

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Dalam melakukan penelitian ini, penulis menggunakan penelitian terdahulu sebagai acuan dan referensi, perbandingan dan tolak ukur serta mempermudah penulis dalam menyusun penelitian ini. Penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Nama Penelitian	Judul Penelitian	Kesimpulan Penelitian
1.	Yuda Purnama dan Macfud Ridwan, 2018	Pengaruh Penambahan Bottom Ash Pada Tanah Lempung Ekspansif Di Daerah Lakarsantri Surabaya Terhadap Nilai Dukung Pondasi Dangkal	Hasil penelitian terhadap daya dukung pondasi dangkal penmbahan bottom ash dapat mempengaruhi nilai daya dukung
2.	Roni Indra Lesmana, Muhardi dan Soewignjo Agus Nughroho, 2016	Stabilitas Tanah Plastisitas Tinggi Dengan Semen	Nilai CBR semakin meningkat seiring bertambahnya kadar semen OPC ataupun PCC, Nilai CBR tanah uji yang dicampur dengan semen OPC lebih bagus daripada nilai CBR tanah uji yang dicampur dengan semen PCC.
3.	Endala Siboro, Muhamad yusa dan Ferry Fatnanta, 2018	Stabilisasi tanah CL-ML Menggunakan Semen dan Difa Soil STABILIZER	Penambahan DIFA SS akan meningkatkan nilai batas cair tanah akan menurunkan nilai batas plastis tanah,

4.	Ardi Kristiadi dan Akhmad Marzuko, 2016	Pengaruh Penambahan Bahan Additif Berupa Campuran Semen Dengan DIFA SS Pada Tanah Butir Halus Terhadap Nilai CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)	DIFA SS yang mengalami pemeraman selama 1 hari sudah memenuhi syarat untuk digunakan sebagai subbase course karena mempunyai nilai CBR $\geq 20\%$
5.	Nurlia Hashifah dan M Abdul Aziz Nurdhani, 2018	Pengaruh Penambahan Difa Soil Stabilizer Semen terhadap Stabilitas Tanah Lempung	Penambahan semen dan Difa soil mampu meningkatkan nilai CBR dan Pemadatan, tetapi untuk nilai LL, PL dan IP semakin menurun

## 2.2 Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Mekanika Tanah 1, Das 1995)

Dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi. Proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan oleh air dan *gleytyer*, atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan sedangkan proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Pelapukan kimiawi menghasilkan pembentukan kelompok-kelompok partikel yang berukuran koloid ( $<0,002$  mm) yang dikenal sebagai mineral lempung (I Komang Tri Herdiana, 2018).

Menurut Bowles (1991) tanah adalah campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

1. Berangkal (*boulders*), merupakan potongan batu besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).

2. Kerikil (*gravel*), partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*), partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm).
4. Lanau (*silt*), partikel batuan berukuran 0,002 sampai 0,0074 mm.
5. Lempung (*clay*), partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
6. Koloid (*colloids*), partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

### 2.2.1 Susunan Tanah Lempung

Pelapukan tanah akibat reaksi kimia menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm, yang disebut mineral lempung. Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung. Di antaranya terdiri dari kelompok-kelompok: *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *olygorskite* terdapat pula kelompok yang lain, Misalnya: *chlorite*, *vermiculite*, dan *halloysite*.

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 susunan dari kesatuan dalam bentuk susunan lempeng simbol. Berbagai macam lempung terbentuk oleh kombinasi tumpukan dari susunan lempeng dasarnya dengan bentuk yang berbeda-beda.

*Kaolinite* merupakan mineral dari kelompok kaolin, terdiri dari susunan satu lembar silika tetrahedral dengan satu lembar aluminium oktahedra, dengan satuan susunan setebal  $7,2 \text{ \AA}^0$  (1 Angstrom ( $\text{A}^0$ ) =  $10^{-10} \text{ m}$  = 0,1 nanometer). Kedua lembaran terikat bersama-sama, sedemikian hingga ujung dari lembaran silika dan satu lapisan lembaran silika dan aluminium, keduanya terikat oleh ikatan hidrogen. Pada keadaan tertentu, partikel *kaolinite* mungkin lebih dari seratus

tumpukan yang sukar dipisahkan. Karena itu, mineral ini stabil dan air tidak dapat masuk diantara lempengan (air dapat menimbulkan kembang-susut pada sel satuannya).

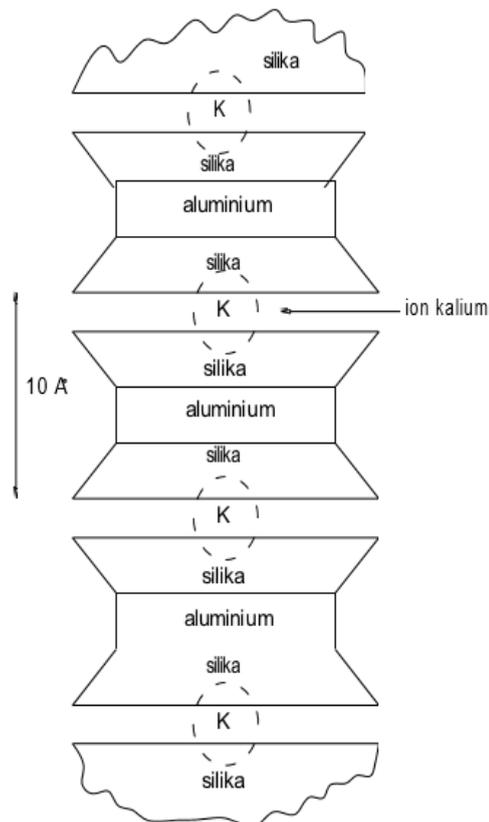
*Halloysite* hampir sama dengan *kaolinite*, tetapi kesatuan yang berurutan lebih acak ikatannya dan dapat dipisahkan oleh lapisan tunggal molekul air. Jika lapisan tunggal air menghilang oleh karena proses penguapan, mineral ini akan berkelakuan lain. Maka, sifat tanah berbutir halus yang mengandung *halloysite* akan berubah secara tajam jika tanah dipanasi sampai menghilangkan lapisan tunggal molekul airnya. Sifat khusus lain adalah bentuk partikelnya menyerupai silinder-silinder memanjang, tidak seperti *kaolinite* yang berbentuk pelat-pelat.

*Montmorillonite*, disebut juga *smectite*, adalah mineral yang dibentuk oleh dua lembar silika dan satu lembar aluminium (*gibbsite*). Lembaran oktahedra terletak di antara dua lembaran silika dengan ujung tetrahedral tercampur dengan hidroksil dari lembaran oktahedra untuk membentuk satu lapisan aluminium oleh magnesium. Karena adanya gaya ikatan Van der Waals yang lemah di antara ujung lembaran silika dan terdapat kekurangan muatan negatif dalam lembaran oktahedral, air dan ion-ion yang berpindah-pindah dapat masuk dan memisahkan lapisannya, jadi kristal *montmorillonite* sangat kecil, tapi pada waktu tertentu mempunyai gaya tarik yang kuat terhadap air. Tanah-tanah yang mengandung *montmorillonite* sangat mudah mengembang oleh tambahan kadar air. Tekanan pengembangan yang dihasilkan dapat merusak struktur ringan dan perkerasan jalan raya.

*Illite* adalah bentuk mineral lempung yang terdiri dari mineral-mineral kelompok *illite*. Bentuk susunan dasarnya terdiri dari sebuah lembaran aluminium oktahedra yang terikat diantara dua lembaran silika tetrahedra. Dalam lembaran oktahedral, terdapat substitusi parsial aluminium oleh magnesium dan besi, dan dalam lembaran tetrahedra terdapat pula substitusi silikon oleh aluminium.

Lembaran-lembaran terikat bersama-sama oleh ikatan lemah ion-ion kalium yang terdapat di antara lembaran-lembarannya. Ikatan-ikatan dengan ion kalium ( $K^+$ ) lebih lemah daripada ikatan hidrogen yang mengikat satuan kristal *kaolinite*, tapi sangat lebih kuat daripada ikatan ionik yang membentuk kristal

*montmorillonite*. Susunan *illite* tidak mudah mengembang oleh air di antara lembaran-lembarannya. (Mekanika Tanah I Edisi ke enam oleh Hary Christady Hardiyatmo)



Gambar 2.1. Diagram Skematik Struktur *illite*

### 2.3 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahan yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan terperinci. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas. Walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tanah, tetapi tidak ada satupun dari sistem-sistem tersebut benar-benar

memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya, hal ini disebabkan karena sifat-sifat tanah yang sangat bervariasi. (Mekanika Tanah 1, Das 1995).

Ada dua sistem klasifikasi tanah yang selalu dipakai oleh para ahli teknik sipil. Kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butir dan batas-batas *Atterberg*. Sistem-sistem tersebut adalah sistem klasifikasi *American Association of State Highway Transportation Officials* (AASHTO) dan sistem klasifikasi *Unified*.

### 2.3.1 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai *public road administration classification system*. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan versi yang berlaku saat ini adalah yang diajukan oleh *Committee on Classification of Materials for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* dalam tahun 1945 (*ASTM Standard no D-3282*, AASHTO metode M145).

Pada 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 No. 200. Tanah dimana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan kedalam kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria berikut :

a. Ukuran butiran

- |                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| Kerikil           | : | bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3in) dan yang tertahan pada ayakan No. 20 (2mm) |
|                   |   | bagian tanah yang lolos ayakan No.10  |
| Pasir             | : | (2mm) dan yang tertahan pada ayakan 200 (0,075mm).  |
| Lanau dan Lempung | : | bagian tanah yang lolos ayakan No. 200.   |

b. Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (*plasticity index (PI)*) sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih.

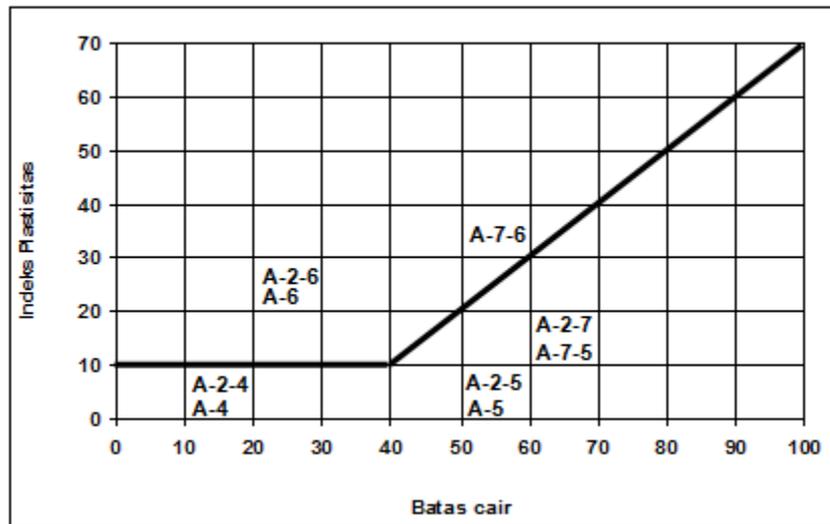
- c. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75mm) ditemukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat

Tabel 2.2 Klasifikasi Sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah Berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A-1		A-3	A-2-4	A-2		
Klasifikasi Kelompok	A-1-a	A-1-b			A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa ayakan (100%) 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 (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 41
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			

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*
Analisa ayakan (100%) No. 10 No. 40 No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos Ayakan No. 40 Batas cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	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			

(Sumber : Mekanika Tanah I Edisi ke enam, Hardiyatmo, 2012)



Gambar 2.2 Rentang (*range*) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6 dan A-7

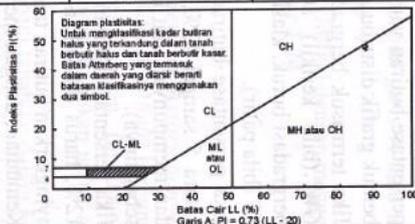
### 2.3.2 Sistem Klasifikasi *Unified*

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande dalam tahun 1942 untuk digunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh *The Army Corps of Engineers* selama Perang Dunia II. Sistem klasifikasi *unified* menglompokkan tanah kedalam dua kelompok besar, yaitu :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse grained soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal g atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
2. Tanah berbutir halus (*fine grained soil*) yaitu tanah dimana lebihdari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awalM untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik.Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), *muck* dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Tabel 2.3 Sistem klasifikasi tanah menurut *unified*

Divisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama Jenis
Tanah berbutir kasar 50% butiran tertahan saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil atau tidak mengandung butiran halus
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung
	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
		SP	Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus
Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	
	SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	
	Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus, kurang dari 5% lolos saringan no. 200 GW, GP, GM, SP, SM dan 12% atau lebih lolos saringan no. 200 GC, SC. Batas-batas yang mempunyai simbol dobel.		$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ , $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ , $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
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 berlempung
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai 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 > 50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomae, lanau elastis
CH		Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ('fat clays')	
Tanah dengan kadar organik tinggi	OH	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi
		PT	Gambut ('peat') dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi



(Sumber : Mekanika Tanah I, Hardiyatmo, 2006)

### 2.4 Tanah Lempung

Tanah 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 tidak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Selain itu permeabilitas lempung sangat rendah (Mekanika Tanah 1, Terzaghi dan Peck, 1987).

Tanah lempung terdiri atas partikel mikroskopis dan sub-mikroskopis yang tidak dapat dilihat dengan jelas oleh alat mikroskop biasa, dengan bentuk lempengan pipih sebagai partikel mika, mineral lempung (*clay minerals*) dan mineral yang sangat halus. Tanah lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm (=2 mikron).

Sifat khas yang dimiliki oleh tanah lempung adalah dalam keadaan kering akan bersifat keras dan jika basah akan bersifat lunak plastis dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air. Sedangkan untuk jenis tanah lempung lunak mempunyai karakteristik yang khusus diantara daya dukung

yang rendah, kemampatan yang tinggi, indeks Plastisitas yang tinggi, kadar air yang relatif tinggi dan mempunyai gaya geser yang kecil. Kondisi tanah seperti itu akan menimbulkan masalah jika dibangun konstruksi di atasnya.

#### 2.4.1 Sifat Fisik Tanah Lempung

Bowles (1989), mineral-mineral pada tanah lempung umumnya memiliki sifat-sifat :

##### 1. Hidrasi

Partikel mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air yang disebut sebagai air teradsorpsi. Lapisan ini pada umumnya mempunyai tebal dua molekul karena itu disebut sebagai lapisan difusi ganda atau lapisan ganda. Lapisan difusi ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air atau kation disekitarnya. Lapisan ini akan hilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 600°C sampai 1000°C dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat hilang cukup dengan pengeringan udara saja

##### 2. Aktivitas

Aktivitas tanah lempung sebagai perbandingan antara Indeks Plastisitas (IP) dengan presentase butiran yang lebih dari 0,002 mm. Hasil pengujian *index properties* dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif.

##### 3. Flokulasi dan Dispersi

Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk flok (*flock*) yang bergerak secara acak atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dengan cepatnya membentuk sedimen. Flokulasi adalah peristiwa penggumpalan partikel lempung dibawah larutan air akibat dari mineral lempung umumnya mempunyai  $pH > 7$ . Flokulasi larutan dapat dinetralkan dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (ion  $H^+$ ) sedangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat

flokulasi. Untuk menghindari flokulasi larutan air dapat ditambahkan zat asam.

#### 4. Pengaruh Zat Cair

Fase air yang berada dibawah struktur tanah lempung adalah air yang tidak murni secara kimiawi. Pemakaian air suling yang relatif bebas ion dapat membuat hasil yang cukup berbeda dari apa yang didapatkan dari tanah di lapangan dengan air yang telah terkontaminasi. Air berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung.

#### 5. Sifat Kembang Susut (*Swelling potensial*)

Plastisitas yang tinggi terjadi akibat adanya perubahan sistem tanah dengan air yang mengakibatkan terganggunya keseimbangan tenaga-tenaga dibawah struktur tanah.

### **2.5 Stabilisasi Tanah Lempung**

Stabilisasi tanah adalah suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan daya dukung suatu lapisan tanah, dengan cara memberikan perlakuan (*treatment*) khusus terhadap lapisan tanah tersebut. Proses stabilisasi tanah meliputi campuran tanah dengan tanah lain untuk memperoleh gradasi yang diinginkan, atau pencampuran tanah dengan bahan tambah buatan pabrik, sehingga sifat-sifat teknis tanah menjadi lebih baik. Guna merubah sifat-sifat teknis tanah seperti kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, kemudahan dikerjakan, potensi pengembangan dan sensitifitas terhadap perubahan kadar air, maka dapat dilakukan dengan cara penanganan dari yang paling mudah, seperti pemadatan sampai teknik yang lebih mahal, seperti mencampur tanah dengan semen, kapur, abu terbang, injeksi semen (*grouting*), dan pemanasan serta dengan cara lainnya.

Dalam menstabilkan tanah berlempung pada umumnya dapat dilakukan dengan salah satu atau kombinasi dari metode berikut :

- a. Stabilisasi Mekanis
- b. Stabilisasi mekanis merupakan stabilisasi yang dilakukan dengan meningkatkan kerapatan tanah. Metode yang dilakukan adalah dengan pemadatan, baik dengan mesin gilas, tumbukan dan sebagainya.
- c. Stabilisasi Bahan Aditif

Tujuan stabilisasi dengan bahan aditif adalah untuk memperbaiki gradasi. Hal ini dapat dilakukan secara fisik dengan mencampur tanah dengan tanah yang mempunyai ukuran yang berbeda, misalnya mencampur pasir pada tanah lempung. Metode lain untuk stabilisasi dengan bahan aditif adalah mencampur tanah dengan bahan yang mengikat, seperti semen, kapur, limbah karbit, dll. Metode ini sering dipakai untuk stabilisasi tanah lempung, karena selain bersifat mengikat bahan tersebut juga dapat memperbaiki sifat-sifat lempung seperti plastisitas, kekuatan dan daya serap air.

## **2.6 Difa Soil Stabilization (DIFA SS)**

Difa *Soil Stabilization* (DIFA SS) adalah bahan aditif untuk memaksimalkan ikatan *soil cement* yang dapat digunakan dalam menstabilkan tanah dan meningkatkan daya dukung tanah serta dapat diterapkan dalam membangun konstruksi jalan raya maupun bangunan rekayasa sipil lainnya. DIFA SS merupakan serbuk halus terdiri dari komposisi mineral Indonesia an-organik yang aman terhadap lingkungan. DIFA SS sebagai salah satu zat kimia penstabil tanah lebih mengefektifkan ikatan semen-tanah dan memiliki karakteristik teknik, nilai CBR (*california Bearing Ratio*), yang jauh lebih baik dibandingkan semen-tanah serta lebih ekonomis. Dikembangkan di Indonesia dengan suhu dan iklim yang sesuai alam Indonesia, sehingga memiliki tingkat keberhasilan yang lebih tinggi dari *soil* semen standar

### 2.6.1 Keunggulan DIFA SS

1. Memiliki kekuatan menahan beban sesuai yang dibutuhkan
2. Hemat waktu, sangat mudah dalam pengerjaannya
3. Hemat biaya konstruksi dan perawatan, relatif lebih murah dibandingkan dengan cara konvensional
4. Sangat efektif dan efisien, terutama digunakan di daerah yang sulit batu dan pasir sebagai bahan baku LPA dan LPB

### 2.6.2 Penentuan Dosis Semen dan DIFA SS

Bahan yang digunakan dalam pencampuran DIFA SS adalah Semen *Portland Type I* atau *Ordinary Portland Cement* (OPC) atau *Pozzolan Portland Cement* (PCC), Air dan Tanah dengan ukuran butiran terbesar <75 mm dan kurang dari 50% melewati saringan 200. Komposisi umum campuran yang digunakan adalah semen 8-15% dari berat kering tanah dan DIFA SS 2-2,5% dari berat semen. (Sumber : *Persentasi DIFA SS, 2018*)



Gambar 2.3. DIFA SS

## 2.7 Semen

Semen berasal dari bahasa latin (*Caementum*) yang berarti bahan pelekat. Semen adalah bahan ikat hidrolis (menghisap atau membutuhkan air), yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat kalsium yang bersifat hidroulis dan *gips* sebagai bahan tambah. Usaha pembuatan semen pertama kali dilakukan pada tahun 1824 oleh Joseph Aspadain. Proses ini dilakukan dengan cara mengurai batu kapur ( $\text{CaCo}_3$ ) menjadi batu tohor ( $\text{CaO}$ ) dan senyawa karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), hal ini dilakukan dengan campuran batu kapur dan tanah liat yang digiling dan dibakar pada tungku. Selanjutnya, batu tohor ( $\text{CaO}$ ) direaksi dengan senyawa lain dan membentuk kliker lalu digiling halus hingga menjadi semen (Adriani, 2012)

Penelitian ini melakukan pengujian seberapa besar pengaruh semen terhadap perubahan sifat-sifat fisis tanah/properties tanah dan seberapa besar pengaruh kenaikan nilai CBR-nya dan daya dukung tanah asli. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah seberapa besar prosentase semen yang dibutuhkan sehingga akan diperoleh sifat-sifat fisik tanah yang baik, memperoleh nilai CBR maksimum, dan memperoleh nilai daya dukung tanah yang besar, pada Jalan.

**Semen** adalah suatu jenis bahan yang memiliki sifat adhesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen-fragmen mineral menjadi satu massa yang padat. Meskipun definisi ini dapat diterapkan untuk banyak jenis bahan, semen yang dimaksudkan untuk konstruksi bangunan adalah bahan jadi dan mengeras dengan adanya air yang dinamakan semen hidraulis. Hidraulis berarti semen bereaksi dengan air dan membentuk suatu bahan massa. (Sutrisno dan Widodo, 2013)

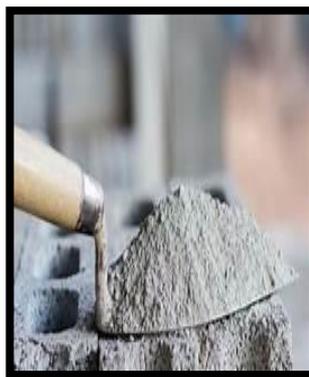
Bahan dasar penyusun semen terdiri dari bahan-bahan yang terutama mengandung kapur, silika dan oksida besi, maka bahan-bahan itu menjadi unsur-unsur pokok semennya.

Tabel 2.4 Unsur-Unsur pokok semen

Oksida	Persen (%)
Kapur (CaO)	60 – 65
Silika (SiO <sub>2</sub> )	17 – 25
Alumina (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	3 – 8
Besi (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,5 – 6
Magnesia (MgO)	0,5 – 4
Sulfur (SO <sub>3</sub> )	1 – 2
Potash (Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O)	0,5 – 1

(Sumber S.Mindess, Francis Y dan D.Darwin, 2003)

Semen ini dapat digunakan sebagai bahan pengikat tambahan pada tanah dalam meningkatkan stabilisasi kekuatan tanah dasar.



Gambar 2.4. Semen

## 2.8 Bottom Ash

Abu Dasar (*Bottom Ash*) adalah limbah bekas pada pembakaran batubara di dalam boiler akan menghasilkan limbah berupa debu (*ash*). Menurut ukurannya limbah debu di bagi menjadi dua yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). *Bottom ash* adalah limbah abu yang ukurannya lebih besar dari pada *fly ash*, sehingga *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*). daya

dukung dan stabilisasi tanah, Pemilihan penggunaan *bottom ash* didasarkan atas ketersediaan *bottom ash* yang cukup melimpah dari pembakaran batubara dan beberapa kandungan kimia yang ada pada *bottom ash* seperti Si, Al, Ti, Ca, dan Fe memiliki peranan dalam mengikat partikel-partikel negatif yang ada pada permukaan tanah. *Bottom ash* kurang diperhatikan untuk penelitian–penelitian dibandingkan dengan Abu terbang (*fly ash*) yang sering digunakan dalam teknologi bahan. Hal ini mengakibatkan pemanfaatan limbah *bottom ash* yang semula kurang mendapatkan perhatian mempunyai nilai manfaat dan ekonomi, dengan pengolahan limbah tersebut akan mengurangi pencemaran terhadap lingkungan sekitar. Usaha stabilisasi dengan menggunakan *bottom ash* diharapkan dapat meningkatkan nilai kuat CBR/*compaction* yang akan berpengaruh pada daya dukung tanah pondasi suatu struktur bangunan yang akan berdiri di lokasi tanah ekspansif tersebut. Penelitian ini juga digunakan sebagai usaha untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *bottom Ash* terhadap stabilisasi tanah lempung ekspansif. (Yuda Purnama dan Macfud Ridwan, 2018)



Gambar 2.5 Bottom ash

## 2.9 Prosedur Pengujian Laboratorium

Dalam suatu pengujian laboratorium terdapat beberapa prosedur kerja yang harus diikuti sesuai dengan langkah-langkah kerja yang telah ada di buku panduan, sehingga pengujian yang dilakukan menghasilkan nilai yang sebenarnya.

### 2.9.1 Pengujian Indeks Propertis Tanah

Sifat fisik tanah yaitu sifat tanah dalam keadaan asli yang digunakan untuk menentukan jenis tanah. Pengujian ini dilakukan pada sampel tanah yang akan digunakan yaitu pengujian pengidentifikasian tanah. Adapun pengujian ini terdiri dari:

a. Pengujian kadar air (*Water Content*)

Kadar air sangat mempengaruhi perilaku tanah khususnya proses pengembangannya. Tanah dengan kadar air rendah memiliki potensi pengembangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanah kadar air tinggi. Hal ini disebabkan karena tanah dengan kadar air alami rendah lebih berpotensi untuk menyerap air lebih banyak.

b. Pengujian berat jenis (GS) *Specific Gravity*

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir tanah dengan volume tanah padat atau berat air dengan isi sama dengan isi tanah padat tersebut pada suhu tertentu. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis butiran tanah.

$$\text{Berat jenis (GS)} = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$W_1$  = berat piknometer (gram)

$W_2$  = berat piknometer dan tanah kering (gram)

$W_3$  = berat piknometer, tanah dan air (gram)

$W_4$  = berat piknometer dan air (gram)

Tabel 2.5. Berat jenis tanah (*specific gravity*)

Jenis Tanah	Berat Jenis (GS)
Kerikil	2,65 - 2,68
Pasir	2,65 - 2,68
Lanau anorganik	2,62 - 2,68
Lempung organic	2,58 - 2,65
Lempung anorganik	2,68 - 2,75

Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

c. Analisa saringan butiran

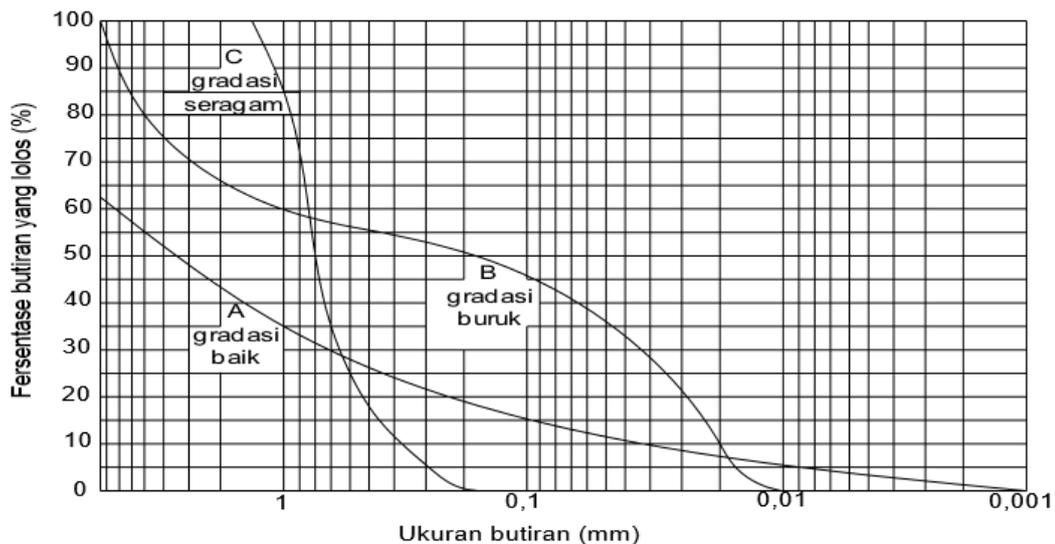
Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Oleh karena itu, analisis butiran ini merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan.

Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan. Dengan ukuran diameter lubang tertentu.

1. Tanah berbutir halus

Distribusi ukuran butir tanah berbutir halus dapat ditentukan dengan cara sedimentasi. Metode ini didasarkan pada hukum Stokes, yang berkenaan dengan kecepatan mengendap butiran pada larutan suspense.

Untuk tanah yang terdiri dari campuran butiran halus dan kasar, gabungan antara analisis saringan dan sedimentasi dapat digunakan. Dari hasil penggambaran kurva yang diperoleh, tanah berbutir kasar digolongkan sebagai gradasi baik bila tidak ada kelebihan butiran pada sembarang ukuran saringannya dan tidak ada yang kurang pada butiran sedang. Umumnya tanah bergradasi baik jika distribusi ukurannya tersebar luas. Tanah berbutir kasar digambarkan sebagai gradasi buruk, bila jumlah berat butiran sebagian besar mengelompokkan di dalam batas interval diameter butir yang sempit (disebut bergradasi seragam). Tanah juga termasuk bergradasi buruk, jika butiran besar maupun kecil ada, tapi dengan pembagian butiran yang relatif rendah pada ukuran sedang.



Gambar 2.6. Analisis Distribusi Ukuran Butiran

d. Pengujian batas-batas konsistensi (*Atterberg Limit*)

Suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada air yang bervariasi. Atterberg limits yang dimiliki suatu jenis tanah memberikan gambaran akan plastisitas tanah tersebut, dan sangat berhubungan dengan masalah kemampuan pengembangan (*swelling*) dan penyusutan (*shrinkage*). Air yang berkaitan dengan fase-fase perubahan pada tanah lempung adalah batas-batas konsistensi (*atterberg limits*). Pengujian batas-batas konsistensi (*atterberg limit*) dilakukan pada tanah terganggu (*disturbed*). Adapun pengujian batas-batas konsistensi (*atterberg limit*) yang dilakukan adalah :

- Batas cair (*Liquid Limit / LL*)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas cair. Pengujian ini dilakukan terhadap tanah yang berbutir halus atau lebih kecil. Batas cair adalah kadar air minimum, yaitu sifat tanah berubah dari keadaan cair menjadi keadaan plastis.

Perhitungan :

1. Tentukan kadar air masing-masing variasi dan digambarkan dalam bentuk grafik.

2. Tentukan kadar air masing-masing variasi dan digambarkan dalam bentuk grafik.
3. Buatlah garis lurus melalui titik-titik hasil pengujian.
4. Kadar air didapatkan pada jumlah ketukan 25 kali adalah nilai batas cairnya.

- Batas plastis (*Plasticity Limit / PL*)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan plastis. Batas plastis adalah kadar air minimum, yaitu tanah masih dalam keadaan plastis. Persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.

- Indeks plastisitas (*Plasticity Index / PI*)

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih batas cair dan batas plastis. Indeks Plastis (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai PI yang tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung. Jika PI rendah, seperti lanau sedikit pengurangan kadar air. berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indek plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh atterberg limit terdapat dalam tabel.

Perhitungan :

$$\text{Indeks plastis (PL)} = \text{batas cair (LL)} - \text{batas plastis (PL)} \dots \dots \dots (2.3)$$

e. Analisa hidrometer

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan pembagian ukuran butir suatu tanah yang lolos saringan No. 200. Pada uji hidrometer, tanah benda uji sebelumnya harus dibebaskan dari zat organik. Kemudian tanah dilarutkan kedalam ke dalam air destilasi yang dicampuri dengan bahan pendeflokulasi yang dapat berupa sodium hexametaphosphate agar partikel-partikel menjadi bagian yang terpisah satu dengan yang lain. Kemudian, larutan suspensi ditempatkan pada tabung hidrometer. Dalam uji

hidrometer, contoh tanah yang digunakan kira-kira 30 gram kering oven. Ketika hidrometer dimasukkan dalam larutan suspensi (pada waktu  $t$  dihitung dari permulaan sedimentasi), hidrometer ini mengukur berat jenis larutan disekitar gelembung hidrometer yang berada pada kedalaman ( $L$ ).

Berat jenis suspensi merupakan fungsi dari jumlah partikel tanah yang ada per volume satuan suspensi pada kedalaman  $L$  tersebut. Pada waktu  $t$  tersebut, partikel-partikel tanah dalam suspensi pada kedalaman ( $L$ ) akan berdiameter lebih kecil dari  $D$ . Partikel yang lebih besar akan mengendap di luar zona pengukuran. Hidrometer dirancang untuk memberikan jumlah tanah (dalam gram) yang masih terdapat dalam suspensi dan kalibrasi untuk tanah yang mempunyai berat jenis  $G_s = 2.50$ . Untuk jenis tanah yang lain, maka perlu dikoreksi. Dari uji hidrometer, distribusi ukuran butir tanah digambarkan dalam bentuk kurva semi logaritmik. Ordinat grafik merupakan persen berat butiran yang lebih kecil dari pada ukuran butiran yang diberikan dalam absis.

$$\text{Untuk \% lebih halus (N)} = \frac{G_s}{G_s - 1} \frac{v}{W_s} c (r - r_a) \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

- G<sub>s</sub>** = berat jenis tanah
- V** = volume suspensi
- W<sub>s</sub>** = berat tanah kering
- c** = berat jenis air pada suhu pengujian
- r** = pembacaan hidrometer pada suspensi
- r<sub>a</sub>** = pembacaan hidrometer pada air

## 2.10 Pengujian Sifat Mekanis Tanah

### a. Pengujian pemadatan (*compaction*)

Pemadatan (*compaction*) adalah proses yang dilakukan untuk merapatkan butiran tanah (*solid*) yang satu dengan yang lain, sehingga partikel tanah saling berdekatan dan pori tanah menjadi kecil.

Pengujian pemadatan ini dilakukan untuk mengurangi kompresibilitas dan permeabilitas tanah serta untuk menentukan kadar air optimum yaitu

nilai kadar air pada berat kering maksimum. Pemadatan tanah ini dilakukan pada asli dan campuran yang menggunakan metode *Standart Compaction Test*. Pengujian ini dipakai untuk menentukan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum. Pemadatan ini dilakukan dalam cetakan dengan memakai alat pemukul dengan tinggi jatuh tertentu.

Perhitungan :

$$\text{- Berat isi basah} = \frac{\text{berat tanah}}{\text{volume}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{- Berat isi kering} = \frac{\text{berat isi basah}}{100 + (\text{kadar air sebenarnya})} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{- Berat} = \text{berat isi kering} \times \text{volume} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{- Volume tanah kering} = \frac{\text{berat tanah kering}}{G_s} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{- ZAV} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + \frac{w}{100}} \times G_s \dots\dots\dots (2.9)$$

b. *California Bearing Ratio* (CBR)

Lapisan tanah yang akan dipakai sebagai lapisan *sub-base* atau *sub-grade* suatu konstruksi jalan pada umumnya memerlukan proses pemadatan agar mampu menerima beban sesuai dengan yang direncanakan. Salah satu cara untuk mengukur kekokohan (*bearing*) lapisan tanah adalah pengujian *California Bearing Ratio* (CBR).

Menurut AASHTO T-193-74 dan ASTM d-1883-73, *California Bearing Ratio* adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu beban terhadap beban standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Nilai CBR akan digunakan dengan menentukan tebal lapisan perkerasan. Harga CBR itu sendiri adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban. Menurut (Soedarmo dan Purnomo, 1997), berdasarkan cara mendapatkan contoh tanah, CBR dibagi, sebagai berikut :

- CBR lapangan (CBR *inplace* atau *field* CBR)

Metode pemeriksaan CBR lapangan dilakukan dengan meletakkan piston pada kedalaman dimana nilai CBR akan ditentukan lalu dipenetrasi dengan menggunakan beban yang dilimpahkan.

- CBR lapangan rendaman (*undisturbed soaked* CBR)

Pemeriksaan ini dilakukan dengan mengambil contoh tanah dalam cetakan (*mold*) yang ditekan masuk kedalam tanah mencapai kedalaman tanah yang diinginkan. *Mold* yang berisi contoh tanah yang dikeluarkan dan direndam dalam air selama 4 hari sambil diukur pengembangannya (*swelling*). Setelah pengembangan tidak terjadi lagi, maka dilaksanakan pemeriksaan CBR.

- CBR laboratorium

CBR laboratorium dapat disebut juga CBR rencana titik. Tanah dasar yang diperiksa merupakan jalan baru yang berasal dari tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang dipadatkan sampai mencapai 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian, daya dukung tanah dasar merupakan kemampuan lapisan tanah yang memikul beban setelah tanah itu dipadatkan. Oleh karena itu, nilai CBR laboratorium adalah nilai CBR yang diperoleh dari contoh tanah yang dibuat dan mewakili keadaan tanah tersebut setelah dipadatkan.

Pengujian kekuatan CBR dilakukan dengan alat yang mempunyai piston dengan luas 3 inch<sup>2</sup> dengan kecepatan gerak vertikal ke bawah 0,005 inchi/menit, *proving ring* digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan *dial*. Penentuan nilai CBR yang biasa digunakan untuk menghitung kekuatan pondasi jalan adalah penetrasi 0,1” dan penetrasi 0,2” dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Nilai CBR pada penetrasi 0,1”} = \frac{A}{6895 \text{ kPa}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.9)$$

$$\text{Nilai CBR pada penetrasi 0,2”} = \frac{B}{10342 \text{ kPa}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

A = Pembacaan *dial* pada saat penetrasi 0,1”

**B** = Pembacaan *dial* pada saat penetrasi 0,2”

Nilai CBR yang didapat adalah nilai yang terkecil diantara hasil perhitungan kedua nilai CBR.