II. TINJAUAN PUSATAKA

A. Tanah

Tanah merupakan material yang sangat penting dalam bidang Teknik Sipil. Semua sistem pembebanan produk Teknik Sipil berhubungan langsung dengan tanah serta sifat – sifatnya, baik itu sifat fisik, mekanis, maupun kimiawi. Tanah pada kondisi alam, terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan atau tanpa kandungan bahan organik. Butiran-butiran tersebut dapat dengan mudah dipisahkan satu sama lain dengan kocokan air. Material ini berasal dari hasil pelapukan batuan, baik secara fisik maupun kimia. Sifat-sifat fisik tanah, kecuali dipengaruhi oleh sifat batuan induk yang merupakan material asalnya, juga dipengaruhi oleh unsur-unsur luar yang menjadi penyebab terjadinya pelapukan batuan tersebut (Setyanto, 1999).

Adapun menurut para ahli teknik sipil, tanah dapat didefinisikan sebagai :

1. Tanah adalah kumpulan butiran (agregat) mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat termasuk diaduk dalam air (Terzaghi, 1987).
2. Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai/lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan (Craig, 1987)

3. Tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang terikat secara kimia satu dengan yang lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (partikel padat) disertai zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara parikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).
4. Secara umum tanah terdiri dari tiga bahan, yaitu butir tanahnya sendiri serta air dan udara yang terdapat dalam ruangan antar butir-butir tersebut (Wesley, 1997).

Pengertian tanah menurut Bowles (1984), tanah merupakan campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis unsur-unsur sebagai berikut :

1. Berangkal (*Boulder*) adalah potongan batuan batu besar, biasanya lebih besar dari 200mm-300mm dan untuk kisaran ukuran-ukuran 150mm-250mm, batuan ini disebut kerakal (*cobbles/pebbles*).
2. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,074mm–5mm, yang berkisar dari kasar (3mm–5mm) sampai halus (< 1 mm).
3. Lanau (*silt*) adalah partikel batuan yang berukuran dari 0,002mm–0,074mm.
4. Lempung (*clay*) adalah partikel yang berukuran lebih dari 0,002mm, partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi dari tanah yang kohesif.
5. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam, berukuran lebih dari 0,01mm.

Tanah adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat yang tidak terikat satu dengan yang lain yang diantara terdiri dari material organik, rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air. (Verhoef, 1994).

Tanah didefinisikan sebagai suatu lapisan kerak bumi yang tidak menjadi satu dengan ketebalan beragam yang berbeda dengan bahan-bahan dibawahnya, juga tidak beku dalam hal warna, bangunan fisik, struktur susunan kimiawi, sifat biologi, proses kimiawi ataupun reaksi-reaksi (Sutedjo, 1988).

B. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (Das, 1995).

Sistem klasifikasi tanah dimaksudkan untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisik tanah serta mengelompokkannya sesuai dengan perilaku umum dari tanah tersebut.

Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989).

Jenis dan sifat tanah yang sangat bervariasi ditentukan oleh perbandingan banyak fraksi-fraksi (kerikil, pasir, lanau dan lempung), sifat plastisitas butir halus. Klasifikasi bermaksud membagi tanah menjadi beberapa golongan tanah dengan kondisi dan sifat yang serupa diberi simbol nama yang sama.

Ada dua cara klasifikasi yang umum yang digunakan:

1. Sistem Klasifikasi AASTHO

Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dikembangkan pada tahun 1929 dan mengalami beberapa kali revisi hingga tahun 1945 dan dipergunakan hingga sekarang, yang diajukan oleh *Commite on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* (ASTM Standar No. D-3282, AASHTO model M145). Sistem klasifikasi ini bertujuan untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*sub-base*) dan tanah dasar (*subgrade*).

Sistem ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut :

a. Ukuran butir

Kerikil	:	bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 75 mm dan tertahan pada saringan diameter 2 mm (No.10).
Pasir	:	bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 2 mm dan tertahan pada saringan diameter 0,0075 mm (No.200).
Lanau & lempung	:	bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 0,0075 mm (No.200).

b. Plastisitas

   Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai Indeks Plastisitas (IP) sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih.

c. Apabila ditemukan batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) dalam contoh tanah yang akan diuji maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi persentasi dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

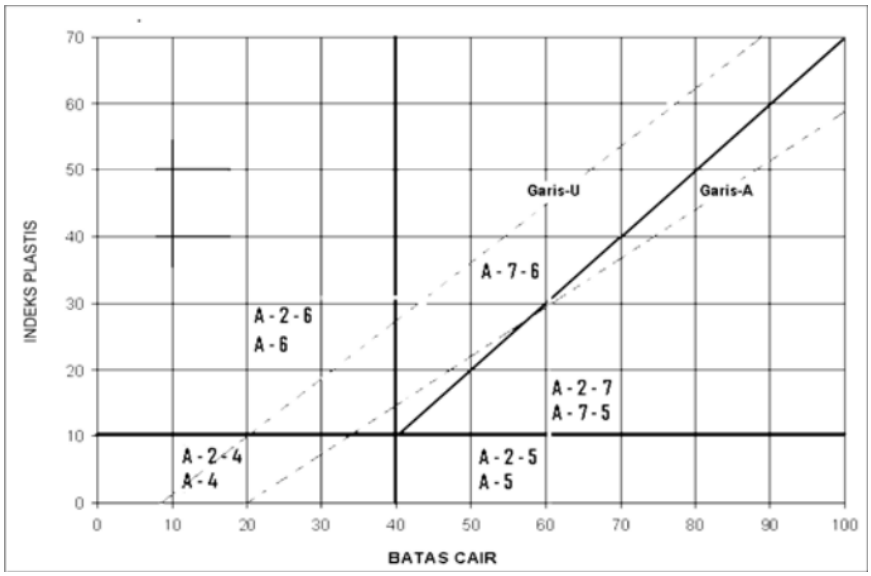
Sistem klasifikasi AASTHO membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah berbutir yang 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-1, A-2, dan A-3. Tanah berbutir yang lebih dari 35 % butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung.

Untuk mengklasifikasikan tanah, maka data yang didapat dari percobaan laboratorium dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam Tabel 1. Kelompok tanah dari sebelah kiri adalah kelompok tanah baik dalam menahan beban roda, juga baik untuk lapisan dasar tanah jalan. Sedangkan semakin ke kanan kualitasnya semakin berkurang.

Tabel 2.1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200						
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 41
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi umum	Tanah berbutir (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200						
Klasifikasi kelompok	A-4	A-5	A-6	A-7			
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36			
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Maks 11	Min 41 Min 11			
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah Berlempung				
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek						

Gambar dibawah ini menunjukkan rentang dari batas cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) untuk tanah data kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.



Gambar 2. 1.Nilai-nilai batas *Atterberg* untuk subkelompok tanah. (Hary Christady, 1992).

1. Sistem *Unified Soil Classification System* (USCS)

Sistem klasifikasi tanah *unified* atau *Unified Soil Classification System* (USCS) diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Kemudian *American Society for Testing and Materials* (ASTM) memakai USCS sebagai metode standar untuk mengklasifikasikan tanah. Dalam bentuk sekarang, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik. Sistem klasifikasi USCS mengklasifikasikan tanah ke dalam dua kategori utama yaitu :

a. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir yang kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos saringan No.200. Simbol untuk kelompok ini adalah G untuk tanah berkerikil dan S untuk tanah berpasir.

Selain itu juga dinyatakan gradasi tanah dengan simbol W untuk tanah bergradasi baik dan P untuk tanah bergradasi buruk.

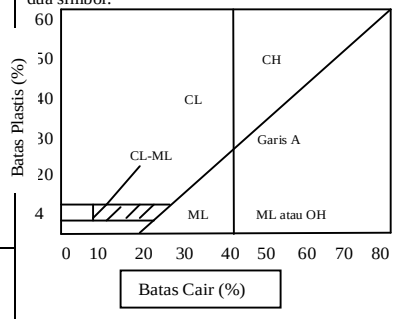
b. Tanah berbutir halus (*fine-grained soil*), yaitu tanah yang lebih dari 50% berat contoh tanahnya lolos dari saringan No.200. Simbol kelompok ini adalah C untuk lempung anorganik dan O untuk lanau organik. Simbol Pt digunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi. Plastisitas dinyatakan dengan L untuk plastisitas rendah dan H untuk plastisitas tinggi.

Tabel 2.2 Sistem klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System* (Bowles, 1991)

Jenis Tanah	**Prefiks**	**Sub Kelompok**	**Sufiks**
Kerikil	G	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	$w_L < 50$ %	L
Organik	O	$w_L > 50$ %	H
Gambut	Pt		

Tabel 2.3.Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem *Unified Soil Classification System*

Divisi Utama			Simbol	Nama Umum		Kriteria Klasifikasi	
Tanah berbutir kasar≥ 50% butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil 50%≥ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus ; Kurang dari 5% lolos saringan no.200: GM, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no.200 : GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan No.200 : Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol dobel	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D10 \times D60}$ Antara 1 dan 3	
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau		Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI < 4	Bila batas *Atterberg* berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI > 7	
	Pasir≥ 50% fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik , pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D10 \times D60}$ Antara 1 dan 3	
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI < 4	Bila batas *Atterberg* berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		Batas-batas *Atterberg* di bawah garis A atau PI > 7	
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200		Lanau dan lempung batas cair ≤ 50%	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung		Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas *Atterberg* yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.	
			CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (*lean clays*)			
			OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah			
		Lanau dan lempung batas cair ≥ 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis			
			CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (*fat clays*)			
			OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi			PT	*Peat* (gambut), *muck*, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi		Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488	



Garis A : PI = 0.73 (LL-20)

Sumber : Hary Christady, 1996.

Pada penelitian ini penulis memakai system klasifikasi tanah *unified* (USCS).

C. Tanah Organik

Daerah tanah gambut di Indonesia luasnya mencapai 21 juta hektar yang tersebar di beberapa pulau diantaranya Sumatera 7,2 ha, Kalimantan 5,8 ha, Papua 8 ha (Wahyunto dkk, 2003, 2004, 2007).

Luas lahan gambut di Indonesia 20,1 juta hektar atau sekitar 70 persen dari total area lahan gambut di Asia Tenggara, bahkan menempati urutan terluas ke-4 di dunia setelah Kanada, Rusia dan Amerika Serikat. Pada mulanya daerah tanah gambut (organik) kurang diperhatikan dan tidak menarik secara ekonomi, tetapi karena pertumbuhan penduduk dan perkembangan pembangunan memaksa orang membangun diatas tanah organik. Hal ini sejalan juga dengan program pemerintah untuk membuka daerah terisolir dengan pembangunan infrastruktur terutama pembuatan ruas jalan baru yang banyak berada di atas lahan gambut. Provinsi Kalimantan Tengah adalah salah satu contoh daerah yang pembangunan ruas jalan barunya berada diatas lahan gambut (Sumaryono, 2008).

Tanah gambut yang ada di Indonesia sekarang ini terbentuk dalam waktu lebih dari 5000 tahun (Hardjowigeno,1997) dan merupakan jenis gambut tropis yang terbentuk sebagai hasil proses penumpukan sisa tumbuhan rawa seperti berbagai macam jenis rumput, paku-pakuan, bakau, pandan, pinang, serta tumbuhan rawa lainnya (Van de Meene, 1984). Karena tempat tumbuh dan tertimbunnya sisa tumbuhan tersebut selalu lembab dan tergenang air serta sirkulasi oksigen yang kurang bagus, maka proses humifikasi oleh bakteri tidak berjalan dengan

sempurna. Sebagai akibatnya sebagian serat-serat tumbuhan masih terlihat jelas dan sangat mempengaruhi perilaku dari tanah gambut yang bersangkutan.

Tanah gambut dibagi dalam 2 (dua) kelompok besar yaitu gambut berserat *(fibrous peat),* gambut tak berserat *(amorphous granuler peat).* Untuk membedakan tanah gambut ini didasarkan atas kandungan serat. Tanah organik berserat mempunyai kandungan serat ≥ 20% sedangkan, tanah gambut tak berserat < 20% (Mac Farlane dan Radforth ,1965 dalam Endah dan Eding, 1999).

Tanah Organik adalah merupakan tanah yang mengandung banyak komponen organik, ketebalannya dari beberapa meter hingga puluhan meter di bawah tanah. Tanah organik berwarna hitam dan merupakan pembentuk utama lahan gambut. Tanah jenis ini umumnya mudah mengalami penurunan yang besar. perilaku tanah organik sangat tergatung pada kadar organik (*organic content*), kadar abu (*ash content*), kadar serat (*fibrous content*). Makin tinggi kandungan organiknya makin rendah daya dukungnya (bearing capacity) dan kekuatan gesernya (*shear strength*), serta makin besar pemampatannya (*compressibility*).

Tanah organik memiliki tekstur terbuka dimana selain pori-pori makro, tekstur tanah gambut juga didominasi oleh pori-pori mikro yang berada di dalam serat-serat gambut. Dengan sistem pori ganda dan tingkat homogenitas yang tidak merata tersebut, serta berat isi tanah yang mendekati berat isi air, maka masalah pemampatan *(compressibility)* yang besar bisa mengakibatkan penurunan *(settlement)* yang besar juga. Selain itu karena tanah gambut ini sangat lembek pada umumnya mempunyai daya dukung *(bearing capacity)* yang rendah.

Perilaku dan sifat tanah organik sangat tergantung pada komposisi mineral dan unsur-unsur kimianya, tekstur dan partikel-partikelnya serta pengaruh lingkungan disekitarnya. Sehingga untuk dapat memahami sifat dan perilakunya diperlukan pengetahuan tentang mineral dan komposisi kimia organik. Hal ini dikarenakan mineralogi adalah faktor utama untuk mengontrol ukuran, bentuk, dan sifat fisik serta kimia dari partikel gambut.

Sampai saat ini, penelitian organik dibidang teknik sipil masih sangat sedikit sekali dilakukan di Indonesia. Sehingga pengetahuan tentang organik masih sangat sedikit sekali. Oleh karena itu, pemecahan dengan metoda yang benar dan tepat adalah sangat diharapkan agar konstruksi yang dibangun dapat berdiri dengan kuat dan aman. Di dalam rekayasa geoteknik telah lama dikenal beberapa cara bagaimana memanfaatkan tanah asli yang memenuhi syarat sebagai material konstruksi, misalnya pada tanah lunak, organik dan sebagainya. Hasil dari upaya rekayasa tersebut didapat keadaan tanah dengan daya dukung yang lebih baik serta sifat-sifat lainnya yang positif dilihat dari sudut pandang konstruksi. Sehingga sifat-sifat dan karakteristik tanah tersebut menjadi memadai sebagai material konstruksi.

a. Hubungan Antara Morfologi dan Sifat-Sifat Organik

Hoobs memperlihatkan bahwa sifat-sifat gambut merupakan hasil dari proses morfologis, yang memberikan beberapa hubungan sebagai berikut :

1. Akibat pengaruh seratnya, stabilitas sepertinya bukan masalah pada gambut rancah berserat yang permeabel, sementara bila dilihat pada gambut rumput yang kurang permeabel, plastik, dan sangat berhumus,

maka kestabilan dan laju pembebanan merupakan pertimbangan yang paling penting.

2. Gambut rumput yang terbentuk oleh penetrasial umumnya didukung oleh lumpur organik yang dapat menyebabkan masalah teknik yang besar.
3. Napal dan lumpur pendukungnya merintangi penyidikan, menyulitkan pemantauan, yang mengakibatkan bahaya pada pekerjaan teknik.
4. Stratifikasi pada gambut rumput sepertinya relatif mendatar. Digabungkan dengan penghumusan yang tinggi dan permeabilitas yang kurang, drainase tegak mungkin memiliki penggunaan yang bermanfaat dalam mempercepat lendutan-pampat primer. Sedangkan gambut rancah sering memiliki drainase tegak alami dalam bentuk *betting cotton-grass* berlajur sehingga drainase tegak mungkin saja terbukti tidak efisen.
5. Permukaan batas antara gambut lumut sangat lapuk dan terlestarikan baik, yang disebabkan oleh pergeseran iklim menyebabkan stratigrafi berlapis yang sangat berbeda jika dibandingkan dengan karakteristik tegak yang diakibatkan oleh pertumbuhan mendatar. Keadaan hidrolik *anistropi* akan terjadi. Satu permukaan berulang umumnya akan muncul dan akan cenderung bertindak sebagai akuiklud mendatar pada drainase tegak dan tekanan pori akan terbebas pada waktu pekerjaan teknik berlangsung (*Horison Weber-Grenz*).
6. Rancah selubung umumnya tidak memiliki suatu dasar yang berupa lempung lunak yang secara normal terkonsolidasi.

7. Gerakan penurun potensial dan yang ada pada bencah miring akibat rangkak, longsor, atau aliran rancah membutuhkan penanggulangan teknik yang khusus.

b. Identifikasi Geoteknik dan Penggolongan Tanah Organik

Terdapat dua sistem penggolongan utama yang dilakukan, yakni sistem penanggulangan AASHTO (metode AASHTO M 145 atau penandaan ASTM D-3282) dan sistem penggolongan tanah bersatu (penandaan ASTM D-2487). Berdasarkan sistem klasifikasi USCS maka tanah pada desa Pasir Gedong Kelurahan Benteng Sari Kecamatan Jabung merupakan jenis tanah berbutir halus yang digunakan termasuk kedalam kelompok OH yaitu tanah organik (Mulia Luther, UNILA, 2014). Dalam metode AASHTO, tidak tercantum untuk gambut dan tanah yang organik, sehingga ASTM D-2487 harus digunakan sebagai langkah pertama pada pengidentifikasian gambut.

Tabel 2.4.Penggolongan tanah berdasarkan kandungan organik

Kandungan Organik	**Kelompok Tanah**
≥ 75 %	Gambut
25 % - 75 %	Tanah organik
≤ 25 %	Tanah dengan kandungan organik rendah

(SUMBER : PEDOMAN KONSTRUKSI JALAN DI ATAS TANAH GAMBUT DAN ORGANIK, 1996)

D. Sifat-Sifat Fisik Tanah

Sifat-sifat fisik tanah berhubungan erat dengan kelayakan pada banyak penggunaan tanah. Kekokohan dan kekuatan pendukung, kapasitas penyimpanan air, plastisitas semuanya secara erat berkaitan dengan kondisi fisik tanah. Hal ini berlaku pada tanah yang digunakan sebagai bahan struktural dalam pembangunan jalan raya, bendungan, dan pondasi untuk sebuah gedung, atau untuk sistem pembuangan limbah (Hendry D. Foth, Soenartono A. S, 1994).

Untuk mendapatkan sifat-sifat fisik tanah, ada beberapa ketentuan yang harus diketahui terlebih dahulu, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Kadar Air
2. Berat Volume
3. Analisa Saringan
4. Berat Jenis
5. Batas *Atterberg*
6. Hidrometer

Parameter tanah organik untuk menentukan karakteristik tanah biasa yang dapat dilakukan dengan pengujian kadar abu, kadar organik, dan kadar serat.

1. Kadar abu dan kadar organik

Kadar abu tanah gambut dapat ditentukan dengan cara memasukkan gambut (yang telah dikeringkan pada temperature 105 ^{o}C) kedalam oven pada temperatur 440 ^{o}C atau 750 ^{o}C, sampel yang bersangkutan menjadi abu (ASTM D 2974-87). Menganjurkan pemakaian temperature oven sekitar 800 ^{o}C s/d 900 ^{o}C selama 3

jam. Persentase abu dihitung terhadap berat kering tanah sampel menurut (Mac Farlane 1969), dalam Noor Endah, (1997).

2. Kadar serat

Menurut ASTM 1969 (DS2607), gambut tidak hanya diklasifikasikan menurut jenis tanaman pembentuk serat saja tapi juga kandungan seratnya, sistem ini mengelompokkan tanah kedalam 5 kelompok (Noor. E, 1997) yaitu :

Tabel 2.5. Klasifikasi tanah gambut menurut ASTM 1969 (D S-2607)

No.	Nama	Keterangan
1.	Sphagnum Moss Peat (Peat Moss)	Apabila dikeringkan pada suhu 105 °C, kandungan serat dari sphagnum moss minimum 66 2/3 %.
2.	Hypnum Moss Peat	Apabila dikeringkan pada 105 °C, kandungan seratnya minimum 33 1/3 % dimana lebih dari 50 % dari serat – serat tersebut berasal dari bermacam – macam jenis hypnum moss peat.
3.	Ree Sedge Peat	Apabila dikeringkan pada 1050C, kandungan seratnya minimum 33 1/3 % dimana lebih dari 50 % dari serat – serat tersebut berasal dari ree-sedge peat dan dari non moss yang lain.
4.	Peat Humus	Apabila dikeringkan pada 1050C, kandungan seratnya kurang dari 33 1/3 %.
5.	Peat – peat yang lain	Gambut yang dikelompokkan disini adalah semua tanah gambut yang tidak masuk dalam 4 kelompok diatas.

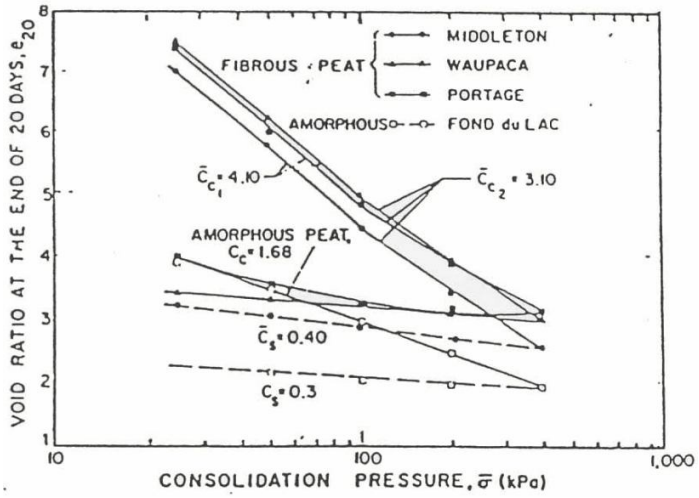
Sumber : Dalam Noor Endah, (1997), Jurnal Geoteknik

E. Kemampumampatan Tanah Organik

Tanah organik mempunyai porositas yang tinggi, oleh karena itu pemampatan awal terjadi berlangsung sangat cepat. Selama proses pemampatan, daya rembes tanah organik berkurang dengan cepat sehingga menyebabkan berkurangnya kecepatan pemampatan. Proses dekomposisi pada serat – serat didalam tanah organik menyebabkan perilaku pemampatan semakin rumit. Hal ini disebabkan

oleh struktur serat-serat menjadi hancur serta bentuk gas akibat proses tersebut. (Hanrahan 1954, Hallingshead & Raymong 1972, Dhowian & Edil 1980) dalam Farni I. (1996).

Apabila tanah lunak mendapat pertambahan tegangan vertikal, maka pertambahan ini akan menyebabkan adanya penurunan. Pada umumnya penurunan tanah lunak dibedakan atas penurunan segera (pengaruh elastisitas tanah) dan penurunan konsolidasi (akibat terdisipasinya air pori). Penurunan konsolidasi sendiri masih dibedakan atas konsolidasi primer dan sekunder. Penurunan segera terjadi segera (langsusng) setelah tanah lunak menerima pertambahan tegangan. Dengan adanya pertambahan tegangan ini, air pori yang ikut menderita tambahan tegangan akan mengalir keluar dari pori. Akibat keluarnya air dari pori ini tanah secara perlahan akan mampat dan turun. Tergantung dari koefisien permeabilitas tanah yang bersangkutan. Semakin kecil permeabilitas tanah, semakin sulit pula air pori mengalir, sehingga penurunan yang terjadi pun menjadi sangat perlahan (Ladd, 1987). Sedikit berbeda dibanding tanah lempung, kurva pemampatan pada gambut/organik hasil test laboratorium terdiri dari empat komponen pemampatan (Dhowian dan Edil,1980).



Gambar 2.2 Kurva e vs. log s' pada tanah gambut amorphous dan gambut berserat Dhowian & Edit, 1980)

F. Sifat Kembang Susut (*Swelling*)

Tanah-tanah yang banyak mengandung organik mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Perubahan itulah yang membahayakan bangunan. Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor, yaitu :

1. Tipe dan jumlah kadar organic, kadar serat, dan kadar abu yang ada di dalam tanah.
2. Kadar air.
3. Susunan tanah.
4. Konsentrasi garam dalam air pori.
5. Sementasi.
6. Adanya bahan organik, dll.

Secara umum sifat kembang susut tanah organik tergantung pada kandungan organik, serat, serta abunya.

G. Penurunan

Jika lapisan tanah dibebani, maka tanah akan mengalami penurunan *(settlement)*. Penurunan yang terjadi dalam tanah disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun oleh pengurangan rongga pori/ air di dalam tanah tersebut. Jumlah dari penurunan sepanjang kedalaman lapisan merupakan penurunan total tanah.

Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi.

Pada tanah berpasir yang sangat tembus air (*permeable*), air dapat mengalir dengan cepat sehingga pengaliran ar pori keluar sebagai akibat dari kenaikan tekanan air pori dapat selesai dengan cepat.

Keluarnya air dari dalam pori selalu disertai dengan berkurangnya volume tanah, berkurangnya volume tanah tersebut dapat menyebabkan penurunan lapis tanah itu karena air pori di dalam tanah berpasir dapat mengalir keluar dengan cepat, maka penurunan segera dan penurunan konsolidasi terjadi secara bersamaan (Das, 1995).

Pada tanah organik perubahan volume yang disebabkan oleh keluarnya air dari dalam pori (dikarenakan konsolidasi) akan terjadi sesudah penurunan segera. Penurunan konsolidasi biasanya jauh lebih besar dan lebih lambat serta lebih lama dibandingkan dengan dengan penurunan segera (Das, 1995).

H. Konsolidasi (*Consolidation Settlement*)

Konsolidasi adalah suatu proses pengecilan volume secara perlahan–lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori. Proses tersebut berlangsung terus–menerus sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total benar–benar hilang.

Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah dibawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara

dari dalam pori, dan sebab–sebab lain. Beberapa atau semua faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan. Secara umum, penurunan (*settlement*) pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu :

1. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori–pori tanah.

2. Penurunan segera (*immediate settlement*), yang merupakan akibat dari deformasi elastic tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air.

Bilamana suatu lapisan tanah gambut yang mampu mampat (*compressible*) diberi penambahan tegangan, maka penurunan (*settlement*) akan terjadi dengan segera. Tanah gambut merupakan tanah yang mempunyai kandungan organik dan kadar air yang tinggi, yang terbentuk dari fragmen-fragmen material organik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan yang dalam proses pembusukan menjadi tanah, yang telah berubah sifatnya secara kimiawi dan telah menjadi fosil, dimana tanah gambut ini memiliki sifat yang tidak menguntungkan bagi konstruksi yaitu daya dukung yang rendah serta kompresibilitas yang tinggi.

Oleh karena itu harus dilakukan usaha perbaikan tanah agar tidak terjadi penurunan konsolidasi kembali saat konstruksi bangunan mulai dibangun bahkan setelah selesai dibangun diatasnya, sehingga resiko kerusakan struktur bangunan karena penurunan tanah yang terlalu besar dapat dihindari. Usaha perbaikan

tanah dilakukan untuk meningkatkan kuat geser tanah, mengurangi compressibility tanah dan mengurangi permeabilitas tanah (Stapelfeldt, 2006).

I. Landasan Teori

Untuk mengetahui besarnya penurunan yang terjadi dan kecepatan atau lamanya penurunan pada tanah lempung berdasarkan pengaruh *LIR* = 0.5 dan *LIR* = 1 atau dengan kata lain membandingkan penuruan tanah akibat penambahan beban dengan dua rasio, yaitu Rasio Penambahan Beban = 0.5 dan Rasio Penambahan Beban = 1.

1. Konsolidasi

Pemampatan tanah disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori dan sebab-sebab lain. Mengingat nilai parameter tanah sangat dipengaruhi oleh beban maka besarnya beban yang digunakan perlu disesuaikan dengan beban konstruksi bangunan yang direncanakan. Adapun tujuan dari konsolidasi adalah menentukan sifat kemampatan tanah sifat pengembangan dan karakteristik konsolidasinya yang merupakan fungsi dari permeabilitas tanah.

- Sifat pemampatan tanah dinyatakan dengan indeks kompresi (Cc)
- Sifat pengembangan tanah dinyatakan dengan indeks swelling (Cs)
- Karakteristik konsolidasi dinyatakan oleh koefisien konsolidasi (Cv)

  Yang menggambarkan kecepatan terhadap kompresi tanah terhadap waktu.

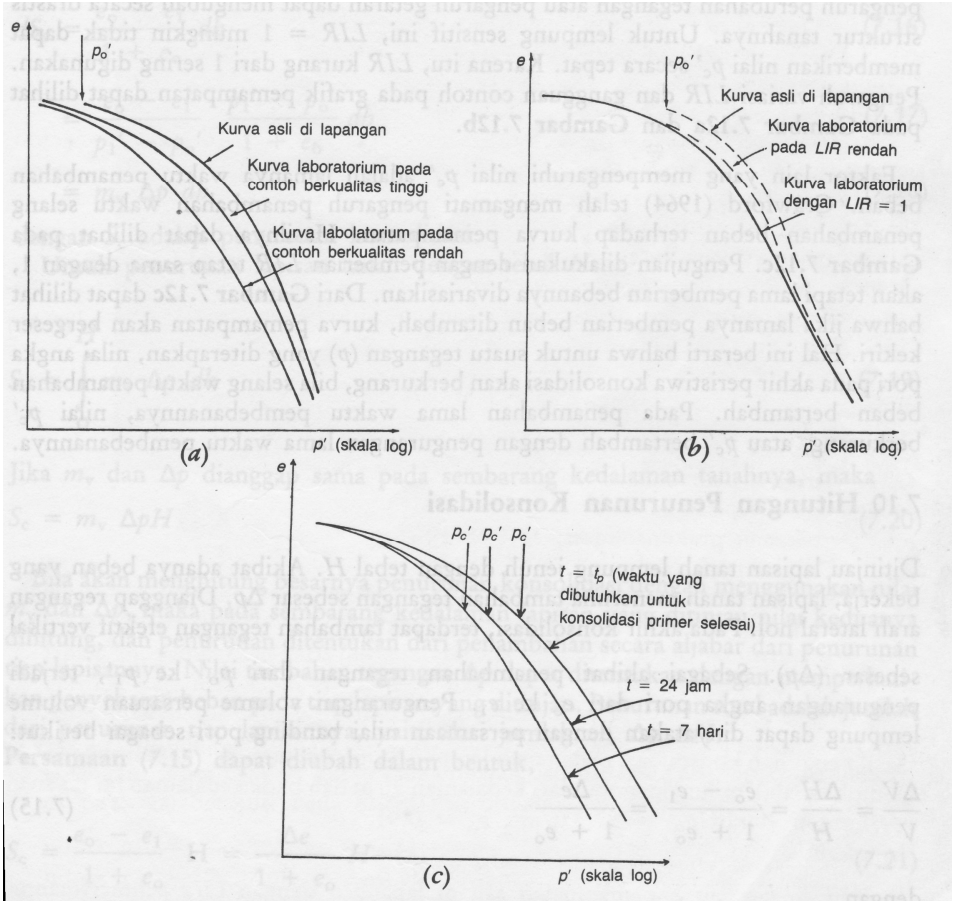
2. *Load Increament Ratio (LIR)* atau Rasio Penambahan Beban

Selain itu penambahan beban diatas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Pada pemampatan tersebut diakibatkan oleh adanya deformasi partikel tanah yang menyebabkan penurunan tanah. Untuk itu perlu diadakan uji konsolidasi yang berguna untuk mengetahui penurunan tanah yang terjadi. Pada uji konsolidasi sering digunakan istilah *LIR (Load Increment Ratio)*, yaitu rasio penambahan beban yang diterapkan pada saat pengujian (contohnya prosedur dalam ASTM D-2435). *LIR* didefinisikan sebagai tambahan tegangan dibagi dengan tegangan awal sebelum beban beban diterapkan.

Dengan Δp adalah tambahan tegangan dan Pa' adalah tegangan sebelumnya. Tujuan dari *LIR* sendiri adalah untuk membandingkan tanah prakonsolidasi (Pc') dengan pada saat konsolidasi dan digunakan rasio sebagai bahan perbandingan. Pada percobaan ini tanah organik disubtitusikan dengan material bergradasi kasar (pasir) untuk diteliti dan dapat diketahui hubungan pola penurunannya terhadap beban *LIR (Load Increment Ratio).*

1. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Penentuan Tekanan Prakosolidasi P_c'

Telah disebutkan bahwa pengarauh gangguan contoh menyebabkan kurva pemampatan asli bergesr ke kiri. Pengaruh dari hal ini adalah *tekanan prakonsolidasi* akan bergeser ke kiri atau menjadi berkurang, yang diikuti oleh pengurangan angka pori (atau regangan bertambah) pada sembarang tegangan yang ditinjau. Konsekuensinya kemiringan kurva pada teganga lebih kecil P_c' atau (C_c) bertambah, dan kemiringan kurva pada tegangan lebih besar P_c' (atau C_c) bekurang. Ganguan contoh banyak terjadi pada jenis lempung sensitif.



Gambar 2.3. Faktor-faktor yang mempengaruhi penentuan nilai P_c '(Hary Cristady)

(a) Pengaruh gangguan contoh
(b) Pengaruh nilai banding penambahan beban (LIR) (Brumund, Jonasdan Ladd, 1976)
(c) Pengaruh Seang waktu penambahan beban (crawford 1964)

Pada gambar 2.3 yang diambil dari buku Hary Cristady Hardiyatmo menjelaskan tentang pengaruh dan penerapan beban terhadap konsolidasi. Pada pengujian konsolidasi sering digunakan istilah *LIR* (*Load Increment Ratio*), yaitu nulai banding tambahan beban yang diterapkan pada pengujiannya (contohnya prosedur

ASTM D 2435). *LIR* didefinisikan sebagai tambahan tegangan dibagi dengan tegangan awal sebelum beban diterapkan. Atau

$$LIR = \frac{\Delta_p}{P_a}$$

Dengan Δ_p adalah tambahan tegangan dan P_a adalah tegangan sebelumnya. Disini *LIR* = 1, bila tambahan beban yang diterapkan 2 kali beban sebelumnya.

Dari pengalaman menunjukkan bahwa pada lempung sensitif jika terjadi sedikit pengaruh perubahan tegangan atau pengaruh getaran dapat mengubah secara drastis struktur tanahnya. Untuk lempung sensitif ini, *LIR* = 1 mungki tidak dapat memberikan nilai P_c' secara tepat. Karena itu, *LIR* kurang dari 1 sering digunakan. Pangaruh variasi *LIR* dan ganguan contoh pada grafik pemampatan dapat dilihat pada gambar 2.3.a dan 2.3.b.

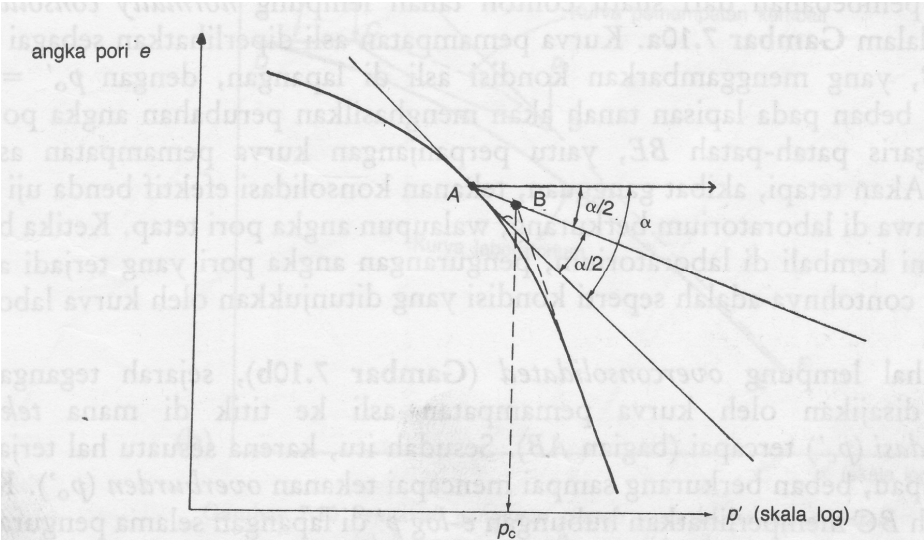
Faktor lain yang mempengaruhi nilai P_c' qadalah lamanya waktu penambahan beban. Crawford (1964) telah mengamati pengaruh penambahan waktu selang penambahan beban terhadapakurva pemampatan. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 2.3.c pengujian dilakukan dengan pemberian *LIR* tetap sama dengan 1, akan tetapi lamanya pemberian bebannya divariasikan. Dari gambar 2.3.c dapat dilihat bahwa jika lamanya pemberian beban ditambah, kurva pemampatan akan bergeser kekiri. Hal ini berarti bahwa suatu tegangan (*p*) yang diterapkan, ilai angka pori pada akhir peristiwa konsolidasi aka berkurang, bila selang waktu penambahan beban bertambah. Pada penambahan lama waktu pembebanannya, nilai P_c' berkurang, atau P_c' bertambah dengan pengurangan lama waktu pembebanannya.

1. Tekanan Prakonsoliasi (P_c') *(Preconsolidation Pressure)*

Terdapat bebrapa cara untuk menentukan nilai tekanan prakonsoliasi (P_c'). Cara yang paling banyak digunakan adalah cara Casagrande (1936), yaitu dengan menggunakan gambar grafik hubungan *e-log p* (**Gambar 2. 4)**.

Prosedur untuk menentukan besarnya *tekanan prakonsolidasi* (P_c') yang diberikan oleh Casagrande adalah sebagai berikut :

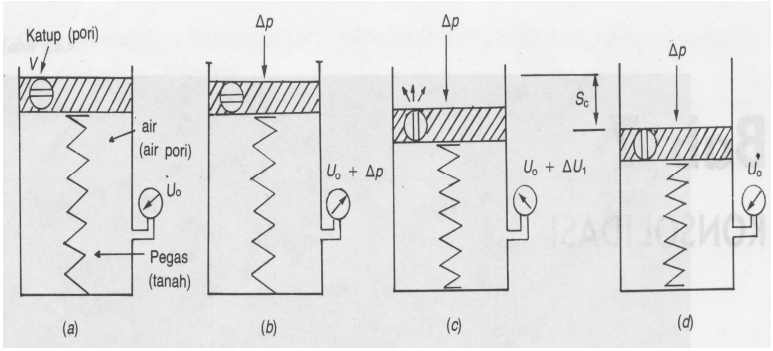
1. Pilihlah berdasar pandangan mata suatu titik yang berjari-jari minimum (atau kurva maksimum) pada kurva konsilidasi (titik a dalam **Gambar 2.4**)
2. Gambarkan garis horizontal melalui titik A (sejajar absis).
3. Gambarkan sebuah garis singgung pada kurva lewat titik A.
4. Bagi dua sudut yang dibuat oleh butir (2) dan (3).
5. Perpanjang bagian lurus dari kurva pamampatan aslinya sampai memotong garis bagi sudut butir (4). Titik potong dari dua garis ini adalah *tekanan prakonsilidasi* (P_c') yang dicari, yaitu titik B dari **Gambar 2.4**



Gambar.2. 4. Menentukjan P_c' cara Casagrande (1936)

2. Analogi Konsolidasi Satu Dimensi

Mekanisme konsolidasi satu dimensi (*one dimensional consolidation)* dapat digambarkan dengan cara analisis seperti yang disajikan pada Gambar 5. Silinder dengan piston yang berlubang dihubungkan dengan pegas, diisi air sampai memenuhi volume silider. Pegas dianggap terbebas daari tegangan-tegangan dan tidak ada gesekan antar dinding silinder dengan tepi pistonnya. Pegas melukiskan keadaan tanah yang mudah mampat, sedangkan air melukiskan air pori dan lubang pada piston kemampuan tanah dalam meloloskan air atau permeabilitas tanahnya. Gambar 2.5.a melukiskan kondisi dimana sistem dalam keseimbangan. Kondisi ini identik dengan lapisan tanh yang dalam keseimbangan dengan tekanan *overburden*. Alat pengukur tekanan yang dihubungakan dengan silider memperlihatkan tekanan hidrostatis sebesar u_o, pada lokasi tertentu didalam tanah.



Gambar 2.5. *Analogipiston dan pegas*

Bila tegangan sebesar Δ_p dikerjakan diatas piston dengan posisi katup V tertutup (Gambar 2.5.b**),** maka akibat tekanan ini piston tetap tidak akan bergerak. Hal ini disebabkan karena air tu\idak mudah mampat. Pada kondisi ini, tekanan pada

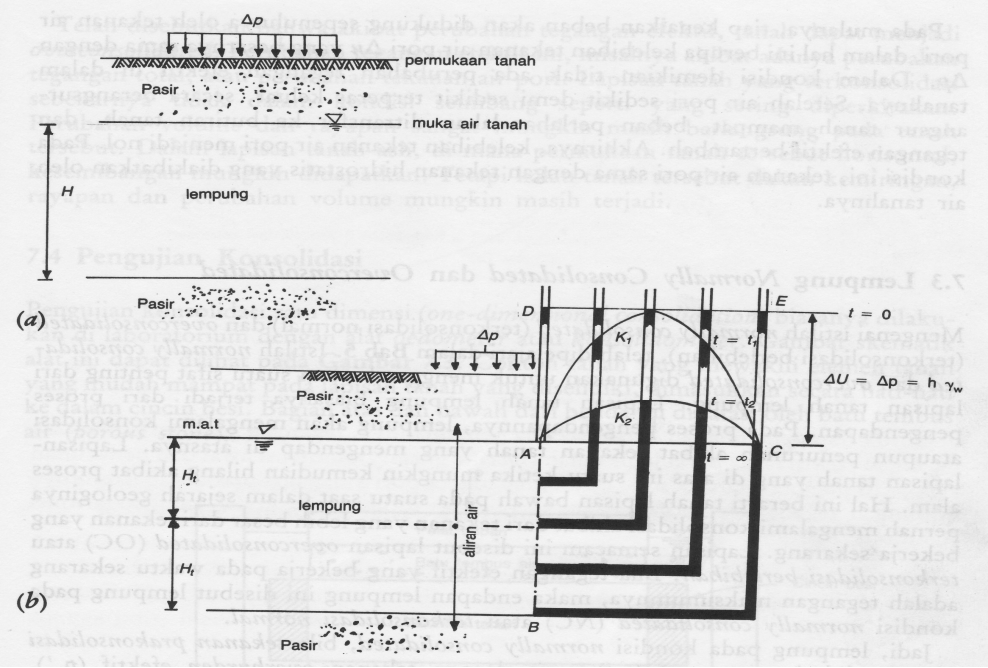
piston tidak dipindah ke pegas, tapi sepenuhnya didukung oleh air. Pengukur tekanan air dalam silinder menunjukkan kenaikan tekanan $\Delta_u = \Delta_p$, atau pembacaan tekanan sebesar $u_o + \Delta_p$. Kenaikan tekanan Δ_u disebut dengan kelebihan tekanan air pori (*excess pore water pressure*). Kondisi pada kedudukan katup V tertutup melukiskan kondisi tanpa drainasi (*undrained*) didalam tanah.

Jika kemudia katup V dibuka, air akan keluar lewat lubang dengan kecepatan yang dipengaruhi oleh luas lubangnya. Hal ini akan menyebabkan piston bergerak ke bawah, sehingga pegas secara berangsur-angsur mendukung beban akibat Δ_p (Gambar 2.5.a). Pada setiap kenaikan tekanan yang didukung oleh pegas, kelebihan tekanan air pori (Δ_u) didalam silinder berkurang. Akhirnya pada suatu saat, tekanan air pori nol dan seluruh tekanan didukung oleh pegasnya dan kemudian piston diam (Gambar 2.5.d). Kedudukan ini melukiskan kondisi dengan drainasi (*drained*).

Pada sembarang waktunya, tekanan yang terjadi pada pegas identik dengan kondisi tegangan efektif didalam tanah. Sedang tegangan air didalam silinder identik dengan tekanan air pori. Kenaikan tekanan Δ_p akibat beban yang diterapkan identik dengan tambahan tegangan normal yang bekerja. Gerakan piston menggambarkan perubahan volume tanah, dimana gerakan ini dipengaruhi oleh kompresibilitas (kemudahmampatan) pegasnya, yaitu ekivalen dengan kompresibilitas tanahnya.

Walaupun model piston dan pegas ini agak kasar, tetapi cukup menggambarkan apa yang terjadi bila tanah kohesif jenuh dibebani di laboratorium maupun dilapangan. Sebagai contoh nyatanya dapat dilihat pada Gambar 2.6.a, Disini

diperlihatkan suatu pondasi yang dibagun diatas tanah lampung yang diapit oleh lapisan tanah pasir dengan muka air tanah dibatas lapisan lempung sebelah atas. Segera sesudah pembebanan, lapisan tanah mengalami kenaikan tegangan sebesar Δ_p. Air pori didalam lapisan tanahnya ini dapat mengalir dengan baik ke lapisan pasirnya dan pengaliran air hanya ke atas dan ke bawah saja. Dianggap pula bahwa besarnya tambahan tegangan Δ_p sama disembarang kedalaman lapisan tanahnya.



Gambar 2.6. Reaksi tekanan air pori terhadap beban pondasi (Hary Christady)

a. Pondasi pada tanah jenuh

b. Diagram perubahan tekanan air pori dengan waktunya

3. Pengaruh Ganguan Benda Uji pada Grafik *e-log p*

Kondisi tanah yang mengalami pebebanan seperti yang ditunjukkan dalam grafik *e-log p* yang diperoleh dari laboratorium, tidak sama dengan kondisi pembebanan tanah asli pada lokasi dilapangan. Beda reaksi terhadap beban antara benda uji di

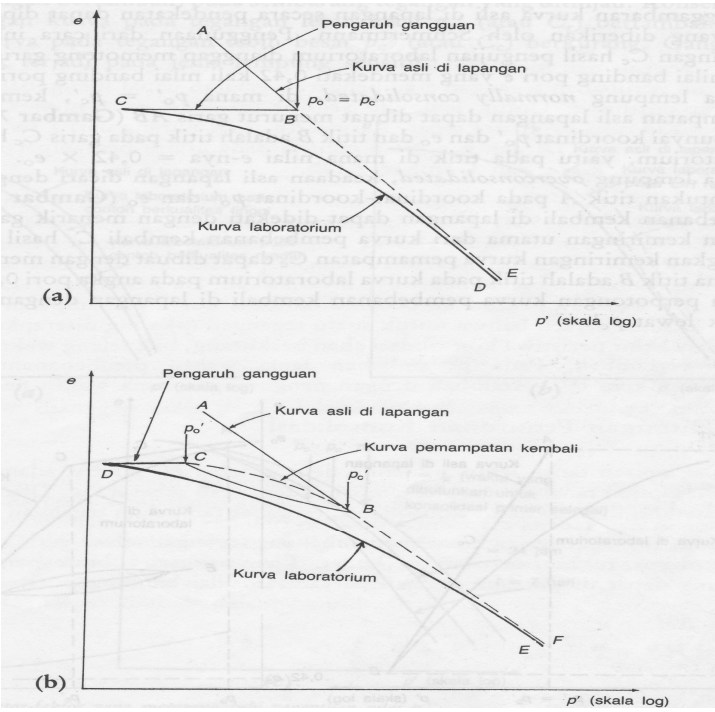
laboratorium dan dilapangan adalah karena adanya ganguan tanah benda uji (*soil disturbance*) selama persiapan pengujian oedometer. Karena dibutuhkan untuk mengetahui hubungan angka pori-tegangan efektif pada kondisi asli dilapangan, maka diperlukan koreksi terhadap hasil pengujian dilaboratorium.

Dilapangan, elemen tanah dipengaruhi oleh tegangan efektif-vertikal σ_z' dan tegangan efektif horizontal $\sigma_z' = K_o \sigma_z'$ (dengan K_o adalah koefisien tekanan lateral tanah diam). Umumnya K_o tidak sama dengan 1, yaitu kurang dari 1 untuk lempung *normally consolidated* atau sedikit *normally overconsolidated* (*slightly overconsolidated*) dan lebih dari 1 untuk lempung *terkonsolidated sangat berlebihan* (*heavily overconsolidated).* Ketika contoh tanah diambil dari dalam tanah dengan pengeboran tekanan keliling luar (*external confining pressure*) hilang. Kecendrungan tanah jenuh setelah terambil dari dalam tanah untuk mengembang karena hilangnya tekanan keliling, ditahan oleh berkembangnya tekanan air pori negatif akibat tegangan kapiler (*capillary tension*). Jika udara tidak keluar dari larutannya, volume contoh tidak akan berubah dan tegangan keliling efektif (σ_z') sama dengan besarnya tekanan air pori (- *u*). Dalam kondisi ini $\sigma_z' = \sigma_z'$ n= .

Jadi, nilai banding σ_z' / σ_z' berubah dengan perubahan yang tergantung pada nilai K_o. Regangan yang ditimbulkan menyebabkan kerusakan benda uji, atau benda uji menjadi terganggu. Pengaruh ini telah diselidiki oleh Skewmpton dan Sowa (1963), Ladd dan Lambe (1963), dan Ladd (1964). Pengaruh dari pengambilan contoh tanah, dan lain-lain pengaruh kerusakan benda uji diberikan dalam Gambar 5**.**Sejarah pembebanan dari suatu contoh tanah lempung *normally consolidated*

disajikan dalam Gambar 2.7.a. Kurva pemampatan asli diperlihatkan sebagai garis penuh *AB*, yang menggambarkan kondisi asli dilapangan, dengan $P_o' = P_c'$. Tambahan beban pada lapisan tanah akan menghasilkan perubahan angka pori (*e*) menurut garis patah-patah *BE*, yaitu perpanjangan kurva pemampatan asli dilapangan. Akan tetapi, akibaht gangguan tekanan konsolidasi efektif benda uji pada waktu dibawa dilaboratorium berkurang, walupun angka pori tetap. Ketika benda uji dibebani kembali dilaboratorium, pengurangan angka pori yang terjadi akibaht ganguan, contohnya adalah seperti kondisi yang ditunjukkan oleh kurva laboratorium CD.

Dalam hal lempung *overconsolidated* (Gambar 2.7.b), sejarah tegangan dilapangan disajikan oleh kurva pemampatan asli ke titik dimana *tekanan prakonsilidasi* (P_c') tercapai (bagian *AB*). Sesudah itiu, karena sesuatu hal terjadi di waktu lampau, beban berkurang sampai mencapai tekanan *overburden* (P_o'). Kurva garis penuh *BC* memperlihatkan hubungan *e-log P* ' dilapangan selama pengurangan bebannya. Penambahan beban dilapangan akan mengikuti kurva pemampatan kembali yang berupa garis patah-patah CB, yang bila beban bertambah hinga melampaui tekanan prakonsildasi, kurva akan terus kebawah mengikuti pelurusan dari kurva pemampatan asli dilapangan (bagian BF). Akibat gangguan contohnya, maka tekanan konsolidasi efektif tereduksi pada angka pori konstan, yang bila kemudian diadakan pengujian dilaboratorium kurvanya akan mengikuti garis penuh DE. Penambahan derajat ganguan benda uji, mengakibatkan kurva laboratorium akan cenderung bergeser lebih kekiri.



Gambar 2.7. Pengaruh ganguan contoh pada kurva pemampatan (Hary Christady)

(a) Lempung Normally Consolidated

(b) Lempung Overconsolidated

2. Analisis Perhitungan

a. Tegangan Tanah Sebelum Konsolidasi (Pa')

` Nilai tegangan tanah sebelum konsolidasi (Pa') yaitu besarnya tegangan tanah yang terjadi pada saat sebelum konsolidasi atau prakonsolidasi.

b. Tekanan Tanah Sebelum Konsolidasi (Pc')

Nilai tekanan tanah yang terjadi saat sebelum konsolidasi (prakonsolidasi) yaitu tekanan yang terjadi pada saat prakonsolidasi yang

mengakibatkan tekanan prakonsolidasi bergerak kekiri atau berkurang yang diikuti oleh pengurangan angka pori (mengakibatkan regangan tanah bertambah).

c. LIR *(Load Increment Ratio)*

LIR adalah istilah yang digunakan dalam uji konsolidasi , LIR yaitu rasio penambahan beban yang diterapkan pada saat pengujian . LIR didefinisikan sebagai tambahan tegangan dibagi dengan tegangan awal sebelum beban diterapkan, atau

LIR = $\frac{\Delta p}{Pa'}$

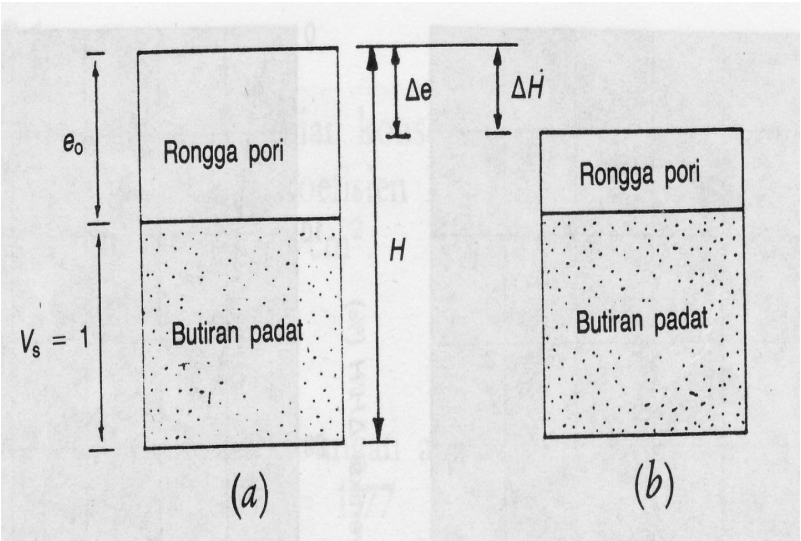
Δp = Tambahan tegangan pada saat konsolidasi

pa' = Tegangan sebelum konsolidasi

Bila LIR = 1, maka tambahan beban yang diterapkan adalah 2 kali beban sebelumnya.

d. Interpretasi Hasil Pengujian Konsolidasi

Pada konsoliodasi satu dimensi, perubahan tinggi (ΔH) persatuan dari awal (H) adalah sama dengan perubahan volume (ΔV) per satuan volume awal, atau $\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta V}{V}$ (1)



Gambar 2.8. Fase Konsolidasi (Hary Christady)

(a) Sebelum konsolidasi

(b) Sesudah konsolidasi

Bila volume padat $V_a = 1$ dan volume pori awal adalah e_o, maka kedudukan akhir dari proses konsolidasi dapat dilihat dalam Gambar 2.8**.** volume pdat besarnya tetap, angka pori berkurang karena adanya Δ_e. Dari Gambar 2.8**.** dapat diperoleh persamaan.

$$\Delta H = H \frac{\Delta e}{1 + e_o} \qquad (2)$$

e. Koefisien Pemampatan (*Coeficient of Compression)* (a_v) dan keofisien perubahan Volume (m_v) (*Coeficient of Volume Change*)

Koefisien pemampatan (a_v) adalah koefisien yang menyatakan kemiringan kurva e--p. Jika tanah dengan volume V_1 mamapat sehingga volumenya menjdai V_2, dan mampatnya tanah dianggap hanya sebagai akibata pengurangan rongga pori, maka perubahan volume hanya dalam arah vertikal dapat dinyatakan oleh :

$$\frac{V_1 - V_2}{V_1} = \frac{(1 + e_2) - (1 + e_2)}{1 + e_1} = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1}$$

Dengan :

e_1 = angka pori pada tegangan P_1'

e_2 = angka pori pada tegangan P_2'

V_1 = Volume pada tegangan P_1'

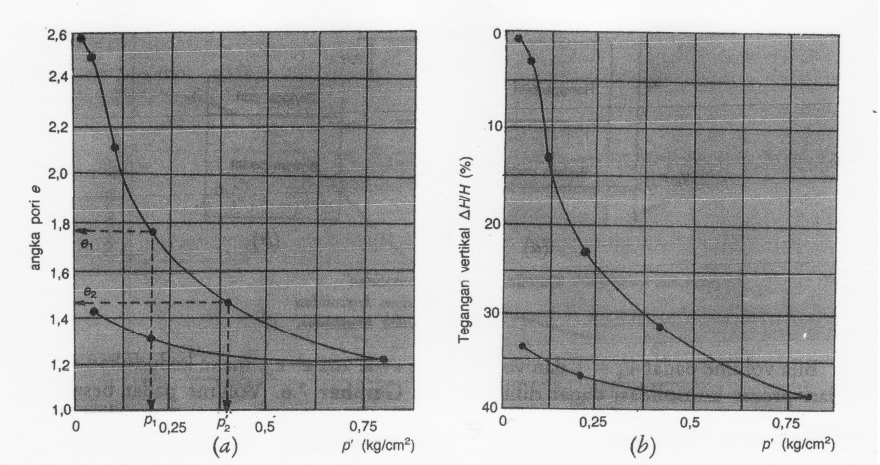
V_2 = Volume pada tegangan P_2'

Kemiringan kurva e – *p*' (a_v) didifinisikan sebagai :

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta p}$$

$$\frac{e_1 - e_2}{p_2' - p_1'}$$

Dimana kurva e – *p*' (a_v) berturut – turut adalah angka pori pada tegangan P_1' *dan* P_2'.



Gambar 2.9. Hasil pengujian konsolidasi

(a) Plot Angka pori vs. Tegangan efektif e – p'

(b) Plot regangan vs tegangan efektif ΔH/H – P'

Keofisien perubahan volume (M_v) didifenisikan sebagai perubahan volume persatuan penambahan tegangan efektif. Satuan dari m_V adalah kebalikan dari tegangan (cm^2/kg) . perubahan volume dapat dinyatakan dengan perubahan ketebalan ataupun angka pori. Jika terjadi penambahan tegangan efektif *p'* ke *p'*,

maka angka pori akan berkurang dari e_1 ke e_2 (Gambar 2.9.b) dengan perubahan ΔH.

Perubahan volume = $\frac{V_1 - V_2}{V_1} = \frac{H_1 - H_2}{H_1}$ (karena area contoh tetap)

$$= \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \qquad (4a)$$

Substitusi Persamaan (4a) ke Persaamaan (3) diperoleh

$$\text{Perubahan volume} = \frac{a_v - \Delta_p}{1 + e_1}$$

Karena m_v adalah perubahan volume/satuan penambahan tegangan, maka

$$M_V = \frac{a_v - \Delta_p}{1 + e_1} \frac{1}{\Delta_P}$$

$$= \frac{a_v - \Delta_p}{1 + e_1} \qquad (4b)$$

Nilai m_v untuk tanah tertentu tidak konstan, tetapi tergantung dari besarnya tegangan yang ditinjau.

f. Indeks Pemampatan (C_c) (Compressioon Index)

Indeks pemampatan**,** C_c adalah kemiringan dari bagian garis lurus grafik *e-log p'*. Untuk dua titik yang terletak pada bagian lurus dari grafik dalam Gambar 2.10**.** C_c dapat dinyatakan dalam persamaan :

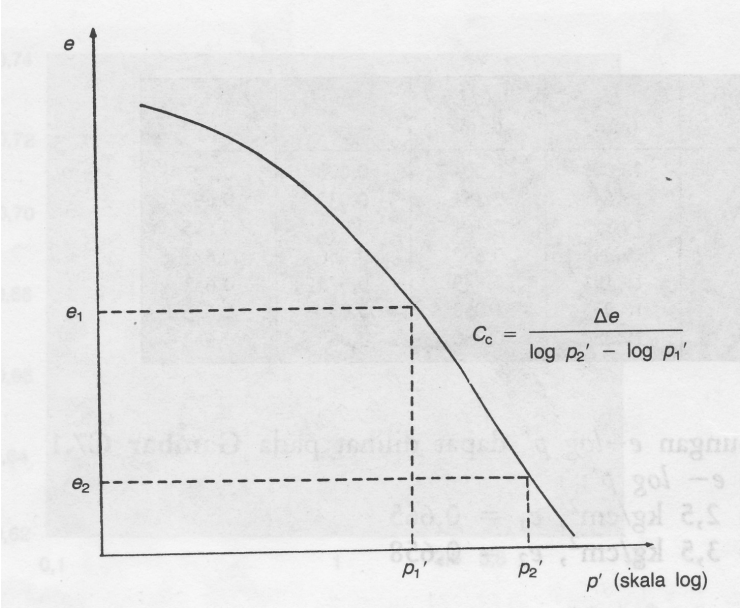
$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log p_2' - \log p_1'} = \frac{\Delta e}{\log p_2' / p_1'} \qquad (5)$$

Untuk tanah *noremally consolidated*, Terzaghi dan Peck (1967) memberikan hubungan angka kompresi C_c sebagaib berikut:

$$C_c = 0{,}009\ (LL - 10) \qquad (6)$$

Dengan LL adalah batas cair (*liquid limit*). Persamaan ini dapat dipergunakan untuk tanah lempung tak organik yang mempunyai sensitivitas rendah sampai sedang dengan kesalahan 30% (rumus ini seharusnya tak diggunakan untuk sensitivitas lebih besar dari Terzaghi dan Peck juga memberikan hubungan yang sama untuk tanah lempung

$$C_c = 0{,}009\ (LL - 10) \qquad (7)$$



Gambar 2.10. Indeks pamampatan C_c

Beberapa niulai C_c, yang didasrkan pada sifat-sifat tanah pada tempat-tempat tertentu yang diberikan oleh azzouz dkk, (1976) sebagai berikut :

$C_c = 0{,}01\ W_N$ (untuk lempung Chicago) (8)

$C_c = 0{,}0046\ (LL - 9)$ (untuk lempung Brasilia) (9)

$C_c = 0{,}208\ e_o + 0{,}0083$ (untuk lempung Chicago) (10)

$C_c = 0{,}0115\ W_N$ (untuk tanah organik, gambut) (11)

Dengan W_N adalah kadar air asli (%) dan e_o adalah angka pori.

g. Koefisien Konsolidasi (C_v) (Coefficient of Consolidation)

Kecepatan penurunan dapat dihitung dengan menggunakan koefisien konsolidasi C_v. Kecepatan penurunan perlu diperhitungkan bila penurunan konsolidasi yang terjadi pada suatu struktur diperkirakansangat besar. Bila penurunan sangat kecil, kecepatan penurunan tidak begitu penting diperhatikan, karena penurunan yang terjadi sejalan dengan waktunya akan tidak menghasilkan perbedaan yang begitu besar.

Derajat konsolidasi pada sembarang waktunya, dapat ditentukan dengan menggambarkan grafik penurunan vs. waktu untuk satu beban tertentu yang diterapkan pada alat konsolidometer. Caranya dengan mengukur penurunan total pada akhir fase konsolidasi. Kemudian dari data penurunan dan waktunya, sembarang waktu yang dihubungkan dengan derajat konsolidasi rata-rata tertentu (misalnya U = 50%) ditentukan. Hanya sayangnya, walaupun fase konsolidasi telah berakhir, yaitu ketika tekanan air pori telah nol, benda uji dalam konsolidometer masih terus mengalami penurunan akibat konsolidasi sekunder. Karena itu, tekanan air pori mungkin perlu diukur selama proses pembebanannya

atau suatu interpretasi data penurunan dan waktu harus dibuat untuk menentukan kapan konsolidasi telah selesai.

Jika sejumlah kecil udara terhisap masuk dalam air pori akibat penurunan tekanan pori dari lokasi aslinya di lapangan, kemungkinan terdapat juga penurunan yang berlangsung dengan cepat, yang bukan bagian dari proses konsolidasi. Karena itu, tinggi awal atau kondisi sebelum adanya penurunan saat permulaan proses konsolidasi juga harus diinterpretasikan.

h. Metode Kecocokan Log = Waktu (Log-Time Fitting method)

Prosedur untuk menentukan nilai koefisien konsolidasi C_v diberikan oleh Casagrande dan Fadum (1940). Cara ini sering disebut metode kecocokan log-waktu Casagrande (*Casagrande log-time fitting method*). Adapun prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Gambarkan grafik penurunan terhadap log waktu, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 12 untuk satu beban yang diterapkan
2. Kedudukan titik awal kurva ditentukan dengan pengertian bahwa kurva awal mendekati parabol. Tentukan dua titik yaitu pada saat t_1 (titik P) dan saat $4t_1$ (titik Q). Selisih ordinat (jarak vertical) keduanya diukur, misalnya x. Kedudukan $R = R_o$ digambar dengan mengukur jarak x kea rah vertical di atas titik P. Untuk pengontrolan, ulangi dengan pasangan titik yang lain.
3. Titik U = 100%, atau titik R_{100}, diperoleh dari titik potong dua bagian linier kurvanya, yaitu titik potong bagian garis lurus kurva konsolidasi primer dan sekunder.
4. Titik U = 50%, ditentukan dengan

$$R_{50} = (R_0 + R_{100})/2$$

Dari sini diperoleh waktu t_{50}. Nilai T_v sehubungan dengan U = 50% adalah 0,197. Selanjutnya koefisien konsolidasi C_v, diberikan oleh persamaan:

$$C_v = \frac{0{,}197 H_t^2}{t_{50}} \qquad (11)$$

Pada pengujian konsolidasi dengan drainasi atas dan bawah, nilai H_t diambil setengah dari tebal rata-rata benda uji pada beban tertentu. Jika temperature rata-rata dari tanah asli di lapangan diketahui, dan ternyata terdapat perbedaan dengan temperature rata-rata pada waktu pengujian, koreksi nilai C_v harus diberikan.

Terdapat beberapa hal di mana cara log-waktu Casagrande tidak dapat diterapkan. Jika konsolidasi sekunder begitu besar pada waktu fase konsolidasi primer selesai, mungkin tidak dapat terlihat dengan jelas dari patahnya grafik log waktu. Tipe kurvanya akan sangat tergantung pada nilai banding penambahan tekanan LIR (Leonard dan Altschaeffl, 1964). Jika R_{100} tidak dapat diidentifikasikan dari grafik waktu vs. penurunan, salah satu pengukuran tekanan air pori atau cara lain untuk menginterpretasikan C_v, harus diadakan.