

# TUGAS AKHIR

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Terdahulu

Sheila (2016) dan Andhiepsa (2016) meneliti menggunakan metode elektrokinetik pengaruh kedalaman elektroda pada tanah lempung ekspansif terhadap pengembangan dengan variasi kedalaman 5 cm, 10 cm, 15 cm dan pengaruh besaran voltase metode elektrokinetik terhadap pengembangan tanah lempung ekspansif dengan variasi besaran voltase 6 volt, 9 volt, 12 volt. didapatkan hasil pengembangan tanpa elektrokinetik sebesar 19,3 % sedangkan pengembangan pada kedalaman 5 cm, 10 cm, 15 cm berturut turut sebesar 13,5 %; 14,6 %; dan 14,9 %. Elektroda dengan kedalaman 10 cm efektif mengurangi pengembangan dibandingkan dengan kedalaman elektroda lainnya. Tegangan 12 volt lebih efektif dari pada 9 volt dan 6 volt dalam mengurangi pengembangan dengan pengurangan sebesar 8 %.

Kusuma (2017) dan Khatimah (2017) melakukan percobaan metode elektrokinetik dengan pengaruh lama pemberian arus terhadap pengembangan tanah lempung ekspansif dengan variasi lama pemberian arus kondisi tanpa rendaman 1 hari, 2 hari, 3 hari lalu dilanjutkan 4 hari kondisi rendaman dan variasi lama pengeringan 1 hari, 2 hari, 3 hari setelah perendaman selama 4 hari. Berdasarkan hasil penelitian dengan dua siklus yang berbeda pengembangan berkurang 1,5 – 8% dibandingkan pengembangan tanah tanpa elektrokinetik.

Muntohar (2010) melakukan pengujian model kuat dukung dan karakteristik beban penurunan tanah lunak dengan perkuatan kolom kapur. Kolom kapur berdiameter 50 mm dan panjang 200 mm dipasang dalam wadah 120 x 120 x 100 cm. Hasil penelitian menunjukkan dengan penambahan kolom kapur meningkatkan kuat dukung tanah pada radius 2D radial dan 4D vertikal dari kolom kapur. Kekuatan yang lebih tinggi diperoleh di dekat kolom dan menurun secara bertahap dengan jarak dari kolom. Kandungan kadar air pada tanah disekitar kolom

kapur mengalami penurunan karena air terserap pada saat reaksi kimia antara kolom kapur dan tanah.

## 2.2. Stabilisasi Tanah dengan Elektrokinetik

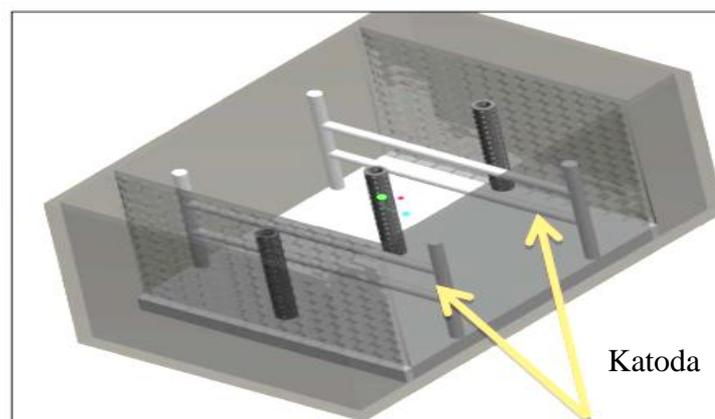
Perbaikan tanah menggunakan elektrokinetik merupakan perbaikan tanah dengan menggunakan tegangan listrik. Ini adalah salah satu teknik perbaikan yang mempunyai potensi yang signifikan dalam menstabilkan tanah secara *in-situ*. Ketika arus DC diaplikasikan pada tanah lempung, air yang berada dalam tanah akan bergerak sepanjang aliran listrik, selama proses elektrokinetik ada beberapa fenomena yang terjadi ketika 2 elektroda dipasang pada tanah yaitu: elektroosmosis (perpindahan air pori dari anoda menuju katoda), elektroforesis (transportasi tanah bermuatan negatif menuju anoda), elektromigrasi (transportasi ion didalam air pori tanah), dan elektrolisis memicu reaksi oksidasi pada anoda yang menghasilkan  $H_2$  dan  $OH^-$ , reaksi reduksi pada katoda yang menghasilkan  $O_2$  dan  $H^+$ . Setiap fenomena yang terjadi selama proses elektrokineik memiliki efek pada tanah dan elektroda yang dijelaskan dalam tabel 2.1 (Micic et al., 2003; Jayasekera, 2007; Jones dkk., 2011) .

Tabel 2.1 Efek dalam aplikasi elektrokinetik (Jones dkk., 2011)

	Fenomena	Efek
<b>Elektrokinetik</b>	Elektro-osmosis	Aliran air
		Perubahan tekanan pori
		Perubahan volume
	Elektroforesis	Pergerakan partikel tanah bermuatan di bawah medan listrik
	Elektromigrai	Pergerakan ion ke elektroda
	Elektrolisis	Evolusi oksigen
		Evolusi hidrogen
		Perubahan ph
	Reaksi oksidasi	Sementasi tanah
		Penurunan pada plastisitas tanah
Reaksi reduksi	Evolusi amonia	

Micic dkk. (2003) menguji elektrokinetik pada tanah lempung laut lunak dalam skala laboratorium. Dalam pengujian dilakukan tiga tahap yaitu tahap konsolidasi (7 hari), tahap elektrokinetik (7 hari), tahap difusi setelah elektrokinetik (45 hari). Hasil penelitian menunjukkan bahwa elektrokinetik mengubah distribusi ukuran pori di tanah yang diperbaiki. Porositas sampel tanah yang diberi elektrokinetik secara signifikan lebih rendah dan diameter pori secara signifikan lebih kecil daripada pada sampel tanah yang tidak diberi elektrokinetik, yang diindikasikan karena pengendapan senyawa amorf. Hasil tes batas Atterberg menunjukkan bahwa indeks plastisitas tanah menurun setelah perbaikan. Perubahan ini berhubungan dengan pengelompokan partikel menjadi agregat karena adanya agen penyemenan dan perubahan jenis dan konsentrasi ion dalam air pori karena proses elektrokinetik.

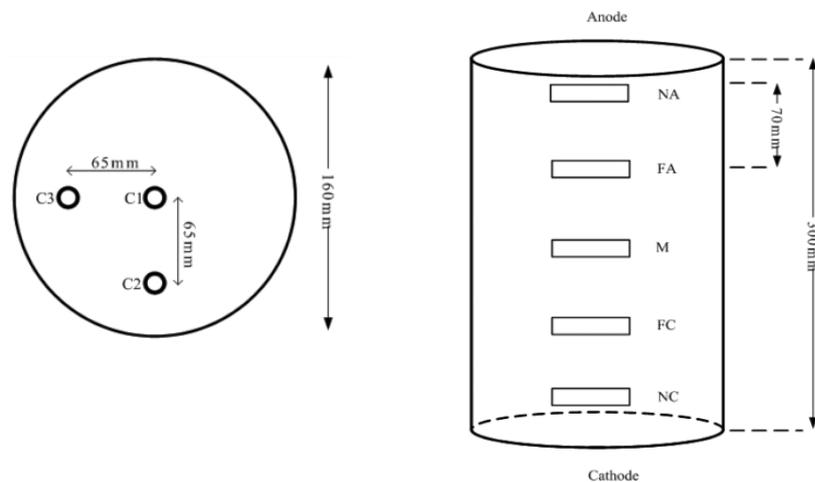
Gingine dkk. (2013a) melakukan penelitian elektrokinetik pada tanah lempung ekspansif India. Pengujian dilakukan selama 7 hari dan dibedakan dua kondisi, pertama menggunakan 1 anoda dan 1 katoda dengan besaran voltase 25 V, kedua menggunakan 1 anoda dan 2 katoda dengan besaran voltase 15 V. Hasil penelitian menunjukkan kadar air di sekitar anoda lebih rendah daripada di sekitar katoda, indeks plastisitas berkurang dari kondisi awal 54 % menjadi 24 %, potensi pengembangan secara umum juga ikut berkurang sebesar 49 % pada 2 katoda dan 40 % pada 1 katoda. Penggunaan 2 katoda dianggap lebih signifikan pada penelitian elektrokinetik ini.



Gambar 2.1 Skema pengujian elektrokinetik 1 anoda 2 katoda (Gingine dkk., 2013a).

Ou dkk. (2015) meneliti efek dari jarak antara elektroda pada area sementasi dengan menginjeksi *calcium chloride* ( $\text{Ca}^{2+}$ ) melalui anoda dan melakukan banyak variasi elektroda dan voltase pada pengujian. Hasil penelitian menunjukkan secara umum area sementasi dan kadar *calcium chloride* ( $\text{Ca}^{2+}$ ) meningkat dengan meningkatnya ukuran elektroda, jumlah elektroda, voltase dan mempersempit jarak antara katoda. Nilai pH pada anoda umumnya berkisar antara 4 sampai 6,5 sedangkan pada katoda mulai dari 7,5 samapai 9,5. sementasi sering terjadi dalam lingkungan basa di mana nilai pH di atas 8,3.

Chang dkk. (2010) melakukan penelitian elektrokinetikk efek dari konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  pada mekanisme perkuatan dan pH tanah. Penelitian dilakukan dengan variasi 2 jam, 4 jam, 8 jam, 16 jam, 24 jam, dan 120 jam dengan variasi konsesntrasi  $\text{Ca}^{2+}$  0,5; 1,0; 1,5 mg/g. Tanah ditempatkan pada silinder uji ditunjukkan pada Gambar 2.2. hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi kadar air pada sekitar anoda berkurang sedangkan pada sekitar katoda meningkat. Dengan perbaikan jangka pendek konsentrasi ion  $\text{Ca}^{2+}$  dari anoda ke katoda hampir identik. Tidak terjadi perubahan yang signifikan pada kekuatan untuk waktu perbaikan yang singkat karena pertukaran ion tidak maksimal kecuali pada sampel 16 dan 24 jam pada posisi NC. Ion  $\text{Ca}^{2+}$  bergerak ke arah dan berakumulasi di dekat katoda selama perbaikan jangka panjang pH mencapai 10, konsentrasi ion  $\text{Ca}^{2+}$  (137,0 mg / g), dan resistensi kerucut (maksimum 2209 kPa) meningkat secara signifikan pada sampel yang dikumpulkan pada posisi NC dan FC setelah 120 jam perbaikan. Hasil mengkonfirmasi bahwa peningkatan kekuatan mekanik kaolin terutama disebabkan



oleh pengendapan dan reaksi pozzolan dari ion  $\text{Ca}^{2+}$  pada posisi NC katoda selama proses elektrokinetik.

Gambar 2.2 Skema silinder uji elektrokinetik (Chang dkk., 2010).

Jayasekera (2007) melakukan stabilisasi tanah lempung lunak dengan metode elektrokinetik yang dikombinasi dengan kapur dalam proses stabilisasi. Tanah lempung ditempatkan pada wadah berukuran 900 mm x 350 mm dan dipadatkan. Dalam proses stabilisasi mengalirkan arus DC bervoltase 0,5 Volt dengan jarak antar elektroda 700 mm selama 14 hari serta kapur diinjeksikan melalui anoda. Setelah proses elektrokinetik tanah diambil sampel untuk diuji berbagai sifat rekayasa seperti kekuatan tekan, batas konsistensi, penyusutan linear, indeks pengembangan dan indeks kompresi. Dari pengujian menunjukkan bahwa indeks plastisitas tanah menurun sehingga terjadi peningkatan kekuatan tekan tanah. Potensi penyusutan dan pengembangan menurun sebesar 70% tanpa stabilisasi kapur dan 90% dengan penambahan kapur. Dengan stabilisasi elektrokinetik kekuatan tekan bebas dari tanah meningkat pada paling sedikit 30% sampai 100% sementara stabilisasi elektrokinetik yang ditambahkan kapur menyebabkan peningkatan kekuatan hampir 200%. Penurunan indeks kompresi berkisar antara 10% dan 15%. Ini menunjukkan metode elektrokinetik untuk meningkatkan sifat rekayasa tanah liat lunak lebih efektif dan efisien dengan atau tanpa penambahan bahan stabilisasi. Dari hasil ini, menunjukkan bahwa dengan stabilisasi elektrokinetik, kapur dapat disebarkan ke tanah cukup mudah dan efisien tanpa harus melalui proses yang cukup rumit seperti pengeringan tanah, penghancuran dan pencampuran seperti yang diperlukan dengan kapur konvensional. Metode ini juga dapat mengatasi kendala dan kesulitan karena waktu, kedalaman dan akses yang terkait dengan banyak proses stabilisasi tanah secara tradisional.

### **2.3. Stabilisasi Tanah dengan Kolom Kapur**

Stabilisasi tanah menggunakan kapur merupakan stabilisasi yang ketika kapur ditambahkan ke tanah lalu memiliki efek langsung pada sifat-sifat tanah. Pada tanah lempung pertukaran kation mulai terjadi antara ion logam yang terkait dengan permukaan partikel tanah lempung dan ion kalsium kapur. Partikel-partikel

tanah lempung dikelilingi oleh lapisan mulai bermodifikasi oleh pertukaran ion kalsium. Ini mengubah kepadatan muatan listrik di sekitar partikel tanah lempung yang menyebabkan partikel - partikel tertarik lebih dekat satu sama lain lalu membentuk gumpalan yang disebut flokulasi. Aturan praktis yang baik dalam menambahkan kapur ialah 1% berat kapur untuk setiap 10 % kandungan lempung. Untuk kandungan lempung 80%, biasanya tidak perlu menambah lebih dari 8 % kapur (Bell, 1996).

Hewayde dkk. (2005) melakukan penelitian menggunakan kolom kapur dengan 3 model perbandingan terhadap pengembangan tanah ekspansif. Pertama pengembangan tanpa stabilisasi kolom kapur, kedua dengan kolom kapur, ketiga dengan kolom kapur yang diperkuat dengan tulangan pada tengah kolom kapur dengan memvariasi kadar kapur 2 - 4 %, 4 - 6 %, diatas 6 % dan variasi kedalaman kolom kapur 50 mm, 100 mm, 200 mm. Skema pemasangan alat uji dapat dilihat pada Gambar 2.3. Hasil penelitian menunjukkan perubahan pH, batas batas konsistensi dan pengembangan antara tanah tanpa kolom kapur dan tanah yang distabiliasi dengan kolom kapur. Kadar kapur optimum sebesar 6% didapat di penelitian ini. Kolom kapur konvensional dapat mengurangi pengembangan tanah ekspansif sebesar 33% sedangkan, kolom kapur yang diperkuat dengan tulangan dapat mengurangi pengembangan tanah ekspansif sebesar 69% atau lebih dari dua kali lebih baik dari kolom kapur konvensional. Proses yang terjadi pada kolom kapur yang diperkuat berhubungan dengan kekuatan adhesif yang terjadi antara tulangan dan kolom kapur. Pengurangan pengembangan karena kolom kapur berhubungan juga dengan besarnya gaya perekat resistif antara permukaan kolom kapur dan tanah di sekitarnya. Ini berarti pengurangan pengembangan tergantung dari adanya kolom kapur dan koefisien adhesi antara kolom kapur dan tanah di sekitarnya. Pengurangan pengembangan kolom kapur yang diperkuat juga tergantung dari ukuran tulangan dan adhesi antara tulangan dan kolom kapur. Pengurangan pengembangan juga dipengaruhi oleh panjang kolom kapur. Dari variasi kedalaman kolom kapur, reduksi pengembangan maksimum ketika kolom kapur sampai bagian bawah tanah ekspansif.

Rao dan Venkataswamy (2002) meneliti pengaruh kapur dalam pengembangan dan uji tekan tanah ekspansif. Pengujian dilakukan dengan

menempatkan kolom kapur pada tengah silinder uji dengan tinggi 305 mm dan diameter 350 dengan pengukuran pada 0,9 D dan 1,6 D pada kondisi pertama, kondisi kedua dengan mencampur tanah dengan 3% kapur, kondisi ketiga tanah tanpa kapur. Hasil pengujian menunjukkan kapur dapat bermigrasi sejauh 1,6 D dengan pH antara 7,3 sampai 9,1. Tegangan axial dan pengembangan terendah terjadi pada tanah yang dicampur 3% kapur dibanding dengan kolom kapur yang dipasang pada tengah tanah maupun tanah tanpa pemberian kapur. Untuk tegangan aksial dan pengembangan pada 0,9 D lebih rendah dibanding pada jarak 1,6 D.

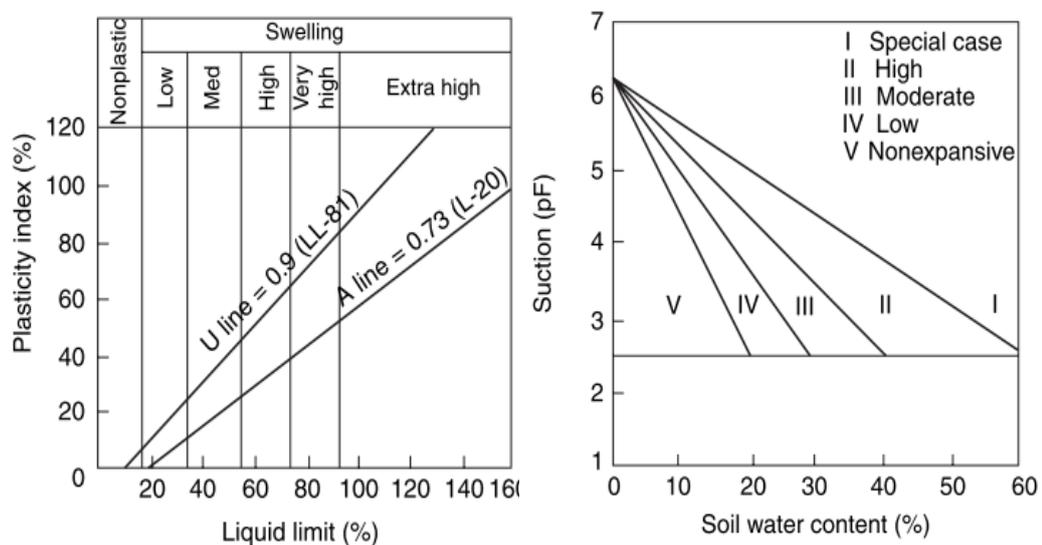
#### **2.4. Tanah Lempung Ekspansif**

Tanah ekspansif (*expansive soil*) adalah tanah yang mengalami perubahan volume kembang dan susut yang tinggi dikarenakan perubahan kadar air pada saat kondisi kering atau kondisi basah. Menurut Gingine dkk. (2013a) Tanah ekspansif ini adalah tanah koloid yang mengandung dua mikron fraksi bervariasi antara 50% dan 70%, terdiri dari *montmorillonite* dan mineral *illite*. Perilaku Pengembangan dan penyusutan berhubungan dengan mineral lempung. Diantaranya mineral lempung *montmorillonite* sangat aktif dan menyerap air berkali-kali volumenya. Tanah akan keras pada kondisi kering tetapi kehilangan kekuatan hampir sepenuhnya pada kondisi basah. Jaysekera (2002) dan Muntohar (2006) menjelaskan bahwa perilaku pengembangan dan penyusutan yang terjadi pada lempung ekspansif tergantung pada kadar lempung suatu. Perilaku ini dapat terjadi dikarenakan semakin banyak kandungan lempung maka kandungan *montmorillonite* akan meningkat yang menyebabkan pengembangan yang besar ketika kondisi basah dan akan mengalami penyusutan yang besar pula ketika kondisi kering.

Muntohar (2005) menyebutkan bahwa secara umum terjadi 3 fase selama pengembangan tanah yaitu pengembangan awal (*intervoid swelling / initial swelling*), pengembangan primer (*primary swelling*) dan pengembangan sekunder (*secondary swelling*). Pengembangan awal umumnya kurang dari 10% dari pengembangan total. Pengembangan primer terjadi ketika rongga tidak mampu lagi menampung pengembangan partikel tanah dan terjadi pada waktu yang singkat. Setelah pengembangan primer selesai dilanjutkan dengan pengembangan sekunder

yang berjalan relatif lambat karena volume partikel tanah lempung seperti *montmorillonite* meningkat ketika menyerap air pada saat pengembangan primer.

Yilmaz (2006) menjelaskan kriteria tanah yang dikategorikan sebagai tanah ekspansif dan non ekspansif berdasarkan hubungan kurva batas cair dan indeks plastisitas maupun berdasarkan hubungan kurva kadar air dan nilai hisap tanah dapat dilihat pada Gambar 2.3. Ini mengindikasikan batas cair dan pengembangan tanah ekspansif bergantung pada jumlah air yang diserap. Dengan kata lain pengembangan yang tinggi akan memanifestasikan sifat indeks yang tinggi. Muntohar (2006) mengklasifikasikan tanah ekspansif berdasar potensi pengembangan tanah dari rendah sampai tinggi yang ditunjukkan Tabel 2.2.



Gambar 2.3 Klasifikasi tanah ekspansif dan non ekspansif (Yilmaz, 2006).

Tabel 2.2 Klasifikasi tanah ekspansif berdasarkan ekspansifitas tanah (Muntohar, 2006)

<b>Derajat Ekspansif</b>	<b>Potensial Pengembangan, %</b>
Sangat Tinggi	> 27,8
Tinggi	16,3 – 27,8
Sedang	7,1 – 16,3
Rendah	0 – 7,1

Muntohar (2006) menjelaskan bahwa daya dukung tanah akan menurun ketika terjadi pengembangan pada tanah tersebut, itu dikarenakan meningkatnya angka pori dan kadar air pada tanah. Jones dan Jefferson (2012) menjelaskan ada dua kategori penanggulangan ketika menemui tanah ekspansif. Cara pertama memperbaiki tanah ekspansif itu sendiri kemudian cara kedua memperkuat fondasi bangunan pada tanah ekspansif atau mengkombinasikan dua alternatif tersebut. Pada dasarnya, perbaikan tanah ekspansif dapat dikelompokkan menjadi dua kategori. Pertama, stabilisasi tanah berupa pemadatan, stabilisasi pra-basah, dan stabilisasi menggunakan kimia seperti semen atau kapur. Kedua, metode pengendalian kadar air pada tanah menggunakan penghalang horizontal berupa membrane, aspal dan penghalang kaku (*rigid barriers*) atau penghalang vertikal seperti pengolahan tanah secara *elektrokimia*, dan perbaikan menggunakan panas (*heat treatment*). Memperkuat pondasi tujuan utamanya adalah meminimalkan efek gerakan. Jenis pondasi yang digunakan di tanah ekspansif dari seluruh dunia adalah pilar dan balok atau sistem tiang dan balok atau pondasi rakit. Kedua metode pra konstruksi tersebut jika diterapkan dengan benar dapat meminimalisir kerusakan yang dapat terjadi pada struktur bangunan yang akan dibangun pada tanah ekspansif (Muntohar, 2014).

## 2.5. Sifat – Sifat Geoteknik Tanah

### 1. Kadar air (ASTM D2216-10)

Kadar air ( $w$ ) atau jumlah kandungan air dalam tanah didefinisikan sebagai perbandingan berat air dengan berat butiran tanah untuk suatu volume tanah.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (2.1)$$

dengan,  $w$  = kadar air (%),

$W_w$  = berat air (g),

$W_s$  = berat butiran tanah (g).

### 2. Berat jenis (ASTM D854-10)

Berat jenis adalah perbandingan antara berat butir-butir tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2.2)$$

dengan,  $G_s$  = berat jenis,  
 $\gamma_s$  = berat volume butiran padat,  
 $\gamma_w$  = berat volume air.

Nilai berat jenis tanah bervariasi tergantung pada mineral penyusunnya. Nilai – nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Berat jenis tanah (Hardiyatmo, 2012)

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

### 3. Batas – batas konsistensi

Batas batas konsistensi meliputi :

#### a. Batas cair (ASTM D4318-10)

kandungan air yang dinyatakan dalam persen pada tanah ditentukan pada keadaan semi cair dan keadaan plastis.

#### b. Batas plastis (ASTM D4318-10)

kandungan air yang dinyatakan dalam persen pada tanah ditentukan pada keadaan semi padat dan keadaan plastis.

#### c. Indeks plastisitas (ASTM D4318-10)

Indeks plastisitas adalah selisih antara batas cair dan batas plastis.

$$PI = LL - PL \quad (2.3)$$

dengan, PI = indeks plastisitas,

LL = batas cair,

PL = batas plastis.

4. Analisis ukuran butiran (ASTM D6913-04)

Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan presentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter tertentu. Sifat –sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya ukuran butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanahnya. Oleh karena itu, analisis butiran merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan.

5. Pemadatan tanah (ASTM D698)

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan tenaga mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel dari tanah. Energi pemadatan di laboratorium biasanya dipadatkan menggunakan tumbukan dan alat penekan. Sedangkan energi pemadatan dilapangan dapat diperoleh dari mesin gilas, alat-alat pemadatan getaran, dan dari benda-benda berat yang dijatuhkan. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut dengan pengujian proktor. Pada kondisi tanah lempung ekspansif pemadatan yang berlebihan akan mengakibatkan pengembangan tanah yang besar jika dibandingkan sebelum dipadatkan (Muntohar, 2009).

Dalam pengujian pemadatan, percobaan diulang sedikitnya 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Derajat kepadatan tanah diukur dari hubungan berat volume kering tanah dengan berat volume basah dan kadar air.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + w} \quad (2.4)$$

dengan,  $\gamma_d$  = berat volume tanah kering ( $\text{g/cm}^3$ ),  
 $\gamma_b$  = berat volume tanah basah ( $\text{g/cm}^3$ ),  
 $w$  = kadar air (%).

