

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanah Lempung Ekspansif

Tanah ekspansif merupakan tanah yang memiliki ciri-ciri kembang susut yang besar akibat peristiwa kapiler atau perubahan kadar airnya (Muntohar, 2014). Besarnya pengembangan atau penyusutan tidak merata dari suatu titik ke titik lainnya sehingga menimbulkan perbedaan penurunan pada permukaan tanah. Seed *et al.* (1962) menyebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya pengembangan tanah ekspansif antara lain jenis dan jumlah lempung, struktur tanah, kepadatan, perubahan kadar air, metode pemadatan, konsentrasi elektrolit dalam air dan tekanan di permukaan tanah (*surchage pressure*).

Hasil pengujian sifat-sifat indeks tanah dapat dijadikan dasar dalam mengidentifikasi dan mengklasifikasi tanah lempung ekspansif. Beberapa peneliti seperti van der Werve (1964), Daksanamurthy dan Raman (1973), Sridharan ((2000) memanfaatkan grafik plastisitas tanah untuk menentukan derajat pengembangan suatu tanah lempung. Indeks plastisitas dan perubahan volume tanah berhubungan erat dengan jumlah partikel yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Menurut Seed *et al.* (1962), indeks plastisitas tanah dapat digunakan sebagai indikator awal untuk mengetahui potensi pengembangan tanah lempung seperti disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Derajat pengembangan tanah ekspansif berdasarkan indeks plastisitas
(Seed *et al.*, 1962)

Derajat Pengembangan	Indeks Plastisitas
Sangat tinggi (<i>Very high</i>)	>55
Tinggi (<i>High</i>)	20 – 55
Sedang (<i>Medium</i>)	10 – 35
Rendah (<i>Low</i>)	0 – 5

Penelitian yang dilakukan oleh Basma *et al.* (1995) berdasarkan eksperimental di laboratorium dan pengamatan di lapangan, pengembangan tanah ekspansif juga sangat dipengaruhi oleh kadar air awal (*initial water content*), kepadatan (*dry density*) dan jenis tanah. Perubahan kadar air hanya 1% atau 2% cukup untuk menyebabkan pengembangan yang mengakibatkan kerusakan. El-Sohby dan Rabba (1981) menyebutkan bahwa kadar air awal tanah juga sangat mempengaruhi persentase pengembangan untuk tanah yang dipadatkan kembali (*remoulded*). Kadar air tanah secara langsung akan mempengaruhi kepadatan tanah yang dinyatakan dengan berat volume kering tanah. Sehingga derajat pengembangan tanah ekspansif dapat pula dinyatakan sebagai fungsi dari berat volume kering. Chen (1983) menyebutkan bahwa tanah lempung yang memiliki berat volume kering lebih besar dari $17,3 \text{ kN/m}^3$ pada umumnya menunjukkan potensi pengembangan yang tinggi. Bila dijumpai di lapangan, tanah lempung yang berada dalam kondisi kering, dan cenderung keras seperti batuan, maka diperkirakan akan memiliki potensi pengembangan yang tinggi.

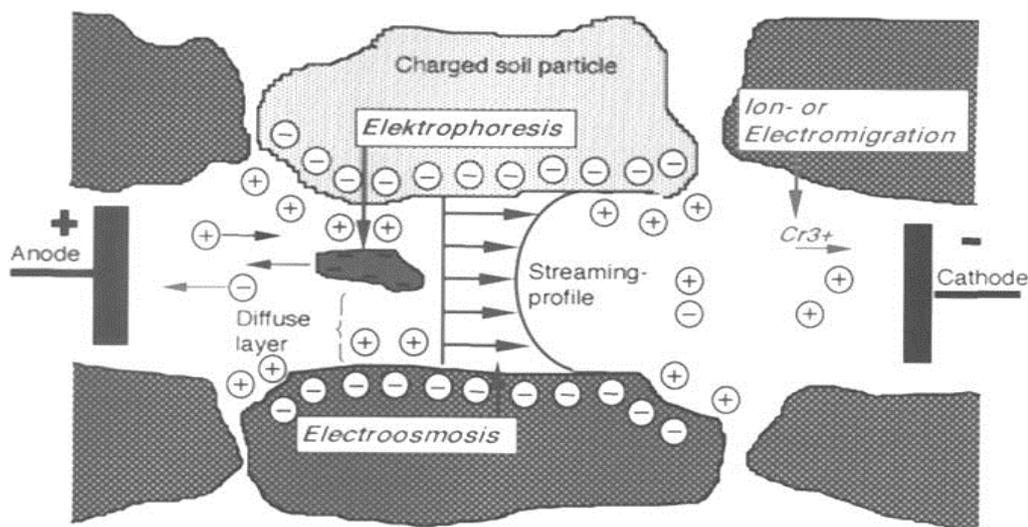
Beberapa peneliti mengkaji pengembangan dan sifat-sifat mekanis tanah ekspansif yang dipadatkan. Tanah lempung yang dipadatkan cenderung meningkat tekanan pengembangannya seiring dengan bertambahnya nilai berat volume kering tanah. Pemilihan kadar air untuk menghasilkan kepadatan rencana dan metode pemadatan sangat mempengaruhi besaran dan kecepatan pengembangan akibat proses pembasahan (Seed *et al.*, 1954; Holtz dan Gibbs, 1956; Daniel dan Benson, 1990; Attom, 1997).

B. Elektrokinetik

Metode elektrokinetik adalah suatu metode perbaikan tanah lunak dengan cara memberikan tegangan listrik pada elektroda yang ditanam di tanah untuk memperbaiki karakteristik sifat-sifat fisik tanah. Pada saat dua kutub elektroda (anoda (+) dan katoda(-)) ditanam dan diberikan beda potensial, maka akan terjadi pergerakan elektron dan ion (kation bermuatan positif dan anion bermuatan

negatif), menuju elektroda yang berbeda muatan dengan muatan elektron dan ion-ion tersebut.

Pada proses elektrokinetik, terjadi fenomena elektrokinetik (lihat Gambar 2.1), dimana fenomena itu merupakan kopel antara aliran listrik dan aliran fluida akibat adanya beda potensial listrik yang bekerja. Menurut Mitchell (2005) fenomena elektrokinetik dibagi menjadi empat macam, yaitu elektroforesis, elektromigrasi, aliran potensial, dan elektroosmosis.



Gambar 2.1 Fenomena Elektrokinetik (Mosavat, dkk., 2012)

Apabila suatu aliran listrik diberikan pada tanah lempung melalui dua buah elektroda. Maka partikel lempung yang bermuatan negatif akan tertarik secara elektrostatis menuju elektroda positif hal ini disebut elektroforesis. Ion-ion yang bermuatan akan bergerak menuju elektroda yang memiliki muatan yang berlawanan dengannya, pergerakan ion-ion ini dinamakan elektromigrasi. Sementara elektroosmosis merupakan proses mengalirnya air dari elektroda positif menuju elektroda negatif akibat adanya aliran potensial listrik.

C. Stabilisasi Tanah Dengan Metode Elektrokinetik

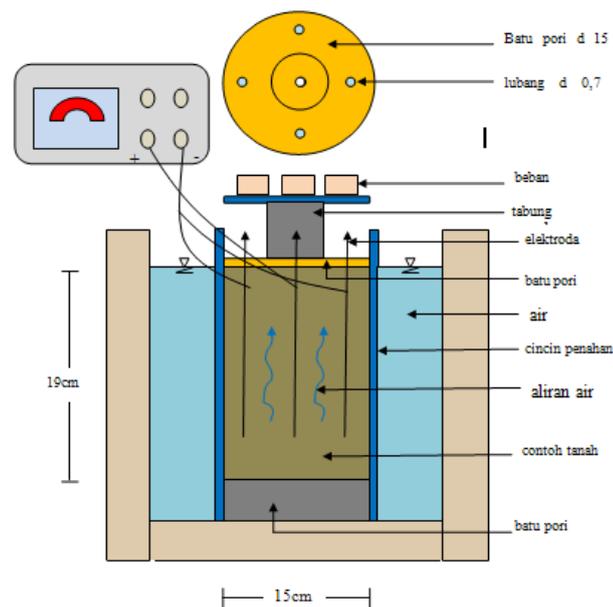
Stabilisasi elektrokinetik (*electrokinetic stabilization*) merupakan metode stabilisasi dengan menggunakan tenaga listrik dengan cara memberikan tegangan pada elektroda yang ditanam di tanah untuk memfasilitasi proses konsolidasi dan pergerakan bahan stabilisasi kimiawi dalam tanah. metode ini masih relatif baru

dan masih terus dikembangkan penerapannya di lapangan (Shang & Lo, 1997; Abdullah & Al-Abadim, 2010).

Mosavat, dkk. (2012) melakukan pengkajian ulang tentang teknik perawatan elektrokinetik dalam memperbaiki karakteristik tanah yang mempunyai permeabilitas rendah. Pengkajian dilakukan dengan meninjau jurnal-jurnal penelitian dan pengaplikasian di lapangan yang telah dilakukan sebelumnya. Dari pengkajian ini menunjukkan bahwa penelitian-penelitian laboratorium dan aplikasi di lapangan terbukti mempunyai aplikasi praktis dan teknik efektif pada perawatan elektrokinetik. Namun, masih ada kekurangan pada penelitian-penelitian yang dilakukan, seperti (1) sebagian besar penelitian terfokus pada penghapusan kontaminan dan remediasi pada tanah yang terkontaminasi, sementara masih sedikit yang meneliti tentang peran elektrokinetik dalam penguatan dan peningkatan karakteristik mekanik dan rekayasa tanah lunak yang bermasalah, (2) pemahaman perilaku mikro-struktural kompleks mineral lempung dan jenis kimia yg berbeda pada kimia penggabungan, hidrolis dan gradien listrik masih terbatas, (3) pemahaman teoritis yang kuat berdasarkan penyelidikan dan bukti-bukti eksperimental masih belum ada.

Agustina (2014) meneliti tentang analisis kombinasi *preloading* mekanis dan elektrokinetik terhadap pemampatan tanah lunak pontianak. Penelitian ini bertujuan mengurangi kadar air dan mempercepat proses pemampatan tanah. Penelitian menggunakan 7 sampel dengan perbedaan pada sistem pembebanan, pengukuran dan variasi sistem pengaliran. Arus yang diberikan adalah 15 mA dan 30 mA. Tanah dimasukkan ke dalam sel konsolidasi, yang telah dirancang khusus untuk metode elektrokinetik (lihat Gambar 2.2), dan dijenuhkan dengan air selama 24 jam. Pembebanan awal (*preloading*) yang diberikan sebesar $0,014 \text{ kg/cm}^2$, kemudian beban bertambah sebesar 0.025 kg/cm^2 ; 0.05 kg/cm^2 ; $0,075 \text{ kg/cm}^2$; $0,1 \text{ kg/cm}^2$. Pembacaan arloji pengukuran penurunan dilakukan dengan waktu: 0,5 ; 1,0 ; 2,25 ; 4,0 ; 6,25 ; 9,0 ; 12,25 ; 16,0 ; 20,25 ; 25,0 ; 36,0 ; 49,0 ; 64,0 ; 81,0 ; 100 ; 121 ; 144 ; 225 ; 400 ; 1440 menit dan seterusnya setiap penambahan beban dilakukan setelah 24 jam. Hasil uji laboratorium pada pengujian konsolidasi dengan *preloading* 144 jam dikombinasikan dengan arus 15 mA menunjukkan

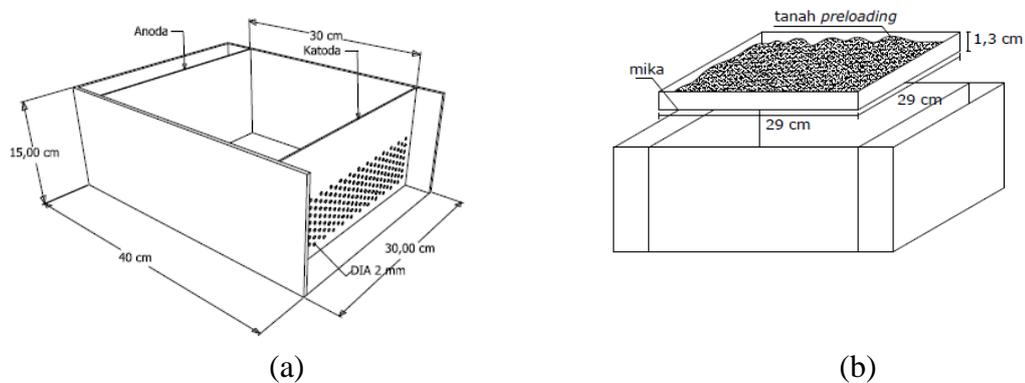
adanya penurunan pada nilai indeks pemampatan sebesar 37.16% efisiensi waktu sebesar 18.18% dan pada pengujian konsolidasi dengan *preloading* 144 jam dikombinasikan dengan arus 30 mA penurunan nilai indeks pemampatannya sebesar 42.66% efisiensi waktu sebesar 36.36%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa akibat pengaruh listrik, kekakuan tanah dapat meningkat dan proses pemampatan tanah yang terjadi dapat dipercepat.



Gambar 2.2 Sel konsolidasi metode elektrokinetik (Agustina, 2014)

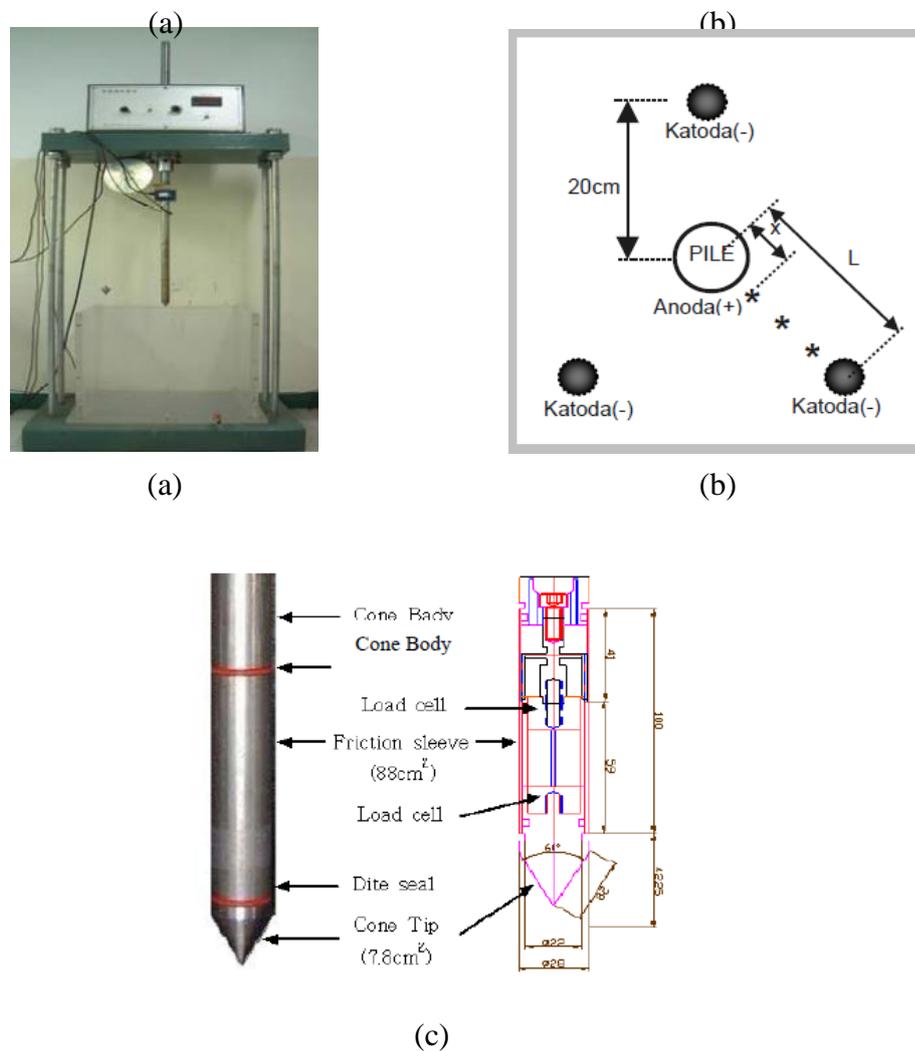
Atmaja, dkk. (2013) meneliti tentang pengaruh penggunaan elektroosmosis terhadap parameter kuat geser tanah lempung. Pengujian dilakukan dengan pemberian tegangan yang berbeda-beda, yaitu 3, 6, 9 dan 12 volt, serta *preloading* berupa tanah timbunan dengan ketebalan 1,3 cm (lihat Gambar 2.3). Lama pengujian selama 3 hari pada sampel tanah yang telah dijenuhkan selama 96 jam. Jumlah sampel yang diambil untuk menguji nilai kuat geser adalah 3 pada setiap titik pengamatan, dengan jumlah titik pengamatan 3 yaitu pada posisi disekitar anoda, di tengah, dan di sekitar katoda. Dari hasil pengujian, didapatkan nilai kohesi mengalami kenaikan sebesar 9,52-118,75% dan sudut geser dalam naik sebesar 4,98-8,85% setelah pemberian beda potensial 3 volt. Semakin besar variasi beda potensial yang diberikan, kohesi dan sudut geser dalam juga semakin besar. Penggunaan *preloading* memberikan dampak kenaikan parameter kuat

geser tanah yang cukup signifikan dari pada tanpa *preloading*. Semakin besar beda potensial, semakin optimal pula penggunaan *preloading*.



Gambar 2.3 Model alat pengujian (a) Model alat uji elektroosmosis, (b) Model *preloading* (Atmaja, dkk., 2013)

Tjandra dan Wulandari (2006) meneliti tentang pengaruh elektrokinetik terhadap daya dukung pondasi di lempung marina. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki peningkatan tahanan friksi dan ujung dari pondasi tiang di lempung marina setelah dilakukan proses elektrokinetik. Pengujian dilakukan dengan cara memberi tegangan sebesar 20 volt secara kontinu selama 3, 6, 12 dan 24 jam. Model pondasi tiang diwakili oleh tiang bulat yang terbuat dari *stainless steel* yang juga berfungsi sebagai anoda. Sedangkan untuk katoda, digunakan bahan dari tembaga (lihat Gambar 2.4). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa adanya peningkatan daya dukung dari model pondasi tiang setelah proses elektrokinetik, dimana daya dukung mengalami peningkatan yang berarti setelah 24 jam proses elektrokinetik sebesar 14 kali dari daya dukung mula-mula, rasio peningkatan tahanan friksi lebih besar dari pada tahanan ujung pada setiap durasi waktu. Nilai kuat geser *undrained* (C_u) juga mengalami peningkatan yang berarti (lebih dari 80%) sejalan dengan pertambahan waktu dari 3 jam ke 24 jam. Semakin dekat dengan anoda (tiang), kuat geser *undrained* semakin meningkat. Pada penelitian ini, proses elektrokinetik lebih efektif setelah durasi 6 jam. Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan daya dukung tiang dan kapasitas daya dukung tanah yang lebih besar setelah durasi 6 jam dan nilai kuat geser *undrained* (C_u) yang cenderung konstan atau bahkan menurun sebelum durasi 6 jam.



Gambar 2.4 Model alat, konfigurasi elektroda dan model pondasi tiang (a) peralatan pembebanan dan kotak contoh tanah, (b) Jarak antar elektroda, (c) alat pengukur daya dukung pondasi pada model pondasi tiang (Tjandra dan Wulandari, 2006)

D. Pengujian – Pengujian Tanah

Pengujian-pengujian yang dilakukan meliputi :

1. Uji kadar air (ASTM D2216-10)

Kadar air tanah adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat tanah kering (berat bagian yang padat) dan

dinyatakan dalam persen. Kadar air dihitung dengan rumus sebagai berikut (Hardiyatmo, 1992) :

$$w = \frac{w_w}{w_s} \times 100\% \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan, w = kadar air (g),

w_w = berat air (g)

w_s = berat butiran (g)

2. Uji berat jenis (ASTM D854-10)

Berat jenis tanah adalah perbandingan antara berat butir-butir tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama dan pada temperatur tertentu. Berat jenis dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Hardiyatmo, 1992) :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan, G_s = berat jenis

γ_s = berat volume butiran padat

γ_w = berat volume air

Berat jenis dari berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 – 2,75. Nilai – nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Berat jenis tanah

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

Sumber : Hardiyatmo, 1992

3. Uji batas konsistensi (*Atterberg limit*)

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Istilah plastisitas digambarkan sebagai kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak.

Kadar air tanah mempengaruhi batas konsistensi tanah yaitu batas cair, plastis, semi padat, atau padat. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar airnya (Atterberg, 1991).

Uji batas konsistensi (*Atterberg limit*) meliputi :

a. Uji batas cair (ASTM D4318-10)

Batas cair adalah nilai kadar air dimana tanah dalam keadaan antara cair dan plastis. Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan kadar air suatu sampel tanah pada batas cair. Batas cair ditentukan dari pengujian *Cassagrande* (1948).

b. Uji batas plastis (ASTM D4318-10)

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

c. Uji indeks plastisitas (ASTM D4318-10)

Indeks plastisitas adalah selisih antara batas cair dan batas plastis.

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan, PI = indeks plastisitas

LL = batas cair

PL = batas plastis

Batasan mengenai indeks plastis, sifat tanah, macam tanah dan kohesinya terdapat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesi
<7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesi sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung Berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

Sumber : Hardiyatmo, 1992

4. Uji 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 tergantung 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.

a. Uji analisis saringan

Pada dasarnya partikel-partikel pembentuk srtruktur tanah mempunyai ukuran dan bentuk yang beraneka ragam, baik pada tanah kohesif maupun tanah non kohesif. Sifat suatu tanah banyak ditentukan oleh ukuran butir dan distribusinya. Distribusi ukuran butir dari tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara menyaringnya. Sampel tanah disaring menggunakan satu unit saringan standar untk pengujian tanah. Berat tanah yang tertinggal pada masing – masing saringan ditimbang dan menghitung presentase terhadap berat kumulatif pada tiap saringan. Susunan dan ukuran saringan disajikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Susunan dan Ukuran Saringan

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

Sumber : Hardiyatmo, 1992

b. Uji analisis hidrometer

Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butir-butir tanah dalam air. Bila suatu contoh tanah dilarutkan dalam air, partikel-partikel tanah mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada bentuk, ukuran dan beratnya. Tujuan dari pengujian ini adalah menentukan pembagian butiran tanah yang lolos saringan nomor 200 dengan persamaan dari hukum Stokes berikut :

$$D = K \sqrt{\frac{L}{t}} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan, D = diameter butir tanah (mm)

K = konstanta yang bergantung pada berat jenis dan temperatur

L = kedalaman efektif yaitu jarak vertikal dari permukaan ke dalam suspensi yang diukur. Nilainya ditentukan oleh jenis

hidrometer yang dipakai dan pembacaan hidrometer sebelum dikoreksi (R1)

t = waktu pembacaan (menit)

5. Uji pemadatan tanah

Pemadatan tanah telah umum dilakukan untuk menambah kekuatan tanah dengan meningkatkan unit beratnya. Pemadatan tanah atau *compaction*

merupakan proses desinfeksi tanah dengan mengurangi rongga udara menggunakan peralatan mekanis. Derajat pemadatan tanah diketahui dalam parameter pengukuran unit berat kering.

Adapun tujuan dari pemadatan adalah (Hardiyatmo, 2002):

1. Mempertinggi kuat geser tanah
2. Mengurangi sifat mudah mampat (kompreibilitas)
3. Mengurangi permeabilitas
4. Mengurangi perubahan volume akibat perubahan kadar air, dll.

Dalam pemadatan tanah, ada 4 faktor yang mempengaruhi kontrol pemadatan, yaitu (Hardiyatmo, 2002):

1. Energi pemadatan (*compaction effort*)
2. Tipe tanah dan gradasi
3. Kadar air
4. Unit berat kering (*dry unit weight*)

Pada tanah, pemadatan merupakan fungsi dari kadar air. Air pada tanah berperan sebagai pelembut (*softening agent*) saat pemadatan, sehingga air akan membantu menyusun partikel tanah dalam mengisi rongga udara menjadi padat. Namun, kelebihan air tidak akan membantu tanah mencapai densitas yang padat, hal ini karena rongga udara telah terisi oleh air yang bersifat inkompresibel yang membuat partikel tanah akan mengalir atau kehilangan friksi dan energi pemadatan langsung diterima oleh air.

Energi pemadatan tanah akan mempengaruhi suatu karakteristik kurva pemadatan, dimana semakin besar energi pemadatan yang diterima tanah maka efek desinfikasinya akan semakin besar, sehingga nilai optimum kadar air akan bergeser lebih kecil namun akan diperoleh nilai maksimum unit berat kering lebih besar.

Tipe tanah serta gradasi juga akan mempengaruhi kurva pemadatan. Umumnya tanah yang dominan berbutir halus (*fine grain*) akan membutuhkan kadar air lebih untuk mencapai pemadatan optimum, sebaliknya tanah dominan berbutir kasar (*coarse grain*) membutuhkan sedikit kadar air untuk mencapai kadar air pemadatan optimum. Hal ini juga terkait pada sifat

plastisitasnya dimana tanah berbutir halus atau *fine grain* seperti lempung kelanauan memiliki sifat plastis dibanding tanah berbutir kasar atau *coarse grain* seperti pasir kelanauan yang memiliki indeks plastisitas rendah.

Dalam pengujian pemadatan, Proctor (1993) telah mengamati bahwa ada hubungan antara kadar air dengan berat volume tanah supaya menjadi padat. Selanjutnya, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimum.

Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah. Hubungan berat volume kering dengan berat volume basah dan kadar air, dinyatakan dalam persamaan 2.7.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+\omega} \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan, γ_d = berat volume kering (gram/cm³)

γ_b = berat volume basah (gram/cm³)

ω = kadar air (%)

Berat volume kering tanpa rongga udara atau berat volume kering jenuh dapat dihitung dengan persamaan 2.8.

$$\gamma_d = \frac{G_s \times \gamma_b}{(1+\omega)G_s} \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan, γ_d = berat volume kering (gram/cm³)

γ_b = berat volume basah (gram/cm³)

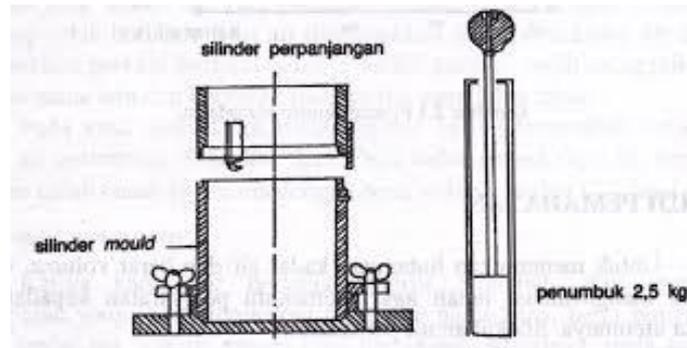
ω = kadar air (%)

G_s = berat jenis tanah

Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut dengan Pengujian Proctor. Dalam pengujian pemadatan, ada 2 jenis pemdatana proctor, yaitu *standard proctor* dan *modified proctor*.

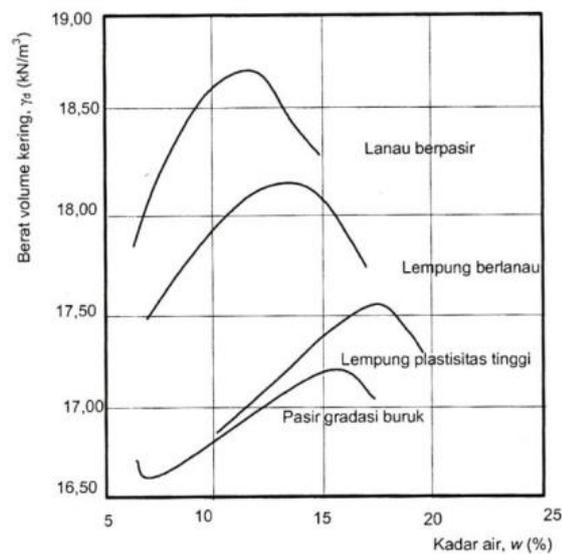
Alat pemadat berupa silinder *mould* yang mempunyai volume $9,44 \times 10^{-4}$ m³ (lihat Gambar 2.5). tanah di dalam *mould* dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya sebesar 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30,5 cm (1 ft). Tanah dipadatkan dalam 3 lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk sebanyak 25 kali pukulan. Di dalam uji proctor dimodifikasi (*modified proctor*), *mould* yang

digunakan masih tetap sama, hanya berat penumbuknya diganti sebesar 4,54 kg dengan tinggi jatuh penumbuk 45,72 cm. Pada pengujian ini, tanah ditumbuk dalam 5 lapisan.



Gambar 2.5 Alat uji pemadatan proctor standar (Hardiyatmo, 2002)

Dalam pengujian pemadatan, percobaan diulang sedikitnya 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Selanjutnya, digambarkan dalam sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume kering, seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Grafik Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering (Hardiyatmo, 2002)