# BAB II

# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Tanah Lempung Ekspansif

### 2.1.1 Pengertian Lempung Ekspansif

Lempung (*Clay*) sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel dari mineral-mineral lempung dan mineral-mineral halus lainnya. Menurut *Unified Soil Classification System* (USCS) lempung didefinisikan sebagai partikel yang berukuran <0,0075 mm, sedangkan menurut AASHTO lempung didefinisikan partikel yang berukuran <0,002 mm. Dari segi mineral yang disebut tanah lempung ialah yang merupakan partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (Das, 1994).

Sedangkan lempung ekspansif memiliki sifat yang khas yakni memiliki kandungan mineral ekspansif dengan kapasitas pertukaran ion sangat tinggi, mengakibatkan lempung ekspansif memiliki potensi kembang susut tinggi, apabila terjadi perubahan kadar air. Jika kadar air meningkat, tanah ekspansif akan mengembang disertai dengan peningkatan tekanan air pori dan timbulnya tekanan kembang. Bila kadar air berkurang sampai batas susutnya, akan terjadi penyusutan volume tanah tersebut. Sifat kembang susut yang demikian bisa menimbulkan kerusakan pada bangunan (Hardiyatmo, 2006).

### 2.1.2 Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS)

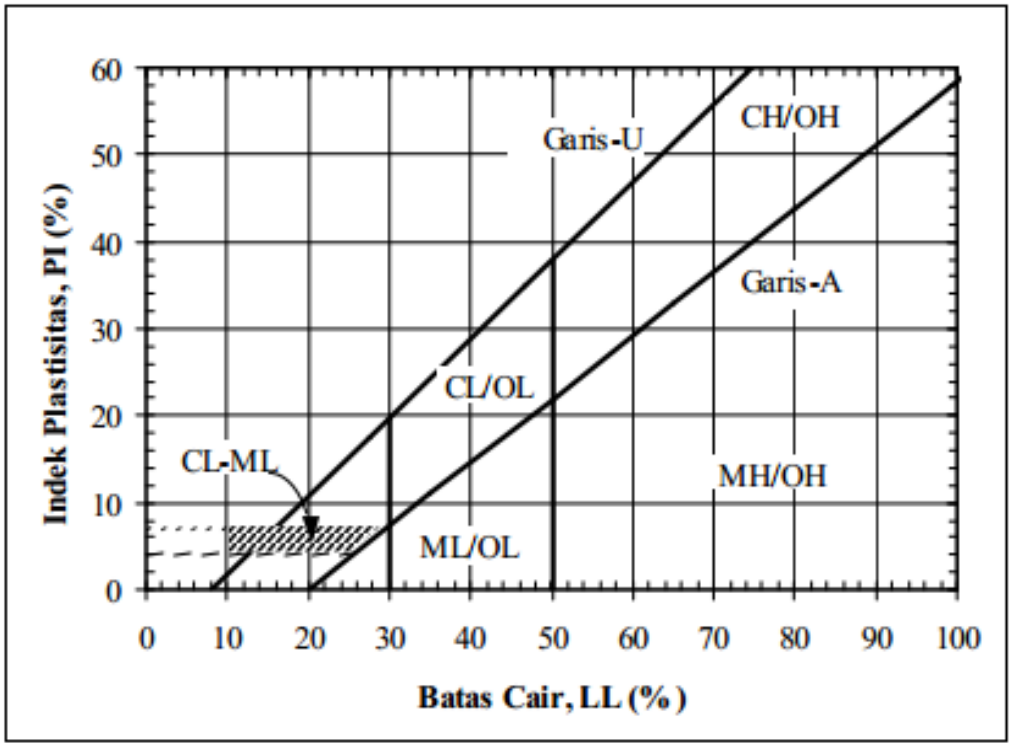
Klasifikasi tanah sistem ini diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Kemudian American Society for Testing and Materials (ASTM) telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah. Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik.

Dalam USCS, tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu:

1. Tanah berbutir kasar (*coarse – grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 (F200 < 50)
2. Tanah berbutir halus (*fine – grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 (F200 ≥ 50)

**Tabel 2.1** Simbol untuk Klasifikasi USCS

| Simbol | Keterangan |
|---|---|
| G | Kerikil (*gravel*) |
| S | Pasir (*sand*) |
| M | Lanau Inorganik (*inorganic silt*) |
| C | Lempung Inorganik (*inorganic clay*) |
| O | Lanau dan Lempung Organik |
| Pt | Gambut (*peat*) |
| W | Gradasi Baik (*well graded*) |
| P | Gradasi Buruk (*poorly graded*) |
| L | Plastisitas Rendah (*low plasticity*) |
| H | Plastisitas Tinggi (*high plasticity*) |




**Gambar 2.1** Grafik Plastisitas untuk klasifikasi tanah USCS

**Tabel 2.2** Klasifikasi tanah berbutir halus menurut USCS

| Jenis | Simbol | Nama Kelompok | Kriteria Klasifikasi | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan No.4 | GW | Kerikil gradasi baik , sedikit atau tidak mengandung fraksi halus | $F_{200} < 5\%$ <br> $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, dan $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$ | | Tanah memiliki symbol ganda jika $5\% \le F_{200} \le 12\%$, yaitu : <br> a) GW-GM, jika $C_c > 4$, $1 < C_u < 3$, $PI < 4\%$ <br> b) GW-GC, jika $C_c > 4$, $1 < C_u < 3$, $PI > 7\%$. <br> c) GP-GM, jika tidak memenuhi kriteria GW dan $PI < 4\%$ <br> d) GP-GC, jika tidak memenuhi kriteria GW dan $PI > 7\%$ |
| | GP | Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir – kerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus | $F_{200} < 5\%$ <br> $C_u$ dan $C_c$ tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW | | |
| | GM | Kerikil berlanau, campuran kerikil – pasir - lanau | $F_{200} > 12\%$, dan PI < 4% (berada di bawah garis-A) | Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol ganda, GM-GC. | |
| | GC | Kerikil berlempung, campuran kerikil – pasir - lempung | $F_{200} > 12\%$, dan PI > 7% (berada di atas garis A) | | |
| Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan No.4 | SW | Pasir gradasi baik, berkerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus | $F_{200} < 5\%$ <br> $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ dan $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$ | | Tanah memiliki symbol ganda jika $5\% \le F_{200} \le 12\%$, yaitu : <br> a) SW-SM, jika $C_c > 4$, $1 < C_u < 3$, $PI < 4\%$ <br> b) SW-SC, jika $C_c > 4$, $1 < C_u < 3$, $PI > 7\%$. <br> c) SP-SM, jika tidak memenuhi kriteria GW dan $PI < 4\%$ <br> d) SP-SC, jika tidak memenuhi kriteria GW dan $PI > 7\%$ |
| | SP | Pasir gradasi buruk, berkerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus | $F_{200} < 5\%$ <br> $C_u$ dan $C_c$ tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW | | |
| | SM | Pasir berlanau, campuran pasir - lanau | $F_{200} > 12\%$, dan PI < 4% (berada di bawah garis-A) | Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol ganda, SM-SC. | |
| | SC | Pasir berlempung, campuran pasir - lempung | $F_{200} > 12\%$, dan PI > 7% (berada di atas garis A) | | |

*) Tanah berbutir kasar bila 50% atau lebih lolos tertahan pada saringan No.200 ($R_{200}$).

(Sumber : Braja M. Das ,1995:71)

### 2.1.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

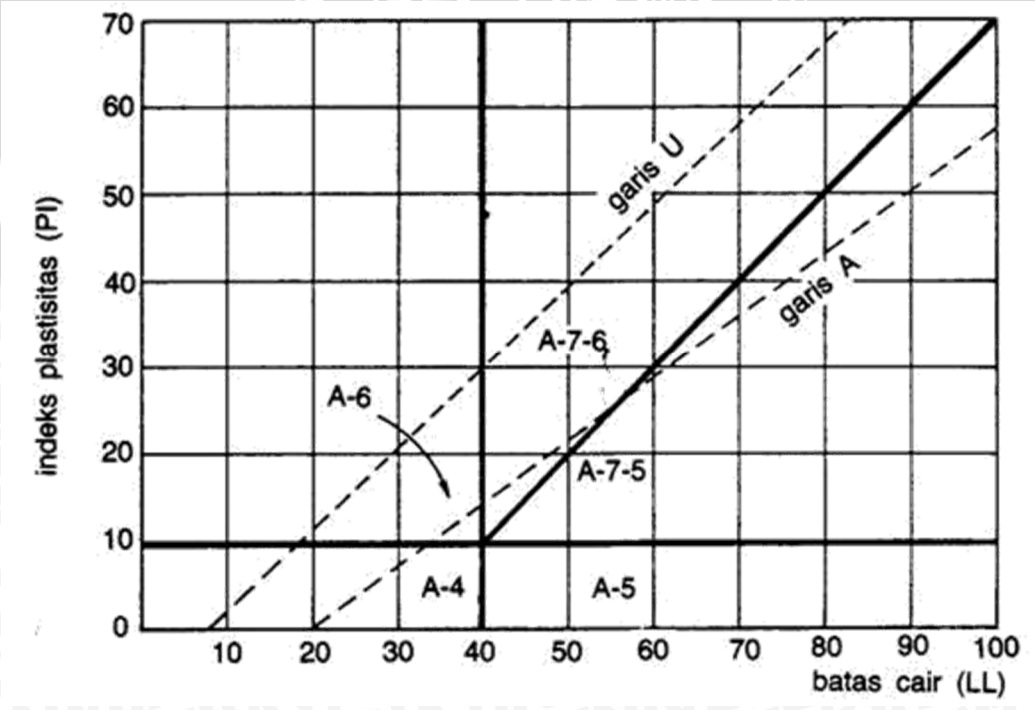
AASHTO berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, *subbase*, dan *subgrade*. AASHTO mengklasifikasikan jenis tanah ke dalam 8 kelompok yaitu A-1 sampai dengan A-8. Tanah tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus empiris. Pengujian yang digunakan yaitu analisa saringan dan batas-batas *Atterberg* (Hardiyatmo 2010, 63).

Secara umum klasifikasi AASHTO menganggap tanah sebagai:

1. Lebih buruk untuk dipakai dalam pembangunan jalan bila kelompoknya berada lebih di kanan dalam tabel klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO, yaitu tanah A-6 lebih buruk dibandingkan dengan tanah A-5.
2. Lebih buruk untuk digunakan dalam pembangunan jalan bila indeks kelompok bertambah untuk sub kelompok tertentu, missal tanah A-6(3) lebih buruk dari tanah A-6(1).

| Klasifikasi umum | Material granuler (≤ 35% lolos saringan no. 200) | | | | | Tanah-tanah lanau-lempung (> 35% lolos saringan no. 200) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klasifikasi kelompok | A-1 | | A-2 | | | A-4 | A-4 | A-4 | A-7 |
| | A-1-a | A-1-b | A-3 | A-2-4 A-2-5 | A-2-6 A-2-7 | | | | A-7-5 A-7-6 |
| Analisis saringan (% lolos) | | | | | | | | | |
| 2,00 mm (no. 10) | 50 maks | ? | – | ? ? | ? ? | – | – | – | – |
| 0,45 mm (no. 40) | 30 maks | 50 maks | 51 min | ? ? | ? ? | – | – | – | – |
| 0,075 mm (no. 200) | 15 maks | 25 maks | 10 maks | 35 maks 35 maks | 35 maks 35 maks | 36 min | 36 min | 36 min | 36 min |
| Sifat fraksi lolos saringan no. 40 | | | | | | | | | |
| Batas cair (LL) | ? | ? | – | 40 maks 41 maks | 40 maks 41 maks | 40 min | 41 min | 40 maks | 41 min |
| Indeks plastis (PI) | 6 maks | | np | 10 maks 10 maks | 11 min 11 maks | 10 maks | 10 maks | 11 min | 11 min |
| Indeks kelompok (GI) | 0 | | 0 | 0 | 4 maks | 8 maks | 12 maks | 16 maks | 20 maks |
| Tipe material yang pokok pada umumnya | pecahan batu, kerikil dan pasir | | pasir halus | kerikil berlanau atau | | tanah berlanau | | tanah berlempung | |
| Penilaian umum sebagai tanah dasar | sangat baik sampai baik | | | | | sedang sampai buruk | | | |

**Gambar 2.2** Klasifikasi Tanah Menurut AASHTO




**Gambar 2.3** Grafik Plastisitas Untuk Klasifikasi Tanah AASHTO

Indeks kelompok digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Bila indeks kelompoknya semakin tinggi, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaannya.

### 2.1.4 Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Menurut Chen (1975), cara-cara yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

a) Identifikasi Mineralogi
b) Cara tidak langsung (*single index method*)
c) Cara langsung

#### 2.1.4.1 Identifikasi Minerologi

Analisa mineralogy sangat berguna untuk mengidentifikasi potensi kembang susut tanah lempung. Identifikasi dilakukan dengan cara:

a) Difraksi Siniar X (*X-Ray Diffiracton*).
   Metoda ini digunakan untuk menentukan perbandingan berbagai mineral yang terdapat pada koloid lempung, yaitu dengan membandingkan intensitas dari garis difraksi dari berbagai mineral terhadap garis bahan standar.
b) Penyerapan terbilas (*Dye Absorbsion*).
   Bahan celup dan bahan reagen lainnya akan menimbulkan warna tertentu bila diserap
   oleh lempung. Metoda ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi lempung.
c) Penurunan Panas (*Differensial Thermal Analysis*).
   Cara ini baik digunakan untuk memeriksa material yang mengalami perubahan karakteristik akibat panas.
d) Analisa Kimia (*Chemical Analysis*).
   Digunakan sebagai pelengkap pada metoda difraksi sinar X.
e) *Electron Microscope Resolution.*
   Digunakan untuk menentukan komposisi mineral, tekstur, dan struktur internal. Hasil dari metoda ini juga dapat digunakan untuk membedakan karakteristik dan morfologinya.

### 2.1.4.2 Cara Tidak Langsung

Hasil uji sejumlah indeks dasar tanah dapat digunakan untuk mengevaluasi potensi ekspansif atau tidak pada suatu contoh tanah. Uji indeks dasar adalah uji batas-batas Atterberg, linear shrinkage test (uji susut linier), uji mengembang bebas dan uji kandungan koloid. Holtz dan Gibbs (1956) sebagaimana yang dikutip Chen (1975), secara empiris menunjukkan hubungan nilai potensial mengembang dengan indeks plastisitas dari hasil uji *Atterberg*. Besaran indeks plastis dapat digunakan sebagai indikasi awal terhadap *swelling* pada tanah lempung yang telah dipadatkan pada kadar air optimum metode AASTHO, setelah contoh direndarn dengan 1 psi. Chen (1975) berpendapat bahwa potensi mengembang tanah ekspansif sangat erat hubungannya dengan indeks plastisitas sehingga dibuat klasifikasi potensi pengembangan pada tanah lempung berdasarkan indeks plastisitas, seperti yang ditunjukkan dalam **Tabel 2.3** di bawah ini.

**Tabel 2.3** Kriteria Pengembangan Berdasarkan IP (Chen,1975)

| Plasticity Index (%) | Swelling Potensial |
|---|---|
| 0 – 15 | Low |
| 10 – 35 | Medium |
| 35 – 55 | High |
| > 55 | Very High |

Selain itu tanah ekspansif juga digolongkan menurut *Atterberg Limit* (batas-batas *Atterberg)* yaitu dengan menggunakan parameter PI (*Plasticity Index*) dan SI (*Shrinkage Index*). Penggolongan tanah ekspansif tersebut disajikan pada **Tabel 2.4**

**Tabel 2.4** Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SI (Raman,1967)

| Plasticity Index (%) | Shrinkage Index (%) | Degree Of Expansion |
|---|---|---|
| < 12 | < 15 | Low |
| 12 – 23 | 15 – 30 | Medium |
| 23 - 30 | 30 – 40 | High |
| > 30 | > 40 | Very High |

Altmeyer (1955) sebagaimana yang dikutip Chen (1975), membuat acuan mengenai hubungan derajat mengembang tanah lempung dengan nilai persentase susut linear (*linear shrinkage)* dan persentase batas susut Atterberg (*shrinkage limit* (SL)), seperti yang ditunjukkan dalam **Tabel 2.5** dibawah ini

**Tabel 2.5** Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Linear Shrinkage dan Shrinkage limit (Altmeyer, 1955)

| Linear Shrinkage | SL(%) | Probable Swell | Degree Of Ekspansion |
|---|---|---|---|
| < 5 | >12 | < 0.5 | Non Critical |
| 5 - 8 | 10 – 12 | 0.5-1.5 | Marginal |
| > 8 | < 10 | < 1.5 | Critical |

Sebuah parameter yang disebut aktivitas menurut Skempton (1953), yang tercantum dalam rumus sebagai berikut:

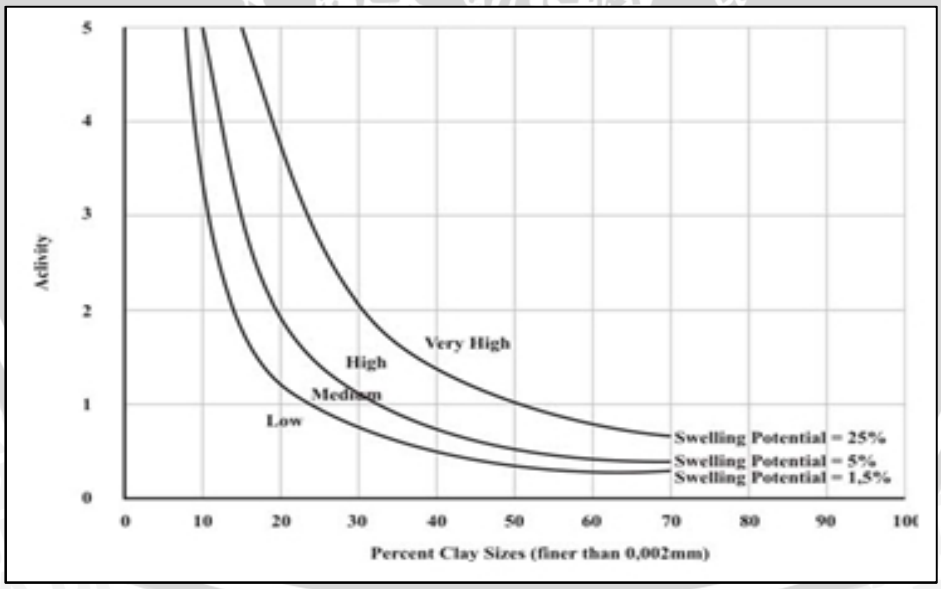
$$\textit{Activity}\ (\mathbf{A}) = \frac{PI}{C} \qquad (2\text{-}1)$$

dimana :

A = Aktivitas

PI = Indeks Plastisitas

C = Prosentase lempung < 0,002 mm




**Gambar 2.4** Grafik klasifikasi potensi mengembang (Seed et al., 1962)

### 2.1.4.3 Cara Langsung

Metode pengukuran terbaik adalah dengan pengukuran langsung yaitu suatu cara untuk menentukan potensi pengembangan dan tekanan pengembangan dari tanah

ekspansif dengan menggunakan Oedometer Terzaghi. Contoh tanah yang berbentuk silinder tipis diletakkan dalam konsolidometer yang dilapisi dengan lapisan pori pada sisi atas dan bawahnya yang selanjutnya diberi beban sesuai dengan beban yang diinginkan. Besarnya pengembangan contoh tanah dibaca beberapa saat setelah tanah dibasahi dengan air. Besarnya pengembangan adalah pengembangan tanah dibagi dengan tebal awal contoh tanah.

Adapun cara pengukuran tekanan pengembangan ada dua cara yang umum digunakan. Cara pertama, pengukuran dengan beban tetap sehingga mencapai persentase mengembang tertinggi kemudian contoh tanah diberi tekanan untuk kembali ketebal semula. Cara kedua, contoh tanah direndam dalam air dengan mempertahankan volume atau mencegah tejadinya pengembangan dengan cara menambah beban diatasnya setiap saat. Metode ini sering juga disebut *constan volume method.*

## 2.2 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi Tanah merupakan usaha perbaikan daya dukung (mutu) tanah yang tidak atau kurang baik. Dapat juga dikatakan bahwa stabilisasi tanah ialah usaha meningkatkan daya dukung (mutu) tanah yang sudah tergolong baik.

Tujuan utama dari stabilisasi tanah adalah meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dalam menahan beban serta untuk meningkatkan kestabilan tanah. Stabilisasi tanah dapat terdiri dari tindakan berikut:

a) Secara dinamis yaitu pemadatan tanah dengan alat pemadat.

b) Perbaikan gradasi dengan cara menambah tanah pada fraksi tertentu yang dianggap kurang, sehingga tercapai gradasi yang rapat. Fraksi yang kurang biasanya adalah fraksi yang berbutir kasar, cara yang dilakukan adalah mencampur tanah dengan fraksi butir kasar seperti pasir, dan kerikil atau pasir saja.

c) Stabilisasi kimiawi, yaitu menambahkan bahan kimia tertentu, sehingga terjadi reaksi kimia. Bahan yang biasanya digunakan antara lain : Portland semen, kapur tohor, atau bahan kimia lainnya. Stabilisasi ini dilakukan dengan dua cara yaitu : mencampur tanah dengan bahan kimia kemudian diaduk dan dipadatkan. Cara dua adalah memasukkan bahan kimia kedalam tanah (*Grouting*) sehingga bahan kimia bereaksi dengan tanah.

d) Pembongkaran dan penggantian tanah yang jelek. Pada tanah yang jelek akan mengandung bahan organik sehinga terjadi pembusukan, apabila terkena beban

akan mengalami penurunan yang tidak sama. Perbaikan tanah dilakukan dengan mengganti tanah jelek tersebut dengan tanah berkualitas baik, misalnya dengan tanah yang memiliki CBR yang lebih sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Stabilisasi tanah dapat berupa suatu pekerjaan atau gabungan – gabungan pekerjaan berikut :

1. Stabilisasi mekanis, stabilisasi dengan berbagai macam peralatan mekanis.
2. Stabilisasi dengan bahan pencampur tambahan / *Adictive*.

Dalam analisa stabilisasi tanah lempung ekspansif ini akan melakukan perbaikan tanah lempung dengan campuran atau bahan adictive berupa abu sekam padi *(Rice Husk Ash)* dan *Portland cement* (PC).

### 2.2.1 Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Abu Sekam ( *Rice Husk Ash*)

Sekam padi sebagai salah satu limbah pertanian dihasilkan dalam jumlah yang tidak sedikit. Sekam padi merupakan kulit padi, setelah padi melalui proses penggilingan. Di beberapa negara limbah tersebut digunakan sebagai bahan bakar, sedangkan beberapa negara lain, sekam padi merupakan limbah yang menyebabkan masalah pembuangan dan polusi. Ketika sekam padi dibakar dalam kondisi yang terkontrol, akan menghasilkan abu sekam yang mempunyai sifat *pozzolan* yang tinggi. Selama proses pembakaran sekam padi menjadi abu, zat-zat organik akan hilang dan meninggalkan sisa yang kaya akan silika. Selain itu, perlakuan panas pada silika dalam sekam padi menghasilkan perubahan struktural yang berpengaruh pada dua hal yaitu tingkat aktivitas *pozzolan* dan kehalusan butir abunya. Secara umum faktor suhu, waktu dan lingkungan pembakaran harus dipertimbangkan dalam proses pembakaran sekam padi untuk menghasilkan abu yang mempunyai reaktivitas maksimal. Secara tipikal komposisi abu sekam padi meliputi SiO2, K2O, Fe2O3, CaO, MgO,Cl,P2O5, Na2O3, SO3 dan sedikit unsur lainnya.

Dalam kajian yang disampaikan Silvia Herina, (2005), sekam padi yang dibakar atau yang lebih sering disebut sebagai abu sekam ini memiliki sifat pozzolan yang mengandung unsur silikat yang tinggi, rata-rata Si 91.72% dengan *pozzolanic Activity Index* sebesar 87%. Pozzolan ini mengandung sifat sementasi jika bercampur dengan kapur padam dan air. Abu sekam yang digunakan sebagai bahan stabilisator diambil dari Nagrek (S1) dan Cileunyi (S2) Kabupaten Bandung. Dari hasil uji kandungan mineralnya diperoleh sebagai berikut :

**Tabel 2.6** Kandungan Abu Sekam

| Parameter | S1(%) | S2(%) |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 58,02 | 55,27 |
| $Fe_2O_3$ | 0 | 0 |
| $Al_2O_3$ | 0 | 0 |
| CaO | 0 | 0 |
| MgO | 1,76 | 0,89 |
| SO4 | 0 | 0 |
| HP | 3,23 | 2,91 |
| BTL | 23,98 | 29,57 |
| C | 1,87 | 0,32 |

(Sumber : Silvia Herina,2005)

Dalam kajian tersebut didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Dengan campuran 5% abu sekam mampu meningkatkan kestabilan tanah dan daya dukung pondasi.
2. Campuran dengan 15% abu sekam menunjukkan hasil yang sedikit saja berbeda dengan campuran 5%.

### 2.2.2 Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Semen

Beradasarkan ASI ( Asosiasi Semen Indonesia), Semen adalah perekat hidraulis bahan bangunan, artinya akan jadi perekat bila bercampur dengan air. Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara mencampurkan batu kapur yang mengandung kapur (CaO) dan lempung yang mengandung silika (SiO2), oksida alumina (Al2O3) dan oksida besi (Fe2O3) dalam oven dengan suhu kira-kira 145°C sampai menjadi klinker. Klinker ini dipindahkan, digiling sampai halus disertai penambahan 3-5% gips untuk mengendalikan waktu pengikat semen agar tidak berlangsung terlalu cepat (Aman Subakti,1994).

Dalam semen Portland ini terdapat susunan senyawa semen yang berfungsi sebagai berikut

1. C3S = 3 CaO.SiO2 (Trikalsium Silikat) mempunyai andil yang besar terhadap fungsi sebagai perekat dan dapat mengeras jika bereaksi dengan air sehingga dapat meningkatkan kekuatan tekan
2. C2S = 2 CaO.SiO2 (Dikalsium Silikat) berfungsi sama dengan C3S

3. C3A = 3 CaO.Al2O3 (Trikalsium Aluminat) dalam semen *portland* tidak berfungsi sebagai perekat. Senyawa ini hanya berfungsi sebagai fluks (bahan pelebur) sewaktu masih ada dalam tungku pembakaran, sehingga akan mudah terbentuk senyawa C3S dan C2S
4. C4AF = 4 CaO.Al2O3.Fe2O3 (Tetra Alumineferrit) berfungsi sama seperti C3A serta andil terhadap warna semen.
5. Gips = CaSO4.2H2O berfungsi sebagai retarder atau memperlambat waktu pengerasan tepung semen *portland* bila bercampur dengan air.
6. Selain itu terdapat komposisi kimia lain seperti : C =CaO, Na2O, K2O dalam jumlah yang kecil.

Perbaikan tanah lempung dengan *portland cement* (PC) merupakan proses kimia yang dapat mengubah struktur tanah dengan jalan membentuk butiran agregat yang lebih besar sehingga akan memberikan pengaruh yang sangat menguntungkan. Peristiwa kimia terjadi antara tanah dan *portland cement* (PC), ketika keduanya dicampur dengan menambahkan sejumlah air. Hasil dari proses pencampuran adalah semakin besar prosentase semen, berat isi kering tanah semakin bertambah dan kadar air optimum tanah semakin berkurang ( Pretty, 2013)

Penelitian yang dilakukan oleh Andriani et al, (2012) menggunakan *portland cement* (PC) type I dan tanah lempung yang berasal dari daerah Lambung Bukit, Padang. Penambahan *portland cement* (PC) yang dilakukan adalah dengan prosentase 5%, 10%, 15% dam 20% dari berat tanah kering. Diperoleh nilai maksimum CBR sebesar 64,138% pada penambahan kadar semen sebesar 20% dengan γd maksimum 1,315 gr/cm$^3$ dan kadar air optimum 32,9% dalam waktu perendaman selama 3 hari.

## 2.3 Pengujian *Index Properties* Tanah di Laboratorium

Menurut Shirley (1994), jenis percobaan di laboratorium dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

a) Sifat fisik tanah (*Index Properties*): yaitu sifat tanah dalam keadaan asli yang digunakan utuk menentukan jenis tanah.
b) Sifat mekanis tanah (*Engineering Properties*): yaitu sifat tanah jika memperoleh pembebanan dan digunakan sebagai parameter dalam perencanaan pondasi.

Sifat fisik tanah meliputi pemeriksaan kadar air tanah, berat jenis tanah, batas *atterberg*, analisa saringan, dan berat isi tanah. Sedangkan sifat mekanis tanah meliputi

beberapa pemeriksaan, namun dalam penelitian ini hanya difokuskan pada pemadatan standar, uji CBR dan uji *swelling*.

### 2.3.1 Analisa Ukuran Butiran

Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada suatu saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu. (Hardiyatmo, 2010)

Ada dua cara yang umum digunakan untuk mendapatkan distribusi ukuran-ukuran partikel tanah, yaitu:

a) Analisis ayakan. Untuk ukuran partikel-partikel berdiameter lebih besar dari 0,0075mm.

b) Analisis hidrometer. Untuk ukuran partikel-partikel berdiameter lebih kecil dari 0,0075mm. (Braja M. Das, 1985)

#### 2.3.1.1 Analisis Ayakan

Analisis ayakan adalah mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui suatu set ayakan dimana lubang-lubang ayakan tersebut makin kecil secara berurutan. (Braja M. Das, 1985). Untuk standart di Amerika Serikat nomor ayakan 4, 20, 40, 50, 60, 80, 100, 200 dan pan.

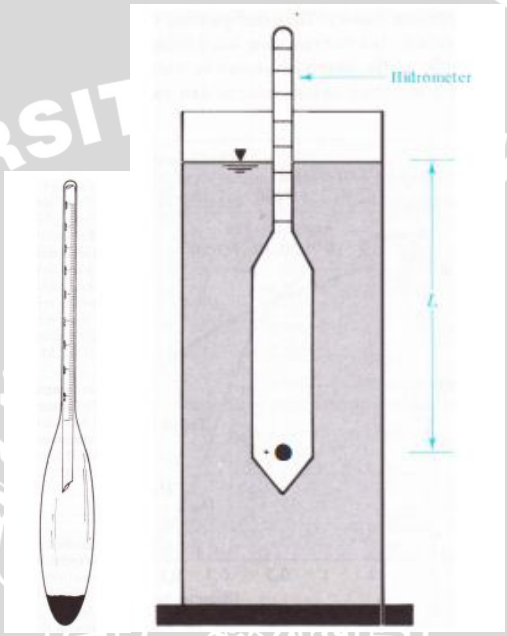
**Tabel 2.7** Ukuran-ukuran ayakan berdasarkan ASTM

| No. Saringan | Ukuran Lubang (mm) | No Saringan | Ukuran Lubang (mm) |
|---|---|---|---|
| 4 | 4,75 | 60 | 0,25 |
| 6 | 3,35 | 80 | 0,18 |
| 8 | 2,36 | 100 | 0,15 |
| 10 | 2 | 140 | 0,106 |
| 16 | 1,18 | 170 | 0,088 |
| 20 | 0,85 | 200 | 0,075 |
| 30 | 0,6 | 270 | 0,053 |
| 40 | 0,425 | Pan | |
| 50 | 0,3 | | |

(Sumber : Braja M. Das ,1995:17)

### 2.3.1.2 Analisis Hidrometer

Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butir-butir tanah dalam air. Di dalam laboratorium, pengujian hidrometer dilakukan dalam silinder pengendap yang terbuat dari gelas dan memakai 50 gram contoh tanah yang kering oven ( dikeringkan dalam oven). Silinder pengendap tersebut mempunyai tinggi 18 inci (= 457,2 mm) dan diameter 2,5 inci (= 63,5 mm). Silinder tersebut diberi tanda yang menunjukkan volume sebesar 1000 ml. (Braja M. Das, 1985)




**Gambar 2.5** Skema pengujian hidrometer

(Sumber : Braja M. Das, 1995:21)

### 2.3.2 *Specific Gravity* (GS)

(Gs) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume butiran padat dengan volume air pada °C. Pereiksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis tanah yang mempunyai butiran lolos saringan no.4 dengan picnometer. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam **tabel 2.8** berikut ini:

**Tabel 2.8** Berat Jenis Tanah

| Macam Tanah | Berat Jenis (Gs) |
|---|---|
| Kerikil | 2,65 – 2,68 |
| Pasir | 2,65 – 2,68 |
| Lanau organic | 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, 1999:4)

Harga berat spesifik butiran tanah sering dibutuhkan dalam bermacam-macam keperluan perhitungan dalam mekanika tanah. Harga-harga tersebut dapat ditentukan dengan akurat melalui pengujian di laboratorium. (Braja M. Das, 1985)

### 2.3.3 Batas *Atterberg*

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak atau remuk. Bergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. (Hardiyatmo, 2010)

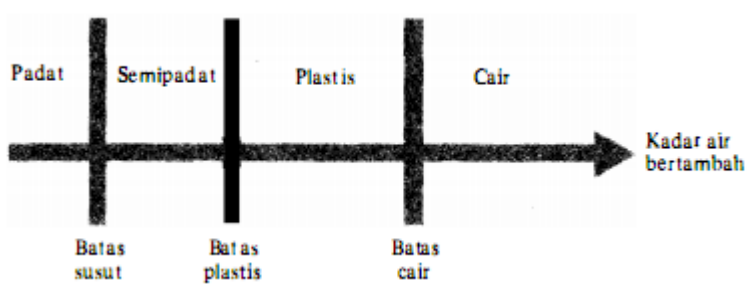
Pengujian batas-batas konsistensi atau biasa disebut Atteberg Limit terdiri dari tiga penelitian yaitu sebagai berikut :

a) Transisi dari padat ke semi padat disebut batas susut (*shrinkage limit*) yaitu besar kadar air tanah dimana tanah tersebut mempunyai volume terkecil saat airnya mongering
b) Transisi dari semi padat ke plastis disebut batas plastis (*plastic limit*) yaitu besar kadar air dimana tanah apabila digulung sampai diameter 3,2 mm tanah akan retak- retak.
c) Transisi dari plastis ke cair disebut batas cair (*liquid limit*) yaitu kadar air dimana tanah akan mengalir akibat berat sendiri.

Kadar air pada kondisi transisi diatas pada masing-masing konsistensi disebut batas-batas *atterberg*. Panjang daerah interval kadar air tanah pada kondisi plastis

disebut index plastis (IP), dimana IP merupakan selisih batas cair dan batas plastis. Setiap tanah memiliki batas cair, batas plastis dan batas susut yang berbeda antara yang satu dengan yang lain.

Berikut ini adalah skema hubungan antara kadar air, volume tanah, konsistensinya dan batas-batas konsistensinya.



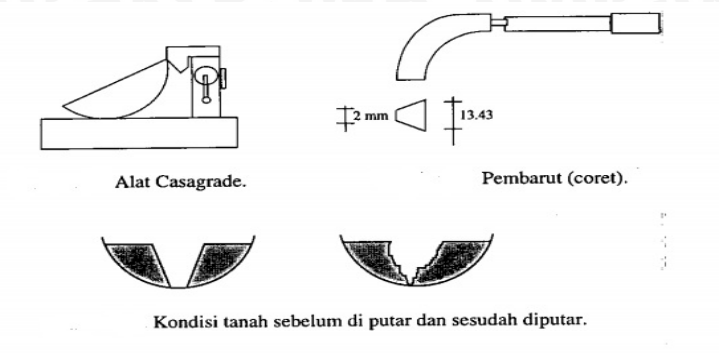

**Gambar 2.6** Skema hubungan kadar air, volume, dan konsistensi

(Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

### 2.3.3.1 Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (*Liquid Limit*) didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair ditentukan dari pengujian Casagrande (1948) (Hardiyatmo, 2010). Pengujian batas cair memiliki tujuan untuk menentukan batas cair suatu tanah dan mengetahui jenis serta sifat-sifat tanah dengan ukuran butir lolos saringan no.40.

Pada pengujian ini, sampel tanah diaduk rata dengan air dalam mangkuk, kemudian pada bagian tangah dibarut dengan alat coret sehingga terbelah menjadi dua bagian dengan alur selebar 2 mm. Tuas kemudian diputar dan mangkuk akan terangkat 1 cm dan ajtuh bebas pada landasan. Putaran dilakukan berulang kali sehingga bagian tanah dalam mangkuk tertaut. Setelah bagian tanah tertaut, jumlah pukulan dicatat dan diperiksa kadar airnya. Tanah dalam keadaan batas cair diperlukan kurang lebih 25 kali pukulan. Berikut adalah gambar skema pengujian batas cair:



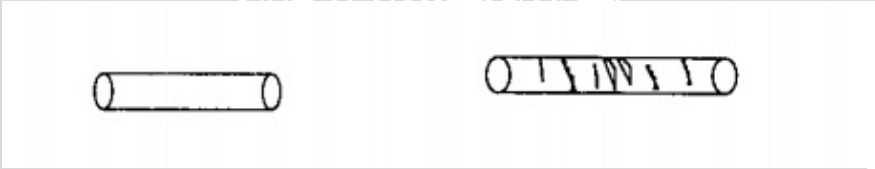

**Gambar 2.7** Skema Uji batas Cair

(Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

### 2.3.3.2 Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas Plastis (*Plastic Limit*) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung (Hardiyatmo, 2010). Pengujian batas plastis bertujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kondisi plastis.

Mulanya tanah basah 20-30 gram dibentuk menjadi bola kemudian digiling-giling di atas kaca dengan telapak tangan sehingga menjadi silinder dengan dameter kurang lebih 3 mm. Bila tanah sudah menjadi silinder berdiameter 3 mm namun belum retak-retak maka kondisinya masih plastis dan pekerjaan ini perlu di ulang lagi sampai didapat batangan berdiameter 3 mm dengan terdapat retak-retak (batas plastis). Kemudian silinder tanah yang retak tersebut dicari kadar airnya sehingga didapat kadar air pada batas plastis.



**Gambar 2.8** Gulungan tanah pada uji batas plastis

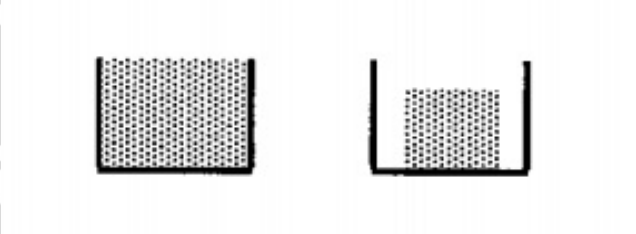
(Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

### 2.3.3.3 Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (*Shrinkage Limit*) 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 (Hardiyatmo, 2010).

Pengujian batas susut memiliki tujuan untuk menentukan kadar air tanah pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat.

Suatu tanah akan mengalami penyusutan bila kadar air secara perlahan-lahan hilang dari dalam tanah. Dengan kehilangan air terus menerus akan mencapai suatu tingkat keseimbangan atau telah mencapai batas susutnya. Batas susut (*Shrinkage Limit*) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu prosentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah.



**Gambar 2.9** Perbedaan volume tanah sebelum dan sesudah di oven

(Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

### 2.3.3.4 Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*) adalah selisih batas cair dan batas plastis:

$$PI = LL - PL \qquad (2\text{-}2)$$

dimana : PI = Plastis Indeks (%) ; LL = Liquid Limit (%) ; PL = Plastis Limit (%).

Indeks Plastisitas (*PI*) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat platis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai *PI* 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 terdapat dalam **Tabel 2.9** (Hardiyatmo, 2010)

**Tabel 2.9** Nilai indeks plastisitas dan macam tanah (Jumikis,1962)

| PI | Sifat | Macam Tanah | Kohesi |
|---|---|---|---|
| 0 | Non Plastis | Pasir | Non kohesif |
| < 7 | Plastisitas Rendah | Lanau | Kohesif Sebagian |
| 7-17 | Plastisitas Sedang | Lanau Berlanau | Kohesif Sebagian |
| >17 | Plastisitas Tinggi | Lempung | Kohesif |

### 2.3.4 Uji Pemadatan (*Standart Proctor Test*)

Pemadatan adalah suatu proses dimana udara pada pori-pori dikeluarkan dengan suatu cara mekanis (ditumbuk). Pada proses pemadatan untuk setiap daya pemadatan tertentu, kepadatan yang tercapai tergantung pada banyaknya air di dalam tanah tersebut, yaitu kadar airnya. Pengujian Proctor standar memiliki tujuan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan dengan cara memadatkan suatu sampel tanah dalam silinder berukuran tertentu menggunakan cetakan, sampel tanah yang digunakan adalah tanah yang lolos saringan no. 4 sehingga bisa diketahui kepadatan maksimum dan kadar air optimum. Kadar air optimm adalah nilai kadar air dimana pada energy kompaksi tertentu dicapai $\gamma_{dry}$ maksimum. Besar kepadatan diukur dalam berat jenis kering tanah ($\gamma_d$) atau kepadatan kering tanah. Uji pemadatan laboratorium ini nantinya akan digunakan pada pemadatan timbunan di lapangan.

*Standart Proctor Test* adalah salah satu metode dalam uji pemadatan tanah. Pengujian ini menggunakan 25 pukulan pemadat seberat 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30 cm. Pukulan sebanyak 25 kali dilakukan ditiap lapisan tanah di dalam *mould* yang keseluruhan terdiri dari 3 lapisan.

Tanah sebagai material bangunan pada suatu konstruksi seperti dasar jala harus dipadatkan untuk memperbaiki sifat-sifat dari tanah yang dapat memberi akibat buruk pada konstruksi. Perubahan yang terjadi bila tanah dipadatkan adalah:

a) Volume udara dalam pori-pori tanah berkurang sehingga tanah menjadi lebih padat.
b) Kekuatan geser dan daya dukung tanah meningkat.
c) Kompresibilitas tanah berkurang.
d) Permeabilitas tanah berkurang.
e) Lebih tahan terhadap erosi.

Dalam pekerjaan pemadatan yang dikerjakan, dihitung:

$$W = \frac{Ww}{Ws} * 100\% \qquad (2\text{-}3)$$

Dimana :

Ww = Berat air

Ws = Berat Butiran Tanah

$$\gamma b = \frac{W}{V} \qquad (2\text{-}4)$$

Dimana :

$\gamma_b$= kerapatan tanah (gram/$cm^3$)

W = Berat tanah (gram)

V = Volume selinder ($cm^3$)

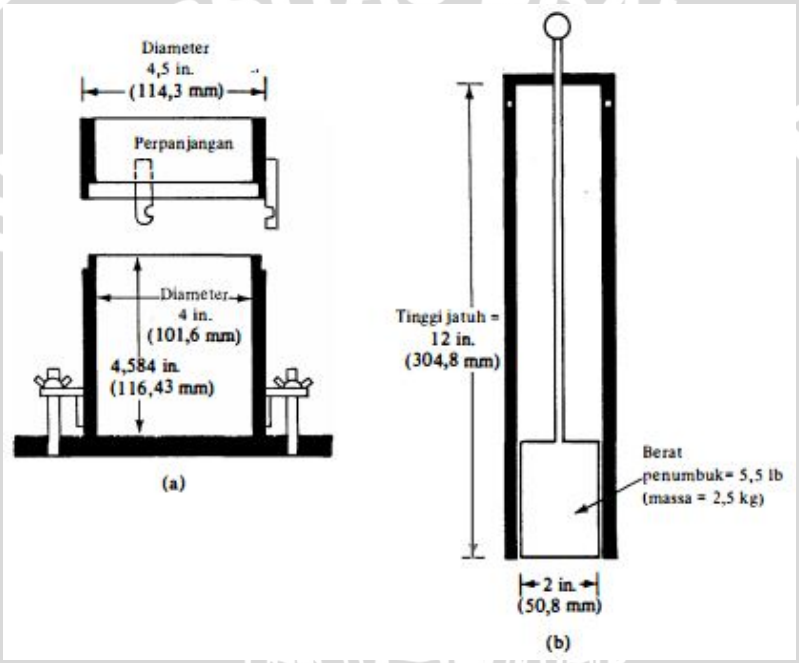
$$\gamma d = \frac{\gamma b}{1+W} \qquad (2\text{-}5)$$

Dimana :

$\gamma_d$= berat volume kering tanah

$\gamma_b$ = berat volume basah tanah

W= kadar air tanah




**Gambar 2.10** Alat Uji Proctor Standar ; (a) Cetakan, (b) Penumbuk
(Sumber: Braja M. Das, 1995:236)

**Tabel 2.10** Spesifikasi Uji Pemadatan

| Penjelasan | Satuan | ASTM D-698, AASHTO T-99 | | | | ASTM D-1557, AASHTO T-180 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Metode A | Metode B | Metode C | Metode D | Metode A | Metode B | Metode C | Metode D |
| Cetakan Volume | $ft^3$ | 1/30 | 1/13,33 | 1/30 | 1/13,33 | 1/30 | 1/13,33 | 1/30 | 1/13,33 |
| | $cm^3$ | 943,9 | 2124,3 | 943,9 | 2124,3 | 943,9 | 2124,3 | 943,9 | 2124,3 |
| Tinggi | In | 4,58 | 4,59 | 4,58 | 4,59 | 4,58 | 4,59 | 4,58 | 4,59 |
| | Mm | 116,33 | 116,34 | 116,33 | 116,34 | 116,33 | 116,34 | 116,33 | 116,34 |
| Diameter | In | 4 | 6 | 4 | 6 | 4 | 6 | 4 | 6 |
| | Mm | 101,6 | 152,4 | 101,6 | 152,4 | 101,6 | 152,4 | 101,6 | 152,4 |
| Berat (massa) penumbuk | Lb | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | Kg | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 4,54 | 4,54 | 4,54 | 4,54 |
| Tinggi jatuh penumbuk | In | 12 | 12 | 12 | 12 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| | Mm | 304,8 | 304,8 | 304,8 | 304,8 | 457,2 | 457,2 | 457,2 | 457,2 |
| Jumlah lapisan tanah | | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Jumlah tumbukan tiap lapis | | 25 | 56 | 25 | 56 | 25 | 56 | 25 | 56 |
| Fraksi tanah yang diuji lolos ayakan | | No. 4 | No. 4 | 3/4 in | 3/4 in | No. 4 | No. 4 | 3/4 in | 3/4 in |

*Faktor konversi: 1 lb massa = 0,4536 kg; 1 in = 25,4 mm; 1 $ft^3$ = 28316,8 $cm^3$

### 2.3.5 Uji CBR (*California Bearing Ratio*)

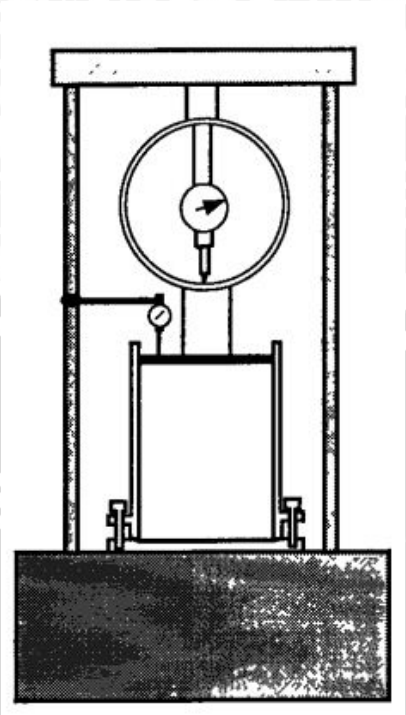
Pengujian CBR dipakai untuk menilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang akan dipakai pada pembuatan perkerasan jalan raya. Nilai CBR selanjutnya dipakai untuk penentuan tebal perkerasan yang akan dibuat di atas tanah dasar. Semakin besar nilai CBR-nya, maka tebal perkerasannya akan semakin kecil. Hasil percobaan dinyatakan sebagai nilai CBR (dalam %) yang nantinya dipakai untuk menentukan tebal perkerasan.

*California Bearing Ratio* (CBR) adalah rasio dari gaya perlawanan penetrasi dari tanah terhadap penetrasi sebuah piston yang ditekan secara kontinu dengan gaya perlawanan penetrasi serupa pada contoh tanah standard berupa batu pecah di California. Rasio tersebut diambil pada penetrasi 2.5 dan 5.0 mm (0.1 dan 0.2 in) dengan ketentuan angka tertinggi yang digunakan. Gaya perlawanan Penetrasi adalah gaya yang diperlukan untuk menahan penetrasi konstan dari suatu piston ke dalam tanah.

Dengan menggunakan grafik yang telah dibuat, harga CBR dapat dihitung dengan dengan cara membagi masing- masing beban dengan bahan standar CBR pada penetrasi 0,1” dengan beban standar 70,31 kg ( 1000psi ), penetrasi 0,2 ” dengan beban standar 1045,47 kg ( 1500 psi ) dan dikalikan dengan 100 %.

Umumnya nilai CBR diambil pada penetrasi 0,1 inc. Apabila terjadi koreksi grafik, maka beban yang dipakai adalah beban yang sudah dikoreksi pada 2,54 mm ( 0,1 inc ) dan 5,08 mm ( 0,2 inc ). Dengan catatan apabila nilai CBR pada 0,1 inc lebih kecil dari 0,2 inc maka percobaan harus diulang. Apabila pada pengujian yang kedua ini masih lebih kecil pada 0,1 inc, maka nilai CBR yang dipakai adalah yang terbesar.

Kekuatan tanah dasar banyak tergantung kepada kadar airnya. Makin tinggi kadar airnya maka semakin kecil kekuatan nilai CBR dari tanah tersebut (L.D.Wesley, 1977).



**Gambar 2.11** Alat Uji CBR
(Sumber : Budi Santosa dkk, 1998:58)

### 2.3.6 Uji *Swelling* (Pengembangan Tanah)

*Swelling* adalah bertambahnya volume tanah secara perlahan-lahan akibat tekanan air pori berlebih negatif. Tanah yang banyak mengandung lempung khususnya tanah lempung ekspansif mengalami perubahan volume yang ekstrim ketika kadar air berubah. Perubahan itulah yang dapat membahayakan konstruksi di atasnya. Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor, yaitu :

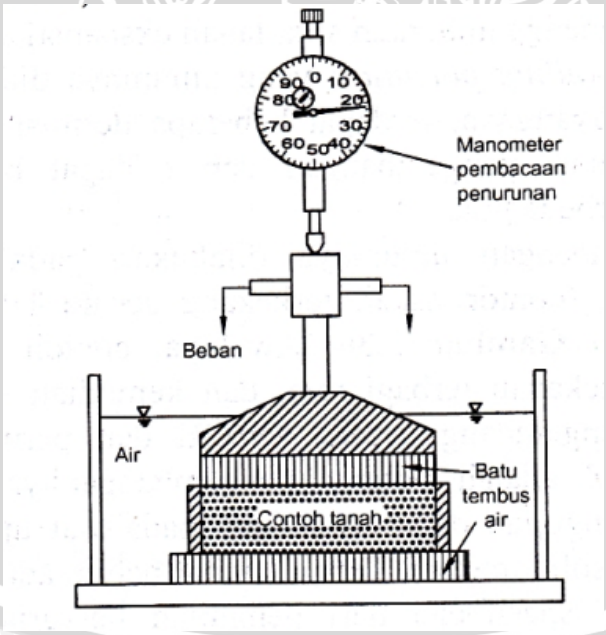
a) Tipe dan jumlah mineral di dalam tanah.
b) Kadar air
c) Susunan tanah.
d) Konsentrasi garam dalam air pori
e) Sementasi.
f) Adanya bahan organik, dll

**Tabel 2.11** merupakan hubungan potensi mengembang dengan tekanan mengembang menurut Garcia-Iturbe (1980).

**Tabel 2.11** Hubungan Potensi Mengembang Dengan Tekanan Mengembang

| Swelling Potensial | Swelling Pressure |
|---|---|
| Low | < 2 |
| Medium | 2-4 |
| High | 4-7 |
| Very High | > 7 |

Garcia-Iturbe, Martines, dan Polin (1980) dalam makalahnya mengemukakan hubungan antara potensi mengembang dengan tekanan mengembang, seperti terlihat pada Tabel di atas, bisa dilihat bagaimana potensi mengembang suatu sampel tanah berdasarkan tekanan mengembangnya. Untuk nilai swelling pressure dibawah 2 memiliki swelling potensial yang rendah sedangkan untuk swelling pressure yang memiliki nilai diatas 7 memiliki swelling pressure sangat tinggi.




**Gambar 2.12** Pengujian *Swelling*
(Sumber : Budi Santosa dkk, 1998:58)