

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Pengertian Tanah

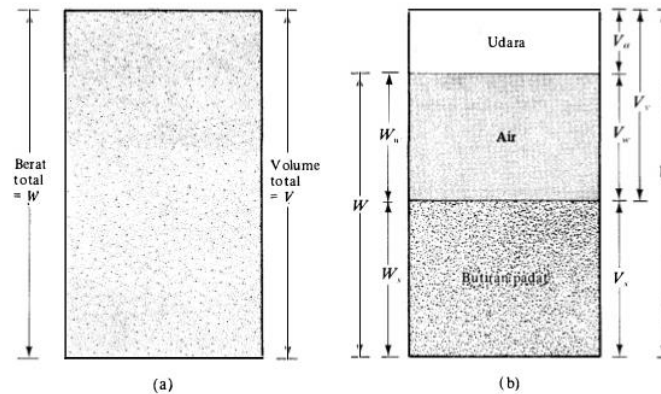
Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya (Hardiyatmo, 2002).

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas yang telah ditentukan. Akan tetapi, 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 partikelnya. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja. Akan tetapi, dapat juga bercampur dengan butiran-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik.

3.1.2 Propertis 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 atau butiran, bagian pori-pori udara dan bagian air pori. Bagian-bagian tanah tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah

(Sumber: Hardiyatmo,2002)

Gambar 3.1a memperlihatkan elemen tanah yang memiliki volume (V) dan berat (W), sedangkan pada Gambar 3.1b memperlihatkan hubungan berat dan volumenya. Dari gambar di atas dapat dibentuk Persamaan 3.1, 3.2, dan 3.3 sebagai berikut:

$$W = W_s + W_w \quad (3.1)$$

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (3.2)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (3.3)$$

dengan :

W_s = Berat butiran padat,

W_w = Berat air,

V_s = Volume butiran padat,

V_w = Volume air, dan

V_a = Volume udara.

Berat udara dianggap sama dengan nol. Hubungan-hubungan volume yang biasa digunakan untuk menganalisa propertis tanah antara lain angka pori, porositas, dan derajat kejenuhan. Adapun rinciannya sebagai berikut.

1. Kadar air (w)

Kadar air adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran (W_s) dalam tanah tersebut yang dinyatakan dalam persen. Persamaannya dapat dilihat pada Persamaan 3.4 berikut.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3.4)$$

2. Berat volume basah (γ_b)

Berat volume basah adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (V). Persamaannya dapat dilihat pada Persamaan 3.5 berikut.

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (3.5)$$

3. Berat volume kering (γ_d)

Berat volume kering adalah perbandingan antara berat butiran (W_s) dengan volume total tanah (V). Persamaannya dapat dilihat pada Persamaan 3.6 berikut.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.6)$$

4. Berat jenis (G_s)

Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur 4° C. Persamaannya dapat dilihat pada Persamaan 3.7 berikut.

$$G_s = \frac{\text{berat volume butiran padat}}{\text{berat volume air}} \quad (3.7)$$

Berdasarkan berat jenisnya, tanah dapat dikelompokkan seperti Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Berat Jenis Tanah

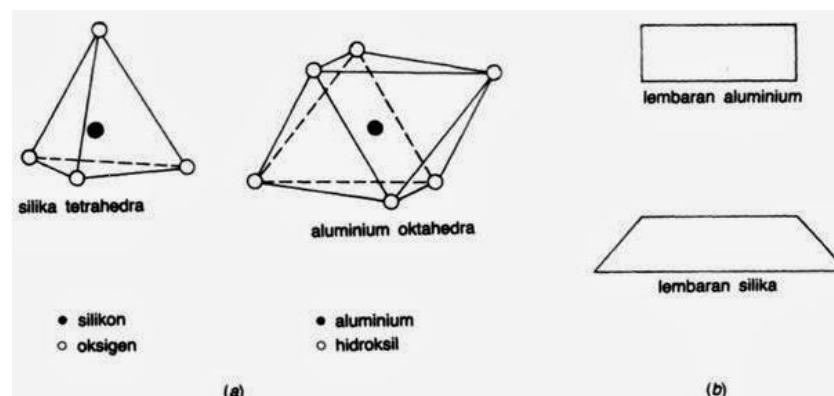
Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,65-2,68
Pasir	2,65-2,68
Lanau tak organik	2,62-2,68
Lempung organik	2,58-2,65
Lempung tak organik	2,68-2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25-1,8

(Sumber : Hardiyatmo,2002)

3.1.3 Mineral Lempung

Mineral lempung adalah susunan kelompok partikel yang berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm yang diakibatkan oleh pelapukan reaksi kimia. Partikel lempung dapat berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus. Karena itu, tanah lempung mempunyai sifat yang sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan.

Susunan kebanyakan tanah lempung terdiri dari silika tetrahedra dan aluminium oktahedra. Silika dan aluminium secara parsial dapat digantikan oleh elemen yang lain dalam kesatuannya, keadaan ini dikenal sebagai substitusi isomorf. Kombinasi dari susunan kesatuan dalam bentuk susunan lempeng disajikan dalam bentuk simbol yaitu lembaran aluminium atau lembaran silika (Hardiyatmo,2002). Susunan mineral lempung dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Mineral – Mineral Lempung

(Sumber : Hardiyatmo,2002)

3.2 Analisa Ukuran Butiran

Analisis ukuran butiran adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan dengan ukuran diameter lubang tertentu atau alat *hidrometer*. Sifat – sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanahnya. Oleh karena itu, analisis butiran ini merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan. Analisa ukuran butiran dibagi menjadi dua yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus.

3.2.1 Tanah Berbutir Kasar

Cara menganalisis ukuran butiran tanah kasar adalah dengan cara menyaringnya melalui ayakan (unit saringan standar) yang sudah ditentukan. Berat tanah yang tertinggal pada masing-masing saringan ditimbang dan dihitung persentasenya terhadap berat kumulatif pada tiap saringan. Berikut merupakan diameter lubang saringan dan nomor saringan dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Saringan Standar Amerika

Nomor Saringan	Diameter Lubang (mm)
3	6,35
4	4,75
6	3,35
8	2,36
10	2,00
16	1,18
20	0,85
30	0,60
40	0,42
50	0,30
60	0,25
70	0,21
100	0,15
140	0,106
200	0,075

(Sumber: Hardiyatmo,2002)

3.2.2 Tanah Berbutir Halus

Distribusi ukuran butiran dari tanah berbutir halus atau bagian yang berbutir halus dari tanah yang berbutir kasar, dapat ditentukan dengan cara sedimentasi. Metode ini didasarkan pada hukum Stokes yang berkenaan dengan kecepatan

butiran mengendap pada larutan suspensi. Menurut stokes, kecepatan mengendap butiran dapat ditentukan oleh Persamaan 3.8 berikut:

$$V = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18 \mu} \times D^2 \quad (3.8)$$

dengan :

$V =$ Kecepatan, sama dengan jarak/waktu (L/t),

$\gamma_w =$ Berat volume air (g/cm^3),

$\gamma_s =$ Berat volume butiran padat (g/cm^3),

$\mu =$ kekentalan air absolut (g det/cm^2), dan

$D =$ Diameter butiran tanah (mm).

Dari persamaan di atas dapat diubah dalam bentuk Persamaan 3.9 berikut:

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{\frac{18 \mu v}{\gamma_s - \gamma_w}} = \sqrt{\frac{18 \mu}{\gamma_s - \gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} \\ &= \sqrt{\frac{18 \mu}{(G_s - 1) \times \gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} \end{aligned} \quad (3.9)$$

dengan menganggap $\gamma_w = 1 \text{ gr/cm}^3$, maka didapatkan Persamaan 3.10 berikut:

$$\begin{aligned} D(\text{mm}) &= K \sqrt{\frac{L(\text{cm})}{t(\text{menit})}} \\ \text{Dengan } K &= \sqrt{\frac{30 \mu}{G_s - 1}} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Nilai K merupakan fungsi dari G_s dan μ yang tergantung pada temperatur benda uji. Butiran yang lebih besar akan mengendap lebih cepat dari butiran yang lebih kecil didalam suspensinya. Hukum stokes tidak cocok untuk butiran yang lebih kecil dari 0,0002 mm, karena gerak turunnya butiran akan dipengaruhi oleh gerak *Brownian* (Hardiyatmo,2002).

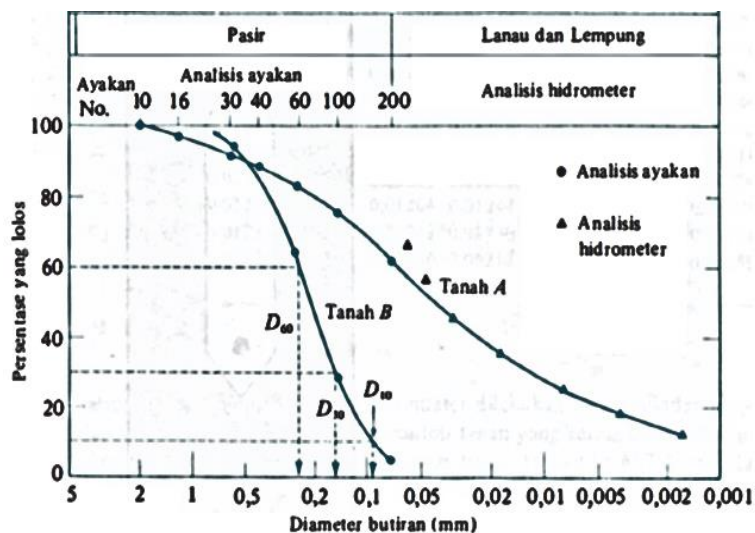
Tanah benda uji sebelumnya harus dibebaskan dari zat organik, selanjutnya dilarutkan kedalam air destilasi yang dicampuri dengan reagen pendeflokulasi agar partikelnya menjadi bagian yang terpisah satu dengan yang lain. Kemudian, larutan suspensi ditempatkan pada tabung sedimentasi. Dengan hukum Stokes, hubungan waktu (t) untuk ukuran-ukuran butiran tertentu (D) pada kedalaman suspensinya dapat ditentukan. Pada waktu tertentu (t1) benda uji diambil dengan pipet pada kedalaman tertentu dibawah permukaan. Benda uji yang terambil ini akan berisi hanya butiran yang lebih kecil diameternya dari diameter tertentu D1. Jika benda uji diambil dari kedalaman tertentu pada waktu-waktu yang dihubungkan dengan

pemilihan butiran yang lain, maka distribusi ukuran butirannya dapat ditentukan dari berat endapannya.

Cara hidrometer juga bisa digunakan, yaitu dengan cara memperhitungkan berat jenis suspensi yang tergantung dari berat butiran tanah dalam suspensi pada waktu tertentu. Pengujian laboratorium dilakukan dengan menggunakan gelas ukur dengan kapasitas 1000 ml yang diisi dengan larutan air, bahan pendispersi dan tanah yang akan diuji.

Distribusi ukuran butir tanah digambarkan dalam bentuk kurva semi logaritmis. Ordinat grafik merupakan persentase dari berat butiran yang lebih kecil daripada ukuran butiran yang diberikan dalam absisnya. Untuk tanah yang terdiri dari campuran butiran halus dan kasar, gabungan antara analisis saringan dan sedimentasi dapat digabungkan.

Dari penggambaran kurva yang diperoleh, gradasi yang baik adalah tanah yang distribusi ukuannya meluas pada ukuran butirannya. Gradasi yang buruk merupakan tanah dengan butiran besar maupun kecil ada, tapi dengan pembagian butiran yang relatif rendah pada ukuran yang sedang. Gambar contoh analisa saringan dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Analisis Distribusi Ukuran Butiran

(Sumber:Das,1995)

Nilai D10 didefinisikan sebagai 10% dari berat butiran total yang mempunyai diameter butiran lebih kecil dari ukuran butiran tertentu. Sebagai contoh $D_{10} = 0,45$ mm, artinya 10% dari berat butiran total berdiameter kurang dari 0,45 mm. Begitu

juga D30 dan juga D60 dapat diartikan dengan cara yang sama. Ukuran D10 didefinisikan sebagai ukuran efektif (*effective size*). Kemiringan dan bentuk umum dari kurva distribusi dapat digambarkan oleh koefisien keseragaman (*coefficient of uniformity*) C_u dan koefisien gradasi (*coefficient of gradation*) C_c yang diberikan menurut Persamaan 3.11 dan Persamaan 3.22 berikut:

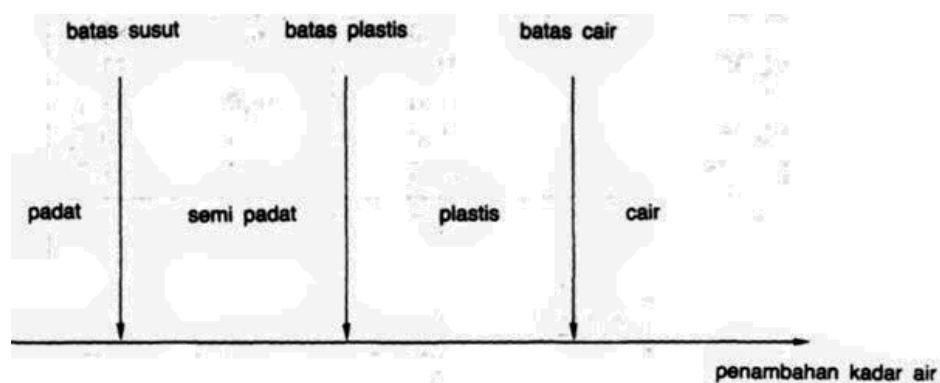
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3.11)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})} \quad (3.12)$$

Tanah bergradasi baik jika mempunyai koefisien gradasi C_c antara satu dan tiga dengan C_u lebih besar dari empat untuk kerikil dan lebih besar dari enam untuk pasir, selanjutnya tanah disebut bergradasi sangat baik bila $C_u > 15$.

3.3 Batas – Batas Atterberg

Pada awal tahun 1900, seorang ilmuwan asal Swedia bernama *Atterberg* mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Bilamana kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan. Oleh karena itu, atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dipisahkan kedalam empat keadaan dasar yaitu padat, semi padat, plastis dan cair (Das, 1995). Empat keadaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.

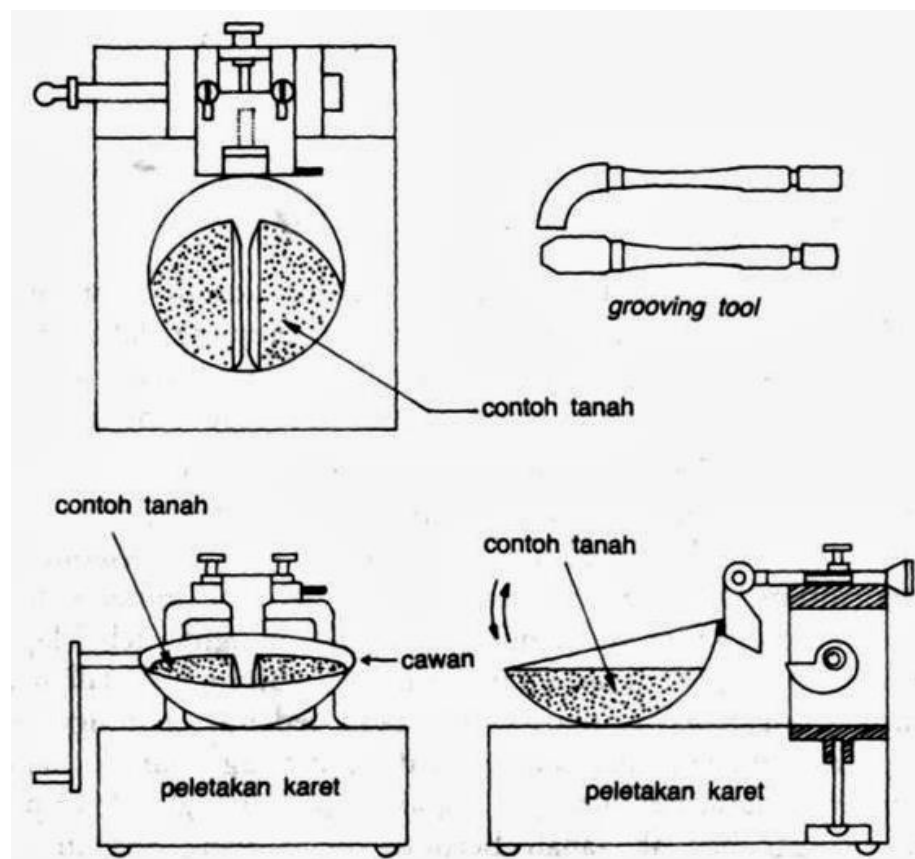


Gambar 3.4 Batas – Batas Atterberg

(Sumber:Hardiyatmo,2002)

3.3.1 Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair biasanya ditentukan dari pengujian *Casagrande* (1948). Pengujian dengan cara memasukkan contoh tanah ke dalam cawan. Tinggi contoh tanah dalam cawan kira-kira 8 mm. Alat pembuat alur (*grooving tool*) dikerukkan tepat ditengah-tengah cawan hingga menyentuh dasarnya. Kemudian dengan alat penggetar cawan diketuk-ketukkan pada landasannya dengan tinggi jatuh 1 cm. Persentase kadar air yang dibutuhkan untuk menutup celah sepanjang 12,7 mm pada dasar cawan sesudah 25 kali pukulan, didefinisikan sebagai batas cair tanah tersebut. Gambar alat uji *Casagrande* dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Skema Alat Pengujian Batas Cair

(Sumber:Hardiyatmo,2002)

3.3.2 Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air yang dinyatakan dalam persen, dimana tanah apabila digulung sampai dengan diameter 1/8 inch atau 3,2 mm menjadi retak-retak. Batas plastis merupakan batas terendah dari tingkat keplastisan

suatu tanah. Cara pengujiannya adalah menggulung masa tanah berukuran elipsoda dengan telapak tangan di atas kaca datar.

3.3.3 Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Suatu tanah akan menyusut apabila air yang dikandungnya secara perlahan-lahan hilang dalam tanah. Dengan hilangnya air secara terus menerus, tanah akan mencapai suatu tingkat keseimbangan dimana penambahan kehilangan air tidak menyebabkan perubahan volume. Batas susut dapat didefinisikan sebagai kadar air dalam persen dimana perubahan volume suatu massa tanah berhenti .

Pengujian batas susut (*ASTM Test designation D-427*) dilakukan di laboratorium dengan menggunakan suatu mangkok porselin yang mempunyai diameter kira-kira 1,75 inch (44,4 mm) dan tinggi kira-kira 0,5 inch (12,7 mm). Bagian dalam mangkok dilapisi dengan vaselin (*petroleum jelly*), kemudian diisi tanah sampai penuh. Berat tanah basah dalam mangkok ditentukan. Tanah didalam mangkok kemudian dimasukkan dalam oven. Batas susut dinyatakan dalam Persamaan 3.13 sebagai berikut.

$$SL = \left(\frac{(m_1 - m_2)}{m_2} - \frac{(v_1 - v_2)\gamma_w}{m_2} \right) \times 100\% \quad (3.13)$$

dengan :

m_1 = Berat tanah basah dalam cawan percobaan (gr),

m_2 = Berat tanah kering oven (gr),

v_1 = Volume tanah basah dalam cawan (cm^3),

v_2 = Volume tanah kering oven (cm^3), dan

γ_w = Berat jenis air.

3.3.4 Indeks Plastisitas

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis. Dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.14 berikut ini.

$$PI = LL - PL \quad (3.14)$$

Indeks plastisitas akan merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastis menunjukkan sifat keplastisan tanahnya. Jika tanah memiliki interval kadar air daerah plastis yang kecil, maka keadaan ini disebut dengan tana kurus. Kebalikannya, jika tanah memiliki interval kadar air

daerah plastis yang besar disebut tanah gemuk. Batasan mengenai indeks plastis, sifat, macam tanah dan kohesinya diberikan oleh *Atterberg* terdapat dalam Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

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

(Sumber:Hardiyatmo, 2002)

3.4 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terperinci. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (dan percobaan sedimentasi) dan plastisitasnya.

Sekarang terdapat dua klasifikasi yang digunakan. Keduanya adalah *Unified Soil Classification System* dan *AASHTO*. Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitasnya. Klasifikasi tanah dari sistem *Unified* mula pertama diajukan oleh *Casagrande* (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari *USBR (United State Bureau of Reclamation)*. Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik (Hardiyatmo,2002).

3.4.1 Sistem Klasifikasi *Unified*

Pada sistem klasifikasi *Unified*, suatu tanah diklasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika lebih dari 50% tertinggal dalam saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika lebih dari

50% lewat saringan nomor 200. Simbol-simbol yang terdapat dalam sistem klasifikasi *Unified* adalah sebagai berikut.

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 organik tinggi (*peat and highly organic soil*),

W = Gradasi baik (*well-graded*),

P = Gradasi buruk (*poorly-graded*),

H = Plastisitas tinggi (*high-plasticity*), dan

L = Plastisitas rendah (*low-plasticity*).

Gambar klasifikasi *USCS* dapat dilihat pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7 berikut.

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

*Menurut ASTM (1982)

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

Gambar 3.6 Klasifikasi Tanah Sistem *USCS*

(Sumber:Hardiyatmo,2002)

Klasifikasi umum		Simbol klasifikasi	Nama jenis	Kriteria klasifikasi		
Tanah berbutir kasar, lebih dari 50% tertahan pada ayakan 75 μ	50% atau lebih bagian kasar dari butiran kasar tertahan pada ayakan 4,76 mm	Kerikil berbutir	GW	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, campuran kerikil dan pasir, sedikit atau tanpa butiran halus	$U_c = D_{20}/D_{10}$ $U_c = \frac{(D_{20})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ lebih besar dari 4 bernilai antara 1-3	
			GP	Kerikil yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, campuran kerikil dan pasir, sedikit atau tanpa butiran halus		
		Kerikil berbutir butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil, pasir dan lanau		Tidak sesuai dengan kriteria GW.
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil, pasir dan lempung		Batas Atterberg terletak di bawah garis A atau Index Plastisitas < dari 4 Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsir dari diagram di bawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan penggolongan
	50% atau lebih pasir kasar dari butiran kasar lolos melalui ayakan 4,76 mm	Pasir berbutir	SW	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang baik, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus	$U_c = D_{20}/D_{10}$ $U_c = \frac{(D_{20})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ lebih besar dari 6 bernilai antara 1-3	
			SP	Pasir yang mempunyai pembagian ukuran butir yang buruk, pasir dari pecahan kerikil, tanpa atau sedikit butiran halus		Tidak sesuai dengan kriteria SW
		Pasir berbutir butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir dan lanau		Batas Atterberg terletak di bawah garis A atau Index Plastisitas < dari 4 Bila batas Atterberg berada pada daerah yang diarsir dari diagram di bawah ini, dipakai 2 simbol sehubungan dengan batasan klasifikasi
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir dan lempung		Batas Atterberg terletak di atas garis A atau Index Plastisitas > dari 7
Tanah berbutir halus lebih dari 50% lolos ayakan 75 μ	Lanau dan lempung LL \leq 50	ML	Lanau inorganik, pasir sangat halus, debu padas, pasir halus berlanau atau berlempung	<p>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 klasifikasinya menggunakan dua simbol</p>		
		CL	Lempung inorganik dengan plastisitas rendah atau sedang, lempung dari kerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung dengan viskositas rendah			
	Lanau dan lempung LL > 50	OL	Lanau organik dengan plastisitas rendah dan lempung berlanau organik			
		MH	Lanau inorganik, pasir halus atau lanau dari mika atau ganggang (diatomae), lanau elastis			
		CH	Lempung inorganik dengan plastisitas tinggi, lempung dengan viskositas tinggi			
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi			
		PT	Gambut, lumpur hitam dan tanah berkadar Organik tinggi lainnya		Dapat dibedakan dengan mata dan tangan ASTM lihat D 2483-66T.	

Gambar 3.7 Klasifikasi Tanah Sistem USCS

(Sumber:Hardiyatmo,2002)

3.4.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah guna perencanaan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Karena sistem ini ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut, penggunaan sistem ini dalam prakteknya harus dipertimbangkan terhadap maksud aslinya.

Didalam sistem ini, tanah diklasifikasikan kedalam tujuh kelompok besar, yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah yang diklasifikasikan kedalam A-1, A-2 dan

A-3 adalah tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan nomor 200. tanah dimana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan nomor 200 diklasifikasikan kedalam kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Gambar klasifikasi *AASHTO* dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.

Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Sistem *AASHTO*).

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

Klasifikasi umum	Tanah lanau – lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6†
Analisis ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (<i>LL</i>) Indeks plastisitas (<i>PI</i>)	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

* Untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$
† Untuk A-7-6, $PI > LL - 30$

Gambar 3.8 Klasifikasi Tanah Sistem *AASHTO*
(Sumber:Hardiyatmo,2002)

3.5 Pemadatan Tanah

Pada pembuatan timbunan tanah untuk jalan raya, dam tanah dan banyak struktur teknik lainnya, tanah yang lepas (renggang) harus dipadatkan untuk meningkatkan berat volumenya. Untuk situasi keadaan lokasi aslinya membutuhkan perbaikan guna mendukung bangunan di atasnya, ataupun karena digunakan sebagai bahan timbunan, maka pemadatan sering dilakukan. Maksud pemadatan tanah antara lain sebagai berikut:

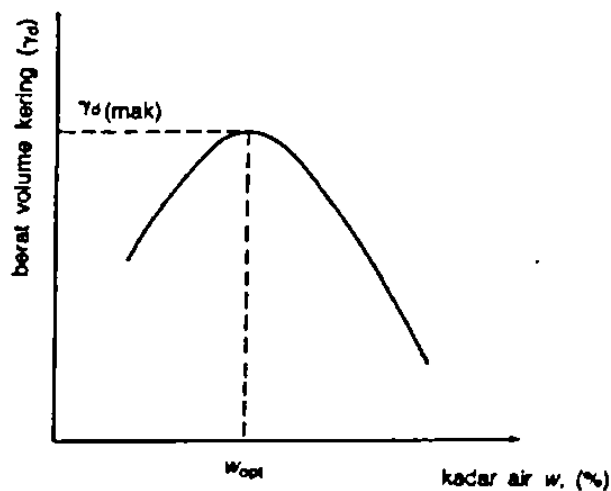
1. mempertinggi kuat geser tanah,
2. mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas),
3. mengurangi permeabilitas, dan
4. mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air, dan lain-lainnya.

Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan kepada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) pada partikel-partikel tanah. Karena adanya air, partikel-partikel tanah tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergesekan satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat. Bila kadar air ditingkatkan terus secara bertahap pada usaha pemadatan yang sama, maka berarti dari jumlah bahan padat dalam tanah persatuan volume juga meningkat secara bertahap juga dan akan mencapai titik maksimal pada penambahan kadar air tertentu. Setelah itu penambahan kadar air justru cenderung menurunkan berat volume kering dari tanah. Hal ini disebabkan karena air tersebut kemudian menempati ruang-ruang pori dalam tanah yang sebetulnya dapat ditempati oleh partikel-partikel padat dari tanah. Kadar air dimana harga berat volume kering maksimum tanah diperoleh disebut kadar air optimum (Das, 1995).

Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering supaya tanah padat. Selanjutnya, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai nilai berat volum kering maksimumnya. Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya. Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam Persamaan 3.15 berikut.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \quad (3.15)$$

Berat volume tanah kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air dan usaha yang diberikan oleh alat pemadatnya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar di laboratorium yang disebut dengan pengujian *proctor standard*. Tanah didalam mould dipadatkan dengan 25 kali tumbukan dalam 3 lapis. Dalam pengujian pemadatan, percobaan diulang paling sedikit lima kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Selanjutnya, digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya. Kurvanya digambarkan pada Gambar 3.9 berikut.



Gambar 3.9 Kurva Uji *Proctor standard*
(Sumber:Hardiyatmo,2002)

3.6 CBR

Pengujian *CBR* dimaksudkan untuk menentukan nilai *CBR* tanah ataupun campuran agregat yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. *CBR* adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan (dapat berupa tanah ataupun material perkerasan jalan) dengan bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Biasanya pengujian *CBR* dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan material perkerasan jalan raya. *CBR* dapat diujikan di laboratorium ataupun di lapangan.

Nilai *CBR* ditentukan juga oleh jenis suatu tanah. Klasifikasi tanah berdasarkan nilai *CBR* dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai CBR

CBR	General Rating	Uses	Classification System	
			Unified	AASHTO
0 to 3	Very poor	Subgrade	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 to 7	Poor to fair	Subgrade	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 to 20	Fair	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20 to 50	Good	Base, sub base	GM, GC, SW, SM, SP, GI	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excellent	Base, sub base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

(Sumber : Das, 1995)

Analisis pengujian CBR dapat dilihat pada Persamaan 3.16, Persamaan 3.17 dan Persamaan 3.18 berikut.

1. Menghitung nilai beban P

$$P = k \times \text{dial} \quad (3.16)$$

dengan :

k = angka kalibrasi (lbs),

dial = pembacaan dial.

2. Menghitung nilai CBR

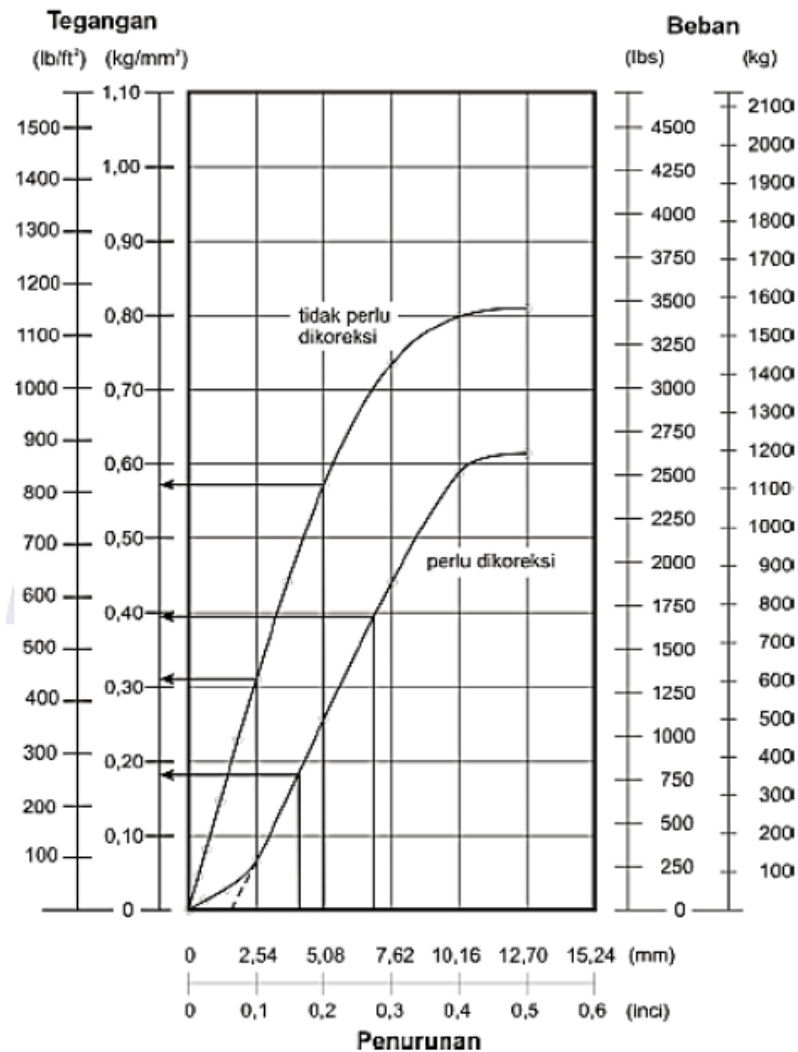
- a. Nilai CBR pada penetrasi 0,1 inci atau 2,54 mm dengan beban standar 70,31 kg/cm².

$$\text{Nilai } CBR_{0,1} = \frac{\text{beban P terkoreksi}}{3 \times 1000} \times 100\% \quad (3.17)$$

- b. Nilai CBR pada penetrasi 0,2 inci atau 5,08 mm dengan beban standar 105,47 kg/cm².

$$\text{Nilai } CBR_{0,2} = \frac{\text{beban P terkoreksi}}{3 \times 1500} \times 100\% \quad (3.18)$$

Hubungan antara pembacaan dial (beban) dengan penetrasi dapat diplotkan didalam grafik yang dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut.



Gambar 3.10 Grafik Standar CBR Laboratorium

(Sumber : SNI-1738:2011)

Pada kondisi awal grafik bisa jadi grafik berbentuk cekung dikarenakan kurang ratanya permukaan saat pemadatan atau sebab yang lain. Apabila grafik berbentuk cekung maka titik nol harus dikoreksi seperti gambar di atas. Bila nilai *CBR* pada penetrasi 0,1 inchi lebih kecil dari nilai penetrasi 0,2 inchi maka percobaan harus diulang. Apabila pada pengujian yang kedua nilai penetrasi 0,1 inchi masih lebih kecil maka nilai *CBR* yang dipakai adalah yang terbesar.

3.7 Swelling

Pengembangan (*swelling*) adalah nilai perbandingan antara perubahan tinggi selama perendaman terhadap tinggi benda uji semula yang dinyatakan dalam persen. Pengembangan sampel dapat dihitung dengan Persamaan 3.19 sebagai berikut.

$$Sw = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (3.19)$$

dengan keterangan:

Sw = Pengembangan (%),

ΔL = Perubahan tinggi dibaca dari dial (mm), dan

L_0 = Tinggi sampel mula-mula (mm).

Tingkat pengembangan dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis berdasarkan persen pengembangannya. Klasifikasi pengembangan tanah dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Klasifikasi Pengembangan

<i>Swelling Potential (%)</i>	<i>Swelling Degree</i>
0 to 1,5	<i>Low</i>
1,5 to 5	<i>Medium</i>
5 to 25	<i>High</i>
>25	<i>Very High</i>

(Sumber : Das, 1995)

3.8 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu untuk memperbaiki sifat teknis tanah agar memenuhi syarat-syarat tertentu. Pada umumnya stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi dua yaitu stabilisasi mekanis dan stabilisasi dengan menggunakan bahan tambah.

1.8.1 Stabilisasi Mekanis

Stabilisasi mekanis dilakukan dengan mencampur suatu tanah dengan jenis tanah yang berbeda gradasinya agar memperoleh material yang memenuhi syarat tertentu. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah yang buruk kemudian diganti dengan tanah yang lebih baik.

3.8.2 Stabilisasi dengan Bahan Tambah

Stabilisasi dengan bahan tambah dapat dilakukan dengan cara mencampur tanah dengan bahan olahan pabrik dan dengan kadar tertentu dapat memperbaiki sifat-sifat teknis tanah. Sifat-sifat teknis yang dimaksud antara lain adalah kekuatan, kemudahan dalam pengerjaan dan plastisitasnya. Nilai *CBR* suatu tanah dapat dinaikkan dengan stabilisasi menggunakan bahan tambah (kimiawi), dengan tujuan menambah kualitas suatu tanah sehingga kemampuan lapisan tanah tersebut dalam mendistribusikan beban ke area yang lebih luas juga bertambah, sehingga dapat mereduksi tebal lapis perkerasan yang dibutuhkan. Bahan tambah yang dapat digunakan untuk menstabilisasi tanah antara lain adalah kapur dan abu ampas tebu.

1. Kapur

Kapur sangat cocok digunakan untuk stabilisasi tanah lempung. Bahan dasar dari kapur adalah batu kapur yang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3). Ketika dipanaskan pada suhu $\pm 980^\circ \text{C}$ maka karbon dioksidanya keluar dan menyisakan kalsium oksida (CaO). Apabila dicampur dengan air menjadi kalsium hidroksida (Ca(OH)_2). Ketika dicampur antara air, tanah lempung dan kapur menyebabkan reaksi yang dapat meningkatkan kekuatan tanah akibat dua reaksi berikut.

- a. Pertukaran kation yang cepat dan reaksi penggumpalan-penggumpalan. Penggumpalan menghasilkan perubahan tekstur antara lain partikel lempung menggumpal secara bersama-sama sehingga terbentuk partikel tanah dengan ukuran diameter yang lebih besar. Hal tersebut menyebabkan perbaikan tanah dengan cepat pada plastisitas tanah, kemudahan dalam pengerjaannya dan kekuatannya.
- b. Reaksi pozolanik yang berbentuk variasi bahan perantara sementasi. Hasil dari reaksi tersebut adalah bertambahnya kekuatan campuran yang bergantung waktu dan temperaturnya.

2. Abu Ampas Tebu

Abu ampas tebu secara fisik bersifat lepas sehingga cocok untuk dijadikan *filler*. Abu ampas tebu juga mengandung senyawa SiO_2 dan Al_2O_3 yang berpotensi menghasilkan sifat pozolanik. Abu ampas tebu dapat meningkatkan kepadatan tanah lempung. Secara kimiawi, unsur-unsur dalam abu ampas tebu dapat mengurangi potensi pengembangan. Partikel lempung yang bermuatan negatif akan menyerap kation di sekitarnya termasuk ion H^+ pada air (H_2O). Ketika tanah lempung dicampur dengan abu ampas tebu yang meliputi Ca, Al, dan Mg maka akan diserap oleh partikel lempung. Ion-ion unsur tersebut dapat menggantikan ion H^+ di antara lapisan partikel lempung dan dapat mencegah penyerapan air oleh partikel lempung sehingga potensi pengembangan dapat berkurang.