

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Definisi Tanah

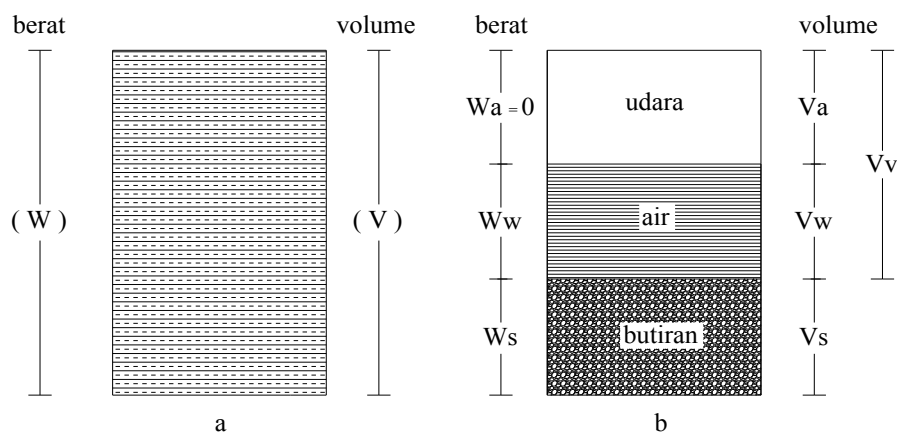
Kerak bumi secara umum dibagi menjadi dua, yaitu : kategori tanah (*soil*) dan batuan (*rock*), sedangkan batuan adalah agregat mineral yang satu sama lainnya diikat oleh gaya-gaya kohesif yang permanen dan kuat geser (Terzaghi, 1991).

Das (1991) mendefinisikan tanah sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi atau terikat secara kimia satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (tanah yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut.

Fungsi tanah ini sangat penting pada bermacam pekerjaan bangunan karena tanah berfungsi sebagai pendukung beban atau fondasi yang ada di atasnya, oleh karena itu tanah yang akan digunakan sebagai pendukung konstruksi harus dipersiapkan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai tanah dasar (*subgrade*).

3.1.2 Sifat Fisik Tanah

Pada umumnya tanah terdiri dari tiga wujud yaitu butiran padat (*solid*), air (*liquid*) dan udara (*void*). Pada tanah kering hanya akan terdiri dari dua bagian yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Begitu pun pada tanah jenuh terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Pada keadaan tidak jenuh tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat, pori-pori udara, dan air pori yang dapat dilihat pada Gambar 3.1. Gambar 3.1 (a) memperlihatkan elemen tanah yang memiliki volume V dan berat total W , dan Gambar 3.1 (b) memperlihatkan hubungan (Hardiyatmo, 2006) berat dengan volume.



Gambar 3.1 (a) Elemen Tanah pada Keadaan Asli; (b) Tiga Fase Elemen Tanah

(Sumber: Das, 1991)

3.2 Tanah Gambut

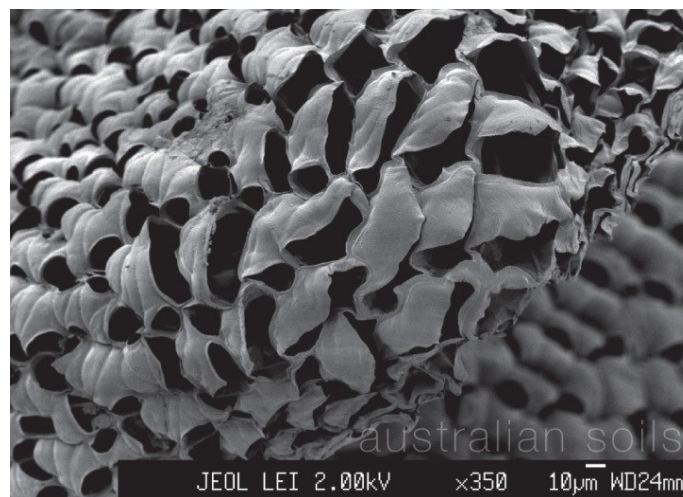
3.2.1 Karakteristik Tanah Gambut

Menurut Nugroho (2008) mengemukakan bahwa dari pengamatan visual dapat dikatakan bahwa tanah gambut mempunyai warna coklat sampai kehitam-hitaman. Selain itu tanah gambut juga berserat, hal ini disebabkan karena tanah gambut berasal dari sisa-sisa tumbuhan atau vegetasi yang mengalami pelapukan.

Nugroho (2008) juga menyatakan bahwa tanah gambut biasanya berhubungan dengan material alam yang memiliki kompresibilitas yang tinggi. Material tersebut utamanya terdiri dari jaringan nabati yang memiliki warna coklat tua sampai dengan hitam, dan karena berasal dari tumbuh-tumbuhan yang mengalami pembusukan maka akan memiliki bau yang khas.

Darmawijaya (1990) menuturkan bahwa pembentuk utama tanah gambut di Indonesia adalah vegetasi hutan tropis dan pada umumnya mempunyai variasi warna kuning sampai coklat kehitaman, tergantung proses pelapukan, jenis tanaman serta kandungan sedimennya. Menurutny unsur pembentuk gambut adalah unsur-unsur organik seperti Karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), dan Nitrogen (N) serta sedikit unsur anorganik yaitu Silikon (Si), Kalsium (Ca), dan Magnesium (Mg).

Tanah gambut (*peat soil*) dikenal sebagai tanah yang mempunyai karakteristik yang sangat berbeda, jika dibandingkan dengan tanah lempung. Perbedaan ini terlihat jelas pada sifat fisik dan sifat mekanisnya. Secara fisik tanah gambut dikenal sebagai tanah yang mempunyai kandungan bahan organik dan kadar air yang sangat tinggi, angka pori yang besar, dan adanya serat-serat, sedangkan secara teknis yang sangat penting untuk tanah gambut adalah kompresibilitas yang tinggi, terjadinya kompresibilitas primer yang singkat, adanya kompresibilitas akibat *creep* (kompresibilitas yang terjadi pada tekanan efektif yang konstan), dan kemampuan mendukung beban yang rendah. Pada Gambar 3.2 dapat dilihat contoh tekstur tanah gambut.



Gambar 3.2 Tekstur Tanah Gambut
(Sumber: Glover, 2012)

3.2.2 Klasifikasi Tanah Gambut

Tanah gambut memiliki ciri khas yaitu mengandung serat-serat, kadar organik tinggi, serta warna coklat sampai hitam (ASTM D-2488, 2006).

Menurut ASTM D-4427 (1992) tanah gambut dapat diklasifikasikan berdasarkan kadar serat, kadar abu, daya serap terhadap air dan bahan pembentuknya.

1. Berdasarkan kadar serat, tanah gambut diklasifikasikan menjadi 3 macam.
 - a. *Fibric-peat soil* (gambut mentah) : kadar serat > 67%,
 - b. *Hemic-peat soil* (gambut matang sedang) : kadar serat 33% – 67%,

- c. *Sapric-peat soil* (gambut matang) : kadar serat < 33%.
2. Berdasarkan kadar abu, tanah gambut diklasifikasikan menjadi 3 macam.
- a. Kadar abu rendah : kadar abu < 5%,
- b. Kadar abu sedang : kadar abu 5 – 15%,
- c. Kadar abu tinggi : kadar abu > 15%.

Mac Farlene dan Radforth (1985) dalam Purnomo (2000) mengklasifikasikan tanah gambut berdasarkan kandungan serat yang ada dalam tanah gambut, antara lain seperti berikut.

1. *Fibrous peat* yaitu gambut dengan kandungan serat sekitar 20 % atau lebih yang mempunyai dua jenis pori yaitu makro pori yakni pori di antara serat-serat dan mikro pori yaitu pori yang ada di dalam serat itu sendiri.
2. *Amorphous peat* yaitu gambut yang mempunyai kandungan serat kurang dari 20%. Ciri-ciri dari jenis ini adalah butiran tanahnya berukuran koloid (2 μ m) serta sebagian besar air porinya terserat di sekeliling permukaan butiran tanah.

Menurut Darmawijaya (1990), tanah gambut dapat dibedakan menjadi tiga jenis antara lain sebagai berikut.

1. *Fibric* yaitu yang mengalami sedikit dekomposisi sehingga masih banyak mengandung serabut, berat jenisnya sangat rendah (kurang dari 0,1), kadar airnya tinggi, dan berwarna cokelat.
2. *Hemic* yaitu mengalami setengah dekomposisi dan merupakan peralihan dari *fibric* ke *supric*. Ciri-cirinya adalah masih mengandung serabut dengan berat jenis 0,07 sampai 0,18, kadar airnya tinggi, dan berwarna kelam.
3. *Supric* yaitu mengalami dekomposisi paling sempurna, kurang mengandung serabut, berat jenis 0,2 atau lebih, kadar air tidak terlalu tinggi dengan warna hitam atau cokelat kelam.

3.2.3 Sifat Fisik Tanah Gambut

Menurut Affandi, D. (2009) tanah gambut memiliki beberapa sifat fisik, antara lain sebagai berikut.

1. Kadar air

Tanah gambut memiliki kemampuan penyerapan air cukup tinggi, tergantung derajat dekomposisinya yang dapat mencapai 600%. Tetapi kadar air tersebut akan berkurang dengan drastis bila bercampur dengan bahan anorganik.

2. Susut

Apabila tanah gambut dalam keadaan kering maka tanah akan menjadi keras. Penyusutan yang terjadi dapat mencapai 50% (Colley, 1950). Apabila mengalami penyusutan maksimum, maka tanah hanya dapat menyerap air kembali 35%-55% dari volume awal air yang diserap (Futsel dan Byer, 1930).

3. Rembesan

Kemampuan rembesan tanah gambut tergantung kepada kandungan bahan mineral, derajat dekomposisi, dan derajat konsolidasi. Nilai kelolosan airnya berkisar antara 10^{-3} - 10^{-6} cm/detik.

4. Kadar gas

Walaupun terendam air, tanah gambut mengalami dekomposisi dan menghasilkan gas metana, sedikit nitrogen, dan gas karbon dioksida.

5. Berat volume

Nilai berat volume dari tanah gambut berkisar antara $0,9 \text{ t/m}^3$ sampai dengan $1,25 \text{ t/m}^3$.

6. Berat jenis / *specific gravity*

Nilai berat jenis (*specific gravity*) tanah gambut adalah lebih besar dari 1,0. Berat jenis rata-rata adalah 1,50 atau 1,60. Dan jika lebih besar dari 2,0 tanah gambut yang diteliti sudah tercampur dengan bahan anorganik.

7. Keasaman

Tanah gambut memiliki sifat *acidic reaction* karena adanya kandungan karbon dioksida dan *humid acid* hasil dari proses pembusukan. Air gambut memiliki pH antara 4-7 (Lea, 1956). Keasamannya bergantung pada musim dan bersifat korosif terhadap beton dan baja.

8. Angka pori

Nilai angka pori tanah gambut sangat besar yaitu berkisar antara 5 sampai dengan 15. Untuk tanah gambut berserat pernah ada yang mempunyai angka

pori mencapai 25, sedang tanah gambut tak berserat (*armorphous granular*) mempunyai angka pori sangat kecil.

3.3 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah atau perbaikan adalah usaha-usaha yang dapat dilakukan terhadap tanah yang mempunyai sifat teknis (*engineering properties*) yang bernilai rendah menjadi material yang layak digunakan sebagai material konstruksi (mempunyai sifat teknis yang lebih baik).

Tujuan stabilisasi tanah yaitu meningkatkan kekuatan (*strength*) dan mereduksi erosibilitas (kemudahan untuk tererosi), mereduksi distorsi akibat tegangan yang bekerja, mereduksi kerentanan terhadap likuifaksi, mengurangi kompresibilitas, mengurangi terlalu variatifnya keadaan tanah fondasi, mengendalikan *shrinking* dan *swelling* (kembang-susut), mengendalikan permeabilitas dan mereduksi tekanan air pori, dan mencegah perubahan fisik dan kimia berkaitan dengan kondisi lingkungan.

Ditinjau dari tujuan dilakukannya stabilisasi tersebut ada pula beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan metode perbaikan tanah. Di antaranya jenis dan tingkat perbaikan yang dibutuhkan, jenis tanah dan struktur geologi, kondisi rembesan (*seepage*), biaya (*cost*), keberadaan alat dan material, kualitas pekerjaan diperlukan, waktu konstruksi yang tersedia, kemungkinan kerusakan yang terjadi akibat struktur bersangkutan atau polusi air tanah, serta ketahanan material yang diperbaiki.

Stabilisasi tanah dapat terdiri dari salah satu atau kombinasi dari pekerjaan berikut.

1. Mekanis, yaitu melakukan pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas (*roller*), benda-benda berat yang dijatuhkan, eksplosif, tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan dan sebagainya.
2. Bahan pencampur (*additives*), mencampur bahan-bahan aditif seperti kerikil untuk tanah kohesif, lempung untuk tanah berbutir halus dan pencampur kimiawi seperti semen *portland*, gamping, abu batubara (produk samping dari pembakaran batubara), yang biasa dan sering digunakan adalah gamping

dan/atau semen *portland*, semen aspal, sodium, kalsium klorida, limbah-limbah pabrik kertas dan lainnya (sodium silikat, polifosfat dan sebagainya) (Bowles, 1986).

3.3.1 Stabilisasi Mekanis

Stabilisasi mekanis dilakukan dengan cara mencampurkan atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Pencampuran tanah ini dapat dilakukan di lokasi proyek, di pabrik atau di tempat pengambilan bahan timbunan (*borrow area*). Material yang telah dicampur ini, kemudian dihamparkan dan dipadatkan di lokasi proyek. Stabilisasi mekanis juga dapat dilakukan dengan cara menggali tanah buruk di suatu tempat dan menggantinya dengan material granuler dari tempat lain (Hardiyatmo, 2006).

Menurut Lambe (1962) dalam Hardiyatmo (2010), stabilisasi mekanis adalah suatu proses yang menyangkut dua cara perubahan sifat-sifat tanah berikut.

1. Penyusunan kembali partikel-partikel tanah, seperti contohnya pencampuran beberapa lapisan tanah, pembentukan kembali tanah yang telah terganggu dan pemadatan.
2. Penambahan dan penyingkiran partikel-partikel tanah. Sifat-sifat tanah tertentu dapat diubah dengan menambah atau menyingkirkan sebagian fraksi tanah. Biaya yang dikeluarkan untuk pekerjaan menambah atau menyingkirkan ini umumnya sangat lebih rendah dibandingkan dengan metode stabilisasi yang lain.

Teknik perbaikan tanah ini adalah mengupayakan peningkatan kepadatan tanah dengan menggunakan gaya mekanis eksternal dalam jangka waktu yang singkat. Misalnya penggunaan *roller*, *pneumatic roller*, teknik vibrasi, dan kompaksi dalam (*vibroflotation* dan *vibroreplacement*). Beberapa metode untuk perbaikan tanah (pemeliharaan sifat yang baik) yang membentuk daerah batas untuk penggunaan istilah "tanah *stabilizer*". Penimbunan pasir, injeksi semen (*grouting*) dan penggunaan membran, busa, jaring atau jala-jala dari bahan asing (Ingles dan Metcalf, 1972 dalam Hartawan, 2008).

3.3.2 Stabilisasi Kimiawi

Stabilisasi kimiawi adalah stabilisasi tanah dengan cara penambahan bahan kimia padat atau cair pada tanah sehingga terjadi perubahan sifat-sifat pada tanah. Bahan-bahan yang sering digunakan pada stabilisasi kimia antara lain : kapur, semen, aspal, kalsium klorida, bahan resin dan polimer, limbah padat pabrik kertas (Bowles, 1986).

Utomo (1996) menuturkan juga bahwa stabilisasi kimiawi merupakan proses kimiawi yang dapat mengubah struktur tanah dengan cara membentuk butiran yang lebih besar, sehingga memberikan dampak yang menguntungkan.

Hardiyatmo (2010) menyebutkan bahwa stabilisasi kimiawi ataupun stabilisasi menggunakan bahan tambah bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, dengan cara mencampur tanah dengan menggunakan bahan tambah dengan perbandingan tertentu. Perbandingan campuran bergantung pada kualitas campuran yang diinginkan. Jika pencampuran hanya dimaksudkan untuk merubah gradasi dan plastisitas tanah, dan kemudian dikerjakan, maka hanya memerlukan bahan-tambah sedikit. Namun, bila stabilisasi dimaksudkan untuk mengubah tanah agar mempunyai kekuatan tinggi, maka diperlukan bahan-tambah yang lebih banyak. Material yang telah dicampur dengan bahan tambah ini harus dihamparkan dan dipadatkan dengan baik.

3.4 Matos

Matos merupakan bubuk halus yang terdiri dari komposisi mineral aditif anorganik yang berfungsi untuk memperkuat dan menstabilkan tanah secara fisik dan kimia. Matos membantu menyuplai lebih banyak ion pengganti dan membentuk senyawa asam alumunium silica sehingga membentuk struktur sarang lebah 3 dimensi di antara partikel-partikel tanah. Dan membentuk rongga-rongga mikron yang bisa menyerap air (porositas), sehingga tidak akan terjadi pembentukan *sulfuric acid* yang menyebabkan terjadinya keretakan (Matos.co.id). Adapun bentuk Matos dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Serbuk Matos

3.5 Kapur

Batu kapur atau gamping dalam bahasa Inggris disebut *limestone* merupakan sebuah batuan sedimen yang terdiri dari mineral kalsit dan aragonit yang merupakan dua varian berbeda dari CaCO_3 (kalsium karbonat). Biasanya kapur relatif terbentuk di laut dalam kondisi bebatuan yang mengandung lempengan pelat kalsium (*coccoliths*) yang dibentuk oleh mikroorganisme *coccolithophores*.

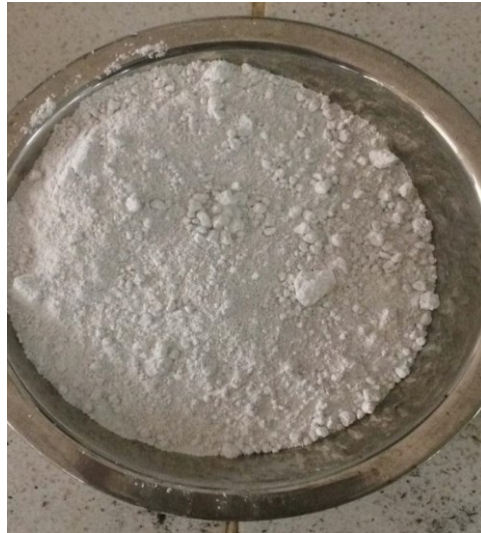
Stabilisasi tanah kapur adalah usaha untuk memperbaiki sifat fisik tanah serta memudahkan dalam pelaksanaan pekerjaan dan menambah ketahanan terhadap pengaruh cuaca dengan mencampurkan kapur pada tanah.

Menurut SNI 03-4147-1996, jenis-jenis kapur dibagi menjadi 4 macam.

1. Kapur tipe I yaitu kapur yang mengandung kalsium hidrat tinggi dengan kadar magnesium oksida (MgO) paling tinggi 4 %
2. Kapur tipe II yaitu kapur magnesium atau *dolomite* yang mengandung magnesium oksida lebih dari 4 % dan maksimum 36 % berat
3. Kapur tohor (CaO), yaitu hasil pembakaran batu kapur pada suhu $\pm 90^\circ \text{F}$ dengan komposisi sebagian besar kalsium karbonat (CaCO_3)

4. Kapur padam, yaitu kapur dari hasil pemadaman kapur tohor dengan air, sehingga terbentuk hidrat $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Ada pun contoh serbuk kapur tipe 3 yaitu CaCO_3 pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Serbuk Kapur

3.6 Pengujian Laboratorium

3.6.1 Pengujian Kadar Air (*Moisture Content Test*)

Pengujian bertujuan untuk mengetahui kadar air natural dari sampel tanah. Kadar air tanah adalah nilai perbandingan antara berat air yang terkandung dalam sampel tanah dengan berat butiran tanah tersebut. Kadar air tanah dinyatakan dengan notasi w dengan satuan persen (%). Pada pengujian kadar air ini dilakukan untuk tanah gambut asli yang didapat langsung di lapangan dan tanah gambut yang dikeringkan sampai mencapai kadar air 0%. Metode yang digunakan untuk pengujian menggunakan standar pengujian SNI 1965:2008.

3.6.2 Pengujian Berat Jenis (*Specific Gravity Test*)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis dari suatu sampel tanah. Berat jenis tanah adalah nilai perbandingan berat butir tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperatur tertentu. Berat jenis tanah dinyatakan dengan notasi G_s tanpa satuan. Metode yang digunakan untuk pengujian menggunakan standar pengujian SNI 1964:2008.

3.6.3 Pengujian Kepadatan Tanah (*Proctor Standard Test*)

Proctor (1933) dalam Das (1991) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya.

Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya. Hubungan berat volume kering (γ_k) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w) dinyatakan dalam Persamaan 3.1 berikut.

$$\gamma_d = \gamma / (1+w) \quad (3.1)$$

Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Untuk suatu kadar air tertentu, berat volume kering maksimum secara teoritis didapat bila pada pori-pori tanah sudah tidak ada udaranya lagi, yaitu pada saat dimana derajat kejenuhan tanah sama dengan 100%. Jadi berat volume kering maksimum (teoritis) pada suatu kadar air tertentu dengan kondisi *zero air voids* dapat ditulis seperti Persamaan 3.2 berikut,

$$\gamma_{zav} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + e} \quad (3.2)$$

dengan keterangan sebagai berikut.

γ_{zav} = berat volume pada kondisi *zero air void*

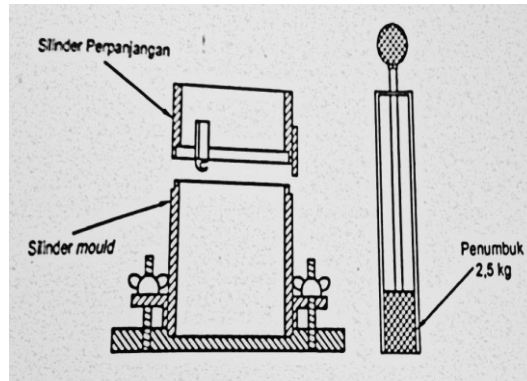
γ_w = berat volume air

e = angka pori

G_s = berat spesifik butiran pada tanah

Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji Proktor Standar. Prinsip pengujiannya sebagai berikut, tanah dipadatkan dalam cetakan berupa silinder mold yang mempunyai volume $1/30 \text{ ft}^3$ ($9,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3$). Diameter cetakan tersebut adalah 4 in (10,14 cm). Tanah didalam mould dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg

dengan tinggi jatuh 30,5 cm (1 ft). Tanah dipadatkan dalam tiga lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk 25 kali pukulan. Alat pengujian kepadatan tanah (*Proctor Standard Test*) tergambar pada Gambar 3.5 berikut ini.

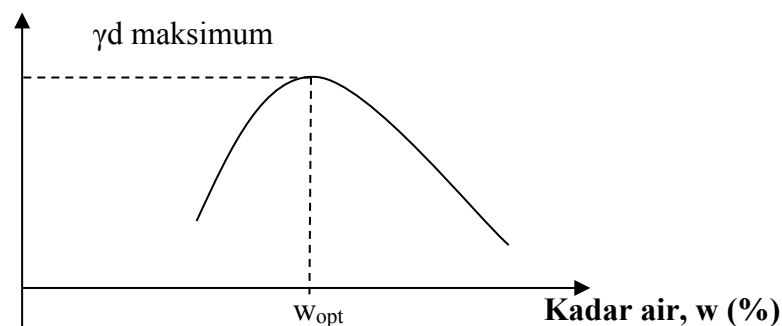


Gambar 3.5 Alat Pengujian Kepadatan Tanah (*Proctor Standard Test*)

(Sumber: Das, 1991)

Pengujian kepadatan mengacu pada standar SNI 1742:2008. Dalam pengujian ini, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Kemudian digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya (Gambar 3.6). Kurva yang dihasilkan dari pengujian ini memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik (w_{opt}) untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum.

Berat volume kering, γ_d (kg/cm^3)



Gambar 3.6 Kurva Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering

(Sumber: Hardiyatmo, 2006)

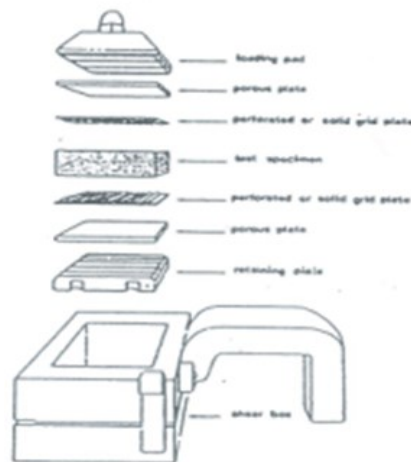
3.6.4 Pengujian Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Pengujian Geser Langsung dimaksudkan untuk memperoleh besarnya tahanan geser tanah pada tegangan normal tertentu pada kondisi tidak terdrainase dan tidak terkonsolidasi. Tujuannya adalah untuk mendapatkan kuat geser tanah.

Hasil uji geser langsung dapat digunakan untuk analisis kestabilan dalam bidang geoteknik, di antaranya untuk analisis kestabilan lereng, daya dukung fondasi, analisis dinding penahan, dan lain-lain.

Uji geser langsung tidak dapat mengukur tekanan air pori yang timbul saat penggeseran dan tidak dapat mengontrol tegangan yang terjadi di sekeliling contoh tanah. Di samping itu keterbatasan uji geser langsung yang lain adalah karena bidang runtuh tanah ditentukan, meskipun belum tentu merupakan bidang terlemah.

Prosedur pengujian geser langsung adalah pertama-tama keluarkan *shear box* dari tempat airnya. Bagian atas dan bawah dijadikan satu *shear box* dengan memasang baut penguncinya, pelat dasar dimasukkan pada bagian paling bawah dari *shear box* dan di atasnya dipasang batu pori yang sebelumnya telah dicelupkan dalam akuades atau direbus dahulu untuk mengeluarkan pori porinya, Di atas batu pori diberi kertas filter yang sebelumnya juga telah dicelupkan dalam akuades. Dan di atas kertas filter ini dimasukkan pelat berlubang yang beralur, alur ini harus menghadap ke atas dan arah alurnya harus tegak lurus arah penggeseran, hal ini dimaksudkan agar contoh tanah benar-benar terjepit secara kuat pada waktu dilakukan penggeseran, Masukkan kembali *shear box* ke dalam tempat airnya. Dan kedudukannya ditempatkan dengan mengencangkan dua buah baut penjepit yang ada. Sampel tanah dimasukkan ke dalam *shear box* dengan susunan sebagaimana ditunjukkan Gambar 3.7 di bawah ini.



Gambar 3.7 Urutan Pemasangan Alat *Shear Box*

(Sumber: Wesley, 1977)

Pelat pendorong diatur agar tepat menempel pada *shear box* bagian bawah.

Kunci penggerak manual dilepaskan dengan menarik *clutch*, kemudian penggeser dapat digerakkan dengan memutar *handwheel* searah jarum jam akan menyebabkan pergeseran ke kanan/ maju dan sebaliknya.

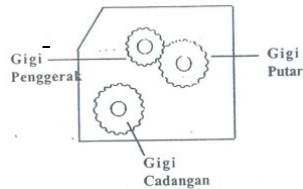
Setelah penggeser tepat bersinggungan dengan *shear box* bagian bawah, maka *clutch* dikembalikan lagi pada kedudukan terkunci, yaitu dengan jalan menarik dan memutarnya.

Piston *proving ring* diatur agar tepat menyinggung *shear box* bagian atas, ini berarti *proving ring* belum menerima beban. Jadi dial *proving ring* juga harus diatur tepat pada angka nol, demikian juga mempunyai perbandingan 1:10. Contoh tanah siap digeser, dengan lebih dahulu menentukan kecepatan penggeserannya.

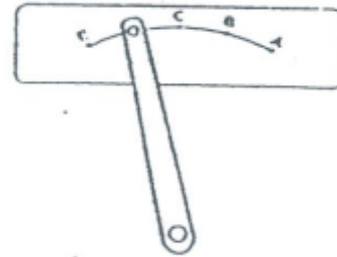
Susunan gigi diatur agar kecepatan penggeseran sesuai dengan yang diinginkan. Kecepatan yang dipakai adalah 0,30 mm/detik.

Jarum *dial proving ring* dan dial deformasi horizontal diperiksa kembali sekali lagi apakah tepat pada posisi normal. Kemudian penggeseran dapat dimulai, tetapi kedua baut uang menyatukan *shear box* bagian atas dan bawah harus terlepas. *Clutch* harus diperiksa apakah sudah terkunci atau belum.

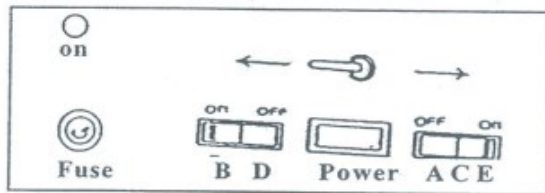
Tombol *power* dihidupkan, lampu indikator akan menyala. Penggeseran dapat dimulai dengan menekan tombol A, C, karena posisi gir pada E, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8, 3.9 dan, 3.10 berikut ini.



Gambar 3.8 Susunan Gigi Penggerak dan Gigi Putar



Gambar 3.9 Posisi Gigi



Gambar 3.10 Panel Kontrol

(Sumber: Philip, 2016)

Pembacaan dilakukan sampai contoh tanah runtuh, yang dapat diketahui dari *dial proving ring* yang mulai turun setelah mencapai maksimum, pembacaan terus dilakukan sebanyak data yang dibutuhkan. Setelah penggeseran selesai, maka *shear box* dikembalikan ke dalam posisi sebelum digeser, dengan menggerakkan mundur secara manual. Beban konsolidasi dilepaskan dan *shear box* dikeluarkan dari tempatnya. Tanah sampel dikeluarkan dari *shearbox*, berat tanah sampel ditimbang kemudian oven selama minimal 24 jam dalam suhu 105 derajat celsius. Prosedur ini diulang untuk tanah sampel yang lain. Gaya geser diperoleh dari pembacaan *proving ring dial* x kalibrasi *proving ring*. Tegangan geser = $\frac{\text{Gaya Geser}}{A_c}$ kg/cm² jika luas tampang hendak dikoreksi, gunakan faktor koreksi yang sesuai, misalkan kecepatan penggeseran yang didapat dari perhitungan 0,30 mm/menit dari tabel 3.1 berikut.

Gigi penggerak = 36

Gigi putar = 54

Posisi gigi pada = A

Keterangan:

Gigi penggerak : gigi yang menggerakkan (sebelah kiri)

Gigi putar : gigi yang digerakkan (sebelah kanan)

Tabel 3. 1 Kecepatan Alat

KECEPATAN ALAT (mm/menit)						
DRIVER DRIVEN		30 60	60 54	36 54	54 36	45 45
GEAR CHANGE POSITION	A	0,18980	0,82250	0,27630	0,57380	0,41500
	B	0,03430	0,15240	0,04540	0,11850	0,07850
	C	0,00620	0,02180	0,00700	0,01910	0,01630
	D	0,00140	0,00570	0,00120	0,00490	0,00290
	E	0,00017	0,00069	0,00038	0,00063	0,00043

(Sumber: Philip, 2016)

Koreksi luas penampang:

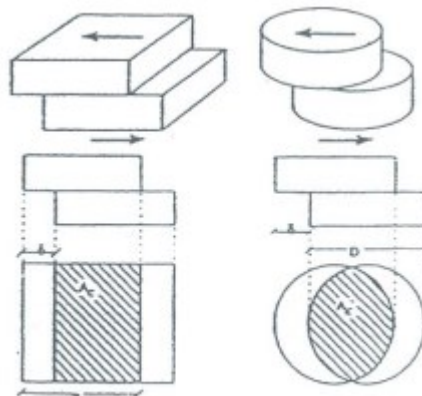
Contoh tanah persegi empat dengan panjang sisi a sebagai berikut.

$$A_c = a (a - \delta) \quad (3.3)$$

Contoh tanah silinder dengan diameter D sebagai berikut.

$$A_c = \frac{D^2}{d} \left(\varphi - \frac{\delta}{D} \sin \varphi \right) \quad (3.4)$$

$$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{\delta}{D} \right) \text{ dalam radian} \quad (3.5)$$



Gambar 3.11 Koreksi Luas Penampang

(Sumber: Philip, 2016)

Besaran nilai kuat geser dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$\tau = c + \sigma_N \tan \phi,$$

dimana:

τ = kuat geser, kg/cm^2 ,

c = kohesi, kg/cm^2 ,

σ_N = tegangan normal, kg/cm^2 ,

ϕ = sudut geser dalam, $^\circ$.

3.6.6 Pengujian Konsolidasi Satu Dimensi

Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpermeabilitas rendah akibat pembebanan. Proses ini terjadi jika tanah jenuh berpermeabilitas rendah dibebani, maka tekanan air pori tanah bertambah, akibatnya air mengalir ke lapisan tanah dengan tekanan air pori yang rendah yang diikuti dengan penurunan tanah. karena permeabilitas tanah rendah, maka proses ini membutuhkan waktu. Proses konsolidasi di lapangan dapat diamati dengan pemasangan piezometer. Besarnya penurunan dapat diukur dari titik referensi yang ditetapkan.

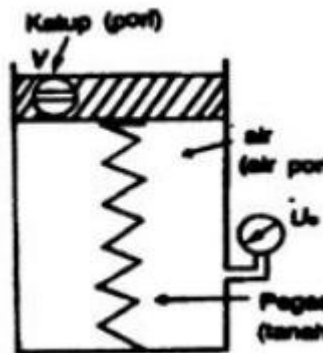
Mekanisme proses konsolidasi satu dimensi dapat dijelaskan pada Gambar 3.15a berikut. Silinder berpiston yang berlubang dan berpegas, diisi dengan air sampai jenuh. Pegas tidak bergesekan dengan dinding silinder. Pegas menggambarkan tanah, sedangkan air menggambarkan air pori, dan lubang piston menggambarkan permeabilitas tanah.

Gambar 3.15b menunjukkan beban Δp dikerjakan di atas piston dengan katup tertutup. Ternyata piston tidak bergerak, hal ini disebabkan air tidak keluar dari tabung, sedangkan air tidak dapat mampat. Pada kondisi ini beban sepenuhnya dipikul oleh air. Pengukur tekanan air menunjukkan angka $\mu_0 + \Delta p$, kenaikan tekanan air pori sebesar Δp disebut kelebihan tekanan air pori. Kondisi dengan katup tertutup ini melukiskan kondisi tak terdrainase (*Undrained*) dalam tanah.

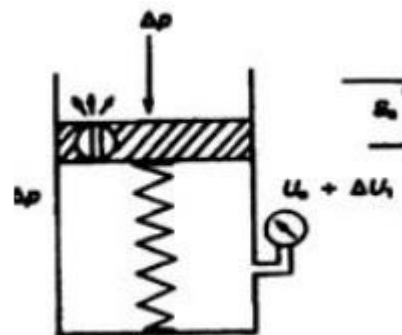
Gambar 3.15c menunjukkan katup dibuka, sehingga air keluar dengan kecepatan tergantung luas lubang. Akibatnya piston bergerak ke bawah, sehingga

pegas mendukung beban. Setiap kelebihan beban pegas, tekanan air pori berkurang. Kondisi ini menggambarkan tanah sedang berkonsolidasi. Beban yang didukung pegas menggambarkan tegangan efektif tanah sedangkan tekanan air dalam silinder melukiskan tekanan air pori tanah.

Proses pada Gambar 3.15c berjalan terus sampai tekanan air pori nol, Kedudukan ini melukiskan kondisi terdrainase (*drained*) dan saat angka pori menunjukkan konsolidasi telah berakhir. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3.15d berikut.

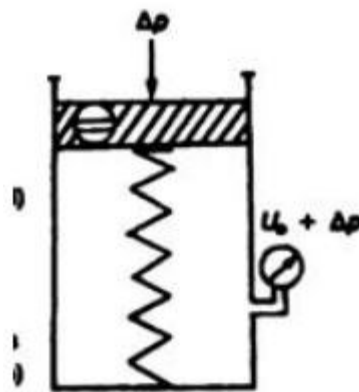


Gambar 3.12a

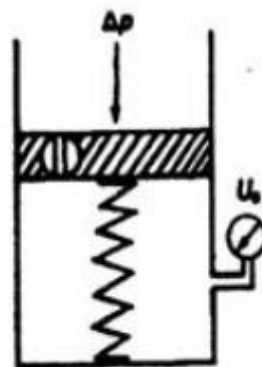


Gambar 3.12b

Gambar 3.12 Analogi Konsolidasi



Gambar 3.12c

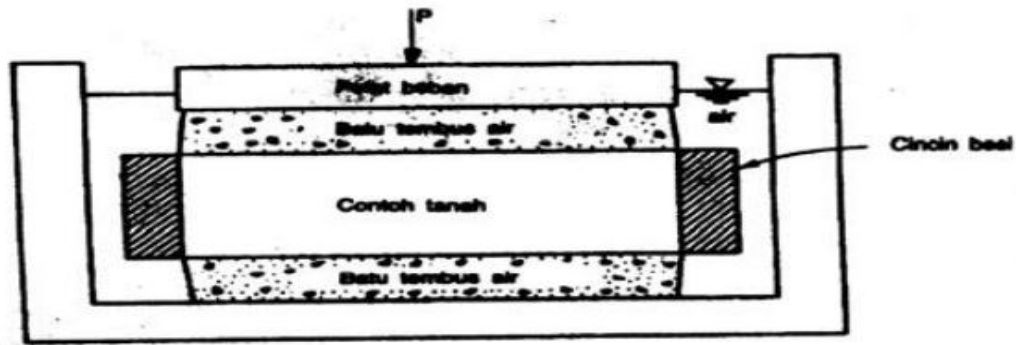


Gambar 3.12d

Gambar 3.12 Analogi Konsolidasi

(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

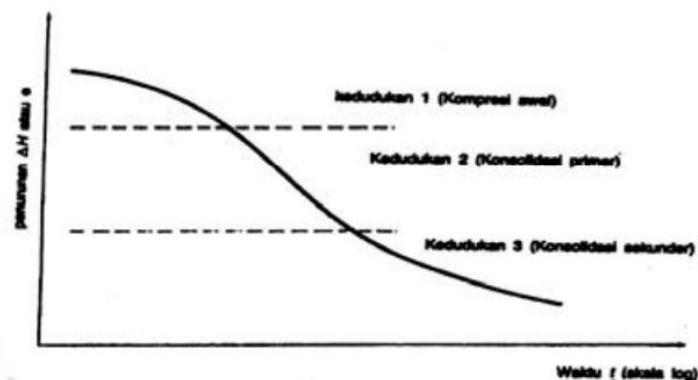
Uji konsolidasi satu dimensi di laboratorium dilakukan dengan alat oedometer atau konsolidometer, seperti Gambar 3.16 berikut.



Gambar 3.13 Oedometer

(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

Contoh tanah dimasukkan ke dalam cincin besi. Bagian atas dan bawah benda uji dibatasi oleh batu tembus air (*porous stone*). Beban P dikerjakan, dan penurunan diukur dengan arloji pembacaan atau dial, umumnya beban diterapkan selama 24 jam dengan benda uji yang selalu terendam air. Penambahan beban secara periodik diterapkan, Leopard (1962) menyatakan penambahan beban dua kali sebelumnya dengan urutan beban 0,25 ; 0,50 ; 1,00 ; 2,00 ; 4,00 ; 8,00 ; 16,00 kg/cm^2 . Setiap penambahan beban deformasi dan waktu dicatat dan diplot dalam grafik semi logaritma hubungan antara penurunan (Δh) dengan waktu ($\log t$). Grafik hubungan antara penurunan terhadap waktu ditunjukkan pada Gambar 3.17 berikut.



Gambar 3.14 Grafik Hubungan Penurunan terhadap Waktu

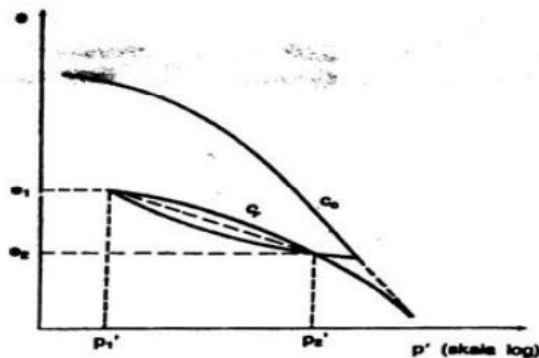
(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

Kedudukan 1 kompresi awal akibat beban awal terhadap benda uji

Kedudukan 2 bagian garis lurus, menunjukkan proses konsolidasi awal.

Kedudukan 3 menunjukkan proses konsolidasi sekunder.

Untuk penambahan beban, tegangan yang terjadi tegangan efektif, jika nilai G_s dimensi awal serta penurunan dicatat, maka angka pori diperoleh, selanjutnya tegangan efektif dan angka pori (e) diplot digrafik semi logaritmik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.18 berikut.



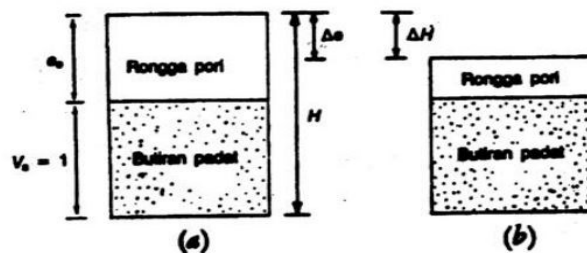
Gambar 3.15 Hubungan e dengan $\log p'$

(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

Uji konsolidasi satu dimensi, perubahan tinggi (ΔH) per tinggi awal (H) adalah sama dengan perubahan volume (ΔV) per satuan volume awal (V), seperti yang terlihat pada Persamaan 3.6 berikut ini.

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta V}{V} \quad (3.6)$$

Fase pada pengujian konsolidasi satu arah ini dapat dilihat pada gambar 3.19 berikut.



Gambar 3.16 Fase Konsolidasi

(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

Jika $V_s = 1$ dan angka pori awal = e_0 , maka kedudukan akhir proses konsolidasi adalah, Δe_0 seperti yang ditampilkan pada Persamaan 3.7 berikut ini.

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta e}{1+e_0} \quad \text{sehingga} \quad \Delta H = \frac{\Delta e}{1+e_0} \quad (3.7)$$