

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Tanah**

##### **3.1.1 Definisi Tanah**

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia lainnya. Hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka tanah ini disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (*transported soil*).

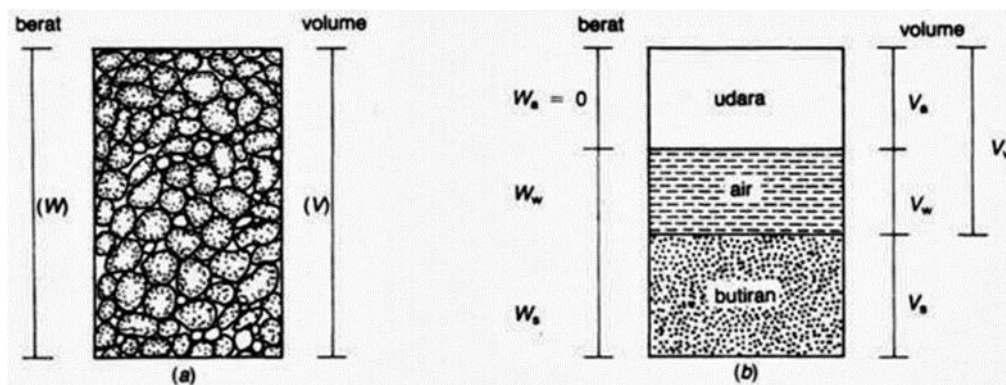
Istilah pasir, lempung lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedang pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari lempung saja, akan tetapi dapat bercampur dengan butir-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik. Ukuran partikel tanah dapat ber-

variasi dari lebih besar 100 mm sampai dengan lebih kecil dari 0,001 mm.(Hardiyatmo, 2010)

### 3.1.2 Komponen-komponen Tanah

Segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, hanya akan terdiri dari dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat (butiran), pori-pori udara, dan air pori. Bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase seperti Gambar 3.1 berikut. Gambar 3.1a memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume  $V$  dan berat total  $W$ , sedang 3.1b memperlihatkan hubungan berat dengan volumenya.



**Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah**

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

- Keterangan:
- $W$  = berat tanah (gr) =  $W_s + W_w + W_u = W_s + W_w$
  - $V$  = volume atau isi ( $\text{cm}^3$ ) =  $V_v + V_s$
  - $W_u$  = berat udara = 0
  - $W_w$  = berat air (gr)
  - $W_s$  = berat butiran (gr)
  - $V_u$  = volume atau isi udara ( $\text{cm}^3$ )
  - $V_w$  = volume atau isi air ( $\text{cm}^3$ )
  - $V_s$  = volume atau isi butiran ( $\text{cm}^3$ )
  - $V_v$  = volume atau isi pori ( $\text{cm}^3$ )

Dari Gambar 3.1 diatas hubungan-hubungan volume yang sering digunakan dapat dijelaskan sebagai berikut.

- 1) Kadar air ( $w$ ), adalah perbandingan antara berat air ( $W_w$ ) dengan berat butiran padat ( $W_s$ ) dalam tanah tersebut, dinyatakan dalam persen dengan Persamaan 3.1 berikut ini.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3.1)$$

- 2) Berat volume lembab atau basah ( $\gamma_b$ ), adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara ( $W$ ) dengan volume total tanah ( $V$ ). Berat volume lembab atau basah dinyatakan dengan Persamaan 3.2 berikut ini.

$$\gamma_d = \frac{W}{V} \quad (3.2)$$

- 3) Berat spesifik atau berat jenis (*specific gravity*) tanah ( $G_s$ ) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ ), dengan berat volume air ( $\gamma_w$ ). Berat jenis dinyatakan dengan Persamaan 3.3 berikut ini.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3.3)$$

$G_s$  tidak berdimensi. Berat jenis dari berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. Nilai berat jenis  $G_s = 2,67$  biasanya digunakan untuk tanah-tanah tak berkoheisi. Sedang untuk tanah kohesif tak organik berkisar diantara 2,68 sampai 2,72. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam Tabel 3.1 berikut ini.

**Tabel 3.1 Berat Jenis Tanah (specific gravity)**

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

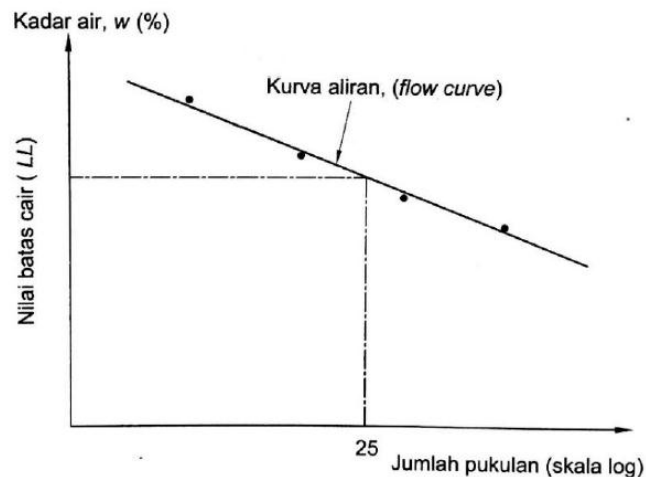
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

### 3.1.3 Batas-Batas Konsistensi (*Atterberg Limit*)

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Istilah plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak atau remuk. Apabila tanah berbutir halus mengandung mineral lempung, maka tanah tersebut dapat dibentuk tanpa menimbulkan retakan. Sifat kohesif yang dimiliki tanah lempung ini disebabkan karena adanya air yang terserap di sekeliling permukaan dari partikel lempung. Pada awal tahun 1900, seorang ilmuwan bernama Atterberg mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Kadar air yang sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan. Atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dipisahkan kedalam empat keadaan yaitu padat, semi padat, plastis, dan cair. (Das, 1994)

#### 1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (LL), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari uji Casagrande. Kemudian, hubungan kadar air dan jumlah pukulan yang dipadatkan dari hasil pengujian menggunakan alat Casagrande digambarkan dalam grafik semi logaritmik untuk menentukan kadar air yang dinyatakan dalam persen sesudah 25 pukulan didefinisikan sebagai batas cair. Gambar 3.2 berikut menunjukkan nilai batas cair tanah lempung.



**Gambar 3.2 Kurva pada Penentuan Batas Cair Tanah Lempung**

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL), didefinisikan sebagai kadar air dimana tanah apabila digulung sampai diameter 3,2 mm menjadi retak-retak. Batas plastis merupakan batas terendah dari tingkat keplastisitan suatu tanah.

3. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (SL), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Batas susut dinyatakan dalam Persamaan 3.4 berikut ini.  $m_1$

$$SL = \left( \frac{m_1 - m_2}{m_2} - \frac{(v_1 - v_2) \gamma_w}{m_2} \right) \times 100\% \quad (3.4)$$

Keterangan :  $m_1$  = berat tanah basah dalam cawan percobaan (g)

$m_2$  = berat tanah kering oven (g)

$v_1$  = volume tanah basah dalam cawan ( $\text{cm}^3$ )

$v_2$  = volume tanah kering oven ( $\text{cm}^3$ )

$\gamma_w$  = berat volume air ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

4. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisitan

tanah. Jika tanah mempunyai  $PI$  tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika  $PI$  rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Indeks plastisitas ( $PI$ ) adalah selisih batas cair dan batas plastis seperti Persamaan 3.5 berikut ini.

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

Keterangan:  $LL$  = Batas Cair

$PL$  = Batas Plastis

Batasan mengenai indeks plastis, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh *Atterberg* terdapat dalam Tabel 3.2 berikut ini.

**Tabel 3.2 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam 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
>7	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

### 3.1.4 Klasifikasi Tanah

Pemilihan tanah-tanah ke dalam kelompok ataupun subkelompok yang menunjukkan sifat atau kelakuan yang sama akan sangat membantu. Pemilihan ini disebut klasifikasi. Klasifikasi tanah sangat membantu perancang dalam memberikan pengarahannya melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu. Tetapi perancang harus berhati-hati dalam penerapannya karena penyelesaian masalah stabilitas, kompresi (penurunan), aliran air yang didasarkan pada klasifikasi tanah sering menimbulkan kesalahan yang berarti (Lambe, 1979 dalam Hardiyatmo 2010).

Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi. Umumnya, klasifikasi tanah

didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan, uji sedimentasi dan plastisitas.

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification System* dan *AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)*. Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah sistem *AASHTO* pertama kali diperkenalkan oleh Hoentogler dan Terzaghi, yang akhirnya diambil oleh *Bureau of Public Roads*. Pengklasifikasian sistem ini berdasarkan kriteria ukuran butir dan plastisitas. Maka dalam mengklasifikasikan tanah membutuhkan pengujian analisis ukuran butiran, pengujian batas cair dan batas plastis.

Sistem ini membedakan tanah dalam 8 (delapan) kelompok yang diberi nama dari A-1 sampai A-8. A-8 adalah kelompok tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan raya, maka pada revisi terakhir oleh *AASHTO* diabaikan. Klasifikasi tanah dari Sistem *Unified* mula pertama diusulkan oleh Casagrande pada tahun 1942, kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR. Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik.

#### 1. Sistem Klasifikasi *Unified*

Pada Sistem *Unified*, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat pada Tabel 3.1. 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*)

- Pt = tanah gambut dan tanah organic tinggi (*peat and highly organic soil*)
- W = gradasi baik (*well-graded*)
- P = gradasi buruk (*poorly-graded*)
- H = plastisitas tinggi (*high-plasticity*)
- L = plastisitas rendah (*low-plasticity*)

**Tabel 3.3 Sistem Klasifikasi Tanah USCS**

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama jenis		
tanah berbutir kasar Lebih dari 50% butiran kerahan saringan no. 200 (0,075 mm)	kerikil 50% atau lebih dari basis kasar kerahan saringan no. 4 (4,75 mm)	GW	Kerikil Gradasi baik dan campuran pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, C_c = \frac{(D_{20})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3		
		GP	Kerikil Gradasi buruk dan campuran pasir kerikil, atau tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung	Batas-batas Atterberg dibawah garis A atau $PI < 4$	bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol ganda	
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$		
	pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir Gradasi baik, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, C_c = \frac{(D_{20})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3	
			SP	Pasir Gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
		Pasir dengan butiran halus	SM	pasir berlanau, campuran pasir lanau	Batas-batas Atterberg dibawah garis A atau $PI < 4$	bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol ganda
			SC	pasir berlempung, campuran pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$	

tanah berbutir halus > 50% lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (lean clays)	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	OL	lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
		MH	lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elasis.	
		CH	lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')	
		OH	lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik tinggi	Pt	Gambut ('peat') dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488	

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)



## 2. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*America Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah untuk perencanaan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut.

Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris seperti berikut. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg.

Indeks kelompok (*group index*) (GI) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan 3.6 berikut.

$$GI = (f - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (PI - 10) \quad (3.6)$$

Keterangan : GI = indeks kelompok (*group index*),

F = persen butiran lolos saringan no. 200 (0,075 mm),

LL = batas cair, dan

PI = indeks plastisitas.

Bila indeks kelompok (GI) semakin tinggi, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaan. Tanah granuler diklasifikasikan ke dalam A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granuler bergradasi baik, sedang A-3 adalah pasir bersih bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granuler (kurang dari 35% lolos saringan no. 200) tetapi masih mengandung lanau dan lempung. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung-lanau. Beda keduanya didasarkan pada batas-batas Atterberg. Sistem klasifikasi AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

**Tabel 3.4 Sistem Klasifikasi AASHTO**

Klasifikasi umum	Material granuler ( $< 35\%$ lolos saringan no. 200)						Tanah-tanah lanau-lempung ( $> 35\%$ lolos saringan no. 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6
Analisis saringan (% lolos) 2,00 mm (no. 10) 0,425 mm (no. 40) 0,075 mm (no. 200)	50maks 30 maks 15 maks	- 50 maks 25 maks	- 51 min 10 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 35 maks	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40 Batas cair (LL) Indeks plastis (PI)	- - 6 maks	- - -	- - Np	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min
Indeks kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						Sedang sampai buruk				

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Catatan:

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

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

### 3.1.5 Tanah Lempung

Tanah lempung adalah tanah lempung yang memiliki aktifitas yang tinggi dalam perubahan volume akibat adanya perubahan kadar air. Dalam permasalahan teknik sipil, partikel tanah lempung akan senantiasa bersentuhan dengan air. Interaksi antara partikel lempung, air, dan bermacam-macam bahan yang terlarut dalam air menjadi faktor penentu yang utama bagi sifat-sifat tanah yang tersusun dari partikel-partikel tersebut. Jenis tanah yang perlu diperhatikan sebagai dasar struktur bangunan adalah jenis tanah lempung ekspansif. Dikatakan demikian karena tanah lempung ini umumnya mengandung komponen mineral yang potensi pengembangannya cukup tinggi yang kemudian berpengaruh pada turunnya nilai stabilitas tanah tersebut sehingga dapat merusak bagian bangunan yang dibangun

diatasnya. Mineral lempung terdiri dari tiga komponen penting yaitu *montmorillonite*, *illite*, dan *kaolinite*. Mineral *montmorillonite* mempunyai luas permukaan lebih besar dan sangat mudah menyerap air dalam jumlah banyak bila dibandingkan dengan mineral lainnya, sehingga tanah mempunyai kepekaan terhadap pengaruh air ini sangat mudah mengembang. Karena sifat-sifat tersebut *montmorillonite* sangat sering menimbulkan masalah pada bangunan (Hardiyatmo, 2010).

Klasifikasi tanah lempung dengan potensi pengembangan dan penyusutan yang besar (ekspansif) dan didasarkan pada besarnya nilai indeks plastisitasnya (PI) > 35. Adapun sifat umum lempung ekspansif tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut ini.

**Tabel 3.5 Sifat Umum Lempung Ekspansif**

Parameter	Nilai
Kadar air	80-100%
Batas cair	80-110%
Batas plastis	30-45%
Lolos saringan no 200	>10%

(Sumber: Toha, 1989 dalam Mufti 2017)

Potensi pengembangan yang dimiliki suatu tanah lempung dalam kapasitas/tingkat pengembangan perlu diketahui. Hal ini penting karena potensi bahaya yang diakibatkan oleh pengembangan tanah dapat menyebabkan kerusakan pada konstruksi bangunan. *American Society for Testing and Material (ASTM)* memberi batasan bahwa secara fisik ukuran lempung adalah lolos saringan No. 200. Untuk menentukan jenis lempung tidak cukup hanya dilihat dari ukuran butirannya saja. Untuk membedakan tanah lempung ekspansif dengan beberapa cara yaitu:

a. Indeks Plastisitas (PI)

Indeks Plastisitas (PI) dapat dipergunakan sebagai tes dalam menentukan kemampuan pengembangan tanah ekspansif. Hubungan antara kemampuan pengembangan dengan Indeks Plastisitas dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut ini.

**Tabel 3.6 Hubungan Antara Kemampuan Pengembangan dengan Indeks Plastisitas**

Kemampuan Pengembangan	Indeks Plastisitas (%)
Rendah	0 – 11
Sedang	10 – 35
Tinggi	20 – 55
Sangat Tinggi	>55

(Sumber: Rahardjo, 1993 dan Mitchel, 1976 dalam Mufti, 2017)

*b. Free Swell Test*

Pengukuran *free swell* dilakukan pada pengujian *CBR* rendamaan 4 hari. Derajat pengembangan dapat dihitung dengan persamaan 3.7 berikut ini.

$$\text{Derajat Pengembangan} = \frac{\text{Volume akhir} - \text{volume awal}}{\text{volume awal}} \times 100\% \quad (3.7)$$

### 3.2 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah secara umum merupakan suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser. Menurut Bowles (1991) dalam Pranata (2013) beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah meningkatkan kerapatan tanah, menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan atau tahanan gesek yang timbul, menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan atau fisis pada tanah, menurunkan muka air tanah (drainase tanah), dan mengganti tanah yang buruk. Stabilisasi tanah dapat terdiri dari salah satu kombinasi pekerjaan berikut:

1. Stabilisasi Mekanik

Stabilisasi mekanis dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material

yang memenuhi syarat tertentu. Material yang telah dicampur ini, kemudian dihamparkan dan dipadatkan di lokasi proyek. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah buruk di tempat dan menggantinya dengan material granuler dari tempat lain.

## 2. Stabilisasi kimiawi

Stabilisasi menggunakan bahan tambah bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik tanah dengan cara mencampur tanah dengan menggunakan bahan tambah dengan perbandingan tertentu. Perbandingan campuran bergantung pada kualitas campuran yang diinginkan. Jika pencampuran hanya dimaksudkan untuk merubah gradasi, plastisitas tanah dan *workability*, maka hanya memerlukan bahan tambah yang sedikit. Namun bila stabilisasi dimaksudkan untuk merubah tanah agar mempunyai kekuatan yang tinggi, maka diperlukan bahan tambah yang lebih banyak. Material yang telah dicampur dengan bahan tambah ini harus dihamparkan dan dipadatkan dengan baik.

Pada penelitian ini, stabilisasi tanah yang digunakan adalah stabilisasi kimia dengan penambahan zat aditif. Zat aditif yang digunakan yaitu abu terbang (*fly ash*). Zat aditif tersebut diharapkan akan mampu memperbaiki karakteristik tanah berbutir halus di Desa Kedungsari, Kecamatan Pengasih, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta.

### 3.3 Bahan Tambah *Fly Ash* Sebagai Stabilisasi Tanah

Pembakaran batubara menghasilkan residu berupa gas dan padatan. Penanganan residu berupa gas dapat dilakukan dengan teknik purifikasi gas buangan sebelum dilepas ke udara bebas, sehingga diharapkan tidak menimbulkan pencemaran udara yang serius. Residu pembakaran batubara berupa padatan halus yaitu *fly ash* merupakan sisa dari proses pembakaran di dalam *furnace* pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran serta ditangkap dengan menggunakan *electrostatic precipitator*. *Fly ash* terdiri dari bahan inorganik yang terdapat didalam batubara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada didalam gas-gas buangan dan dikumpulkan

menggunakan *electrostatic precipator*. Partikel-partikel ini memadat selama tersuspensi didalam gas-gas buangan, maka partikel-partikel *fly ash* umumnya bentuk bulat. Partikel-partikel *fly ash* yang terkumpul pada *electrostatic precipator* biasanya berukuran *silt* (0,074 – 0,005 mm). Bahan ini terutama terdiri dari silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ), aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), dan besi dioksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (Gobel, 2017).

*Fly ash* merupakan material yang memiliki ukuran butiran yang halus dan berwarna keabu-abuan yang dapat dipandang sebagai lanau halus yang tidak plastis berdasarkan klasifikasi *Unified Soil Classification System (USCS)* memiliki sifat pozzolan. Sifat pozzolan, yaitu suatu bahan yang mengandung silika atau alumina silika yang mempunyai sifat perekat (sementasi) pada dirinya sendiri dengan butirannya yang sangat halus bisa bereaksi secara kimia dengan air membentuk bahan perekat pada temperatur normal (Sudjianto, 2012). *Fly ash* sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh *fly ash* akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat.

Pemakaian *fly ash* sebagai salah satu bahan campuran pada beberapa produksi, misalnya *portland cement*, material konstruksi jalan, dan stabilisasi tanah. Berikut penjelasan mengenai penggunaan *fly ash*.

a. *Portland cement*

*Fly ash* digunakan untuk mengganti *Portland cement* pada beton karena mempunyai sifat pozzolan, sebagai pozzolan sangat besar meningkatkan *strength*, durabilitas dari beton. Penggunaan *fly ash* dapat dikatakan sebagai faktor kunci pada pemeliharaan.

b. Material konstruksi jalan

*Fly ash* dapat digunakan sebagai mineral *filler* untuk mengisi rongga dan memberikan kontak antara partikel agregat yang lebih besar pada campuran *asphalt concrete*. Aplikasi ini digunakan sebagai pengganti *portland cement*. Penggunaan *fly ash* dapat meningkatkan kekakuan dari

aspal, meningkatkan daya tahan terhadap rutting dan meningkatkan durabilitas campuran.

c. Stabilisasi tanah

Stabilisasi tanah dengan penambahan *fly ash* biasanya digunakan untuk tanah lunak, subgrade tanah kelepungan dibawah jalan yang mengalami beban pengulangan. Hal ini dikarenakan *fly ash* mempunyai sifat *self cementing* yaitu proses lekatan sementasi akibat pengaruh pozzolan atau akibat sifat pengerasann alami *fly ash* karena kondisi pemadatan dan air yang ada.

Menurut PP Nomor 101 Tahun 2014 penetapan limbah B3 berdasarkan sebagai berikut.

1. Limbah Berdasarkan Bahaya Ditimbulkan

Pengelompokkan limbah B3 berdasarkan kategori bahayanya terdiri atas 2 yaitu:

- a) limbah B3 kategori 1 yaitu limbah yang memiliki toksisitas akut dan berdampak langsung terhadap manusia dan lingkungan. Contohnya asam, basa, pelarut, dan sebagainya,
- b) limbah B2 kategori 2 yaitu limbah yang memiliki efek tunda dan berdampak tidak langsung terhadap manusia dan lingkungan. Memiliki toksisitas sub-kronis. Contohnya *steel slag*, *copper slag*, karbon aktif bekas, *fly ash*, filter bekas, dan sebagainya,

2. Limbah Berdasarkan Sumber

Pengelompokkan limbah B3 berdasarkan kategori bahayanya terdiri atas:

- a) limbah B3 dari sumber tidak spesifik, pada umumnya bukan berasal dari proses utamanya, tetapi berasal dari kegiatan antara lain pemeliharaan alat, pencucian, pencegahan korosi atau *inhibitor* korosi, pelarutan kerak, dan pengemasan
- b) limbah B3 dari B3 kadaluarsa, B3 yang tumpah, B3 yang tidak memenuhi spesifik produk yang akan dibuang dan bekas kemasan B3,
- c) limbah B3 dari sumber spesifik, merupakan sisa proses suatu industry atau kegiatan yang secara spesifik dapat ditentukan.

3. Limbah B3 dari Sumber Spesifik, seperti:

- a) limbah B3 dari sumber spesifik umum,
- b) limbah B3 dari sumber spesifik khusus, merupakan limbah yang memiliki efek tunda, berdampak karakteristik beracun tidak kaut dan dihasilkan dalam jumlah yang besar per satuan waktu.

Berdasarkan pengelompokkan limbah diatas menyatakan bahwa *fly ash* merupakan limbah B3 dari sumber spesifik khusus dengan kategori 2 karena jumlahnya yang sangat banyak, maka *fly ash* dapat menimbulkan dampak positif dan negatif. Sedangkan pada Tabel 3.7 *fly ash* termasuk kode limbah B409 dengan sumber limbah dari proses pembakaran batubara pada fasilitas pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), boiler dan atau tungku industri, dan kategori bahaya 2, sehingga PLTU sebagai penghasil limbah B3 perlu perhatian khusus terhadap penanganan *fly ash* tersebut. Pengelompokkan limbah B3 dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut.

**Tabel 3.7 Daftar Limbah B3 Dari Sumber Spesifik Khusus (Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014)**

Kode Limbah	Jenis Limbah	Sumber Limbah	Kategori Bahaya
B401	<i>Copper slag</i>	Proses peleburan bijih tembaga ( <i>smelter</i> ) dari proses primer dan sekunder	2
B402	<i>Steel slag</i>	Proses peleburan bijih dan atau logam besi dan baja dengan menggunakan teknologi <i>Electric Arc Furnace</i> (EAF), <i>blast furnace</i> , <i>basic oxygen furnace</i> (BOF), <i>introduction furnace</i> , <i>kupola</i> , dan atau <i>sugmerge arc furnace</i> .	2
B403	<i>Slag nikel</i>	Proses peleburan bijih nikel	2
B404	<i>Slag timah putih</i>	Proses peleburan timah putih (Sn)	2
B405	<i>Iron concentrate</i>	Proses peleburan bijih dan atau logam besi dan baja dengan menggunakan <i>Electric Arc Furnace</i> (EAF)	2
B406	<i>Mill scale</i>	Proses peleburan bijih dan atau logam besi dan baja dengan menggunakan teknologi <i>Electric Arc Furnace</i> (EAF) dan atau proses <i>reheating furnace</i>	2
B407	Debu EAF	Proses peleburan bijih dan atau logam besi dan baja dengan menggunakan <i>Electric Arc Furnace</i> (EAF)	2



**Lanjutan Tabel 3.7 Daftar Limbah B3 Dari Sumber Spesifik Khusus  
(Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014)**

Kode Limbah	Jenis Limbah	Sumber Limbah	Kategori Bahaya
B408	<i>PS ball</i>	Proses peleburan bijih dan tau logam besi dan baja dengan menggunakan teknologi <i>Electric Arc Furnace</i> (EAF)	2
B409	<i>Fly ash</i>	Proses pembakaran batubara pada fasilitas PLTU, <i>boiler</i> dan atau tungku industri	2
B410	<i>Bottom ash</i>	Proses pembakaran batubara pada fasilitas PLTU, <i>boiler</i> dan atau tungku industri	2
B411	Studge IPAL	Proses pengolahan air limbah dari insdutri <i>pulp</i>	2

(Sumber: Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 dalam Gobel, 2017)

### 3.4 Pengujian yang Akan Dilakukan

#### 3.4.1 Pemadatan Tanah

Pengujian pemadatan standar (*Standard Proctor*) adalah proses yang dilakukan untuk merapatkan butiran tanah yang satu dengan yang lain, sehingga partikel tanah saling berdekatan dan pori tanah menjadi kecil. Tujuan diadakan pemadatan tanah yaitu untuk:

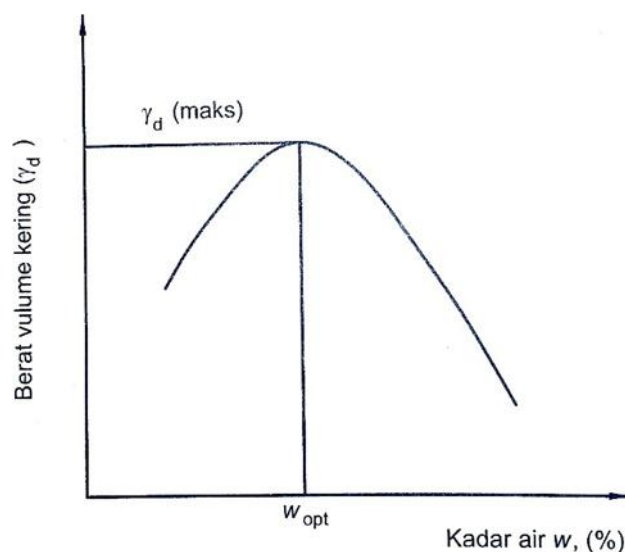
1. mempertinggi kuat geser,
2. mengurangi sifat mudah mampat,
3. mengurangi permeabilitas, dan
4. mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air dan lain-lainnya.

Proctor pada tahun 1933 telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya. Hubungan berat volume kering ( $\gamma$ ) dengan berat volume basah ( $\gamma_b$ ) dan kadar air ( $w$ ), dinyatakan dalam persamaan 3.8 berikut ini.

$$\gamma = \frac{\gamma_b}{1+w} \quad (3.8)$$

Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Karakteristik kepadatan

tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji proctor standar. Prinsip pengujiannya yaitu alat pemadatan berupa silinder *mold* yang mempunyai volume. Tanah didalam mould dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm. Tanah dipadatkan dalam tiga lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk 25 kali pukulan. Dari percobaan kadar air tersebut menghasilkan grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya.



**Gambar 3.3 Kurva Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering**

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

### 3.4.2 California Bearing Ratio (CBR)

*California Bearing Ratio (CBR)* adalah suatu percobaan penetrasi yang dipergunakan untuk menilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang akan dipakai untuk pembuatan perkerasan yang dikembangkan misalnya oleh *U.S Army Corps of Engineers*. Percobaan ini lebih dikenal sebagai *CBR* Laboratorium, dimaksudkan untuk menentukan nilai *CBR* tanah yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. Nilai *CBR* merupakan perbandingan (dalam persen) antara tekanan yang diperlukan untuk menembus tanah dengan piston berpenampang bulat seluas 3 inch<sup>2</sup> dengan kecepatan 0,05 inch/menit terhadap tekanan yang diperlukan untuk menembus bahan standar tertentu. Tujuan dilakukan pengujian *CBR* ini adalah

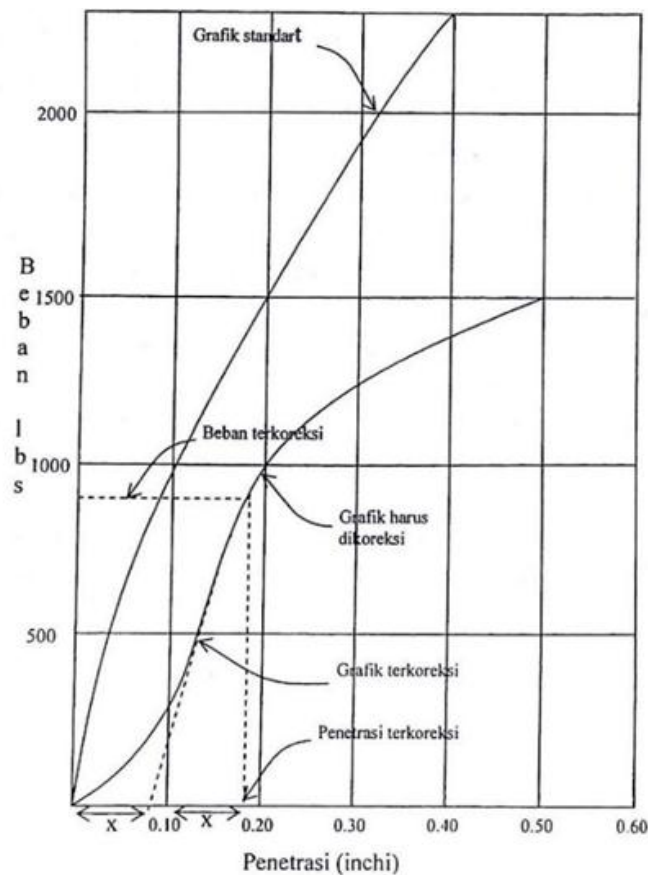
untuk mengetahui nilai *CBR* pada variasi kadar air pemadatan. Perhitungan penetrasi 0,1 inch dan 0,2 inch dirumuskan pada Persamaan 3.9 dan 3.10 berikut:

$$CBR_{0,1''} = \frac{\text{Gaya pada penetrasi } 0,1'' \text{ (lbs)}}{3000 \text{ (lbs)}} \times 100\% \quad (3.9)$$

$$CBR_{0,2''} = \frac{\text{Gaya pada penetrasi } 0,1'' \text{ (lbs)}}{4500 \text{ (lbs)}} \times 100\% \quad (3.10)$$

Pengujian *CBR* Laboratorium dibedakan atas dua macam, yaitu:

1. *CBR* Laboratorium rendaman (*soaked CBR*).
2. *CBR* Laboratorium tanpa rendaman (*unsoaked CBR*).



**Gambar 3.5 Grafik Standar Pengujian *CBR* di Laboratorium**