

## BAB II STUDI PUSTAKA

### 2.1 Tanah

Dalam pengertian teknik secara umum, Das B. M (1998) mendefinisikan tanah sebagai bahan yang terdiri dari agregat mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia antara satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah melapuk yang berpartikel padat disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Peranan tanah ini sangat penting dalam perencanaan atau pelaksanaan bangunan karena tanah tersebut berfungsi untuk mendukung beban yang ada di atasnya. Oleh karena itu, tanah yang akan dipergunakan sebagai pendukung konstruksi haruslah dipersiapkan terlebih dahulu sebelum dipergunakan sebagai tanah dasar (*subgrade*). Insinyur sipil membagi bahan yang menyusun kerak bumi secara garis besar menjadi dua kategori : tanah (*soil*) dan batuan (*rock*).

Tanah adalah kumpulan (agregat) butiran mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat di aduk dalam air, batuan merupakan mineral yang satu sama lainnya diikat oleh gaya-gaya kohesif yang permanen dan kuat. (I.S. Dunn, L.R. Anderson, 1980). Berdasarkan asal mula penyusunannya, tanah dibedakan kedalam dua kelompok besar, yaitu sebagai hasil pelapukan (*weathering*) secara fisis dan kimia, dan yang berasal dari bahan organik. Jika hasil pelapukan masih berada ditempat asalnya disebut tanah residual, apabila berpindah tempat disebut tanah angkutan (*transported soil*), berdasarkan ini dapat dibagi menjadi tiga kategori : *Alluvial or fluvial* (diangkut oleh aliran air), *Glacial* (diangkut oleh aksi gleyser), *Aeolium* (diangkut oleh aksi angin). (I.S. Dunn, L.R. Anderson, 1980).

Tanah berbutir kasar dibagi atas kerikil (G) dan Pasir (S). Kerikil dan pasir dikelompokkan sesuai dengan gradasinya dan kandungannya lanau atau lempung, sebagai bergradasi baik (W), bergradasi tidak baik (P), mengandung material lanau (M), dan mengandung material lempung (C). Maka klasifikasi tipikal GP adalah untuk kerikil yang berkerikil tidak baik Tanah berbutir halus adalah tanah yang lebih dari 50% bahannya lewat ayakan no.200. tanah berbutir halus ini dibagi menjadi lanau (M), lempung (C), serta lanau dan lempung organik (O) bergantung

bagaimana tanah itu terletak pada grafik plastisitas (hubungan batas cair, indeks plastisitas). Tanda L dan H ditambahkan pada simbol-simbol tanah butir halus untuk berturut-turut menunjukkan plastisitas rendah dan plastisitas tinggi (batas cair dibawah dan diatas 50%). Tanah sangat organis (gambut) dapat diklasifikasikan secara visual.

Klasifikasi tanah adalah suatu cara pengelompokan tanah berdasarkan sifat dan ciri tanah yang sama atau hampir sama kemudian diberi nama agar mudah dikenal, diingat, dipahami dan dibedakan dengan tanah–tanah lainnya. Setiap Jenis tanah memiliki sifat dan ciri tertentu dan berbeda dengan jenis tanah lainnya. Setiap jenis tanah memiliki sifat, ciri, potensi kesesuaian tanaman dan kendala tertentu untuk pertanian sehingga memerlukan teknologi pengelolaan tanah yang spesifik untuk dapat berproduksi optimal. Umumnya klasifikasi tanah menggunakan indeks pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanahnya. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasinya, yang didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisa saringan dan plastisitasnya (Hardiyatmo, 1992). Berdasarkan hasil analisa distribusi partikel dan batas–batas Atterberg, tanah dapat diklasifikasikan kedalam beberapa golongan yang terdapat dalam sistem klasifikasi tanah, diantaranya :Sistem USCS (*Unified Soil Classification System*) dan Sistem AASHTO.

## **2.2 Tanah Dasar (Subgrade)**

Tanah dasar (*subgrade*) adalah bagian terbawah suatu konstruksi perkerasan yang dibuat secara berlapis-lapis seperti yang biasa dipergunakan dalam konstruksi jalan raya (Imam Soekoto, 1984). Persoalan-persoalan yang menyangkut tanah dasar pada umumnya adalah sebagai berikut :

1. Perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari macam tanah tertentu akibat beban yang bekerja.
2. Sifat mengembang dari macam tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
3. Daya dukung tanah yang tidak merata dan sukar ditentukan secara pasti pada daerah dengan macam tanah yang sangat berbeda sifat dan kedudukannya.
4. Lendutan (*defeksi*) dan pengembangan kenyal yang besar selama dan sesudah pembebanan.

5. Tambahan pemadatan akibat pembebanan dan penurunan yang diakibatkannya yaitu pada tanah dasar berbutir kasar (*granuler soil*) yang tidak dipadatkan secara baik pada saat pelaksanaan.

Untuk sedapat mungkin mencegah timbulnya persoalan diatas maka beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain :

1. Tanah dasar berkohesi dan dengan Indeks Plastis sama atau lebih besar dari 25 dilakukan usaha pencampuran dengan kapur (*lime stablization*) atau bahan lain yang sesuai (ditentukan berdasar penyelidikan laboratorium).
2. Tanah dengan sifat mengembang yang besar, apabila pertimbangan biaya dan pelaksanaan memungkinkan, tanah dengan sifat demikian dibuang dan diganti dengan tanah lain yang lebih baik, apabila tidak maka perlu diselidiki sifat pengembangan tersebut agar dapat ditentukan langkah-langkah pengamanan antara lain
  - a) Mengusahakan subdrain yang cukup baik dan efektif agar kadar air tanah dasar tetap berada dibawah harga yang dianggap berbahaya (penyelidikan laboratorium) sehubungan dengan sifat mengembang dari tanah tersebut.
  - b) Memberikan beban statis permukaan (*surchage*) berupa urugan atau lapisan tambahan dengan tebal tertentu sedemikian rupa sehingga bila diperhitungkan beratnya akan cukup mencegah tanah dasar mengembang melebihi batas-batas yang dianggap berbahaya (ditentukan berdasarkan percobaan laboratorium)

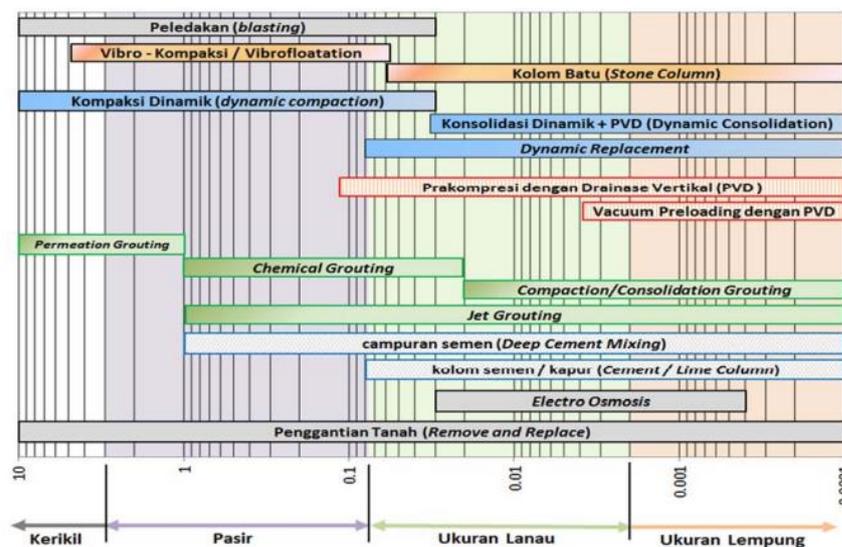
### 2.3 Tanah Lempung

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 permeabilitasnya sangat rendah, pada kadar air yang lebih tinggi (basah) lempung tersebut bersifat lengket. Lempung adalah alumunium silikat kompleks terbentuk satu dari unit dasar yaitu : *Silica Tetrahedron*, *Alumina Octahedron*. Tiap unit tetrahedron terdiri dari empat atom oxygen mengelilingi sebuah atom silica, kombinasi unit tetrahedral silica memberikan selembat silica. Tiga atom oxygen dari tiap *tetrahedron* dibagi oleh tetrahedral sebelahnya. Unit *octahedral* terdiri dari enam hydroxyls mengelilingi

sebuah atom aluminium, kombinasi dari unit *octahedral aluminum hydroxyls* memberikan selembar *octahedral*, disebut juga lembar *gibbsite*, kadang-kadang magnesium menggantikan atom aluminium pada unit *octahedral*, disebut juga lembar *brucite*

## 2.4 Kriteria Penentuan Jenis Perbaikan Tanah

Secara garis besar jenis perbaikan tanah yang tepat untuk bangunan atau infrastruktur yang akan didirikan dapat ditentukan berdasarkan Gambar 2.1



**Gambar 2. 1** Jenis-Jenis Metode Perbaikan Tanah

### 2.4.1 Karakteristik Tanah Lempung

Ada beberapa karakteristik pada tanah lempung yaitu sebagai berikut :

1. Hubungan antar plastisitas dengan dehidrasi
2. Hubungan antar plastisitas dan fraksi lempung

### 2.4.2 Mineral Lempung

Mineral lempung tersusun oleh *aluminium silikat hidrat*. Bentuk dasarnya berupa tetrahedral silika oksigen (satu atom silika mengikat empat atom oksigen) dan oktahedral aluminium hidrat (satu atom aluminium mengikat enam ion hidrat). Bentuk-bentuk dasar berikatan satu sama lain membentuk lembaran (sheet). Karakteristik lempung yang terjadi ditentukan oleh susunan dan komposisi *Tetrahedral Silika* dan *Oktahedral Alumina*. Berdasarkan susunan bentuk dasarnya dibedakan tiga jenis lempung yaitu : kelompok *kaolinite*, kelompok

*montmorillonite*, dan kelompok *illite*. Tanah lempung kelompok *montmorillonite* sangat sensitif terhadap air. Permukaan lapisan sheet yang bermuatan negatif membutuhkan ion positif (*kation*) untuk menetralkannya. Kenaikan volume akibat peristiwa swelling bergantung pada ukuran ion terhidrasi, kadar air dan jenis lempung. Semakin besar *ion penetrat*, semakin besar pula kenaikan volume lempung. *Montmorillonite* merupakan kelompok lempung yang paling mudah swelling, sedangkan kaolinite yang paling sulit.

### 2.4.3 Sifat Umum Lempung

#### 1. Hidrasi

Partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air yang mengembun (*Adsorbed Water*). Lapisan air dapat menghilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 60°C sampai 100°C dan akan mengurangi plastisitas alamiah (antara 6% sampai 10%). Sebagian air ini juga dapat menghilang dengan pengeringan udara saja.

#### 2. Aktivitas

Tepi-tepi mineral lempung mempunyai daya netto negatif. Ini mengakibatkan terjadinya usaha untuk menyeimbangkan daya ini dengan tarikan kation. Tarikan ini akan proporsional dengan kekurangan daya netto dan dapat dihubungkan dengan aktivitas dan lempung tersebut. Aktivitas ini dapat didefinisikan sebagai :

#### 3. Flokulasi dan penyebaran

Mineral tanah hampir selalu menghasilkan larutan tanah air yang bersifat alkalin ( $pH > 7$ ) sebagai akibat dari gaya negatif netto yang bekerja pada satuan mineral. Beberapa pengecualian mungkin terjadi apabila mineral itu terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkrystal (*amorphous*). Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk flokulasi yang berorientasi secara acak, atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dan larutan itu dengan cepatnya dan membentuk sedimen yang sangat lepas. Untuk menghindarkan flokulasi, larutan tanah air yang terpisah-pisah ini dapat dinetralisasikan dengan menambahkan ion-ion  $H^+$  yang dapat diperoleh dan bahan-

bahan yang mengandung asam. Bahan yang paling biasa digunakan dilaboratorium adalah sodium *Heksametafosfat*.

#### 4. Pengaruh air

Fase air didalam tanah lempung tidaklah berupa air yang murni secara kimiawi. Air ini berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dan lempung. Fenomena utama dari lempung adalah massanya yang telah mengering dari suatu kadar air awal mempunyai kekuatan yang cukup besar. Apabila bongkahan ini dipecah-pecah menjadi partikel-partikel kecil, material akan bersifat sebagai material yang tidak kohesif. Apabila air ditambahkan kembali, material akan menjadi plastis dengan kekuatan kurang dan kekuatan bongkah yang kering. Apabila lempung basah mengering kembali, akan terbentuk lagi bongkah yang keras dan kuat.

### 2.5 Pemeriksaan Sifat Fisik Tanah

#### 2.5.1 Kadar Air Tanah (W)

Kadar air (water content)  $w$  didefinisikan sebagai :

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

Persamaan ini memberikan persamaan yang dependen, dimana berat air pada pembilang atau penyebut. Oleh karena alasan inilah persamaan tersebut tidak dipergunakan oleh para insinyur geoteknik :

$$0 \leq w, \text{persen} < \infty$$

Suatu hal yang biasa untuk tanah-tanah didasar laut atau tanah-tanah organic didanau untuk mempunyai nilai kadar air sampai 300%-400%, tetapi kadar air alami untuk sebagian besar tanah biasanya dibawah 60%. Tanah yang kelihatannya kering masih mempunyai kadar air dari 2%-3%.

#### 2.5.2 Berat Volume Tanah ( $\gamma$ )

Berat volume tanah adalah berat tanah persatuan volume dengan rumus dasar :

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Dimana :

$$\gamma = \text{Berat Volume Tanah (gr/cm}^3\text{)}$$

W = Berat Tanah Basah (gr)

V = Volume Ring (cm<sup>3</sup>)

### 2.5.3 Berat Jenis Tanah (Gs)

Berat jenis (specific gravity) G<sub>s</sub> ini merupakan beberapa istilah dari rumus dibawah. Terdapat dua definisi berat jenis yang dapat dipakai. Definisi dasar dapat dijumpai pada buku teks fisika dan dihitung mengikuti persamaan berikut:

$$G_s = \frac{\text{berat volume satuan suatu mineral}}{\text{berat volume satuan air pada } 4^\circ}$$

Pada umumnya, para insinyur geoteknik memerlukan berat jenis dari butir-butir tanah (atau solid) G<sub>s</sub>, dan ini harus dianggap sebagai nilai yang harus dipakai apabila tidak diterapkan. Berat jenis butir tanah G<sub>s</sub> dihitung sebagai :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{w_s}{v_s \gamma_w}$$

Dimana  $\gamma_s$ =berat butir-butir tanah (tanpa pori). Nilai-nilai khas G<sub>s</sub> untuk butir-butir tanah 2,65-2,72. Untuk mendapatkan berat jenis butir tanah G<sub>s</sub> akan membutuhkan terlebih dahulu nilai-nilai berat dan volume dari bagian yang mewakilkan butir-butir tanah itu.

## 2.6 Batas-Batas Konsistensi Tanah (Atterberg Limit)

Tanah lempung mempunyai ciri jika diremas-remas (remoulded) tidak menimbulkan retak-retak. Sifat kohesi ini disebabkan karena adanya air yang terserap di sekeliling permukaan partikel lempung (Das 1991). Atterberg (1991) dalam bowless (1991), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan air batas-batas tersebut antara lain sebagai berikut :

### 2.6.1 Batas Cair (Liquid Limit)

Batas cair 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, yang dipisahkan selebar 3mm dan menyatu kembali selebar 0,5 inch pada pukulan ke25. Percobaan ini dilakukan dengan sampel tanah yang berbeda dengan beberapa variasi kadar air

### 2.6.2 Batas Plastis (Plastis Limit)

Batas plastis (PL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2mm mulai retak-retak ketika digulung (Hardiyatmo, 1992).

### 2.6.3 Batas Susut

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 merupakan nilai kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Batas susut merupakan nilai kadar air yang didefinisikan pada derajat kejenuhan sama dengan 100%. Jadi untuk nilai-nilai di bawah ini tidak akan terdapat perubahan volume tanah apabila dikeringkan terus. Batas ini cukup penting di daerah kering dan untuk jenis tanah tertentu yang mengalami perubahan volume yang cukup besar dengan berubahnya kadar air. Batas susut dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$SL = w - \left( \frac{v - v_0}{w_0} \right) \times 100\%$$

Dengan :

W = berat air (gram)

V = volume ring (cm<sup>3</sup>)

V<sub>0</sub> = volume tanah kering oven (cm<sup>3</sup>), dan

W<sub>0</sub> = berat tanah kering (gram)

### 2.6.4 Indeks Plastis

Indeks plastisitas adalah selisih antara batas cair dan batas plastis suatu tanah . rumusnya akan dijelaskan pada persamaan berikut :

$$IP = LL - PL$$

Dengan :

IP = Indeks Plastis

LL = Batas Cair

PL = Batas Plastis

IP merupakan interval kadar air tanah yang masih bersifat plastis dan dapat juga menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika interval keplastisan kadar air kecil maka disebut tanah kurus dan sebaliknya disebut tanah gemuk, batasan tentang indeks plastisitas, sifat dan macam tanah serta kohesinya diberikan oleh Atterberg terdapat dalam Tabel 2.3 berikut ini :

**Tabel 2. 1** Sifat Macam dan Kohesi Tanah

IP	Sifat	Macam tanah	Kohesi
0	Non plastisitas	Pasir	Non kohesif
<7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7-17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas tinggi	lempung	kohesif

## 2.7 Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah digunakan untuk mengelompokkan tanah-tanah sesuai perilaku dari tanah pada kondisi fisis tertentu. Tanah-tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasarkan suatu kondisi fisis tertentu bisa saja mempunyai urutan yang tidak sama jika didasarkan pada kondisi-kondisi fisis yang lain. Sistem klasifikasi tanah yang dipakai pada penelitian ini yaitu sistem klasifikasi tanah menurut AASHTO, USCS, dan USDA

Menurut Braja M.Das (1995) Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok - kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci.

Tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (gravel), Pasir (sand), lanau (silt), atau lempung (clay), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut (Braja M Das 1995). Pada tabel berikut akan menampilkan batasan-batasan ukuran golongan tanah :

**Tabel 2. 2** Batasan-Batasan Ukuran Golongan Tanah

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

### 2.7.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (American Association of State Highway and Transformation Officials) yang membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Sistem ini berguna untuk menentukan kualitas tanah guna perencanaan timbunan jalan, subbase dan subgrade. Tabel 2.5 memperlihatkan sistem klasifikasi AASHTO tampak terdiri dari kelompok A-1 sampai A-7 dengan sub kelompok. Sedangkan sub kelompok A-8 tidak diperlihatkan, tetapi merupakan gambut yang ditentukan berdasarkan klasifikasi visual. Kelompok tanah berbutir kasar dibedakan dalam kelompok A-1 sampai dengan A-2.

**Tabel 2. 3** Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem AASHTO

Klasifikasi umum	Material berbutir kasar (35% atau kurang lolos saringan no.200)							Material lanau-lempung (lebih dari 35% lolos saringan no.200)			
Klasifikasi group	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	50 max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No.40	30 max	50 max	51 max	-	-	-	-	-	-	-	-
No.200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	36 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Karakteristik fraksi lolos saringan no.40											
Batas cair				40 max	41 max	40 max	41 max	40 max	41 max	40 max	41 max
Indeks plastisitas	6 max		N.P	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Jenis material pokok	Fragmen batu,kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir kelanauan kelempungan				Tanah lanau		Tanah lempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

Untuk A-7-5,  $PI \leq LL - 30$

Untuk A-7-6,  $PI > LL - 30$

(Sumber : AASHTO, 1991)

A-1 adalah kelompok tanah yang terdiri dari campuran kerikil, pasir kasar, pasir halus yang bergradasi baik mempunyai plastisitas yang sangat kecil atau tidak sama sekali. Sub kelompok A-1-a yang dapat mengandung kerikil yang cukup banyak merupakan bahan yang bergradasi lebih besar dari pada A-1-b yang terutama terdiri dari pasir kasar. Kelompok ini mempunyai sejumlah kecil plastisitas  $IP < 6$ .

A-2 adalah kelompok tanah yang terdiri dari campuran kerikil dan atau pasir dengan tanah berbutir halus dibawah 35%, merupakan batas antara tanah berbutir kasar dengan tanah berbutir halus. Sub kelompok A2-4 dan A-2-5 adalah bahan yang tidak lebih dari 35% lebih halus dari saringan No.200, mempunyai karakteristik plastisitas dari kelompok A-6 dan A-7.

A-3 adalah kelompok tanah yang terdiri dari pasir halus bergradasi buruk dengan sebagian kecil pasir kasar dan kerikil, merupakan bahan yang tidak plastis. Bahan lanau dan lempung berada pada kelompok A-4 sampai A-7 yang merupakan kelompok tanah berbutir halus lebih dari 35% butirannya lolos saringan No.200 yang sangat ditentukan oleh sifat plastisitas tanah.

A-4 adalah kelompok tanah lanau dengan plastisitas rendah. A-5 adalah kelompok tanah lanau yang mengandung tanah plastis sehingga tanahnya lebih plastis daripada A-4. A-6 adalah kelompok lempung yang mengandung pasir dan kerikil yang masih mempunyai sifat perubahan volumenya besar.

A-7 adalah kelompok lempung yang bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan volume yang cukup besar. Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisitasnya (PL). Untuk  $PL > 30$ , klasifikasinya A-7-5. Untuk  $PL < 30$  maka termasuk dalam A-7-6.

A-8 adalah gambut (sangat organis) atau rawang (tipis, sangat berair dengan bahan organis yang cukup banyak) dan diidentifikasi lewat pemeriksaan terhadap deposit. Indeks kelompok (group index) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :  $GI = (F-35)[0,2+0,005(LL-40)]+0,01(F-15)(IP-10)$

Dengan :

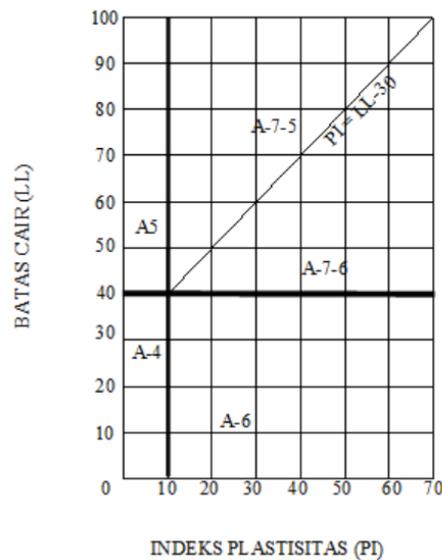
GI = Indeks Kelompok (group index)

F = Material lolos saringan No.200 (%)

LL = Batas Cair (%), dan

IP = Indeks Plastisitas (%)

Pada umumnya semakin besar nilai indeks kelompoknya, semakin kurang baik nilai kelompok tersebut untuk dipakai dalam pembangunan jalan raya maupun jalan kereta api untuk tanah-tanah dalam sub kelompok itu.



**Gambar 2. 2** Rentan (range) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah alam kelompok A-4,A-5,A-6,A-7

### 2.7.2 Klasifikasi Sistem Unifed (UCS)

Sistem ini mengelompokkan tanah kedalam dua kelompok besar, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (coarse – grained soil), yaitu tanah kerikil dan pasir < 50 % berat contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dari huruf G atau S.G adalah untuk gravel (kerikil) dan S adalah sand (pasir).
2. Tanah berbutir halus (fine grained soil), tanah di mana > 50 % berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200, dimulai dari huruf M untuk lanau (silt) anorganik, C untuk lempung (clay) anorganik, dan O untuk lanau – organik dan lempung organic.
3. Tanah organic yang dapat dikenal dari warna , bau dan sisa-sisa tumbuh-tumbuhan yang terkandung didalamnya

**Tabel 2. 4** Sistem Klasifikasi Tanah Unified Berdasarkan Kelompok

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

(sumber : bowles, 1991)

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

- a. Tanah berbutir kasar adalah tanah yang lebih dan 50% bahannya tertahan pada ayakan No. 200. Tanah butir kasar terbagi atas kerikil dengan simbol G (*gravel*), dan pasir dengan simbol S (*sand*).
- b. Tanah butir halus adalah tanah yang lebih dan 50% bahannya lewat pada saringan No. 200. Tanah butir halus terbagi atas lanau dengan simbol M (*silt*), lempung dengan simbol C (*clay*), serta lanau dan lempung organik dengan simbol O, bergantung pada tanah itu terletak pada grafik plastisitas. Tanda L untuk plastisitas rendah dan tanda H untuk plastisitas tinggi.

Simbol-simbol yang digunakan tersebut adalah

G = Kerikil (*Gravel*)

S = Pasir (*Sand*)

C = Lempung (*Clay*)

M = Lanau (*Silt*)

O = Lanau atau lempung organik (*Organic silt or clay*)

W = Gradasi baik (*Well-graded*)

P = Gradasi buruk (*poorly-graded*)

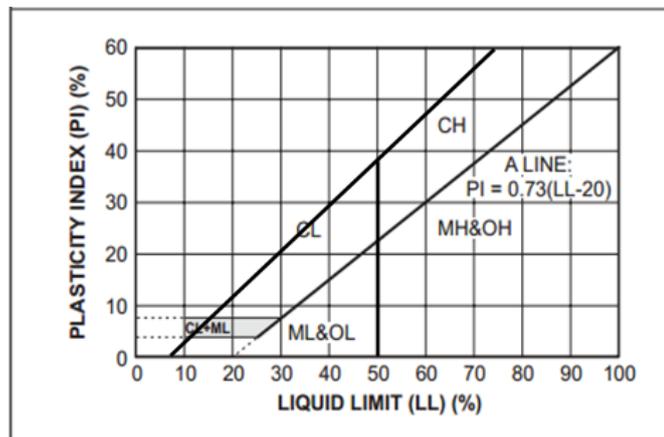
H = Plastisitas tinggi (*high-plasticity*)

L = Plastisitas rendah (*low-plasticity*)

Pt = Tanah gambut dan tanah organik tinggi

Sistem ini mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu :

1. Tanah berbutir-kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu: tanah kerikil dan pasir di mana 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.



**Gambar 2. 3** 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.

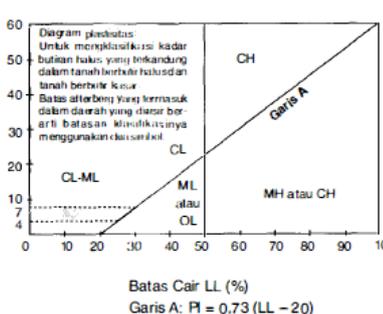
2. Kelompok CH dan CL terutama adalah lempung organik. Kelompok CH adalah lempung dengan plastisitas sedang sampai tinggi mencakup lempung gemuk. Lempung dengan plastisitas rendah yang dikalsifikasikan CL biasanya adalah lempung kurus, lempung kepasiran atau lempung lanau.
3. Kelompok OL dan OH adalah 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. 5 Sistem klasifikasi USCS

Divisi		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria Klasifikasi	
Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar (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 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.		
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$
		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))		SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 60$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus.	
Pasir bersih kandungan butiran halus		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$
		SC	Pasir berlanau, campuran pasir-lempung	Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$	

Klasifikasi berdasarkan presentase butiran halus: Kurang dari 50% lolos saringan no. 200; GM, GP, SW, SP; Lebih dari 12% lolos saringan no. 200; GM, GC, SM, SC; 5% - 12% lolos saringan no. 200; Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel

(Sumber, Braja M.Das jilid 1,1995)

Tanah berbutir halus 50% atau lebih 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 bertempung	 <p>Batas Cair LL (%) Garis A: <math>PI = 0,73 (LL - 20)</math></p>
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ('clean 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 elastis.	
		CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')	
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi		
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 Jilid 1,1995)

Tabel 2. 6 Sistem Klasifikasi USCS (Lanjutan)

	Kriteria klasifikasi	
<p>Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus</p> <p>Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 GW, GP, SW, SP</p> <p>Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 GM, GC, SM, SC</p> <p>5% sampai 12% lolos ayakan No. 200</p> <p>Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan dua simbol</p>	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3.	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas Atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$	
	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk $\dot{S}W$	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
Batas-batas atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$		
<p><b>Bagan Plastisitas</b></p> <p>Untuk klasifikasi tanah berbutir-halus dan fraksi halus dari tanah berbutir-kasar</p> <p>Batas Atterberg yang digambarkan di bawah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda</p> <p>Persamaan garis A  <math>PI = 0,73(LL - 20)</math></p> <p>Indeks plastisitas</p> <p>Batas cair</p>		
<p>Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam                      ASTM Designation D-2488</p>		

(Sumber: Das, Braja, M. Mekanika Tanah Jilid I)

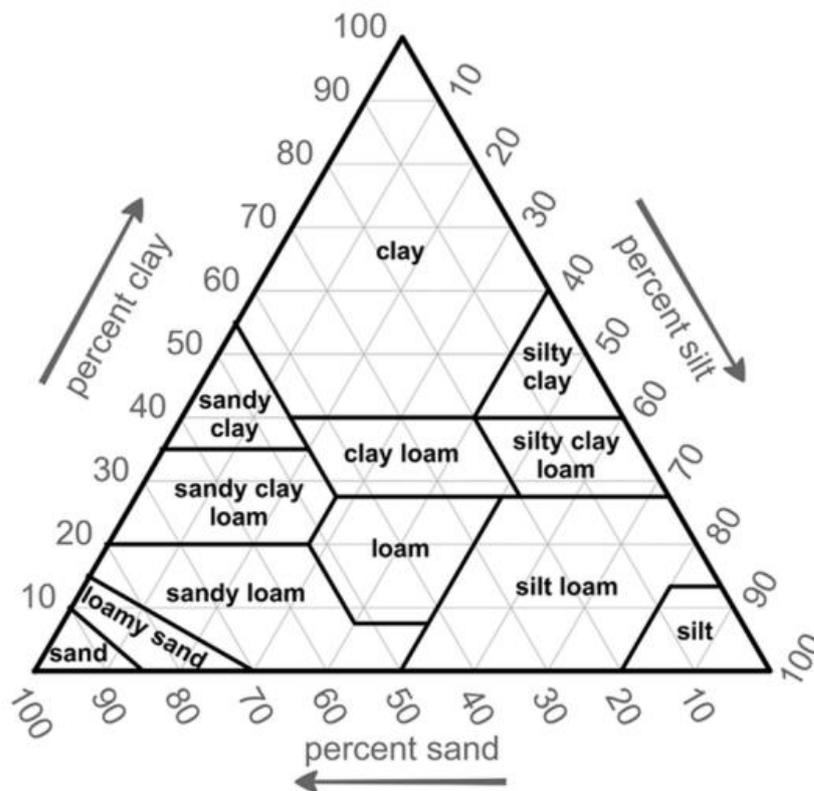
### 2.7.3 Sistem Klasifikasi Tanah USDA (U.S Departement of Agriculture)

Klasifikasi tanah yang telah disusun antara lain sistem klasifikasi Dudal-Soeprapto hardjo, Sistem Soil Taxonomy (USDA), SystemWorld Reference Base for Soil Resources, Sistem Unified Soil Clasification System(USCS) dan systemAmerican Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO).

Dalam arti umum, yang dimaksud dengan tekstur tanah adalah keadaan permukaan tanah yang bersangkutan. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada di dalam tanah. Sistem ini membagi tanah dalam beberapa kelompok: kerikil (gravel), pasir (sand), lanau (silt), dan lempung (clay), atas dasar ukuran butir-butirnya. Pada umumnya, tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Dalam sistem klasifikasi tanahberdasarkan tekstur, tanah diberi nama atas dasar komponen utama yang dikandungnya, misalnya lempung berpasir (sandy clay), lempung berlanau (siltyclay), dan seterusnya.

Beberapa sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah telah dikembangkan sejak dulu oleh berbagai organisasi guna memenuhi kebutuhan mereka sendiri,beberapa dari sistem-sistem tersebut masih tetap dipakai sampai saat ini. Gambar 2.5 menunjukkan sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). Sistem ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah seperti yang diterangkan oleh sistem USDA, yaitu :

1. pasir: butiran dengan diameter 2 ,0 sampai dengan 0,05 mm
2. lanau: butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm
3. lempung : butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002mm



**Gambar 2. 4** Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)

(Sumber: Das, Braja, M. Mekanika Tanah Jilid I)

## 2.8 Stabilisasi Tanah

### 2.8.1 Umum

Stabilisasi tanah adalah suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser. Adapun tujuan stabilisasi tanah adalah untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada. Sifat-sifat tanah yang dapat diperbaiki dengan cara stabilisasi dapat meliputi: kestabilan volume, kekuatan atau daya dukung, permeabilitas, dan kekekalan atau keawetan. Menurut Bowles, 1991 beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah sebagai berikut :

1. Meningkatkan kerapatan tanah.
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan tahanan gesek yang timbul.

3. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisis pada tanah.
4. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah).
5. Mengganti tanah yang buruk.

Dalam perekayasaan konstruksi bangunan sipil, sering ditemukan lapisan tanah yang memiliki daya dukung rendah (low strength), yang sangat mempengaruhi berbagai tahapan rancang bangun konstruksi, baik dalam tahap perencanaan (design), tahap pelaksanaan (perform), maupun tahap operasional dan pemeliharaan (Operational and Maintenance). Rendahnya daya dukung dari suatu jenis lapisan tanah di suatu tempat, sangat dipengaruhi oleh minerologi tanah, yang mana minerologi tanah terbentuk dari proses pelapukan material batuan (unorganik) atau material organik.

Hasil lapukan material unorganik dan organik yang membentuk lapisan tanah pada suatu tempat, dapat merupakan material lapukan setempat (residual soil), dan hasil lapukan yang terangkut dari tempat lain (transported soil). Eksistensi kedua jenis material lapukan tersebut di dalam pembentukan lapisan tanah, sangat mempengaruhi sifat-sifat tanah pada suatu tempat. Baik sifat fisis maupun sifat mekanis dari pada lapisan tanah. Jika partikel lapukan tersebut bergradasi halus, maka cenderung memberikan sifat yang kohesif dengan konsistensi fisis yang lunak.

Sebaiknya jika partikel lapukan pembentuk lapisan tanah bergradasi kasar, maka cenderung memberikan konsistensi yang keras dan sifat yang cenderung non kohesif. Kedua karaktersitik tersebut (kohesivitas dan konsistensi), sangat menentukan kinerja dari lapisan tanah dalam berbagai hal, seperti besaran daya dukung, kapasitas permeabilitas tanah, perilaku kompresibilitas, dan potensi kembang susut (swelling potensial) tanah. Dalam pengertian teknis, terminologi dari pada daya dukung tanah adalah kemampuan tanah memikul tekanan dan melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang disebarkan oleh tanah disepanjang bidang-bidang gesernya.

Dalam pekerjaan teknik sipil masalah permeabilitas tanah, kadang diupayakan sekecil mungkin untuk tujuan optimalisasi kinerja konstruksi. Contoh pada bendung tanggul urugan tanah, struktur subgrade jalan, lapisan backfill turap,

dan lain sebagainya. Namun kadang pula diupayakan agar permeabilitas pada lapisan tanah yang diperbesar. Contoh untuk lapisan top soil pada recharge area suatu akuifer harus diupayakan lapisan permukaan tanah yang memiliki permeabilitas tinggi, agar proses infiltrasi air permukaan ke dalam zona akuifer lebih mudah dan akan menghasilkan input air tanah ke dalam akuifer yang lebih besar.

Dalam kasus yang terakhir biasanya dilakukan pengurangan material tanah granuler di permukaan sehingga membentuk lapisan porous yang biasa disebut lensa pasir (*sand lense*). Selanjutnya potensi kembang susut (*swelling potential*) dari tanah ekspansif dapat diperbaiki dengan cara merubah nilai density tanah tersebut (Holtz, 1959).

Metode ini menunjukkan bahwa pemadatan pada nilai density yang rendah dan pada kadar air di bawah kadar optimum yang terlihat pada test Standar Proctor dapat mengakibatkan lebih sedikit swelling potential dari pada pemadatan pada nilai density, yang tinggi dan kadar air yang lebih rendah. Semua tindakan mengubah sifat-sifat asli dari pada tanah, untuk disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi adalah merupakan tindakan yang dapat dikategorikan sebagai upaya stabilisasi tanah.

Secara khusus pengertian stabilisasi tanah dapat dilihat dari berbagai definisi yang dikemukakan beberapa ahli, antara lain :

1. Menurut Lambe (1962), mendefinisikan stabilisasi tanah sebagai perubahan dari setiap properti tanah untuk memperbaiki kinerja tekniknya (soil stabilization as "*The Alteration Of Any Property Of A Soil To Improve Its Engineering Performance*"). Dalam pengertian ini Lambe memaknai sifat-sifat tanah (*Soil Property*) mencakup sifat mikroskopis dan makroskopis dari massa tanah. 2.
2. Jon A. Epps et al. (1971), mengartikan stabilisasi tanah adalah tindakan untuk memperbaiki sifat rekayasa tanah (*Soil Properties*). 3.
3. Ingles & Metcalf (1972), mengatakan bahwa perubahan sifat tanah untuk memenuhi persyaratan teknik tertentu, dikenal sebagai stabilisasi tanah.
4. Punmia (1980), menyatakan bahwa stabilisasi tanah dalam pengertian luas mencakup berbagai metode yang digunakan untuk memodifikasi sifat tanah

untuk memperbaiki kinerja tekniknya. Dalam hal ini menurut Punmia bahwa tujuan utama dari stabilisasi tanah adalah untuk meningkatkan kekuatan atau stabilitas tanah dan mengurangi biaya konstruksi dengan memanfaatkan sebaik-baiknya bahan yang tersedia secara lokal.

5. Winterkorn (1975), menyatakan bahwa Stabilisasi tanah adalah istilah kolektif untuk metode fisis, kimia, atau biologi, atau kombinasi metode semacam itu, yang digunakan untuk memperbaiki sifat tertentu dari tanah alami agar sesuai dengan tujuan rekayasa yang tepat.
6. Ruston Paving Company Inc., mengartikan bahwa Stabilisasi tanah adalah perubahan fisis dan kimia permanen dari tanah dan agregat untuk meningkatkan sifat tekniknya sehingga meningkatkan daya dukung beban subgrade atau subbasis untuk mendukung perkerasan dan fondasi."

Selain definisi di atas, masih banyak lagi terminologi yang dikemukakan beberapa ahli lain. Secara umum orang mengartikan bahwa stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, atau dapat pula diartikan secara umum bahwa stabilisasi tanah adalah usaha untuk mengubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu.

Menurut hemat penulis, pengertian lebih luas dari stabilisasi tanah adalah suatu metode rekayasa tanah yang bertujuan untuk meningkatkan dan/atau mempertahankan sifat-sifat tertentu pada tanah, agar selalu memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan.

Dalam hal ini berbagai syarat teknis yang dibutuhkan dalam mengoptimalkan kinerja konstruksi, antara lain ; kapasitas daya dukung tanah, kuat geser tanah, penurunan (*settlement*), permeabilitas tanah, dan lain sebagainya, yang mana syarat teknis tersebut selalu dikaitkan dengan jenis dan fungsi konstruksi yang dibangun/dibuat. Secara garis besar, jika ditinjau dari mekanisme global yang terjadi pada tindakan stabilisasi tanah, maka klasifikasi tindakan stabilisasi tanah dapat dibedakan atas dua macam, yakni :

1. Perbaikan tanah (*Soil Improvement*); adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan menggunakan bahan

additive (kimiawi), pencampuran tanah (*regradation*), pengeringan tanah (*dewatering*) atau melalui penyaluran energi statis/dinamis ke dalam lapisan tanah (fisis).

2. Perkuatan tanah (*Soil Reinforcement*); adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan memberikan material sisipan ke dalam lapisan tanah tersebut.

Dari kedua pengklasifikasian di atas, terlihat korelasi antara keduanya, bahwa:

1. Perbaikan tanah (*Soil Improvement*), relevan dengan stabilisasi kimia dan stabilisasi fisis.
2. Perkuatan tanah (*Soil Reinforcement*), relevan dengan stabilisasi mekanis.

Namun apabila ditinjau dari proses yang terjadi dalam pelaksanaan stabilisasi tanah, maka stabilisasi tanah dapat dibedakan atas tiga jenis, yakni: 1.

1. Stabilisasi Kimiawi; yaitu menambahkan bahan kimia tertentu dengan material tanah, sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dengan bahan pencampurnya, yang akan menghasilkan material baru yang memiliki sifat teknis yang lebih baik.
2. Stabilisasi Fisis; yaitu mengenakan energi dari beban dinamis atau beban statis ke dalam lapisan tanah, sehingga terjadi dekomposisi baru dalam massa tanah, yang akan memperbaiki karakteristik lapisan tanah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.
3. Stabilisasi Mekanis; yaitu stabilisasi dengan memasukkan material sisipan ke dalam lapisan tanah sehingga mampu meningkatkan karakteristik teknis dalam massa tanah sesuai dengan tujuan tindakan stabilisasi yang ingin dicapai. Karena keberadaan material sisipan ke dalam lapisan tanah inilah, sehingga stabilisasi mekanis diistilahkan sebagai “perkuatan tanah (*soil reinforcement*). Contohnya stabilisasi dengan metal strip, geotextile, geomembrane, geogrid, vertical drain, dan lain sebagainya.

Stabilisasi tanah dilakukan untuk mengubah sifat-sifat dari material yang ada dan kurang baik menjadi material yang memiliki sifat yang lebih baik sehingga stabilisasi ini dapat memenuhi kebutuhan perencanaan konstruksi yang diinginkan. Pemilihan stabilisasi yang digunakan selalu didasarkan atas respon dari tanah

tersebut terhadap stabilisasi yang digunakan. Sifat-sifat dari suatu jenis tanah, sangat mempengaruhi dalam penentuan jenis stabilisasi tanah tersebut.

### 2.8.2 Perbaikan Tanah

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

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

Untuk menentukan jenis dan sistem perbaikan tanah yang cocok untuk diterapkan pada suatu lokasi perlu dilakukan penyelidikan geoteknik pendahuluan yang meliputi penyelidikan tanah di lapangan dan pemeriksaan tanah di laboratorium.

Berikut tabel untuk jenis pengujian pendahuluan yang akan dilakukan pada uji lapangan dan juga uji laboratorium untuk pekerjaan perbaikan tanah.

**Tabel 2. 7** Uji Lapangan Pendahuluan Untuk Pekerjaan Perbaikan Tanah

No.	Jenis uji	Standar uji	Keterangan
1.	Pengeboran dan pencatatan ( <i>logging</i> ) jenis tanah	SNI 03-4148-1996 (EN ISO 22475-1)	Setelah selesai pengeboran lubang bor harus ditutup/diisi kembali dengan mortar semen)
2.	Penetrasi standar atau uji SPT ( <i>Standard Penetration Test, SPT</i> )	SNI 4153-2008	Dilakukan setiap interval 2 m
3.	Sondir atau uji CPT ( <i>Cone Penetration Test, CPT</i> )	SNI 2827-2008	-
4.	Geser baling ( <i>Vane Shear Test</i> atau VST)	SNI 03-2487-1991(ASTM D2573/D2573M-15)	Uji tambahan untuk tanah lempung lunak
5.	Sondir elektrik dengan pengukuran tegangan air pori (CPTu)	SNI 2827-2008	Uji tambahan untuk tanah lempung lunak
6.	<i>Pressuremeter Test</i> (PMT)	EN ISO 22476	Uji tambahan untuk tanah lempung lunak
7.	<i>Dilatometer Test</i> (DMT)	ASTM D 6635-15	Uji tambahan untuk tanah lempung lunak
8.	<i>Seismic Refraction Test</i>	ASTM D4428 / D4428M-14 ASTM D 7400	Uji tambahan untuk areal yang luas
9.	Geolistrik	SNI 2528:2012	Uji tambahan untuk areal yang luas

(Sumber :SNI 8460-2017 Geoteknik)

**Tabel 2. 8** Uji Laboratorium Untuk Pekerjaan Perbaikan Tanah

No.	Jenis uji	Standar uji	Keterangan
1.	Sifat indeks tanah	SNI 1966:2008 SNI 1967:2008 SNI 1976:2008 SNI 3422: 2008 SNI 3423:2008	-
2.	Triaksial UU dan/atau triaksial CU dan/atau triaksial CD	SNI 4813:2015 SNI 2455:2015	Untuk tanah lempung lunak
3.	Geser langsung	SNI 2813:2008	Untuk tanah pasiran
4.	Konsolidasi	SNI 2812:2012	-

(Sumber :SNI 8460-2017 Geoteknik)

### 2.8.3 Perkuatan Tanah

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

Selanjutnya material lapisan tanah yang terbentuk dari hasil tindakan perkuatan tanah disebut tanah perkuatan (*reinforced earth*). Tanah perkuatan, adalah lapisan tanah yang diberikan material sisipan yang mampu membentuk suatu sistem yang dapat bekerja sebagai satu kesatuan, sehingga kemampuan dari sistem

tersebut menjadi jauh lebih besar atau lebih optimal dari pada kemampuan awal dari lapisan tanah tersebut Secara garis besar perkuatan tanah dapat diklasifikasikan berdasarkan tujuan utama dari tindakan perkuatan, yakni:

1. Perkuatan tanah dasar (bearing capacity reinforcement).
2. Perkuatan dinding penahan (retaining wall reinforcement).

## **2.9 Matos Soil Stabilizer**

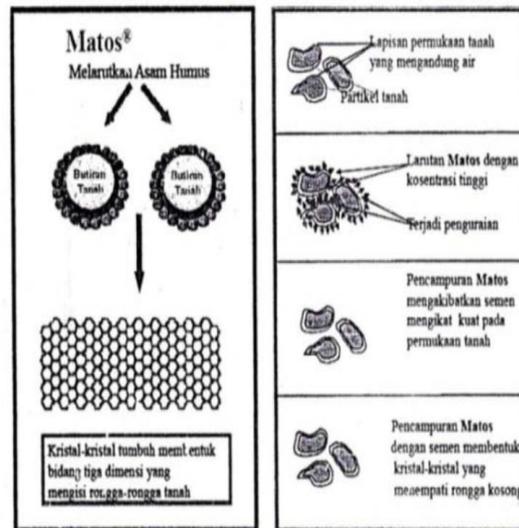
Matos soil stabilizer berupa bahan additive yang berbentuk serbuk putih halus. Komposisi Matos terdiri dari logam dan garam mineral anorganik dan lain-lain, bersumber dari air laut, aman untuk makhluk hidup dan ramah lingkungan. Matos digunakan pada campuran tanah dan kapur. Matos berfungsi sebagai berikut :

1. melarutkan humus pada permukaan partikel tanah yang menghalangi ikatan tanah-semen sehingga ikatan lebih kuat,
2. membentuk struktur sarang lebah 3 dimensi diantara partikel-partikel tanah,
3. mencegah keretakan akibat panas reaksi hidrasi semen. Humus terbentuk akibat tanaman-tanaman yang sudah mati larut kedalam air yang menempel pada permukaan tanah dan humus (humic acid) ini menghambat terjadinya kontak antara kation kalsium ( $\text{Ca}^{++}$ ) semen dan anion (-) partikel-partikel tanah.

Matos bekerja dengan memperlemah fungsi negatf humus dan menurunkan kadar humus sehingga kation kalsium yang ada pada kapur dapat menempel langsung dipermukaan tanah. Matos membantu menyuplai lebih banyak ion pengganti dan membentuk senyawa asam alumunium silica sehingga membentuk struktur sarang lebah 3 dimensi diantara partikel-partikel tanah. Pada saat terjadi reaksi hidrasi kapur, komponen Matos menyerap panas hidrasi dan mengkristal diantara campuran kapur yang mengikat partikel tanah. Kristal-kristal tersebut menyerupai jarum, akan bertambah banyak dan membesar mengisi rongga-rongga. Penyerapan panas hidrasi dan terbentuknya kristal yang mengisi rongga akan mengurangi patensi

keretakan yang sering timbul pada stabilisasi tanah-semen. Ilustrasi proses reaksi tanah-semen Matos dapat dilihat pada Gambar berikut:

**Gambar 2. 5** Reaksi Tanah Semen yang Timbul pada Stabilitas



## 2.10 Kapur

Batu kapur (limestone) adalah jenis batuan karbonat yang terjadi di alam, disebut juga batu gamping. Mineral utama batu kapur adalah kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), mineral lainnya merupakan mineral pengotor, biasanya terdiri dari kuarsa ( $\text{SiO}_2$ ), karbonat yang berasosiasi dengan mineral besi dan mineral lempung, serta bahan organik sisa tumbuhan. Mineral kalsit terbentuk melalui proses sedimentasi sehingga batu kapur disebut pula batuan sedimen. Mineral kalsit berstruktur kristal sistem heksagonal. Selain kalsit di alam ditemukan pula mineral karbonat lainnya yaitu aragonit ( $\text{CaCO}_3$ ) yang mempunyai komposisi kimia sama dengan kalsit namun struktur kristalnya berbeda yaitu sistem ortorombik. Aragonit ditemukan pada kulit kerang (oyster shells) dan keong (oolites). Aragonit bersifat metastabil, dalam waktu lama akan berubah menjadi kalsit. Mineral karbonat lain yang berasosiasi dengan kalsit adalah siderit ( $\text{FeCO}_3$ ), ankerit ( $\text{Ca}_2\text{MgFe}(\text{CO}_3)_4$ ), dan magnesit ( $\text{MgCO}_3$ ), mineral-mineral tersebut umumnya ditemukan dalam jumlah kecil.

Mineral-mineral karbonat tidak mudah dibedakan satu dari yang lainnya karena mempunyai sifat-sifat fisis yang hampir sama, seperti berat jenis, warna,

bentuk kristal, dan sifat-sifat fisik lainnya. Ciri-ciri dari masing-masing mineral karbonat yang tertera pada Tabel 1 kiranya dapat membantu identifikasi mineral untuk batuan relatif bermineral tunggal dan kompak [Lefond, 1995]. Pengotor yang paling umum terdapat dalam batuan karbonat adalah lempung (clay). Mineral-mineral lempung, terutama kaolinit, ilit, khlorit, dan smektit dapat tersebar diseluruh batuan atau terkonsentrasi dalam lapisan tipis (lami-nae) pada batuan. Selain lempung, pengotor lain adalah kuarsa, yang tersebar dalam batuan karbonat berupa butiran halus berukuran 1 sampai 10 mikron (microcrystalline quartz) sampai butiran pasir (sand-size quartz). Pengotor lainnya adalah bitumen yaitu zat organik, tersebar dalam bentuk halus didalam batuan karbonat. Zat organik ini memberikan warna coklat sampai hitam pada batuan. Untuk beberapa penggunaan tertentu seperti pengisi dan pelapis kertas adanya bitumen ini tidak dikehendaki.

### 2.10.1 Spesifikasi Kapur

Spesifikasi ini (SNI 03-4147-1996) dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan bagi pihak pemakai mengenai persyaratan mutu kapur untuk stabilisasi tanah. Tujuan spesifikasi ini untuk stabilitas tanah. Tujuan spesifikasi ini untuk memberikan persyaratan mutu kapur yang digunakan sebagai bahan stabilitas tanah, sehingga berguna bagi perencanaan dan pelaksanaan pembangunan.

Kapur yang digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah ini adalah kapur . kapur berfungsi untuk meningkatkan stabilitas, menurunkan indeks plastisitas dan menaikkan daya dukung tanah. Persyaratan kimia kapur tipe I dan tipe II yang masing-masing tipe terdiri dari kelas A, kelas B dan C , biasa digunakan dalam stabilisasi tanah ini ditunjukkan pada table dibawah.

**Tabel 2. 9** Spesifikasi campuran kapur

NO	BAHAN	KELAS		
		A	B	C
1	Butiran kapur yang tertahan diatas saringan nomor 30 (0,60mm)	2%	3%	4%
2	Butiran kapur yang tertahan diatas saringan nomor 200 (0,075mm)	12%	14%	18%

**Tabel 2. 10** Persyaratan kimia kapur tipe I

NO	SENYAWA	KELAS		
		A	B	C
1	HYDRATE ALKALINITY CA(OH) <sub>2</sub>	90%	85%	75%
2	KALSIUM OKSIDA ANHIDRAT (CO) MAKSIMUM	7%	8%	9%
3	KADAR AIR BEBAS MAKSIMUM	3%	3%	2%

**Tabel 2. 11** Persyaratan kimia kapur tipe II

NO	SENYAWA	KELAS		
		A	B	C
1	HYDRATE ALKALINITY CA(OH) <sub>2</sub>	98%	96%	94%
2	KALSIUM OKSIDA ANHIDRAT (CO) MAKSIMUM	7%	8%	9%
3	KADAR AIR BEBAS MAKSIMUM	3%	3%	2%

### 2.11 Stabilisasi Tanah dengan Campuran Kapur dan *Matos Soil Stabilizer*

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

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

## 2.12 Kontruksi Perkerasan Jalan

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

Menurut AASHTO dan Bina Marga Konstuksi jalan terdiri atas :

### 1. Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Konstruksi jalan raya selalu diharapkan dapat dibangun di atas tanah dasar (*sub-grade*) dalam klasifikasi baik sesuai dengan persyaratan yang diinginkan. Soedarsono, 1985:34 menetapkan tanah dasar untuk jalan ke dalam beberapa kelompok seperti tercantum dalam tabel 2.16

**Tabel 2. 12** Klasifikasi Tanah Dasar Untuk Jalan

No	Klasifikasi	Jenis Tanah	CBR (%)
1	Sangat Baik	a. Sirtu	25 - 60
		b. Kerikil/pasir	20 - 60
2	Baik	a. Pasir kasar	10 – 30
		b. Pasir halus	6 – 25
3	Sedang	Lanau atau/dan Lempung	4 – 15
4	Jelek	Lempung organik	3 – 8
5	Sangat Jelek	Humus/tanah rawa (tanah organik)	-

(Sumber : Soedarsono, 1985:34)

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 2.17

**Tabel 2. 13** Persyaratan Nilai CBR dan PI Untuk Konstruksi Badan Jalan

No	Material	CBR (%)	PI (%)
1	Sub-Grade	$\geq 6\%$	$\leq 15\%$
2	Sub-Base	$\geq 20\%$	$\leq 10\%$
3	Base Course	$\geq 50\%$	$\leq 4\%$

(Sumber : Anonym, 1972)

### 2.13 Penelitian Terdahulu

Adapun beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Skripsi stabilisasi tanah lempung Pontianak dengan kapur betonite dan semen oleh Ade Arya Muhandi (2020) . penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisa pengaruh pencampuran kapur, betonite dan semen terhadap nilai CBR (*California bearing ratio*) laboratory dan UCS (*unconfined compression strength*) sehingga akan diketahui apakah nilai CBR dan UCS akan meningkat untuk mendapatkan perbandingan hasilnya. Tahap penelitian berupa Tahap penelitian berupa pengujian pendahuluan yaitu pengujian kadar air, berat jenis, berat volume, analisa granuler, batas-batas Atterberg.