

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Andhiespa dan Sheila (2016) melakukan pengujian elektrokinetik masing-masing terhadap pengaruh besaran voltase dan kedalaman elektroda terhadap pengembangan tanah lempung ekspansif. Variasi besaran voltase yang dipakai adalah 6V, 9V dan 12V dan variasi kedalaman elektroda 5cm, 10cm dan 15cm. Proses elektrokinetik dilakukan selama 4 hari setiap pembacaan waktu 15 menit, 30 menit, 45 menit, 1 jam, 2 jam, 4 jam, 8 jam, 12 jam, 24 jam, 36 jam, 48 jam, 72 jam dan 96 jam. Setelah proses selama 4 hari selesai, tanah kembali diberi air selama 1 hari untuk diamati apakah metode elektrokinetik dapat menahan pengembangan yang terjadi. Dari kedua penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa kedalaman elektroda efektif adalah 10 cm dengan besaran voltase sebesar 12V mampu secara efektif mengurangi pengembangan pada tanah lempung ekspansif.

Kharoza dan Furqon (2017) melakukan pengujian karakteristik kuat geser, indek pemampatan ( $C_c$ ) dan indek pengembangan ( $C_s$ ) tanah lempung ekspansif di sekitar kolom SiCC. Penentuan karakteristik kuat geser dilakukan dengan mengambil sampel tanah pada drum uji dengan jarak 1D, 2D, dan 3D dari pusat kolom SiCC kemudian dilakukan pengujian triaksial di laboratorium pada 2 kondisi: *Unconsolidated - Undrained* (UU) dan *Consolidated - Undrained* (CU) untuk mendapatkan parameter kuat geser tanah, yaitu kohesi dan sudut geser dalam. Indek pemampatan dan indek pengembangan ditentukan dari pengujian konsolidasi selama 6 hari dengan menambahkan beban pada alat konsolidasi untuk melihat pemampatan dan pengurangan beban untuk melihat pengembangan yang terjadi pada tanah. Dari kedua penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa kekuatan dan kekakuan tanah lebih tinggi terjadi di dekat kolom SiCC dan menurun dengan jarak dari pusat kolom SiCC, nilai indek pemampatan ( $C_c$ ) dan Indek pengembangan ( $C_s$ ) pada tanah di sekitar kolom cenderung mengalami penurunan.

Muntohar dan Hung (2007) melakukan pengujian pada tanah lempung lunak dengan metode kolom kapur untuk melihat pengaruhnya terhadap tanah di sekitar

kolom kapur. Pengujian ini dilakukan pada skala laboratorium dengan memasukkan tanah uji ke dalam tangki berukuran 120cm x 120cm x 100cm. Tanah lempung yang disiapkan pada tangki dalam kondisi jenuh untuk mengatur kadar air di permukaan tanah selama 3 sampai 4 bulan. Pengujian laboratorium yang dilakukan pada contoh tanah yaitu uji kuat tekan bebas dan sondir (*Cone Penetration Test*). Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa faktor umur kolom kapur mempengaruhi kekuatan tanah di sekitar kolom kapur yang disebabkan oleh migrasi kapur yang bereaksi pada tanah dan menyebabkan nilai kadar air di sekitar kolom kapur berkurang setelah kolom kapur dipasang. Jarak efektif stabilisasi yaitu 2D (2 kali diameter) pada arah radial dan 4D (4 kali diameter) arah vertikal, dan paling jauh mencapai 4D pada arah radial dan 8D arah vertikal.

Muntohar (2010) melakukan penelitian menggunakan kolom kapur untuk perkuatan pada tanah lunak. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mempelajari sebaran kuat dukung tanah di sekitar kolom kapur dan karakteristik hubungan beban dan penurunan pada tanah. Kolom kapur dirancang sebagai kolom tunggal berdiameter 50mm dengan kedalaman 200mm. Tanah dan kolom kapur diletakan di dalam kotak uji yang terbuat dari baja dengan ukuran 1,2m x 1,2m dan tinggi 1m. Pengujian skala laboratorium yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan bebas dan uji sondir. Pada pengujian kuat tekan bebas sampel tanah diambil pada kedalaman 100mm (satu setengah dari panjang kolom kapur) dengan jarak 50mm, 100mm, 150mm, dan 200mm pada arah radial dari kolom kapur. Uji sondir juga dilakukan pada arah radial, metode yang dilakukan mengacu pada ASTM D3441 mengenai sondir mekanik. Nilai perlawanan konus ( $q_c$ ) tercatat pada setiap kedalaman 20 cm, jadi pada penelitian ini akan menghasilkan nilai perlawanan konus pada arah radial dan vertikal. Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pemasangan kolom kapur dapat meningkatkan kekuatan tanah di sekitarnya baik pada arah radial maupun vertikal hingga mencapai jarak 3 x diameter arah radial dan 8 x diameter dalam arah vertikal dari pusat kolom kapur dan menurun secara bertahap dengan jarak dari kolom kapur. Kekuatan tanah cenderung meningkat dengan bertambahnya kadar kapur.

Jayasekara (2006) melakukan penelitian mengenai pengaruh stabilisasi elektrokinetik terhadap karakteristik perubahan volume (kembang-susut) pada

tanah lempung ekspansif. Pengujian dilakukan dilaboratorium menggunakan tanah lempung ekspansif yang berasal dari 3 lokasi yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan menempatkan tanah ke dalam tangki kaca dengan ukuran 900mm x 350mm kemudian tanah dipadatkan dengan kepadatan dan kadar air yang menyesuaikan dengan kondisi lapangan. Kemudian, 2 pipa besi dengan diameter 25mm yang digunakan sebagai elektroda ditempatkan terpisah dikedua ujung dari tangki pengujian yang kemudian akan dialiri arus listrik searah (DC). Proses pengujian dilakukan dengan variasi tegangan listrik sebesar 0,25; 0,5 dan 1 V/cm dengan lama waktu perbaikan 3,5,7,11 dan 14 hari. Pada akhir setiap periode pengujian contoh tanah diambil pada bagian tengah benda uji untuk diuji karakteristik perubahan volumenya yang diwakilkan dari hasil pengujian batas-batas *Atterberg*, indeks pengembangan bebas (*Free swelling Index*) dan indeks kembang-susut. Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa dengan stabilisasi elektrokinetik, secara efektif dapat mengurangi perubahan volume tanah. Hal ini ditunjukkan dari penurunan nilai indeks plastisitas akibat dari menurunnya nilai batas cair dan peningkatan pada nilai batas plastis. Semakin besar tegangan listrik dan lama proses pengujian menyebabkan penurunan yang signifikan pada indeks pengembangan bebas. Secara umum, tegangan listrik yang tinggi menghasilkan hasil yang lebih cepat dalam mengurangi perubahan volume tanah. Namun, juga akan terjadi proses yang merugikan pada tanah seperti: kering dan penyusutan yang berlebihan yang akan mengakibatkan timbul keretakan pada tanah.

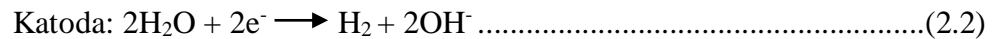
Chien dkk. (2014) melakukan pengujian elektroosmotik dengan tambahan bahan kimia. Pada penelitian ini larutan kimia di injeksi ke dalam tanah selama proses elektroosmosis berlangsung untuk meningkatkan daya dukung tanah. Media penampang yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari *plexiglass* dengan ukuran panjang 44cm x 23cm x 32cm dengan dua buah elektroda yaitu anoda (+) dan katoda (-) yang ditanam dalam tanah yang kemudian akan dialiri arus listrik searah (DC). Proses pengujian dilakukan dengan sistem injeksi dibawah tekanan konsolidasi sebesar 30 kPa menggunakan larutan kimia melalui anoda selama elektroosmosis berlangsung. Larutan kimia yang digunakan yaitu kalsium klorida dan natrium silikat yang kemudian diuji dalam serangkaian tes. Kalsium klorida di injeksi selama proses *curing* pada 1 hari, 2 hari, 3 hari, dan 7 hari (TC1 – TC4).

Rangkaian tes kedua (TCS1-TCS3) larutan natrium silika di injeksi pada rentang waktu selama 6 hari, 5 hari, dan 4 hari. Pengaruh dari pengujian ini dapat dibagi menjadi 2 tahap: mengurangi koefisien permeabilitas dari pasir, dan meningkatkan kekuatan dari tanah lempung lunak. Ketika sampel diinjeksikan dengan kalsium klorida selama elektroosmosis, larutan injeksi mungkin terlebih dahulu bocor dari pasir disebabkan oleh konduktivitas yang relatif tinggi. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien permeabilitas dari pasir dapat dikurangi dengan menginjeksikan larutan natrium silika ke dalam lapisan pasir dengan tekanan sebelum pengujian. Oleh karena itu, larutan kimia yang diinjeksikan bisa mengalir lebih efektif pada tanah lempung lunak selama proses elektroosmosis berlangsung dan menghasilkan peningkatan kekuatan pada tanah lempung lunak setelah terjadi penurunan koefisien permeabilitas pada pasir. Pengujian ini dapat meningkatkan kekuatan tanah lempung lunak di sekitar area katoda hingga 20 kali lebih besar dari kondisi tanah asli. Hasil ini menjelaskan bahwa kekuatan tanah lempung lunak meningkat terutama disebabkan oleh pengendapan ion  $\text{Ca}^{2+}$  dan reaksi *pozzolan*.

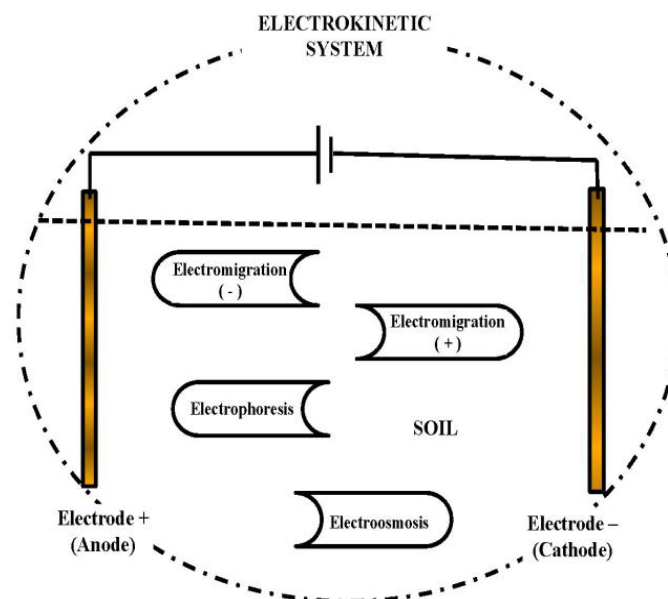
## 2.2 Stabilisasi Tanah dengan Elektrokinetik

Elektrokinetik adalah sebuah proses pergerakan ion (elektron, kation, dan anion) di dalam sebuah media penghantar (termasuk tanah lempung) karena perbedaan potensial listrik antara anoda (+) dan elektroda negatif (katoda) (Panjaitan dan Andi, 2017). Mosavat (2014) menyebutkan bahwa prinsip dasar dari metode elektrokinetik adalah untuk mengaplikasikan penerapan arus searah (DC) atau gradient potensial rendah untuk elektroda yang dimasukkan ke dalam tanah yang memiliki permeabilitas yang rendah. Pergerakan dari reaksi kimia yang bermuatan diseluruh tanah melibatkan beberapa mekanisme yang kompleks seperti elektrolisis, elektro-osmosis, elektromigration dan elektroporesis. (Panjaitan dkk., 2012) menjelaskan bahwa elektromigrasi adalah proses perpindahan ion pada tanah, muatan ion negatif (anion) akan bergerak ke elektroda bermuatan positif (anoda), sedangkan muatan ion positif (kation) akan bergerak ke elektroda bermuatan negatif (katoda). Proses elektrokinetik menghasilkan proses kimia dalam larutan elektrolit, di mana reaksi tersebut menghasilkan muatan positif dan negatif pada

elektroda. Reaksi kimia terjadi pada elektroda positif (anoda) dan elektroda negatif (katoda) reaksi kimia yang terjadi oleh penggunaan air sebagai larutan elektrolit secara umum, selama elektrolisis ion  $H^+$  dan ion  $OH^-$  akan dihasilkan pada anoda (+) dan katoda (-):



Proses elektrolisis yang terjadi diikuti dengan proses (*electromigration*) perpindahan ion  $H^+$  ke elektroda bermuatan negatif (katoda) dan  $OH^-$  ke elektroda bermuatan positif (anoda) serta perpindahan air tanah dari area di sekitar anoda menuju ke katoda (*electroosmosis*). Perpindahan air pada pori tanah ini mempunyai pengaruh yang besar dalam peningkatan daya dukung tanah di sekitar kutub anoda seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Ilustrasi dari proses elektromigrasi, elektroporesis, dan elektroosmosis selama proses elektrokinetik (Panjaitan dkk., 2012).

### 2.3 Stabilisasi Tanah dengan Kolom Kapur

Stabilisasi tanah dengan kolom kapur merupakan salah satu jenis stabilitas tanah secara kimiawi dengan memanfaatkan reaksi kimia yang terjadi antara tanah dan kapur selama proses stabilisasi berlangsung. Muntohar dan Hung (2007) menyebutkan bahwa teknik kolom kapur beberapa tahun ini sudah sukses di

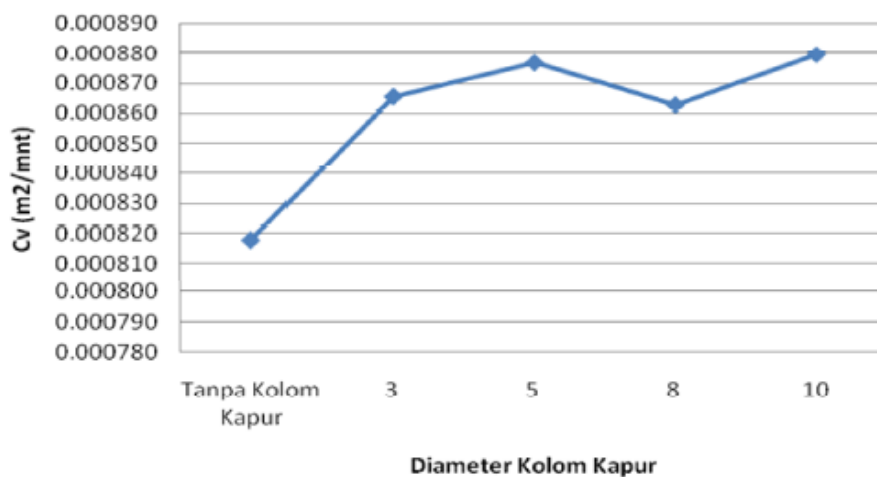
aplikasikan untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik dari tanah. Teknik ini meningkatkan daya dukung tanah dan mengurangi penurunan tanah disebabkan oleh meningkatnya kekuatan dan kekakuan dari tanah. Kekuatan dari kolom kapur akan meningkat sejalan dengan waktu karena pengaruh reaksi pozzolan yang terjadi pada tanah dan kapur. Apriyono dan Sumiyanto (2008) melakukan penelitian tentang perilaku stabilisasi kolom kapur terhadap parameter kecepatan penurunan tanah lempung lunak. Pengujian ini dilakukan pada skala laboratorium dengan memasukkan tanah uji ke dalam silinder yang terbuat dari baja dengan diameter 40cm dan tinggi 40cm. Diameter kolom kapur yang digunakan dalam penelitian ini, terdiri dari 5 variasi diameter yaitu 3cm, 5cm, 8cm, 10cm, dan 12cm. Tanah yang telah disiapkan kemudian dipadatkan ke dalam media uji dengan 3 lapisan pemadatan *proctor standart*. Tahap selanjutnya tanah dan kolom kapur didiamkan selama 24 jam dengan tujuan agar terjadi proses pengikatan ion  $Ca^{2+}$  dengan tanah. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada umumnya penggunaan kolom kapur dapat meningkatkan nilai koefisien konsolidasi pada tanah lempung lunak. Tetapi, penambahan diameter kolom kapur tidak mempengaruhi kenaikan nilai koefisien konsolidasi yang signifikan seperti yang disajikan pada Tabel 2.1, Tabel 2.2 dan Gambar 2.2.

Tabel 2.1. Nilai  $C_v$  dari masing-masing diameter kolom kapur (Apriyono dan Sumiyanto, 2008)

No	Diameter (Cm)	$T_{90}$ (Rata-rata)	$T_{90}$ (menit)	Ht (m)	$C_v$ ( $m^2$ /menit)
1	Tanpa Kolom Kapur	0,644	0,414736	0,02	0,000818
2	3	0,626	0,391876	0,02	0,000866
3	5	0,622	0,386884	0,02	0,000877
4	8	0,627	0,393129	0,02	0,000863
5	10	0,621	0,385641	0,02	0,000880
6	12	0,626	0,391876	0,02	0,000866

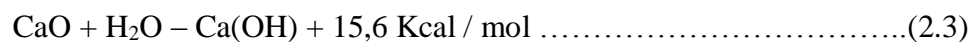
Tabel 2.2. Kenaikan nilai  $C_v$  dari masing-masing diameter terhadap  $C_v$  tanpa kolom kapur (Apriyono dan Sumiyanto 2008)

No	Diameter (Cm)	$C_v$ ( $m^2/menit$ )	Besar Kenaikan $C_v$ terhadap $C_v$ tanpa Kolom Kapur	Presentase (%)
1	3	0,000866	0,000048	5,83
2	5	0,000877	0,000059	7,20
3	8	0,000863	0,000045	5,50
4	10	0,000880	0,000062	7,54
5	12	0,000866	0,000048	5,83
<b>Rerata</b>			0,000051	6,38



Gambar 2.2. Grafik hubungan nilai koefisien konsolidasi dan diameter kolom kapur (Apriyono dan Sumiyanto 2008).

Apriyono dan Sumiyanto (2009) menjelaskan bahwa stabilitas tanah dengan menggunakan metode kolom kapur, merupakan salah satu jenis stabilitas tanah secara kimiawi. Kapur aktif yang ditempatkan di lobang-lobang yang sebelumnya dibuat pada tanah lunak, akan akan mengabsorpsi air tanah dan menimbulkan reaksi hidrasi seperti ditunjukkan pada persamaan berikut ini :



Hasil dari reaksi yang terjadi menyebabkan pembentukan hidrat dan absorpsi kapiler, yang mengakibatkan kekuatan tanah meningkat dan memperkecil penurunan yang terjadi pada tanah. Kapur aktif yang telah mati, akan bereaksi dengan mineral lempung seperti *montmorillonite*, kemudian akan menetralkan muatan negatif pada tanah kempung, sehingga dapat mengurangi kemampuan tanah dalam menyerap air (Bowles, 1989). Proses stabilisasi dengan kolom kapur, memanfaatkan permukaan lobang sebagai permukaan serapan kapur di dalam tanah. Diameter lobang yang kecil akan memberikan permukaan serapan yang kecil, sehingga proses stabilisasi terhadap daerah sekitarnya akan berjalan dengan lambat. Kolom kapur yang dibasahi dengan air, akan bereaksi lebih cepat dibandingkan dengan yang tidak dibasahi dengan air (Apriyono dkk., 2008). Penggunaan kolom kapur dapat menurunkan nilai indeks pemampatan pada tanah lunak secara signifikan. Akan tetapi penambahan diameter kolom kapur tidak mempengaruhi jarak penyebaran kolom kapur, hal ini dibuktikan dengan nilai  $C_c$  yang hampir sama, untuk semua nilai diameter kolom kapur. Diameter kolom kapur hanya berpengaruh terhadap luas permukaan sentuh kolom kapur terhadap tanah (Apriyono dan Sumiyanto 2009). Perbaikan tanah setelah proses pencampuran dengan kapur dapat diindikasikan dengan perubahan gradasi butir, pengurangan nilai indeks plastisitas, peningkatan durabilitas dan kuat dukung serta kuat geser tanah (Muntohar, 2014).

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

Tanah ekspansif merupakan tanah yang memiliki ciri-ciri kembang susut yang besar, mengembang pada musim hujan dan menyusut pada musim kemarau. Besarnya pengembangan atau penyusutan tidak merata dari suatu titik ke titik lainnya sehingga menimbulkan perbedaan penurunan permukaan tanah (Muntohar, 2014). Pengembangan pada tanah ekspansif merupakan proses yang cukup kompleks. Besar dan nilai tekanan pengembangan bergantung pada banyaknya mineral lempung dan kadar air awal di dalam tanah. Tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Pengurangan kadar air akan menyebabkan penyusutan pada tanah lempung, dan

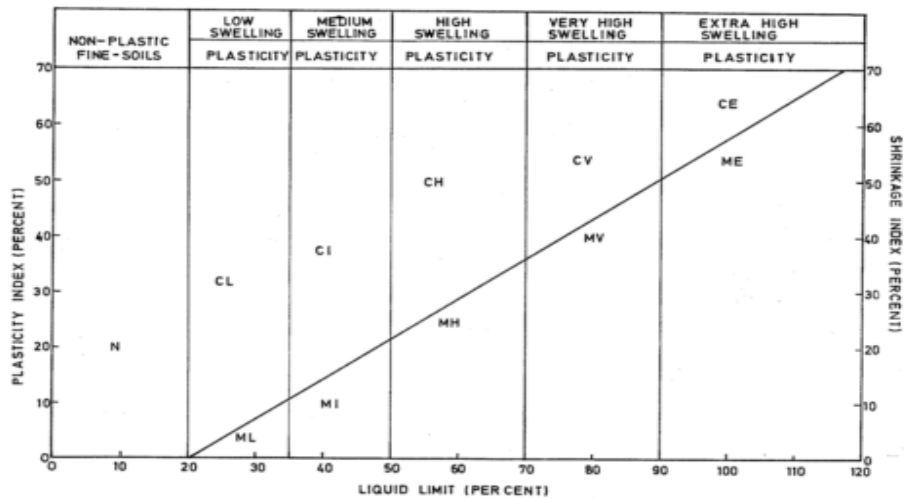


sebaliknya apabila kadar air bertambah akan terjadi pengembangan pada tanah lempung.

Sudjianto dkk. (2011) menyebutkan bahwa secara umum, karakteristik tanah lempung ekspansif dapat ditentukan berdasarkan nilai indek plastisitas dan batas cair. Semakin tinggi nilai indek plastisitas maka semakin tinggi pengembangan yang terjadi pada tanah. Tanah lempung ekspansif yang di klasifikasikan memiliki potensi pengembangan yang tinggi apabila nilai batas cair  $> 60\%$ , indek plastisitas  $> 35\%$  dan mengandung lebih dari  $35\%$  mineral *montmorillonite* dari total kandungan mineral yang terdapat dalam tanah. Dari hasil-hasil penelitian yang dilakukan Hatmoko dan Lulie (2007) mengenai hubungan antara mineral montmorillonite dengan pengembangan dan batas-batas *Atterberg*, semakin besar kadar montmorillonite di dalam tanah maka potensi pengembangannya semakin naik. Demikian halnya, jika kandungan montmorillonite semakin tinggi maka batas cair dan indek plastisitas tanah tersebut akan meningkat, sedangkan batas plastis dan batas susutnya akan menurun. Holtz dan Gibbs (1956) karakteristik pengembangan tanah dapat ditentukan berdasarkan nilai indek plastisitas dan batas cair tanah. Dakshanamurthy dan Raman (1973) serta Chen (1983) mengklasifikasikan sifat-sifat tanah ekspansif berdasarkan nilai indek plastisitas dan batas cair seperti yang terlihat pada Tabel 2.3 dan Gambar 2.3.

Tabel 2.3. Derajat Pengembangan tanah ekspansif berdasarkan indek plastisitas (Chen, 1983)

<b>Derajat Pengembangan</b>	<b>Indek Plastisitas</b>
<b>Sangat Tinggi (Very High)</b>	$> 55$
<b>Tinggi (High)</b>	20 – 55
<b>Sedang (Medium)</b>	10 – 35
<b>Rendah (Low)</b>	0 – 5



Gambar 2.3. Grafik batas cair dan indeks plastisitas untuk potensi ekspansifitas tanah lempung (Dakshanamurthy dan Raman, 1973).

Sudjianto dkk (2011) selain indeks plastisitas, aktivitas (A) dari tanah juga dapat dijadikan sebagai parameter untuk mengetahui potensi pengembangan pada tanah ekspansif. Muntohar (2014) menjelaskan bahwa aktifitas (A) sering digunakan untuk memperkirakan jenis mineral lempung dan derajat plastisnya, sebagaimana dituliskan pada persamaan 2.3.

$$A = \frac{PI}{C} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan, A adalah aktifitas lempung, PI adalah indeks plastisitas, dan C adalah presentase ukuran lempung (< 0,002 mm) yang dapat ditentukan dari kurva distribusi ukuran butir tanah. Nilai aktifitas (A) yang tinggi menunjukkan bahwa tanah tersebut merupakan lempung aktif (*active clay*), dan sebaliknya merupakan lempung tak aktif (*inactive clay*). Lempung aktif ini cenderung memiliki sifat pengembangan yang sangat tinggi, dan dapat merusak struktur bangunan yang ada di atasnya. Selain aktifitas, lempung yang sangat kering juga memiliki potensi pengembangan yang sangat tinggi. Pada kondisi tersebut, lempung dengan mudah menyerap air. Pada kondisi kadar air ini, lempung telah mengembang dan pengembangan berikutnya akan terjadi relatif kecil.

Hubungan pengembangan terhadap waktu menunjukkan bahwa nilai pengembangan semakin besar terhadap lamanya waktu dan pengembangan yang terjadi dipengaruhi oleh kadar air dan derajat kejenuhan dari tanah lempung

ekspansif, pengembangan yang terjadi akan berhenti pada saat nilai derajat kejenuhan (S) mencapai 100%. Chen (1975) tingkat ekspansif tanah dapat diklasifikasikan dari rendah hingga sangat tinggi indek plastisitas tanah seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Klasifikasi tanah berdasarkan potensi pengembangan (Chen, 1975)

<b>Derajat pengembangan</b>	<b>Potensi pengembangan (%)</b>
<b>Sangat tinggi (<i>Very high</i>)</b>	> 55
<b>Tinggi (<i>High</i>)</b>	20 - 55
<b>Sedang (<i>Medium</i>)</b>	10 - 35
<b>Rendah (<i>Low</i>)</b>	0 – 15

Hardiyatmo (2012) menyebutkan bahwa derajat pengembangan bergantung pada beberapa faktor, seperti: tipe dan jumlah mineral lempung yang ada dalam tanah, luas spesifik lempung, susunan tanah, konsentrasi garam dalam air pori, valensi kation sementasi, bahan-bahan organik yang terkandung dalam tanah, dan kondisi awal kadar air tanah. Derajat ekspansi dapat diklasifikasikan dari rendah sampai sangat tinggi (Seed dkk., 1962) seperti yang terlihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Klasifikasi tanah lempung berdasarkan derajat ekspansi (Seed dkk., 1962)

<b>Derajat Ekspansi</b>	<b>Potensi pengembangan (%)</b>
<b>Rendah</b>	0 – 1,5
<b>Sedang</b>	1,5 – 5
<b>Tinggi</b>	5,0 – 25
<b>Sangat tinggi</b>	> 25

## 2.5 Sifat – Sifat Geoteknik Tanah

Adapun pengujian sifat-sifat tanah yang dilakukan yaitu :

### 2.5.1 Kadar air (ASTM D2216-10)

Kadar air tanah adalah perbandingan antara berat air dengan berat tanah kering, dinyatakan dalam persen. Kadar air dinyatakan dalam persamaan 2.4. (Hardiyatmo, 2012) :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana,  $w$  = Kadar air tanah (g)

$W_w$  = Berat air (g)

$W_s$  = Berat butiran padat (g)

### 2.5.2 Berat jenis tanah (ASTM D854-10)

Berat jenis adalah perbandingan antara berat butiran padat dengan berat air di udara dengan volume yang sama dan pada temperatur tertentu. Berat jenis dinyatakan dalam persamaan 2.5 berikut:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana,  $G_s$  = Berat jenis

$\gamma_s$  = berat volume butiran padat

$\gamma_w$  = berat volume air

Berat jenis ( $G_s$ ) merupakan nilai yang tidak bersatuan. Nilai berat jenis sangat bervariasi tergantung pada mineral penyusunnya. Adapun nilai- nilai berat jenis tanah diberikan dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Berat jenis tanah (Hardiyatmo, 2012)

Jenis Tanah	Berat Jenis ( $G_s$ )
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

### 2.5.3 Batas-batas *Atterberg*

Tanah berbutir halus biasanya ditandai dengan sifat plastisitasnya yang tinggi. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah yang menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa menyebabkan retak-retak (Hardiyatmo, 2012). Adapun batas-batas *atterberg* tanah adalah :

1. Batas cair (*liquid limit*) (ASTM D4318-10)

Batas cair adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dengan keadaan plastis. Batas cair ditentukan dengan pengujian Casagrande (1948).

2. Batas plastis (*plastic limit*) (ASTM D4318-10)

Batas plastis adalah kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah berdiameter 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.

3. Batas susut (*shrinkage limit*) (ASTM D4318-10)

Batas susut adalah kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah.

### 2.5.4 Pemasatan tanah

Pemasatan tanah telah banyak dilakukan pada proyek konstruksi seperti pada *embankment* jalan raya, *subgrade* jalan, bendungan urugan dan konstruksi bangunan lainnya. Di lapangan banyak ditemukan tanah dalam kondisi lepas (*looses soils*) oleh karena itu, dibutuhkan energi pemasatan untuk meningkatkan berat volume, kuat geser, dan mengurangi penurunan pada tanah yang akan dibangun struktur di atasnya. Pada saat proses pemasatan akan terjadi pengurangan volume rongga yang awalnya terisi oleh air, udara, dan zat yang berupa gas. Dengan demikian, pemasatan dapat diartikan sebagai proses memampatnya tanah akibat berkurangnya volume pada rongga karena diberikan energi mekanis yang dilakukan secara berulang guna meningkatkan berat volume kering/kepadatan dari tanah. Muntohar (2009) menyebutkan bahwa derajat pemasatan dari suatu tanah diukur dalam berat volume keringnya. Pada saat proses pencampuran air saat pemasatan, air berfungsi sebagai *softening agent* pada partikel-partikel tanah. Kadar air ketika

tanah berada pada kondisi berat volume kering maksimum disebut dengan kadar air optimum (*Optimum moisture content /OMC*). Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil dari pemadatan pada tanah:

1. Kadar air;
2. Jenis tanah;
3. Usaha pemadatan (*compaction effort*) – energi per satuan volume.

Dalam pengujian pemadatan proctor mengacu pada ASTM D698 *standard proctor* Pada pengujian proctor derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah. Untuk suatu kadar air, secara teoritis berat volume kering maksimum dicapai apabila tidak terdapat udara dalam rongga pori yaitu nilai derajat kejenuhan adalah 100% (*zero air void*).

#### **2.5.5 Analisis ukuran butiran tanah (ASTM D6913-04)**

Analisis ukuran butiran tanah didefinisikan sebagai penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu. Ada dua metode yang digunakan untuk menganalisis ukuran butiran tanah yaitu :

##### **1. Analisis saringan**

Penyaringan merupakan metode yang biasanya secara langsung untuk menentukan ukuran partikel dengan didasarkan pada batas – batas bawah ukuran lubang saringan yang digunakan. Batas terbawah saringan adalah ukuran terkecil untuk partikel pasir (Muntohar, 2009). Analisis saringan biasanya digunakan untuk tanah berbutir kasar. Tanah uji disaring pada satu unit saringan standar. Berat tanah yang tertinggal pada masing-masing saringan ditimbang, lalu persentase terhadap berat kumulatif tanah dihitung. Kemudian hasilnya digambarkan pada grafik persentase butir lolos saringan dengan ukuran butir tanah seperti yang terlihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Susunan dan Ukuran Saringan

<b>No. Saringan (ASTM)</b>	<b>Ukuran (mm)</b>
No. 10	2,000
No. 20	0,850
No. 40	0,425
No. 60	0,250
No. 140	0,105
No. 200	0,075

## 2. Analisis hidrometer

Analisis hidrometer biasa digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah berbutir halus. Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip-prinsip pengendapan butiran tanah di dalam air. Bila contoh tanah terdispersi di dalam air, partikel-partikel mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada ukuran, berat, dan bentuk serta (viskositas) kekentalan air. Partikel-partikel yang lebih besar akan mengendap lebih cepat diikuti dengan partikel-partikel yang lebih kecil (Muntohar, 2009).

