya untuk mengeluarkan air dari massa tanah, sehingga kuat geser dan daya dukung tanah akan meningkat.

Perbaikan tanah dapat dilakukan untuk mendirikan bangunan atau infrastruktur berdasarkan gambar berikut,



**Gambar 2.6** Teknik perbaikan tanah

(Sumber: Hal. 66, SNI 8460-2017, Geoteknik)

Setelah jenis perbaikan tanah dipilih, maka perlu dilakukan area percobaan (*trial area*) untuk melakukan uji coba sistem perbaikan tanah tersebut. Area percobaan ini dapat ditiadakan bilamana perencanaan sudah yakin bahwa perancangan dan sistem pelaksanaan yang dipilihnya sudah tepat.

## 2.5 *Fly ash* (Abu Terbang)

*Fly ash* adalah limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batu bara. *Fly ash* merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan yang diperoleh dari hasil pembakaran batu bara. *Fly ash* mengandung unsur kimia antara lain silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), fero oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ), alkalin ( $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{K}_2\text{O}$ ), sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ), fosfor oksida ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) dan carbon (Apriyanti, 2014).

Berdasarkan SNI 03-6414 (2002) mendefinisikan *fly ash* atau abu terbang adalah limbah hasil pembakaran batu bara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus, bundar, dan bersifat *pozzolanic*. Sifat *pozzolanic* yang dimaksud karena *fly ash* mengandung bahan pozzolan yaitu kimia silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ferrum ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ).

Menurut ASTM C618 (ASTM 1980, Annual Books of ASTM Standards) *fly ash* dibagi menjadi dua kelas yaitu:

1. *Fly ash* kelas F yang dihasilkan dari pembakaran batu bara anthracite dan bituminous, dengan kadar kapur yang rendah ( $\text{CaO} < 10\%$ ). Memiliki sifat pozzolan dan untuk mendapatkan sifat *cementitious* perlu diberi penambahan kapur atau semen.
2. *Fly ash* kelas C yang dihasilkan dari pembakaran batu bara lignite atau subbituminous, dengan kandungan kapur ( $\text{CaO} > 10\%$ ). Selain memiliki sifat pozzolan juga memiliki sifat *selfcementing* yaitu kemampuan untuk mengeras apabila bereaksi dengan air.

Perbedaan utama dari kedua *fly ash* tersebut adalah banyaknya kalsium, silika, aluminium dan kadar besi dalam *fly ash* tersebut. Susunan kimia dan sifat fisik rata-rata abu terbang, ASTM C 618-78 dapat dilihat pada tabel berikut,

**Tabel 2.6** Susunan kimia dan sifat fisik rata-rata *fly ash*

Parameter	Fly ash	
	Kelas F	Kelas C
<b>A. Susunan Kimia</b>		
Silikon dioksida (SiO <sub>2</sub> ) + alumina oksida (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) + besi oksida (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) min (%)	70	50
Kalsium Oksida (CaO) (%)	< 10	> 10
Magnesium Oksida (MgO) maks (%)	5	5
Sulfur Trioksida (SO <sub>3</sub> ) maks (%)	5	5
Hilang pijar maks (%)	12	6
Total alkali Na <sub>2</sub> O maks (%)	1,5	1,5
Kadar air maks (%)	3	3
<b>B. Sifat-sifat Fisik</b>		
Pemuai dengan <i>autoclave</i> maks (%)	0,8	0,8
Kehalusan 45 µm maks (%)	34	34

(Sumber: ASTM C618-78)

## 2.6 Stabilisasi Tanah dengan *Fly ash* (Abu Terbang)

Stabilisasi tanah secara kimia yang saat ini banyak digunakan untuk memperbaiki tanah dasar (*subgrade*) yaitu stabilisasi dengan penambahan *fly ash*. Jika *fly ash* dicampur dengan tanah akan terjadi proses lekatan sementasi (*selfcementing*) akibat pengaruh *pozzolan* atau sifat pengerasan alami *fly ash* karena kondisi pemadatan dan air. Kecepatan reaksi *pozzolan* tidak hanya bergantung pada waktu tetapi juga dipengaruhi oleh bahan-bahan yang bereaksi dan juga temperaturnya. Hasil campuran tanah, *fly ash*, dan air ini menghasilkan tanah yang memiliki sifat atau karakteristik teknis yang lebih baik dibandingkan sebelumnya (Brooks, 2009). Keunggulan penambahan *fly ash* sebagai bahan stabilisasi karena nilai ekonomis yang tinggi dibanding bahan lainnya.

## 2.7 Matos *Soil Stabilizer*

Matos *Soil Stabilizer* 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 diantara partikel-partikel tanah. Dan membentuk rongga-rongga mikron yang bisa menyerap air (porositas), sehingga tidak akan terjadi pembentukan *sulfuric acid* yang menyebabkan terjadinya keretakan.

## 2.8 Konstruksi Perkerasan Jalan Raya

Perkerasan jalan adalah konstruksi yang dibangun di atas lapisan tanah dasar (*subgrade*), yang berfungsi untuk menopang beban lalu lintas. Jenis konstruksi perkerasan jalan pada umumnya ada 2 jenis, yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Selain dari dua jenis tersebut, sekarang telah banyak digunakan jenis gabungan (*composite pavement*), yaitu perpaduan antara lentur dan kaku. (Sukirman, 1999).

Konstruksi perkerasan adalah konstruksi yang terletak antara tanah dan roda kendaraan yang berfungsi untuk mengurangi tegangan pada tanah dasar (*subgrade*) sampai batas yang diizinkan. Fungsi perkerasan adalah:

1. Untuk memikul beban lalu lintas secara aman dan nyaman dan selama umur rencana tidak terjadi kerusakan yang berarti.
2. Sebagai pelindung tanah dasar terhadap erosi akibat air.
3. Sebagai pelapis perantara untuk menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

### 2.8.1 Jenis Konstruksi Perkerasan Jalan

Menurut Sukirman (1992) berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas hal berikut:

1. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*)

Konstruksi perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*)

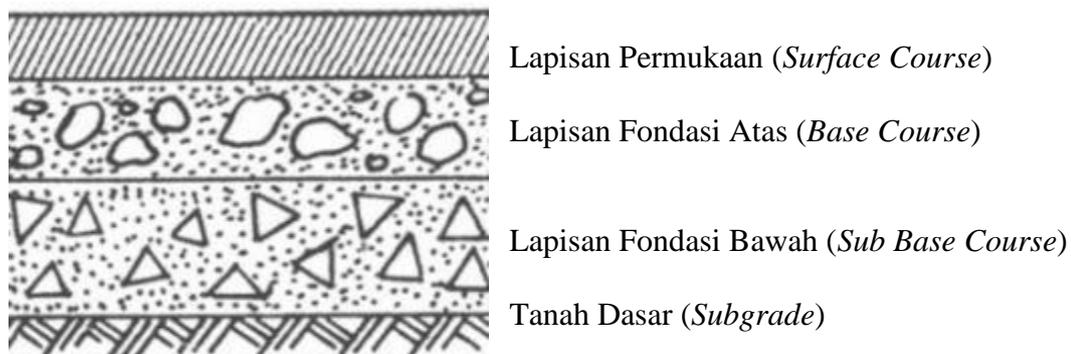
Konstruksi perkerasan kaku adalah perkerasan yang menggunakan semen (*Portland Cement*) sebagai bahan pengikat, Plat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian dipikul oleh pelat beton.

3. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*)

Konstruksi perkerasan komposit adalah perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau kaku di atas permukaan lentur.

### 2.8.2 Lapisan Penyusun Konstruksi Jalan

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipampatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan dibawahnya (Sukirman, 1992). Berikut adalah susunan dari lapisan penyusun konstruksi jalan,



**Gambar 2.7** Struktur lapisan perkerasan jalan.

Lapisan konstruksi perkerasan lentur terdiri dari:

#### 1. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan permukaan pada umumnya dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal, sehingga menghasilkan lapisan yang kedap air dengan stabilitas yang tinggi dan daya tahan yang lama. Lapisan ini terletak paling atas, yang berfungsi sebagai berikut:

- a. Sebagai bahan perkerasan untuk menahan beban roda kendaraan.
- b. Sebagai lapisan rapat air untuk melindungi badan jalan kerusakan akibat cuaca.
- c. Sebagai lapisan aus (*wearing course*)

Bahan untuk lapisan permukaan umumnya adalah sama dengan bahan untuk lapis pondasi, dengan persyaratan yang lebih tinggi. Penggunaan bahan aspal diperlukan agar lapisan dapat bersifat kedap air, disamping itu bahan aspal sendiri memberikan bantuan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu lintas.

#### 2. Lapisan Fondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan fondasi atas terletak tepat di bawah lapisan perkerasan, maka lapisan ini bertugas menerima beban yang berat. Oleh karena itu material yang digunakan

harus berkualitas tinggi dan pelaksanaan di lapangan harus benar. Fungsi dari *base course* adalah sebagai berikut:

- a. Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda ke lapisan di bawahnya.
- b. Sebagai bantalan terhadap lapisan permukaan.

### 3. Lapisan Fondasi Bawah (*Sub Base Course*)

Lapisan fondasi bawah adalah lapis perkerasan yang terletak diantara lapis fondasi atas dan tanah dasar. Fungsi dari lapisan fondasi bawah adalah:

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

### 4. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Lapisan paling bawah adalah permukaan tanah asli/ dasar, tanah galian atau tanah timbunan yang menjadi dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya. Perkerasan lain diletakkan di atas tanah dasar, sehingga secara keseluruhan mutu dan daya tahan seluruh konstruksi perkerasan tidak lepas dari sifat tanah dasar. Tanah dasar harus dipadatkan hingga mencapai tingkat kepadatan tertentu sehingga mempunyai daya dukung yang baik. Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Umumnya persoalan yang menyangkut tanah dasar adalah sebagai berikut:

- a. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari macam tanah tertentu akibat beban lalu lintas.
- b. Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
- c. Daya dukung tanah yang tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dengan macam tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya, atau akibat pelaksanaan.
- d. Lendutan dan lendutan balik selama dan sesudah pembebanan lalu lintas dari macam tanah tertentu.

Berdasarkan Peraturan Pelaksanaan Pembangunan Jalan Raya Departemen Pekerjaan Umum (1972), berbagai jenis tanah setempat bisa digunakan sebagai material jalan raya dengan ketentuan yang terdapat pada tabel berikut,

**Tabel 2.7** Persyaratan nilai CBR dan PI untuk konstruksi badan jalan

Material	CBR (%)	PI (%)
<i>Sub-Grade</i>	$\geq 6$	$\leq 15$
<i>Sub-Base</i>	$\geq 20$	$\leq 10$
<i>Base Course</i>	$\geq 50$	$\leq 4$

(Sumber: Anonym, 1972)

## 2.9 Kelas Lapis Fondasi Agregat

Terdapat empat kelas yang berbeda dari lapis fondasi agregat, yaitu kelas A, kelas B, kelas C dan Kelas S. Pada umumnya lapis fondasi agregat kelas A adalah mutu lapis fondasi atas untuk lapisan di bawah lapisan beraspal, dan lapis fondasi agregat kelas B adalah untuk lapis fondasi bawah. lapis fondasi agregat kelas S akan digunakan untuk bahu jalan tanpa penutup aspal dan lapis fondasi agregat kelas C dapat digunakan untuk bahu jalan tanpa penutup untuk LHRT < 2000 kendaraan/hari pada jalur lalu lintas (*carriageaway*)

### 2.9.1 Fraksi Agregat Kasar

Agregat kasar yang tertahan pada ayakan 4,75 mm harus terdiri dari partikel atau pecahan batu atau kerikil yang keras dan awet. Bahan yang pecah bila berulang-ulang dibasahi dan dikeringkan tidak boleh digunakan.

### 2.9.2 Fraksi Agregat Halus

Agregat halus lolos ayakan 4,75 mm harus terdiri dari partikel pasir alami atau batu pecah halus dan partikel halus lainnya. Fraksi bahan yang lolos ayakan No.200 tidak boleh melampaui dua per tiga fraksi bahan lolos No. 4.

### 2.9.3 Sifat-sifat Bahan yang Disyaratkan

Seluruh lapis fondasi agregat harus bebas dari bahan organik dan gumpalan lempung atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki dan setelah dipadatkan harus memenuhi ketentuan gradasi (menggunakan pengayakan secara basah) dan memenuhi sifat-sifat yang diberikan dalam **Tabel 2.8** dan memenuhi sifat-sifat lapis fondasi agregat dalam **Tabel 2.9** berikut,

**Tabel 2.8** Gradasi lapis fondasi agregat dan lapis drainase.

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	100
1"	25,0	79 - 85	70 - 85	77 - 89	71 - 87
¾"	19,0				58 - 74
½"	12,5				44 - 60
3/8"	9,50	44 - 58	30 - 65	41 - 66	34 - 50
No.4	4,75	29 - 44	25 - 55	26 - 54	19 - 31
No.8	2,36				8 - 16
No.10	2,0	17 - 30	15 - 40	15 - 42	
No.16	1,18				0 - 4
No.40	0,425	7 - 17	8 - 20	7 - 26	
No.200	0,075	2 - 8	2 - 8	4 - 16	

(Sumber: SPESIFIKASI UMUM 2018 (Revisi 3) DIVISI 5)

**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 <sup>1)</sup>	55/50 <sup>2)</sup>	55/50 <sup>2)</sup>	80/75 <sup>3)</sup>
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: SPESIFIKASI UMUM 2018 (Revisi 3) DIVISI 5)

## 2.10 Tanah Timbunan

Tanah timbunan biasanya digunakan untuk kegiatan timbunan. Timbunan adalah suatu cara atau metode beserta materialnya yang digunakan dalam pekerjaan tanah yang bertujuan untuk menyetarakan atau *levelling* suatu elevasi tanah. Timbunan dibagai menjadi 2 jenis yaitu timbunan biasa dan timbunan pilihan, keduanya sama namun perbedaan hanya terdapat dari jenis material timbunannya. Berikut adalah jenis dari timbunan:

### 2.10.1 Timbunan Biasa

Timbunan yang diklasifikasikan sebagai timbunan biasa harus terdiri dari bahan galian tanah atau bahan galian batu yang disetujui oleh Direksi Pekerjaan sebagai bahan yang memenuhi syarat untuk digunakan dalam pekerjaan permanent seperti yang dipersyaratkan dalam Spesifikasi (Spesifikasi Umum 2018, Divisi 3).

Bahan yang dipilih sebaiknya tidak termasuk tanah yang dengan plastisitas tinggi, yang diklasifikasikan sebagai A-7 – 6 menurut AASHTO M145 atau sebagai CH menurut “*Unified* atau *Casagrande Soil Classification System*”. Jika penggunaan tanah yang dengan plastisitas tinggi tidak bisa dihindari, maka bahan tersebut harus digunakan hanya pada bagian dasar dari timbunan atau pada penimbunan kembali yang tidak memerlukan kekuatan geser atau daya dukung yang tinggi. Tanah dengan plastis seperti itu sangat tidak dianjurkan digunakan pada 30 cm lapisan langsung di bawah bagian dasar perkerasan atau bahu jalan atau tanah dasar bahu jalan. Timbunan untuk lapisan ini bila diuji dengan SNI 03-1744-1989, harus memiliki CBR lebih dari 6 % setelah perendaman 4 hari bila dipadatkan 100% kepadatan kering maksimum (MDD) sesuai dengan ketentuan SNI 03-1742-1989.

Tanah dengan kualitas rendah yang memiliki nilai aktif lebih besar dari 1,25, atau derajat pengembangan yang diklasifikasikan oleh AASHTO T258 sebagai “*very high*” atau “*extra high*”, tidak dapat digunakan sebagai bahan timbunan. Nilai aktif adalah perbandingan antara indeks plastisitas (IP) (SNI 03-1966-1989) dan persentase kadar lempung (SNI 03-3422-1994).

### 2.10.2 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:

1. Timbunan hanya boleh diklasifikasikan sebagai “Timbunan Pilihan” bila digunakan pada lokasi atau untuk maksud yang telah ditentukan atau disetujui secara tertulis oleh pengawas.
2. 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.

## 2.11 Sifat - Sifat Fisis Tanah

Sifat fisis tanah merupakan sifat tanah yang didasarkan oleh bentuk, warna ukuran butir tanah, dan tekstur tanah tersebut. Untuk mendapatkan sifat-sifat fisis tanah, ada beberapa pengujian yang harus diketahui terlebih dahulu, diantaranya adalah sebagai berikut:

### 2.10.1 Kadar Air (*Moisture Content/Water Content*)

Kadar air merupakan perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat butiran tanah kering yang dinyatakan dalam persen (%). Metode pengeringan atau metode oven biasa merupakan suatu metode untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkan air tersebut dengan menggunakan energi panas. Prinsip dari metode oven pengering adalah bahwa air yang terkandung dalam suatu bahan akan menguap bila bahan tersebut dipanaskan pada suhu tertentu selama waktu tertentu. Secara matematis kadar air tanah dirumuskan sebagai berikut:

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

$W$  = Kadar air (%)

$W_w$  = Berat air (gr)

$W_s$  = Berat butiran tanah kering (gr)

### 2.10.2 Berat Volume (*Unit Weight*)

Pemeriksaan berat volume tanah bertujuan untuk mengetahui berat volume dari suatu sampel tanah sehingga tanah dapat diklasifikasikan sesuai dengan standar yang sudah ditentukan. Berat volume tanah dibedakan menjadi dua yaitu berat volume tanah basah (*moist unit weight*) dan berat volume tanah kering (*dry unit weight*).

Berat volume tanah basah ( $\gamma_b$ ), adalah rasio antara berat butiran tanah termasuk air dan udara ( $W$ ) dengan volume total tanah ( $V$ ). Persamaan untuk berat volume tanah basah adalah sebagai berikut:

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

$\gamma_b$  = Berat volume tanah basah (gr/cm<sup>3</sup>)

$W$  = Berat tanah basah (gr)

$V$  = Volume tanah basah (cm<sup>3</sup>)

Berat volume tanah kering ( $\gamma_d$ ), adalah rasio antara berat butiran ( $W_s$ ) dengan volume total tanah ( $V$ ). Persamaan untuk berat volume tanah kering adalah sebagai berikut:

$$\gamma_d = \frac{W_d}{V} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

$\gamma_d$  = Berat volume tanah kering (gr/cm<sup>3</sup>)

$W_d$  = Berat tanah kering (gr)

$V$  = Volume tanah kering (cm<sup>3</sup>)

### 2.10.3 Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis tanah ( $G_s$ ) tanah didefinisikan sebagai angka perbandingan antara berat dari suatu volume tanah ( $\gamma_s$ ) terhadap berat dari volume air ( $\gamma_w$ ). Berat jenis tanah tidak memiliki satuan dan dimensi. Rumus untuk mencari berat jenis tanah adalah sebagai berikut:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

$G_s$  = Berat jenis tanah (*specific gravity*)

$\gamma_s$  = Berat volume butiran padat ( $\text{gr/cm}^3$ )

$\gamma_w$  = Berat volume air pada temperatur  $27,5^\circ\text{C}$  ( $\text{gr/cm}^3$ )

Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam tabel berikut,

**Tabel 2.10** Berat jenis tanah berdasarkan jenis tanah

Macam Tanah	Berat Jenis ( $G_s$ )
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: Hary Christady Hardiyatmo, *Mekanika Tanah I, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta 2002, hal 5*)

### 2.10.4 Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemampuan tanah dalam meneruskan air melalui pori - porinya. Sedangkan rembesan atau *seepage* adalah proses mengalirnya air dari pori - pori tanah. Besarnya kemampuan tanah dalam meneruskan air disimbolkan dalam huruf "k" atau biasa disebut dengan koefisien permeabilitas. Dalam teknik sipil nilai "k" biasanya disebut sebagai koefisien permeabilitas. Koefisien permeabilitas tanah adalah tergantung pada beberapa faktor yaitu kekentalan cairan, distribusi ukuran pori, distribusi ukuran butir, angka pori, kekasaran permukaan butiran tanah dan derajat kejenuhan tanah. Pada tanah berlempung, struktur tanah memegang

peranan penting dalam menentukan koefisien permeabilitas. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi sifat permeabilitas tanah lempung adalah konsentrasi ion dan ketebalan lapisan air yang menempel pada butiran lempung.

Suatu bahan dikatakan permeabel jika mengandung pori-pori yang menerus. Karena pori-pori yang demikian ada pada semua tanah termasuk lempung yang paling kaku dan juga pada semua bahan konstruksi nonlogam, termasuk granit yang kokoh dan semen murni, maka semua bahan ini pun adalah permeabel. Jadi, aliran-aliran air yang melalui berbagai bahan tersebut pada dasarnya ekuivalen, artinya tunduk pada hukum-hukum yang serupa. Perbedaan di antara aliran air yang melalui pasir bersih dan granit padat adalah salah satu dari keadaan ini.

**Tabel 2.11** Karakteristik permeabilitas dan pengaliran air tanah

Nilai k	10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup>	10	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>
Pengaliran Air	Baik				Buruk				Secara praktis kedap			
Jenis tanah	Kerikil bersih	Pasir bersih, campuran pasir bersih dan kerikil		Pasir sangat halus, lanau organik dan anorganik, campuran pasir lanau dan lempung, till glasial, endapan lempung terstratifikasi, dan lain lain				Tanah kedap, misal lempung homogen di bawah lajur pelapukan				
		Tanah kedap yang dimodifikasi oleh efek tumbuhan dan pelapukan										
Penentuan langsung nilai k	Pengujian langsung tanah dalam posisi asli uji pemompaan. Handal jika dilakukan selayaknya. Diperlukan pengalaman yang sangat banyak						-					
Penentuan tak langsung nilai k	-		Permeter hulu jatuh. Handal. Diperlukan sedikit pengalaman		Permeter hulu jatuh. Tidak handal. Diperlukan banyak pengalaman.		Permeter hulu jatuh. Agak handal. Diperlukan sangat banyak pengalaman					
	Perhitungan dari sebaran ukuran butiran. Dapat diterapkan hanya untuk pasir tak berkoehsi halus dan kerikil				-				Perhitungan berdasarkan hasil uji konsolidasi. Handal. Diperlukan pengalaman yang sangat banyak.			

(Sumber: Terzaghi dan Peck, 1987)

### 2.10.5 Analisa Butiran Tanah

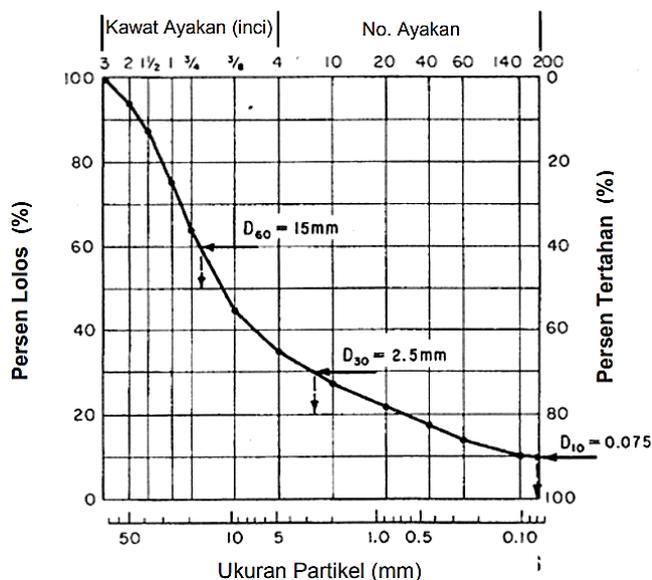
Sifat-sifat tanah sangat tergantung pada ukuran butirannya. Besar butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanahnya. Oleh karena itu analisa butiran merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan. Analisa butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu. Tujuan umum dari analisa ini adalah untuk mengetahui persentase susunan butir tanah sesuai dengan batas klasifikasinya sehingga dapat diketahui jenis contoh tanah yang diuji. Dalam pengujian ini digunakan standar ASTM D422-63 (1990). Percobaan ini terdiri dari 2 macam percobaan, yaitu:

1. Analisa hidrometer (*Hydrometer Analysis*)

Analisa hidrometer yaitu untuk mengetahui diameter butir tanah yang lebih kecil dari 0,074 mm atau lolos saringan no. 200. Analisis hidrometer sangat efektif digunakan untuk memisahkan fraksi tanah halus sampai dengan ukuran kira-kira  $0,5\eta$ . Analisa *hydrometer* didasarkan pada prinsip sedimentasi butir-butir tanah dalam air. Contoh tanah yang akan diuji dilarutkan di dalam air, dan dalam keadaan jatuh bebas butir-butir tanah turun mengendap ke dasar tabung tempat larutan tanah air itu ditempatkan. Kecepatan mengendap dari butir-butir tanah akan berbeda-beda, tergantung dari ukuran butir tanah tersebut. Ukuran butir yang lebih besar dan lebih berat akan mengalami sedimentasi (mengendap) terlebih dahulu dengan kecepatan mengendap lebih besar dari butiran yang lebih kecil dan lebih ringan, agar gumpalan tanah cepat terurai maka digunakan bahan dispersi.

2. Analisa saringan (*Sieve Analysis*)

Analisa saringan adalah mengayak dan menggetarkan contoh tanah dengan ukuran partikel-pratikel lebih besar dari 0,075 mm melalui satu set ayakan dimana lubang-lubang ayakan tersebut makin kecil secara berurutan. Berdasarkan SNI-6371-2015, standar ayakan ditinjau dari nomor ayakan dan ukuran lubang dapat dilihat pada gambar berikut,



**Gambar 2.8** Distribusi ukuran partikel kumulatif

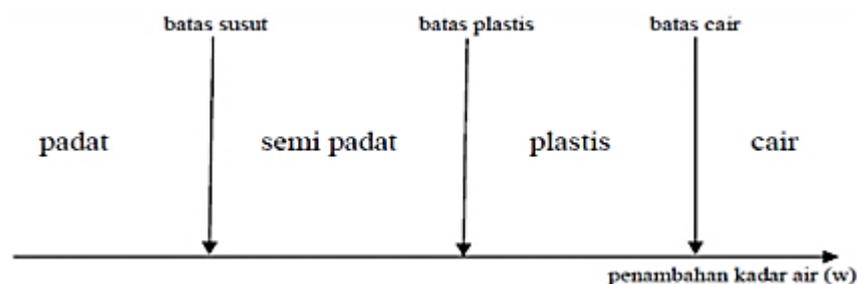
(Sumber: SNI-6371-2015)

### 2.10.6 Batas - Batas Atterberg (*Atterberg Limits*)

Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Pada konsistensi bergantung pada gaya tarik antara partikel mineral lempung. Atterberg pada tahun 1911 memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah yang bervariasi. Batas-batas tersebut dinamakan batas cair (*Liquid Limit*), batas plastis (*Plastic Limit*), dan batas susut (*Shrinkage Limit*). Batas-batas ini dikenal sebagai batas-batas Atterberg (*Atterberg limits*).

Batas-batas konsistensi tanah didasarkan pada kadar airnya. Kadar air, dinyatakan dalam persen, di mana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi-padat didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Kadar air di mana terjadi transisi dari keadaan semi-padat ke keadaan plastis dinamakan batas plastis (*plastic limit*) dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*). Indeks plastisitas merupakan interval kadar air tanah di mana tanah masih bersifat plastis. Batasan nilai indeks plastisitas, sifat tanah, macam tanah dan kohesi diberikan oleh Atterberg. (1953, dalam Hardiyatmo 2006)

Berdasarkan ASTM D 4318-95a, suatu sampel keadaan kering dengan butir halus (lempung atau lanau) yang dicampurkan air hingga mencapai keadaan cair secara perlahan maka akan bertransisi seperti yang ditunjukkan gambar berikut,

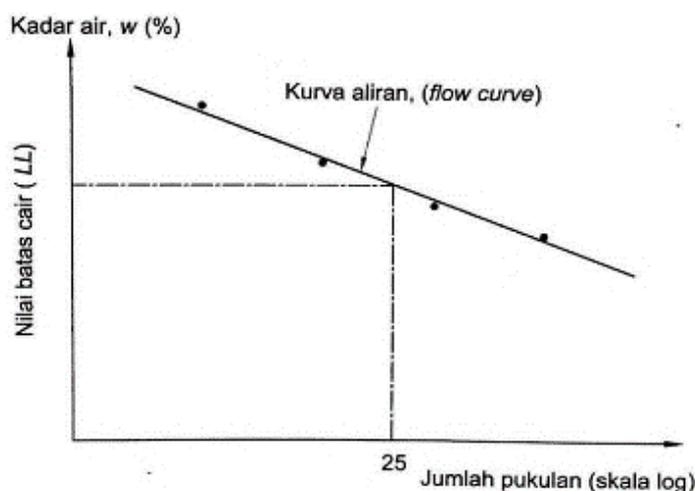


**Gambar 2.9** Kondisi batas-batas atterberg

#### 1. Batas Cair/ *Liquid limit* (LL)

Batas cair (LL) adalah keadaan dimana kadar air tanah pada kondisi tanah mulai berubah dari keadaan plastis menjadi cair atau sebaliknya yaitu batas antara keadaan cair dan keadaan plastis atau juga batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari uji Casagrande, kemudian dihubungkan kadar air

dan jumlah pukulan yang didapatkan dari hasil pengujian menggunakan alat Casagrande digambarkan dalam grafik semi logaritmik untuk menentukan kadar air pada 25 kali pukulan. Berikut ini **Gambar 2.10** memperlihatkan grafik untuk menentukan nilai batas cair tanah.



**Gambar 2.10** Grafik untuk menentukan batas cair tanah lempung  
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

## 2. Batas Plastis/ *Plastic Limit* (PL)

Batas plastis (PL) didefinisikan sebagai kadar air pada posisi antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,1 mm (1/8 inch) mulai retak-retak ketika digulung. Batas plastis merupakan batas terendah dari tingkat keplastisan suatu tanah. Penentuan kadar air ini dilakukan dengan cara melakukan pengguliran pada sampel tanah di atas plat kaca hingga diameter tanah mencapai 3,1 mm. Apabila tanah mulai retak atau pecah pada saat diameternya mencapai 3,1 mm, maka kadar air tanah tersebut merupakan batas plastis.

## 3. Batas Susut/ *Shrinkage Limit* (SL)

Batas susut (SL) adalah keadaan dimana kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu presentase kadar air pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Pada percobaan batas susut dilakukan dengan cawan. pada bagian dalam cawan porselin dilapisi dengan pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna, kemudian dikeringkan dengan oven. Volume ditentukan dengan cara mencelupkan dengan air raksa.

#### 4. Indeks Plastisitas/ *Plasticity index* (PI)

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dengan batas plastis. Indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisitasan suatu tanah. Hal ini disebabkan oleh PI yang merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Nilai PI dapat dicari dengan Persamaan 2.7.

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

PI = Indeks plastisitas (%)

LL = Batas cair (%)

PL = Batas plastis (%)

Jika tanah memiliki nilai PI yang tinggi, maka tanah tersebut mengandung banyak butiran lempung. Namun jika tanah memiliki nilai PI yang rendah, maka tanah tersebut seperti lanau yang mengalami sedikit pengurangan kadar air sehingga tanah menjadi kering. Batasan mengenai tingkat indeks plastisitas tanah dengan sifat, macam tanah dan kohesi, diberikan oleh Atterberg pada tahun 1911. Nilai indeks plastisitas dan macam tanah dapat dilihat pada berikut ini.

**Tabel 2.12** Nilai indeks plastisitas dan macam tanah

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

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

#### 2.12 Ukuran Efektif, Koefisien Keseragaman dan Koefisien Gradasi

Kurva distribusi ukuran-butiran dapat digunakan untuk membandingkan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda. Selain itu ada tiga parameter dasar yang dapat ditentukan dari kurva tersebut, dan parameter-parameter tersebut dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berbutir kasar. Parameter-parameter tersebut adalah:

1. Ukuran efektif (*effective size*).
2. Koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*).
3. Koefisien gradasi (*coefficient of gradation*).

Diameter dalam kurva distribusi ukuran-butiran yang bersesuaian dengan 10% yang lebih halus (lolos ayakan) didefinisikan sebagai ukuran efektif, atau  $D_{10}$ . Koefisien keseragaman diberikan dengan hubungan:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana:

$C_u$  = Koefisien keseragaman.

$D_{60}$  = Diameter yang bersesuaian dengan 60% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butiran.

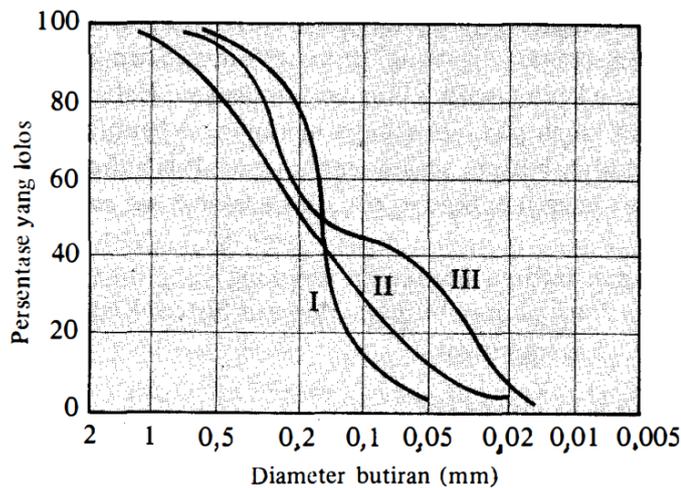
Koefisien gradasi dinyatakan sebagai,

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana:

$C_c$  = Koefisien gradasi.

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



**Gambar 2.11** Macam -macam tipe kurva distribusi ukuran-butiran.  
(Sumber: *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*)

Kurva distribusi ukuran-butiran tidak hanya menunjukkan rentang (*range*) dari ukuran butir yang dikandung di dalam tanah saja, tetapi juga menunjukkan tipe dari kurva distribusi ukuran butiran tersebut. Hal ini ditunjukkan dalam **Gambar 2.11**. Kurva I mewakili suatu tipe tanah di mana sebagian besar dari butirannya mempunyai ukuran yang sama dinamakan tanah bergradasi buruk (*poorly graded soil*). Kurva II mewakili tanah di mana ukuran butirannya terbagi merata di dalam rentang yang lebar dan dinamakan tanah bergradasi baik (*well graded*). Tanah bergradasi baik akan mempunyai koefisien keseragaman lebih besar dari 4 untuk kerikil dan 6 untuk pasir, dan koefisien gradasi antara 1 dan 3 (untuk kerikil dan pasir). Suatu tanah mungkin mempunyai kombinasi dari dua atau lebih fraksi dengan gradasi yang sama. Jenis tanah tersebut diwakili oleh kurva III yang dinamakan tanah bergradasi senjang (*gap graded*).

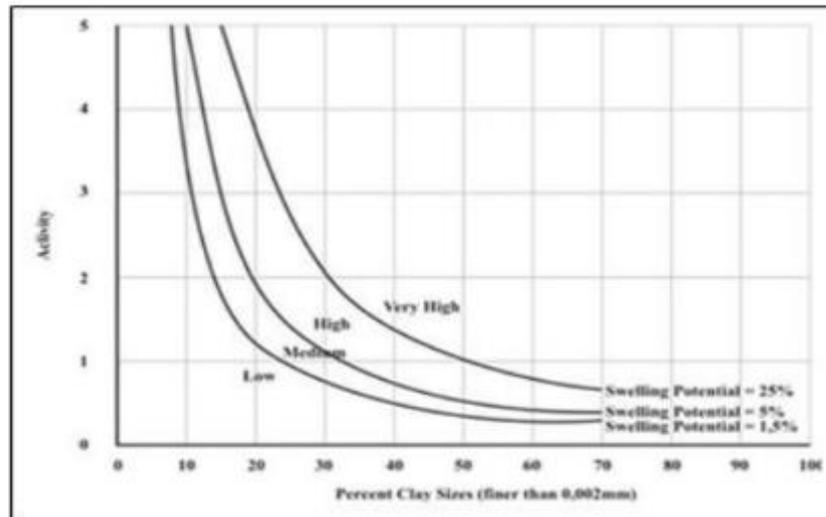
### 2.13 Aktivitas (A) Tanah Lempung

Ketebalan air mengelilingi butiran tanah lempung tergantung dari macam mineralnya. Plastisitas tanah lempung menjadi tolak ukur yaitu sifat mineral lempung yang ada pada butiran dan jumlah mineralnya. Bila ukuran butiran semakin kecil, maka luas permukaan butiran semakin besar. Pada konsep Atterberg, jumlah air yang tertarik oleh permukaan partikel tanah akan bergantung pada jumlah partikel lempung yang ada di dalam tanah. Aktivitas merupakan perbandingan antara indeks plastisitas dengan persen fraksi ukuran lempung (persen dari berat butiran yang lebih kecil dari 0,002 mm).

**Tabel 2.13** Angka aktivitas tanah lempung

<i>Classification</i>	<i>Activity</i>
<i>Inactive clays (kaolinite)</i>	< 0,75
<i>Normal clays (illite)</i>	0,75 – 1,25
<i>Active (montmorillonite)</i>	> 1,25

(Sumber: Skempton, 1953)



**Gambar 2.12** Grafik klasifikasi potensi pengembangan  
(Sumber: Seed et al., 1962)

#### 2.14 Penelitian Terdahulu

1. Hangge, Elsy E., (2021). "Pemanfaatan Fly ash Untuk Stabilisasi Tanah Dasar Lempung Ekspansif". Tanah lempung ekspansif adalah salah satu jenis tanah dasar yang daya dukungnya rendah. Tanah jenis ini dapat diperbaiki dengan metode stabilisasi. Pada penelitian ini digunakan sampel tanah dari Desa Oebelo, kapur dan fly ash sebagai bahan stabilisasinya dengan tujuan untuk mengetahui perubahan sifat fisik dan mekanis tanah serta daya dukung tanah yang distabilisasi dengan kapur dan fly ash dengan variasi campuran kapur 5% (tetap) dan fly ash 10%, 15%, 20% dan 25%. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi, berupa pengujian sifat-sifat fisik dan 41 mekanis tanah di laboratorium. Batas cair (LL) tanah asli sebesar 90,38% dengan indeks plastisitas (PI) sebesar 53,09%. Batas Cair dan mengalami penurunan pada campuran variasi I (Tanah Asli + 5% Kapur + 10% Fly ash) dengan batas cair (LL) sebesar 74,97% dan indeks plastisitas (PI) sebesar 39,47%, sedangkan pada campuran variasi tertinggi pada variasi IV (Tanah Asli + 5% Kapur + 25% Fly ash) mengalami penurunan dengan batas cair (LL) sebesar 44,30% dan indeks plastisitas (PI) sebesar 12,33%.

2. Amanta Suci Arti Hayati, A.S.A., (2021). “Pengaruh Campuran Limbah Batu Bara (*Fly ash*) Terhadap Sifat Plastisitas Tanah Berdasarkan Uji Casagrade”. Pada penelitian ini digunakan tanah yang berlokasi di Jalan Karet, Kecamatan Pontianak Barat, Kota Pontianak. Variasi campuran *fly ash* dalam penelitian ini digunakan yaitu 5%, 10%, 20% dan 40% dengan waktu pemeraman tanah campuran selama 0, 7, 14, dan 28 hari. Hasil menunjukkan nilai batas cair mengalami penurunan terbesar pada tanah kadar campuran *fly ash* 40% dengan curing 28 hari yaitu 38,282% (persentase penurunan dari tanah asli 39,536) dan indeks plastisitas dari sampel uji tanah yang mengalami penurunan terbesar pada sampel dengan kadar campuran *fly ash* 40% dengan curing 28 hari yaitu 11,878% (persentase penurunan dari tanah asli 59,819%).
3. Dwi Wahyuni, Nanda., Dkk. (2021). “Kinerja *Fly ash* terhadap Stabilisasi Tanah Lunak sebagai Material Perbaikan Tanah Dasar (*Subgrade*)”. sampel tanah pada penelitian ini berasal dari Desa Marga Kaya, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan berupa jenis tanah berbutir halus. *Fly ash* yang digunakan sebagai bahan stabilisasi berasal dari limbah batu bara PT Pindo Deli Pulp & Paper Mills 3 di Desa Tamanmekar, Kecamatan Pangkalan, Kabupaten Karawang, Jawa Barat. Pada penelitian ini *fly ash* sebagai bahan stabilisasi menggunakan variasi 0%, 5%, 10%, dan 15% dengan waktu pemeraman 0 hari, 7 hari, dan 14 hari di suhu ruang. Pengujian sampel tanah asli mempunyai batas cair (LL) sebesar 53,04% dan indeks plastisitas (IP) sebesar 28,19%. Hasil penelitian menunjukkan pada variasi campuran pertama dengan campuran Tanah + 5% *Fly ash* mempunyai nilai batas cair (LL) sebesar 37,68% dan indeks plastisitas (IP) sebesar 14,40%, sedangkan pada variasi campuran ketiga dengan campuran Tanah + 15% *Fly ash* mempunyai nilai batas cair (LL) sebesar 30,51% dan indeks plastisitas (IP) sebesar 9,02%.