

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **A. Konstruksi Sarang Laba - Laba**

Pondasi KSSL merupakan kombinasi konstruksi bangunan bawah konvensional yang merupakan perpaduan pondasi plat beton pipih menerus yang di bawahnya dikakukan oleh rib-rib tegak yang pipih tinggi dan sistem perbaikan tanah di antara rib-rib. Kombinasi ini menghasilkan kerja sama timbal balik yang saling menguntungkan sehingga membentuk sebuah pondasi yang memiliki kekakuan (rigidity) jauh lebih tinggi dibandingkan sistem pondasi dangkal lainnya.

Konstruksi Sarang Laba-Laba (KSSL) ditemukan pada tahun 1976 oleh Ir.Ryantori dan Ir. Sutjipto dari ITS dan telah dikembangkan bersama pakar Instut Teknologi Bandung pada tahun 1996. Kemudian paten perbaikannya tahun 2004 dengan Nomor Paten: ID 0018808 dipegang oleh PT. Katama Suryabumi sebagai pemegang paten dan pelaksana khusus Pondasi Konstruksi Sarang Laba-laba.

KSSL merupakan sistem pondasi dangkal yang lebih kaku dan hemat, bila dilihat dari segi materialnya. Kelebihan lain dari sistem ini merupakan daya tahan horizontal yang cukup bagus. Karena mempunyai kestabilan yang baik, dimana bila ada gerakan kearah horizontal sistem ini dapat ditahan oleh

tahanan samping, dimana tekanan samping dari sistem ini cukup besar. Konstruksi sarang laba - laba lebih dikenal dengan sebutan pondasi rakit (*raft foundation*).

Pondasi laba - laba ini memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan pondasi konvensional yang lain diantaranya yaitu memiliki kekuatan lebih baik dengan penggunaan bahan bangunan yang hemat dibandingkan dengan pondasi rakit (*full plate*) lainnya, mampu memperkecil penurunan bangunan karena dapat membagi rata kekuatan pada seluruh pondasi dan mampu membuat tanah menjadi bagian dari struktur pondasi, berpotensi digunakan sebagai pondasi untuk tanah lunak dengan mempertimbangkan penurunan yang mungkin terjadi dan tanah dengan sifat kembang susut yang tinggi, menggunakan lebih sedikit alat-alat berat dan bersifat padat karya, waktu pelaksanaan yang relatif cepat dan dapat dilaksanakan secara industri (pracetak), lebih ekonomis karena terdiri dari 80% tanah dan 20% beton bertulang dan yang paling penting adalah ramah lingkungan karena dalam pelaksanaan hanya menggunakan sedikit menggunakan kayu dan tidak menimbulkan kerusakan bangunan serta tidak menimbulkan kebisingan disekitarnya.



**Gambar 1. Pondasi Konstruksi Sarang Laba-laba (KSSL)**

Pada dasarnya pondasi laba - laba bertujuan untuk memperkaku sistem pondasi itu sendiri dengan cara berinteraksi dengan tanah pendukungnya. Seperti diketahui bahwa jika pondasi semakin fleksibel, maka distribusi tegangan/stress tanah yang timbul akan semakin tidak merata, terjadi konsentrasi tegangan pada daerah beban terpusat. Dan sebaliknya, jika pondasi semakin kaku/*rigid*, maka distribusi tegangan/stress tanah akan semakin merata. Hal ini mempengaruhi kekuatan pondasi dalam hal penurunan yang dialami pondasi.

Sesuai dengan definisinya, maka konstruksi laba - laba terdiri dari 2 bagian konstruksi, yaitu :

1. Konstruksi beton

1. Konstruksi beton pondasi KSSL berupa pelat pipih menerus yang dibawahnya dikakukan oleh rib - rib tegak yang pipih tetapi tinggi.
2. Ditinjau dari segi fungsinya, rib - rib tersebut ada 3 macam yaitu rib konstruksi, rib *settlement* dan rib pengaku.
3. Bentuknya bisa digambarkan sebagai kotak raksasa yang terbalik (menghadap kebawah).
4. Penempatan / susunan rib - rib tersebut sedemikian rupa, sehingga denah atas membentuk petak - petak segitiga dengan hubungan yang kaku (*rigid*).

2. Perbaikan tanah / pasir

- a. Rongga yang ada diantara rib - rib / di bawah pelat diisi dengan lapisan tanah / pasir yang memungkinkan untuk dipadatkan dengan sempurna.

- b. Untuk memperoleh hasil yang optimal, maka pemadatan dilaksanakan lapis demi lapis dengan tebal tiap lapis tidak lebih dari 20 cm, sedangkan pada umumnya 2 atau 3 lapis teratas harus melampaui batas 90% atau 95% kepadatan maksimum (*Standart Proctor*). Adanya perbaikan tanah yang dipadatkan dengan baik tersebut dapat membentuk lapisan tanah seperti lapisan batu karang sehingga bisa memperkecil dimensi pelat serta rib - ribnya. Sedangkan rib - rib serta pelat KSSL merupakan pelindung bagi perbaikan tanah yang sudah dipadatkan dengan baik.

## **B. Keistimewaan Sistem Konstruksi dan Bentuk Pondasi Sarang Laba - Laba**

Keistimewaan pondasi KSSL dapat dilihat dari aspek teknis, ekonomis dan dari segi pelaksanaan.

### **1. Aspek Teknis**

- a. Secara teknis, KSSL memiliki ketahanan terhadap beban gempa karena memiliki kekakuan yang tinggi (*high rigidity*), kokoh dan monolit. Disamping itu berdasarkan daya dukung struktur nya, KSSL memiliki kemampuan untuk menyebarkan beban ke permukaan lapisan tanah pendukung yang jauh lebih luas dan merata, sehingga mampu mengeliminir resiko terjadinya *irreguler differential settlement*.
- b. Pelat pipih menerus yang di bawahnya dikakukan oleh rib - rib tegak, pipih dan tinggi. Bentuk konstruksi seperti ini, dengan bahan

yang relatif sedikit akan diperoleh pelat yang memiliki kekakuan / tebal ekuivalen yang tinggi. Pada umumnya  $t_e = 2.5 - 3.5 t_b$ , dengan variasi tergantung desain. Bentuk ketebalan ekuivalen tersebut tidak berbentuk merata, melainkan bergelombang.

c. Penempatan pelat di sisi atas rib dan sistem perbaikan tanah.

Dengan susunan konstruksi seperti di atas, akan dihasilkan penyebaran beban seperti pada gambar tersebut, di mana untuk mendapatkan luasan pendukung pada tanah asli selebar  $b$  cukup dibutuhkan pelat efektif selebar  $a$ . Hal ini disebabkan karena proses penyebaran beban dimulai dari bawah pelat yang berada pada sisi atas lapisan perbaikan tanah.

d. Susunan rib - rib yang membentuk titik - titik pertemuan dan penempatan kolom / titik beban pada titik pertemuan rib - rib.

Dengan susunan rib seperti pada gambar, diperoleh ketebalan ekuivalen yang tidak merata. Pada titik pertemuan rib - rib diperoleh ketebalan maksimum, sedangkan makin jauh dari titik pertemuan rib - rib ketebalan ekuivalen makin berkurang. Dalam perencanaan pondasi KSSL sebagai pondasi bangunan gedung harus sedemikian rupa sehingga titik pertemuan rib - rib berhimpit dengan titik kerja beban / kolom - kolom tersebut. Hal ini menghasilkan grafik penyebaran beban yang identik bentuknya dengan grafik ketebalan ekuivalen, sehingga dimensi konstruksi yang dihasilkan (pelat dan rib) lebih ekonomis. Susunan rib yang membentuk petak - petak segitiga

dengan hubungan yang kaku menjadikan hubungan antar rib menjadi hubungan yang stabil terhadap pengaruh gerakan / gaya horisontal.

e. Rib - rib *settlement* yang cukup dalam.

Penempatan rib yang cukup dalam diatur sedemikian rupa sehingga membagi luasan konstruksi bangunan bawah dalam petak - petak segitiga yang masing - masing luasnya tidak lebih dari 200 m<sup>2</sup>. Adanya rib - rib *settlement* memberi keuntungan - keuntungan yaitu mereduksi total penurunan, mempertinggi kestabilan bangunan terhadap kemungkinan terjadinya kemiringan, mampu melindungi perbaikan tanah terhadap kemungkinan bekerjanya pengaruh-pengaruh negatif dari lingkungan sekitar, misalnya kembang susut tanah dan kemungkinan timbulnya degradasi akibat aliran tanah dan yang terakhir yaitu menambah kekakuan pondasi dalam tinjauannya secara makro.

f. Kolom mencengkeram pertemuan rib - rib sampai ke dasar rib.

Hal ini membuat hubungan konstruksi bagian atas (*upper structure*) dengan konstruksi bangunan bawah (*sub structure*) menjadi lebih kokoh. Sebagai gambaran, misal tinggi rib konstruksi 120 cm, maka hubungan antara kolom dengan pondasi KSSL juga akan setinggi 120 cm. Untuk perbandingan, pada pondasi tiang pancang, hubungan antara kolom dengan pondasi hanya setebal pondasinya (kisarannya antara 50 - 80 cm).

- g. Sistem perbaikan tanah setelah pengecoran rib - rib.

Pemadatan tanah baru dilakukan setelah rib - rib selesai dicor dan berumur sedikitnya 3 hari. Pemadatan sendiri harus dilaksanakan lapis demi lapis dan harus dijaga agar perbedaan tinggi antara petak yang sedang dipadatkan dengan petak petak yang bersebelahan tidak lebih dari 25 cm, sehingga mudah untuk mencapai kepadatan yang tinggi. Di samping hasil kepadatan yang tinggi pada lapisan tanah di dalam petak rib - rib, lapisan tanah asli di bawahnya akan ikut terpadatkan walaupun tidak mencapai kepadatan setinggi tanah yang berada dalam petak rib -rib. Hal itu pun sudah memberikan hasil yang cukup memuaskan bagi peningkatan kemampuan daya dukung dan bagi ketahanan kestabilan terhadap penurunan (*settlement*).

- h. Adanya kerja sama timbal balik saling menguntungkan antara konstruksi beton dan sistem perbaikan tanah.

Rib - rib beton, di samping sebagai pengaku pelat dan sloof, juga sebagai dinding penyekat dari sistem perbaikan tanah, sehingga perbaikan tanah dapat dipadatkan dengan tingkat kepadatan yang tinggi (mencapai 100 % kepadatan maksimum *Standar Proctor*), dan setelahnya rib - rib akan berfungsi sebagai pelindung bagi perbaikan tanah terhadap pengaruh dari banjir, penguapan dan degradasi. Perbaikan tanah akan memberi dampak lapisan tanah menjadi seperti lapisan batu karang sehingga dapat memperkecil dimensi ribnya.

## 2. Aspek Ekonomis

- a. Ramah lingkungan karena dalam pelaksanaan hanya menggunakan sedikit menggunakan kayu dan tidak menimbulkan kerusakan bangunan serta tidak menimbulkan kebisingan disekitarnya.
- b. Menggunakan lebih sedikit alat - alat berat dan bersifat padat karya, lebih ekonomis karena terdiri dari 80% tanah dan 20% beton bertulang.
- c. Berpotensi digunakan sebagai pondasi untuk tanah lunak dengan mempertimbangkan penurunan yang mungkin terjadi dan tanah dengan sifat kembang susut yang tinggi.
- d. Mampu memperkecil penurunan bangunan karena dapat membagi rata kekuatan pada seluruh pondasi dan mampu membuat tanah menjadi bagian dari struktur pondasi.
- e. pengerjaan pondasi yang memerlukan waktu yang singkat karena pelaksanaannya mudah dan padat karya serta sederhana dan tidak menuntut keahlian yang tinggi.
- f. KSSL memiliki kekuatan lebih baik dengan penggunaan bahan bangunan yang hemat dibandingkan dengan pondasi rakit (*full plate*) lainnya.
- g. KSSL memiliki kemampuan memperkecil *differential settlement* dan mengurangi *irregular differential settlement* apabila dibandingkan dengan pondasi rakit.



- h. KSSL mampu membuat tanah menjadi bagian dari struktur pondasi karena proses pematatannya akan meniadakan pengaruh lipat atau *lateral buckling* pada rib.
- i. KSSL berpotensi untuk digunakan sebagai pondasi untuk bangunan bertingkat rendah (2 lantai) yang dibangun di atas tanah lunak dengan mempertimbangkan total *settlement* yang mungkin terjadi.
- j. Pelaksanaannya tidak menggunakan alat - alat berat dan tidak mengganggu lingkungan sehingga cocok diterapkan baik di lokasi padat penduduk maupun di daerah terpencil.
- k. KSSL mampu menghemat penggunaan baja tulangan maupun beton.
- l. Waktu pelaksanaan yang diperlukan relatif lebih cepat.
- m. KSSL lebih ekonomis dibandingkan pondasi konvensional rakit atau tiang pancang, lebih - lebih dengan pondasi dalam, sehingga cocok digunakan oleh negara - negara sedang berkembang sebab murah, padat karya dan sederhana.

### **C. Tanah**

Tanah dapat didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral - mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang - ruang kosong diantara partikel - partikel padat tersebut (Das, 1995).

Tanah adalah kumpulan - kumpulan dari bagian - bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik)

rongga - rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef, 1994). Sedangkan menurut (Craig, 1991) tanah merupakan akumulasi partikel mineral atau ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan.

Tanah (*soil*) menurut teknik sipil dapat didefinisikan sebagai sisa atau produk yang dibawa dari pelapukan batuan dalam proses geologi yang dapat digali tanpa peledakan dan dapat ditembus dengan peralatan pengambilan contoh (*sampling*) pada saat pemboran (Hendarsin, 2000).

Menurut (Bowles, 1991), tanah adalah campuran partikel - partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

1. Berangkal (*boulders*), yaitu potongan batuan yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut sebagai kerakal (*cobbles*) atau *pebbles*.
2. Kerikil (*gravel*), yaitu partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*), yaitu batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm. Berkisar dari kasar (3 mm sampai 5 mm) sampai halus (< 1mm).
4. Lanau (*silt*), yaitu partikel batuan yang berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm.
5. Lempung (*clay*), yaitu partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel - partikel ini merupakan sumber utama dari kohesif pada tanah yang "kohesif".

6. Koloid (*colloids*), partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

#### **D. Klasifikasi Tanah**

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok - kelompok dan subkelompok - subkelompok 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).

Klasifikasi tanah berfungsi 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).

Sistem klasifikasi dimaksudkan untuk menentukan dan mengidentifikasi tanah dengan cara sistematis guna menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu dan juga berguna untuk menyampaikan informasi tentang karakteristik dan sifat - sifat fisik tanah serta mengelompokkannya berdasarkan suatu kondisi fisik tertentu dari tanah tersebut dari suatu daerah ke daerah lain dalam bentuk suatu data dasar.

Sistem klasifikasi tanah dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

- a. Klasifikasi berdasarkan tekstur dan ukuran

Sistem klasifikasi ini didasarkan pada keadaan permukaan tanah yang bersangkutan, sehingga dipengaruhi oleh ukuran butiran tanah dalam tanah. Klasifikasi ini sangat sederhana di dasarkan pada distribusi ukuran tanah saja. Pada klasifikasi ini tanah dibagi menjadi kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*) dan lempung (*clay*) (Das,1993).

b. Klasifikasi berdasarkan pemakaian

Pada sistem klasifikasi ini memperhitungkan sifat plastisitas tanah dan menunjukkan sifat - sifat tanah yang penting. Pada saat ini terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang sering dipakai dalam bidang teknik. Kedua sistem klasifikasi itu memperhitungkan distribusi ukuran butir dan batas - batas *Atterberg*.

Ada beberapa macam sistem klasifikasi tanah sebagai hasil pengembangan dari sistem klasifikasi yang sudah ada. Tetapi yang paling umum digunakan adalah:

**a. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified (Unified Soil Classification System / USCS)***

Sistem klasifikasi tanah *unified* atau *Unified Soil Classification System* (USCS) diajukan pertama kali oleh Prof. Arthur Cassagrande pada tahun 1942 untuk mengelompokkan tanah berdasarkan sifat teksturnya 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. Menurut sistem ini

tanah dikelompokkan dalam tiga kelompok yang masing - masing diuraikan lebih spesifik lagi dengan memberi simbol pada setiap jenis (Hendarsin, 2000), yaitu:

- 1) Tanah berbutir kasar, yaitu tanah yang mempunyai prosentase lolos ayakan No. 200  $< 50 \%$ .
- 2) Klasifikasi tanah berbutir kasar terutama tergantung pada analisa ukuran butiran dan distribusi ukuran partikel. Tanah berbutir kasar dapat berupa salah satu dari hal di bawah ini :
  - a) Kerikil (G) apabila lebih dari setengah fraksi kasar tertahan pada saringan No. 4
  - b) Pasir (S) apabila lebih dari setengah fraksi kasar berada diantara ukuran saringan No. 4 dan No. 200
- 3) Tanah berbutir halus, adalah tanah dengan persentase lolos ayakan No. 200  $> 50 \%$ .

Tanah berbutir ini dibagi menjadi lanau (M). Lempung Anorganik (C) dan Tanah Organik (O) tergantung bagaimana tanah itu terletak pada grafik plastisitas.

#### 4) Tanah Organik

Tanah ini tidak dibagi lagi tetapi diklasifikasikan dalam satu kelompok Pt. Biasanya jenis ini sangat mudah ditekan dan tidak mempunyai sifat sebagai bahan bangunan yang diinginkan. Tanah khusus dari kelompok ini adalah peat, humus, tanah lumpur dengan tekstur organik yang tinggi. Komponen umum dari tanah ini adalah partikel - partikel daun,

rumput, dahan atau bahan - bahan yang regas lainnya. Tabel 1 Sistem Klasifikasi Tanah *Unified*.

Jenis Tanah	Simbol	Sub Kelompok	Simbol
Kerikil	G	Gradasi Baik	W
		Gradasi Buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	WL<50%	L
Organik	O	WL>50%	H
Gambut	Pt		

Sumber : Bowles, 1989.

Dimana :

W = *Well Graded* (tanah dengan gradasi baik),

P = *Poorly Graded* (tanah dengan gradasi buruk),

L = *Low Plasticity* (plastisitas rendah, LL<50),

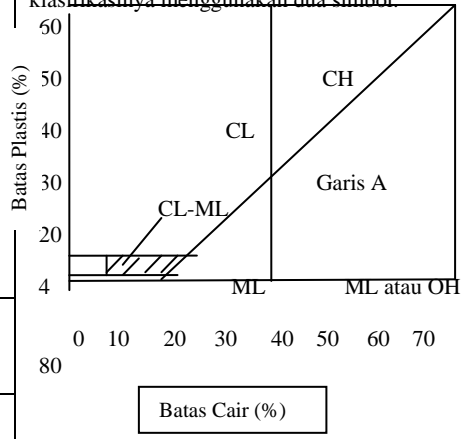
H = *High Plasticity* (plastisitas tinggi, LL> 50).

Faktor - faktor yang harus diperhatikan untuk mendapatkan klasifikasi yang benar adalah sebagai berikut :

- a. Persentase butiran yang lolos saringan No. 200.
- b. Persentase fraksi kasar yang lolos saringan No. 40.
- c. Batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI).

Tabel 2. Sistem Klasifikasi Tanah USCS

Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil $50\% \geq$ 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 double	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ 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 double simbol	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI > 7$		
		Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW		Pasir bergradasi-baik , pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ 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 double 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 $\leq 50\%$	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" ( <i>lean clays</i> )		
		OL		Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah				
		Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis				
CH			Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" ( <i>fat clays</i> )					
OH			Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi					
Tanah-tanah kandungan organik sangat tinggi	dengan organik	PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488				



Sumber : Hary Christady, 1996.

## **b. Sistem klasifikasi AASHTO**

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*).

Dalam sistem ini tanah dikelompokkan menjadi tujuh kelompok besar yaitu A1 sampai dengan A7. Tanah yang termasuk dalam golongan A-1 , A-2, dan A-3 masuk kedalam tanah berbutir dimana 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah yang lolos ayakan No.200, sedangkan tanah yang masuk dalam golongan A-4, A-5, A-6 dan A-7 adalah tanah lanau atau lempung. A-8 adalah kelompok tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan raya, maka revisi terakhir oleh AASHTO diabaikan (Sukirman, 1992). Percobaan yang dibutuhkan untuk mendapatkan data yang diperlukan adalah analisis saringan, batas cair, dan batas plastis.



Tabel 3. Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASTHO

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi kelompok	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						

Sumber: Das (1995).

Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria di bawah ini :

1) 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 0,075 mm (No. 200).

Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 0,075 (No. 200).

2) Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis, indeks plastisnya 11 atau lebih.

3) Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) di temukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, persentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Data yang akan didapat dari percobaan laboratorium telah ditabulasikan pada Tabel 3. Kelompok tanah yang paling kiri kualitasnya paling baik, makin ke kanan semakin berkurang kualitasnya.

## **E. Tanah Lempung**

### **1. Definisi Tanah Lempung**

Tanah lempung terdiri dari berbagai golongan tekstur yang agak susah dicirikan secara umum. Sifat fisika tanah lempung umumnya terletak diantara sifat tanah pasir dan liat. Pengolahan tanah tidak terlampau berat, sifat merembeskan airnya sedang dan tidak terlalu melekat.

Tanah lempung merupakan partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi didalam tanah yang kohesif (Bowles, 1991).

Tanah lempung merupakan tanah yang berukuran mikroskopis sampai dengan sub mikroskopis yang berasal dari pelapukan unsur - unsur kimiawi penyusun batuan, tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada kadar air lebih tinggi lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak (Das, 1995).

### **2. Karakteristik Fisik Tanah Lempung Lunak**

Tanah lempung lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang sebagian terbesar terdiri dari butir-butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Pada lapisan tanah lempung lunak, semakin muda umur akumulasinya, semakin tinggi letak muka airnya. Lapisan muda ini juga kurang mengalami pembebanan sehingga sifat mekanisnya buruk dan tidak mampu memikul beban.

Sifat lapisan tanah lempung lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampuan yang besar, dan koefisien permeabilitas yang kecil. Jadi, bilamana pembebanan konstruksi melampaui daya dukung kritisnya maka dalam jangka waktu yang lama besarnya penurunan akan meningkat yang akhirnya akan mengakibatkan berbagai kesulitan.

Tanah lempung lunak mempunyai sifat - sifat sebagai berikut:

1. Kuat geser rendah
2. Kuat gesernya berkurang bila kadar air bertambah dan struktur tanahnya terganggu
3. Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat
4. Kompresibilitasnya besar
5. Menyusut bila kering dan mengembang bila basah
6. Merupakan material kedap air
7. Volume tanah berubah seiring bertambahnya waktu akibat rangkakan pada beban yang konstan

Tabel 4. Sifat - Sifat Umum Lempung Lunak (Toha, 1989)

Parameter	Nilai
Batas cair	80 – 110 %
Batas plastis	30 – 45 %
Lolos saringan no. 200	>90 %
Kuat geser	20 - 40 kN/m <sup>2</sup>

### 3. Jenis Mineral Lempung

#### a. *Kaolinite*

*Kaolinite* merupakan anggota kelompok *kaolinite serpentin*, yaitu *hidrus alumino silikat* dengan rumus kimia  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ . Kekokohan sifat struktur dari partikel *kaolinite* menyebabkan sifat - sifat plastisitas dan daya pengembangan atau menyusut *kaolinite* menjadi rendah.

#### b. *Illite*

*Illite* adalah mineral bermika yang sering dikenal sebagai mika tanah dan merupakan mika yang berukuran lempung. Istilah *illite* dipakai untuk tanah berbutir halus, sedangkan tanah berbutir kasar disebut mika hidrus.

Rumus kimia *illite* adalah  $\text{K}_y\text{Al}_2(\text{Fe}_2\text{Mg}_2\text{Mg}_3)(\text{Si}_{4y}\text{Al}_y)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ .

#### c. *Montmorilonite*

Mineral ini memiliki potensi plastisitas dan mengembang atau menyusut yang tinggi sehingga bersifat plastis pada keadaan basah dan keras pada keadaan kering. Rumus kimia *montmorilonite* adalah  $\text{Al}_2\text{Mg}(\text{SiO}_{10})(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ .

### 4. Sifat Tanah Lempung

Tanah lempung lunak mempunyai karakteristik yang khusus diantaranya daya dukung yang rendah, kemampatan yang tinggi, indeks plastisitas yang tinggi, kadar air yang relatif tinggi, dan mempunyai gaya geser yang

kecil. Kondisi tanah seperti itu akan menimbulkan masalah jika dibangun konstruksi di atasnya.

Sifat - sifat yang dimiliki tanah lempung adalah sebagai berikut (Hardiyatmo, 1999) :

- a. Ukuran butir halus, kurang dari 0,002 mm.
- b. Permeabilitas rendah.
- c. Kenaikan air kapiler tinggi.
- d. Bersifat sangat kohesif.
- e. Kadar kembang susut yang tinggi.
- f. Proses konsolidasi lambat.

Tanah butiran halus khususnya tanah lempung akan banyak dipengaruhi oleh air. Sifat pengembangan tanah lempung yang dipadatkan akan lebih besar pada lempung yang dipadatkan pada kering optimum dari pada yang dipadatkan pada basah optimum. Lempung yang dipadatkan pada kering optimum relatif kekurangan air oleh karena itu lempung ini mempunyai kecenderungan yang lebih besar untuk meresap air sebagai hasilnya adalah sifat mudah mengembang (Hardiyatmo, 2001).

Sifat yang khas dari tanah lempung adalah dalam keadaan kering, tanah akan bersifat keras, jika tanah dalam keadaan basah akan bersifat lunak plastis dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar karena pengaruh air.

Tabel 5. Sifat Tanah Lempung (Hary Christady, 2002)

Tipe Tanah	Sifat	Uji Lapangan
Lempung	Sangat Lunak	Meleleh diantara jari ketika diperas
	Lunak	Dapat diperas dengan mudah
	Keras	Dapat diperas dengan tekanan jari yang kuat
	Kaku	Tidak dapat diremas dengan jari, tapi dapat digencet dengan ibu jari
	Sangat Kaku	Dapat digencet dengan kuku ibu jari

Tabel 6. Nilai Angka Pori, Kadar Air dan Berat Volume Kering pada Tanah Lempung (Mitchell, 1976).

Tipe Tanah	Angka Pori	Kadar Air dalam Keadaan Jenuh	Berat Volume Kering (kN/m <sup>3</sup> )
Lempung kaku	0,6	21	17
Lempung Lunak	0,9 – 1,4	30 – 50	11,5 – 14,5
Lempung organik lembek	2,5 – 3,2	30 – 120	6 – 8

Faktor-faktor yang mempengaruhi plastisitas dan CBR tanah lempung (*clay*) adalah sebagai berikut :

1. Faktor lingkungan

Tanah dengan plastisitas tinggi dalam keadaan kadar air rendah atau hisapan yang tinggi akan menarik air lebih kuat dibanding dengan tanah yang sama dengan kadar air yang lebih tinggi. Perubahan kadar air pada zona aktif dekat permukaan tanah, akan menentukan besarnya plastisitas. Pada zona ini terjadi perubahan kadar air dan volume yang lebih besar. Variasi peresapan dan penguapan

mempengaruhi perubahan kedalaman zona aktif. Keberadaan fasilitas seperti drainase, irigasi, dan kolam akan memungkinkan tanah memiliki akses terhadap sumber air. Keberadaan air pada fasilitas tersebut akan mempengaruhi perubahan kadar air tanah. Selain itu vegetasi seperti pohon, semak, dan rumput menghisap air tanah dan menyebabkan terjadinya perbedaan kadar air pada daerah dengan vegetasi berbeda.

## 2. Karakteristik material

Plastisitas yang tinggi terjadi akibat adanya perubahan sistem tanah dengan air yang mengakibatkan terganggunya keseimbangan gaya - gaya di dalam struktur tanah. Gaya tarik yang bekerja pada partikel yang berdekatan yang terdiri dari gaya elektrostatis yang bergantung pada komposisi mineral, serta gaya Van der Waals yang bergantung pada jarak antar permukaan partikel. Partikel lempung pada umumnya berbentuk pelat pipih dengan permukaan bermuatan listrik negatif dan ujung-ujungnya bermuatan positif. Muatan negatif ini diseimbangkan oleh kation air tanah yang terikat pada permukaan pelat oleh suatu gaya listrik. Sistem gaya internal kimia - listrik ini harus dalam keadaan seimbang antara gaya luar dan hisapan matrik. Apabila susunan kimia air tanah berubah sebagai akibat adanya perubahan komposisi maupun keluar masuknya air tanah, keseimbangan gaya - gaya dan jarak antar partikel akan membentuk keseimbangan baru. Perubahan jarak antar partikel ini disebut sebagai proses kembang susut.



### 3. Kondisi tegangan

Tanah yang terkonsolidasi berlebih bersifat lebih ekspansif dibandingkan tanah yang terkonsolidasi normal, untuk angka pori yang sama. Proses pengeringan dan pembasahan yang berulang cenderung mengurangi potensi pengembangan sampai suatu keadaan yang stabil. Besarnya pembebanan akan menyeimbangkan gaya antar partikel sehingga akan mengurangi besarnya pengembangan. Ketebalan dan lokasi kedalaman lapisan tanah ekspansif mempengaruhi besarnya potensi kembang susut dan yang paling besar terjadi apabila tanah ekspansif yang terdapat pada permukaan sampai dengan kedalaman zona aktif.

## F. Klasifikasi Pondasi

Pondasi dapat didefinisikan sebagai suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke tanah dasar pondasi yang cukup kuat menahannya tanpa terjadinya keruntuhan geser tanah dan *differential settlement* pada sistem strukturnya.

Berdasarkan kedalaman tertanam di dalam tanah, maka pondasi dibedakan menjadi pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*) (Das, 1995).

### 1. Pondasi Dangkal (Shallow Foundation)

Pondasi dangkal digunakan apabila kedalaman tanah baik tidak begitu dalam antara 0.6 sampai 2.0 meter), serta kapasitas dukung tanah relatif

baik ( $> 2.0 \text{ kg/cm}^2$ ). Faktor inilah yang menjadikan pondasi dangkal sebagai pondasi termurah. Pada umumnya pondasi dangkal adalah berupa pondasi telapak / footing yaitu pondasi yang mendukung bangunan secara langsung pada tanah pondasi, bilamana terdapat lapisan tanah yang cukup tebal dan berkualitas baik yang mampu mendukung suatu bangunan pada permukaan tanah.

## **2. Pondasi Pelat / Rakit ( Raft/Mat Foundation)**

Merupakan pondasi gabungan yang sekurang-kurangnya memikul tiga kolom yang tidak terletak pada satu garis lurus. Jadi seluruh bangunan menggunakan satu telapak bersama. Jika jumlah luas seluruh telapak melebihi setengah luas bangunan, lebih ekonomis menggunakan pondasi rakit. Selain itu penggunaan pondasi rakit bertujuan mengatasi tanah dasar yang tidak homogen, sehingga tidak terjadi perbedaan penurunan yang cukup besar.

Secara struktur pondasi rakit merupakan pelat beton bertulang yang mampu menahan momen, gaya lintang dan gaya pons yang terjadi pada pelat beton, tetapi masih aman dan ekonomis.

## **3. Pondasi Dalam (Deep Foundation)**

Menurut Dr.Ir.L.D.Wesley dalam bukunya Mekanika Tanah 1, pondasi dalam seringkali diidentikkan sebagai pondasi tiang yaitu suatu struktur pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang

monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat dibawah konstruksi dengan tumpuan pondasi.

### G. Daya Dukung Tanah

Daya dukung adalah adalah gaya maksimum yang dapat dipikul / ditahan tanpa menyebabkan keruntuhan geser dan penurunan / settlement yang berlebihan untuk melawan gaya geser. Kombinasi dari kekuatan gesekan tanah terhadap pondasi (tergantung pada jenis tanah, massa jenisnya, nilai kohesi adhesinya, kedalamannya, dsb), kekuatan tanah dimana ujung pondasi itu berdiri, dan juga pada bahan pondasi itu sendiri.

Kapasitas daya dukung tanah dasar dipengaruhi oleh parameter  $\phi$ ,  $c$  dan  $\gamma$  serta bentuk alas pondasi. Terdapat berbagai metode untuk menghitung kapasitas dukung tanah dasar dan metode yang sering digunakan dalam mekanika tanah adalah analisis Terzaghi yang kemudian disempurnakan oleh *Schultse*. Persamaan daya dukung batas yang disarankan oleh *Terzaghi* adalah sebagai berikut :

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot S_c \cdot i_c \cdot d_c + \gamma \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot d_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma$$

Dimana:

- $D$  = Kedalaman rib settlement KSSL
- Diameter pondasi
- Tebal pelat pondasi
- Kedalaman penanaman pondasi

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya daya dukung ialah :

1. Kedalaman pondasi
2. Lebar / alas pondasi
3. Berat satuan tanah (bila tanah terendam  $\gamma$  berkurang, maka daya dukung berkurang)
4. Apabila sudut geser dalam ( $\phi$ ), kohesi (c) dan kedalaman (Df) makin besar, maka makin tinggi daya dukungnya.

#### H. Penurunan / *Settlement*

Penurunan pondasi akibat beban yang bekerja pada pondasi dapat diklasifikasikan dalam dua jenis penurunan, yaitu :

##### a) Penurunan Seketika / *Immediately Settlement*

Penurunan seketika adalah penurunan yang langsung terjadi begitu pembebanan bekerja atau dilaksanakan, biasanya terjadi berkisar antara 0 – 7 hari dan terjadi pada tanah lanau, pasir dan tanah liat yang mempunyai derajat kejenuhan ( $S_r$  %) < 90%.

Dalam perhitungan penurunan seketika / *Immediately Settlement* diperlukan factor pengaruh angka *poisson ratio* ( $\mu$ ), dan sifat elastisitas tanah ( $E_s$ ).

Rumus yang digunakan untuk mencari penurunan segera :

$$S_i = \frac{2qn.R}{E} (1 - \mu^2)$$

Dimana:  $S_i$  = Penurunan Segera

$R$  = Jari-jari Lingkaran

$E$  = Modulus Elastisitas Tanah

Tabel 7. Angka *Poisson Ratio* ( $\mu$ ) Menurut Jenis Tanah

Jenis Tanah	$\mu$
Lempung Jenuh (Clay saturated)	0.4 – 0.5
Lempung Tak Jenuh (Clay unsaturated)	0.1 – 0.3
Lempung berpasir (Sandy clay)	0.2 – 0.3
Lempung Lanau (Silt)	0.3 – 0.35
Pasir Padat (Sand dense)	0.2 – 0.4
Pasir Kasar (Coarse)	0.15

Sumber : *Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma, hal 50*

Tabel 8. Nilai Sifat Elastisitas Tanah ( $E_s$ ) Menurut Jenis Tanah

(Soil)	$E_s$	
	ksf	mpa
Clay : Very soft	50 – 250	2 – 15
Soft	100 – 500	5 – 25
Medium	300 – 1000	15 – 50
Hard	1000 – 2000	50 – 100
Sandy	500 – 5000	25 – 250
Sand : Silty	150 – 450	7 – 21
Loose	200 – 500	144 – 720
Dense	1000 – 1700	48 – 81

Sumber : *Rekayasa Fundasi II, Penerbit Gunadarma, hal 50*

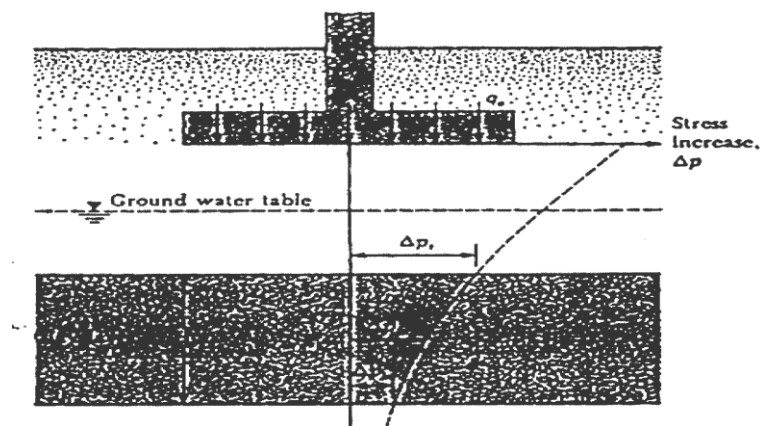
### b) Penurunan Konsolidasi / *Consolidation Settlement*

Yaitu penurunan yang diakibatkan keluarnya air dalam pori tanah akibat beban yang bekerja pada pondasi, besarnya ditentukan oleh waktu pembebanan dan terjadi pada tanah jenuh ( $S_r = 100\%$ ), mendekati jenuh ( $S_r = 90\% - 100\%$ ) atau pada tanah berbutir halus ( $K = 10^{-6} \text{ m/s}$ ).

Terzaghi (1925) memperkenalkan teori konsolidasi satu arah (*one way*) untuk tanah lempung jenuh air. Teori ini menyajikan cara penentuan distribusi kelebihan tekanan hidrostatik dalam lapisan yang sedang mengalami konsolidasi pada sembarang waktu setelah bekerjanya beban. Beberapa asumsi dasar dalam analisis konsolidasi satu arah antara lain :

1. tanah bersifat homogen
2. derajat kejenuhan tanah 100 % (jenuh sempurna)
3. partikel / butiran tanah dan air bersifat inkompresibel (tak termampatkan)
4. arah pemampatan dan aliran air pori terjadi hanya dalam arah vertical

Ketebalan lapisan tanah yang diperhitungkan adalah setebal lapisan tanah lempung jenuh air yang ditinjau.



Gambar 2. Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*)  
 Sumber : *Rekayasa Fundasi II*, Penerbit Gunadarma, hal 49

Penurunan konsolidasi yang terjadi dibagi dua, yaitu :

### 1) Penurunan Konsolidasi Primer

Penurunan yang terjadi ketika gradien tekanan pori berlebihan akibat perubahan tegangan didalam stratum yang ditinjau. Pada akhir konsolidasi primer kelebihan tekanan pori mendekati nol dan perubahan tegangan telah beralih dari keadaan total ke keadaan efektif. Penurunan tambahan ini disebut penurunan sekunder yang terus berlanjut untuk suatu waktu tertentu, Penurunan konsolidasi primer dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu :

#### 1. Tanah Normal Konsolidasi

Apabila lengkungan bertambah secara tajam (patah) mendekati tekanan tanah efektif akibat beban yang berada di atasnya ( $P_o$ ), maka dapat dianggap bahwa tanah tersebut terkonsolidasi normal. Artinya struktur tanah terbentuk akibat akumulasi tekanan pada saat deposit yang ada bertambah dalam.

$$S = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o}$$

S = Penurunan / *settlement* ( cm )

Cc = Indeks kompresi tanah

H = Tebal lapisan tanah

eo = Angka pori

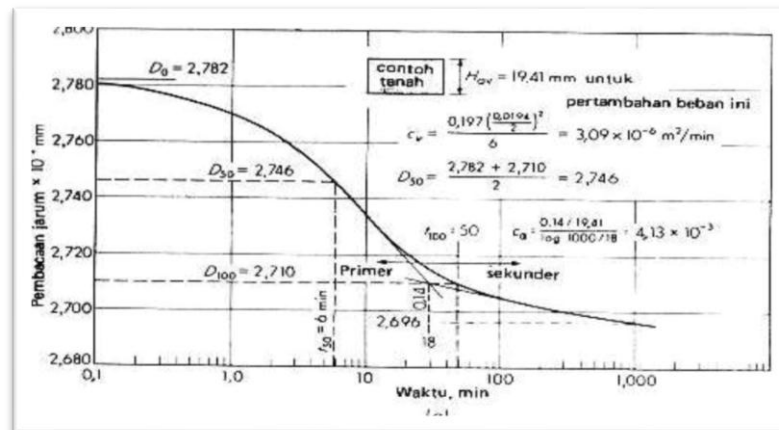
po = Tekanan efektif ( ton/m<sup>2</sup> )

Δp = Perubahan tekanan ( ton/m<sup>2</sup> )

Tv = Faktor waktu

## 2. Tanah over konsolidasi

Sedangkan apabila patahan yang terjadi pada tekanan yang lebih besar dari  $P_0$ , maka dapat dianggap tanah tersebut mengalami over konsolidasi. Tanah over konsolidasi adalah tanah yang pernah menderita beban tekanan efektif yang lebih besar daripada tegangan yang sekarang.



Gambar 3. Grafik penyajian penurunan konsolidasi primer dan konsolidasi sekunder

Sumber : *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah) Edisi kedua, Joseph E. Bowles*

## 2. Penurunan konsolidasi sekunder

Penurunan sekunder didefinisikan sebagai tekanan yang terjadi pada saat terdapatnya tekanan pori yang berlebih pada lapisan yang ditinjau (atau pada contoh di laboratorium). Pada tanah yang jenuh tidak akan mungkin terdapat pengurangan angka pori tanpa terbentuknya sejumlah tekanan pori yang berlebih. Tingkat penurunannya sangat rendah sehingga tekanan pori yang berlebih tidak dapat diukur. Tekanan sekunder merupakan penyesuaian kerangka tanah yang berlangsung beberapa saat sesudah tekanan pori yang berlebih menghilang.



## I. Model *Soft Soil* (Plaxis)

Untuk menekankan pentingnya model *Soft Soil*, perlu diketahui bahwa mulai Versi 7 telah ada beberapa perubahan strategi pemodelan tanah dalam PLAXIS. Hingga Versi 6, model material dalam PLAXIS telah terdiri dari model Mohr-Coulomb, model *Soft Soil* dan model *Hard Soil*. Namun dalam versi 7, ide penggunaan model yang terpisah untuk tanah lunak dan tanah keras ditinggalkan. Sebagai gantinya, model *Hard Soil* telah dikembangkan lebih jauh hingga menjadi model *Hardening Soil*. Pada saat yang sama model *Soft Soil Creep* juga dikembangkan untuk memodelkan beberapa sifat utama dari tanah lunak. Hasilnya, model *Soft Soil* dapat digantikan oleh model *Hardening Soil* yang baru atau model *Soft Soil Creep*. Walaupun demikian agar pengguna tetap dapat menggunakan model yang telah dikenal dengan baik, maka diputuskan bahwa model *Soft Soil* tetap ada dalam Plaxis Versi 8. Beberapa sifat model *Soft Soil* adalah :

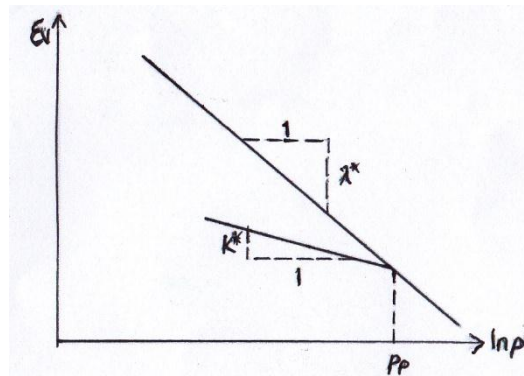
- Kekakuan bergantung pada tegangan
- Perbedaan antara pembebanan primer dan pengurangan pembebanan kembali
- Tekanan prakonsolidasi
- Perilaku keruntuhan mengikuti kriteria Mohr-Coulomb

### 1. Kondisi Isotropis Tegangan dan Regangan

Dalam model *Soft Soil*, diasumsikan bahwa hubungan antara regangan volumetrik ( $\epsilon_v$ ) dan tegangan efektif rata - rata ( $p'$ ) berupa hubungan logaritmik yang dapat diformulasikan.

Agar persamaan diatas tetap berlaku, nilai  $p'$  minimum diatur sebesar satu dimensi tegangan. Parameter  $\lambda^*$  adalah indeks kompresi termodifikasi, yang menentukan kompresibilitas material dalam pembebanan primer. Perhatikan bahwa  $\lambda^*$  berbeda dari indeks  $\lambda$  yang digunakan oleh Burland (1965).

Perbedaannya adalah bahwa persamaan diatas merupakan fungsi dari regangan volumetrik dan bukan angka pori. Penggambaran persamaan diatas akan menghasilkan sebuah garis lurus seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.



**Gambar 4. Hubungan Logaritmik Antara Regangan Volumetrik dan Tegangan Rata – Rata**

Pengurangan dan pembebanan kembali secara isotropis akan menghasilkan lintasan tegangan yang berbeda. Parameter  $k^*$  adalah indeks muai termodifikasi, yang menentukan kompresibilitas material saat pengurangan beban dan pembebanan kembali. Perhatikan bahwa  $k^*$  berbeda dengan indeks  $k$  yang digunakan oleh Burland. Walaupun demikian, rasio  $\frac{\lambda^*}{k^*}$  adalah sama dengan rasio  $\frac{\lambda}{k}$ . Respon tanah selama pengurangan dan pembebanan kembali diasumsikan bersifat elastis dan dinotasikan dengan

notasi atas (superscript) Perilaku elastis dideskripsikan oleh hukum Hooke diatas menyatakan ketergantungan tegangan secara linier pada modulus bulk tangensial.

Modulus elastisitas bulk dan modulus elastisitas young tidak digunakan sebagai parameter masukan, melainkan  $\nu_{ur}$  dan  $k^*$  yang digunakan sebagai konstanta masukan untuk bagian dari model yang menghitung regangan elastis. Kurva pengurangan / pembebanan kembali dalam jumlah yang tak terbatas dapat dibentuk dalam Gambar 4, dimana tiap kurva menyatakan nilai tekanan prakonsolidasi isotropis  $P_p$  tertentu, yaitu tegangan tertinggi yang pernah dialami oleh tanah. Selama pengurangan / pembebanan kembali, tekanan prakonsolidasi ini tidak berubah. Walaupun demikian, dalam pembebanan utama tekanan prakonsolidasi akan semakin meningkat sesuai dengan tingkat tegangan yang bekerja, dan menyebabkan regangan volumetrik yang tidak dapat kembali ke kondisi semula.

## 2. Fungsi Leleh Untuk Kondisi Tegangan Triaksial

Model *Soft Soil Creep* dapat memodelkan perilaku tanah pada kondisi tegangan secara umum. Namun demikian, agar lebih jelas maka dalam bab ini diambil batasan pada kondisi pembebanan triaksial dengan  $\sigma_2 = \sigma_3$ . Untuk kondisi tegangan seperti itu fungsi leleh dari model *Soft Soil*.

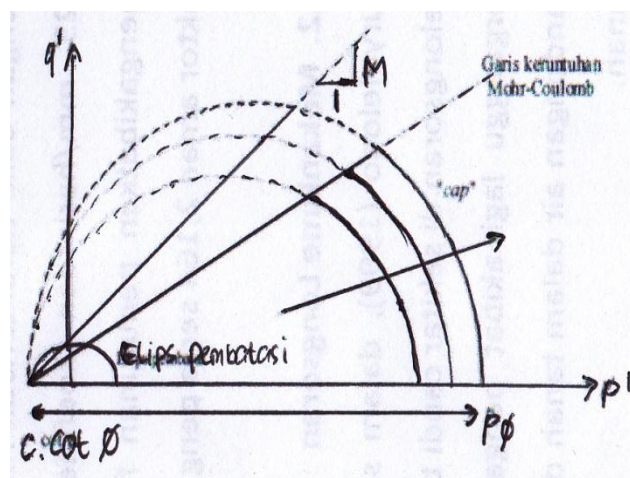
Fungsi leleh  $f$  mendeskripsikan sebuah elips dalam bidang  $p'$ - $q$ , seperti ditunjukkan dalam Gambar 5. Parameter  $M$  menentukan tinggi dari elips. Tinggi dari elips akan menentukan rasio tegangan horisontal terhadap tegangan vertikal dalam kompresi primer satu dimensi. Kemudian

parameter  $M$  akan banyak menentukan nilai koefisien tekanan tanah lateral,  $K_o^{NC}$ . Dari sudut pandang ini, nilai  $M$  dapat dipilih sedemikian rupa sehingga nilai  $K_o^{NC}$  yang telah diketahui dapat sesuai dengan kompresi primer satu dimensi. Interpretasi dan penggunaan  $M$  semacam ini berbeda dengan ide dasar dari garis *critical state*, tetapi hal ini menjamin nilai  $K_o^{NC}$  yang sesuai.

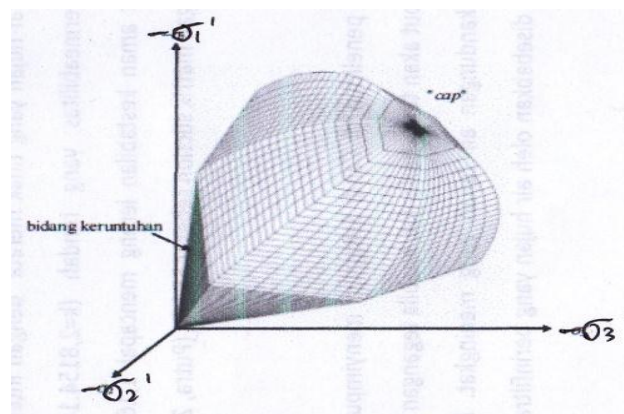
Titik - titik puncak dari seluruh elips berada pada garis dengan kemiringan  $M$  dalam bidang  $p'$ - $q$ . Pada model *Modified Cam-Clay* (Burland, 1965,1967) garis  $M$  disebut sebagai garis *critical state* dan menyatakan kondisi tegangan setelah puncak keruntuhan terlampaui. Parameter  $M$  kemudian didasarkan pada sudut geser *critical state*. Namun demikian, dalam model Soft Soil, keruntuhan tidak harus berkaitan dengan kondisi kritis. Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb adalah fungsi dari parameter kekuatan  $\phi$  dan  $c$ , yang mungkin tidak berkaitan dengan garis  $M$ .

Tekanan prakonsolidasi isotropis ( $P_p$ ) menentukan besarnya elips sepanjang sumbu  $p'$ . Selama pembebanan, elips dalam jumlah tak terhingga dapat terbentuk dimana tiap elips berkaitan dengan nilai  $P_p$  tertentu. Dalam kondisi tegangan tarik ( $p' < 0$ ) elips akan berkembang hingga mencapai  $c \cdot \cot \phi$  dan dalam daerah kompresi ( $p' > 0$ ) maka digunakan nilai minimum dari  $P_p$  sebesar  $c \cdot \cot \phi$ . Untuk  $c = 0$ , nilai minimum  $P_p$  diambil sebesar 1 dimensi tegangan. Karena itu, terdapat suatu elips pembatas seperti dalam Gambar 5.

Nilai  $P_p$  ditentukan oleh regangan plastis volumetrik yang mengikuti hubungan yang bersifat hardening. Persamaan ini memainkan prinsip bahwa tekanan prakonsolidasi meningkat secara eksponensial dengan meningkatnya regangan plastis volumetrik (pemampatan),  $P_p^o$  dianggap sebagai nilai awal dari tekanan prakonsolidasi. Nilai regangan plastis volumetrik awal diasumsikan sebesar nol.



**Gambar 5. Bidang Leleh Dari Model *Soft Soil* Dalam Bidang  $p'$ - $q$**



**Gambar 6. Ilustrasi Dari Seluruh Kontur Bidang Leleh Dari Model *Soft Soil* Dalam Ruang Tegangan Utama**

Dalam model *Soft Soil*, fungsi leleh menyatakan regangan volumetrik yang tidak dapat kembali ke kondisi semula dalam kompresi primer, dan membentuk “*cap*” dari kontur bidang leleh. Untuk memodelkan kondisi runtuh, digunakan fungsi leleh jenis Mohr-Coulomb yang bersifat plastis sempurna. Fungsi leleh ini berupa sebuah garis lurus dalam bidang  $p'$ - $q$  seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Kemiringan garis keruntuhan akan lebih kecil dibandingkan kemiringan garis M.

Seluruh bidang leleh, seperti ditunjukkan oleh garis tebal dalam Gambar 6, merupakan batas dari daerah tegangan elastis. Garis keruntuhan mempunyai lokasi tetap, tetapi “*cap*” dapat meningkat dalam kompresi primer. Lintasan tegangan di dalam batas ini hanya akan menghasilkan peningkatan regangan elastis, dimana lintasan tegangan yang cenderung memotong batas umumnya akan menghasilkan peningkatan regangan elastis dan plastis.

Untuk kondisi tegangan secara umum, perilaku plastis dari model *Soft Soil* didefinisikan oleh enam buah fungsi leleh; tiga buah fungsi leleh kompresi dan tiga buah fungsi leleh Mohr-Coulomb. Seluruh kontur bidang leleh dalam ruang tegangan utama yang dihasilkan oleh keenam fungsi leleh ini ditunjukkan dalam Gambar 6.

### **3. Parameter Model *Soft Soil***

Parameter model *Soft Soil* serupa dengan parameter dalam model *Soft Soil Creep*. Namun demikian, karena model *Soft Soil* tidak melibatkan waktu,

maka indeks rangkai termodifikasi  $\mu^*$  tidak diikutsertakan. Karena itu, model Soft Soil membutuhkan konstanta - konstanta material berikut :

*Parameter dasar*

$\lambda^*$  : Indeks kompresi termodifikasi

$k^*$  : Indeks muai termodifikasi

$C$  : Kohesi [ KN/m<sup>2</sup> ]

$\phi$  : Sudut geser [ ° ]

$\psi$  : Sudut dilatansi [ ° ]

*Indeks muai termodifikasi dan indeks kompresi termodifikasi*

Parameter - parameter ini dapat diperoleh dari uji kompresi isotropis termasuk pengurangan beban secara isotropis. Saat menggambarkan logaritma dari tegangan rata - rata sebagai fungsi dari regangan volumetric untuk material yang bersifat seperti lempung, hasil penggambaran dapat didekati dengan dua buah garis lurus (Gambar 6). Kemiringan dari garis pembebanan primer memberikan indeks kompresi termodifikasi, dan kemiringan dari garis pengurangan beban akan memberikan indeks muai termodifikasi.

**Kohesi**

Kohesi mempunyai dimensi tegangan. Setiap nilai kohesi efektif dapat digunakan, termasuk kohesi sebesar nol. Saat menggunakan pengaturan standart, kohesi ditetapkan sebesar 1 kPa. Memasukkan suatu nilai kohesi akan menghasilkan daerah elastis yang sebagian berada di daerah tegangan tarik, seperti ditunjukkan dalam (Gambar 6). Bagian kiri dari elips akan

memotong sumbu  $p'$  pada nilai  $-c \cdot \cot \phi$ . Untuk menjaga agar bagian kanan dari elips yaitu “*cap*” tetap berada dalam daerah tegangan kompresif dari ruang tegangan, maka tekanan prakonsolidasi isotropis  $P_p$  harus mempunyai nilai minimum sebesar  $c \cdot \cot \phi$ . Hal ini berarti bahwa dengan memasukkan kohesi yang lebih besar dari nol dapat mengakibatkan kondisi konsolidasi yang berlebih, tergantung dari besarnya nilai kohesi dan kondisi tegangan awal. Hal ini mengakibatkan perilaku yang lebih kaku pada awal pembebanan. Penentuan kuat geser tak terdrainase tidak mungkin dilakukan pada kohesi yang tinggi dan sudut geser nol. Masukan parameter model harus selalu didasarkan pada nilai - nilai efektifnya.

### **Sudut Geser**

Sudut geser dalam efektif menyatakan peningkatan kuat geser terhadap tingkat tegangan efektif, dan dinyatakan dalam derajat. Sudut geser nol tidak diperbolehkan. Sebaliknya, pengguna harus berhati - hati dengan penggunaan sudut geser yang tinggi. Seringkali disarankan untuk menggunakan  $\phi_{cv}$ , yaitu sudut geser *critical state*, dan bukan nilai yang lebih tinggi yang ditentukan berdasarkan regangan kecil.

Selain itu, penggunaan sudut geser yang tinggi akan secara signifikan meningkatkan kebutuhan komputasi.



### **Sudut Dilatansi**

Untuk jenis material, yang dapat dideskripsikan oleh model *Soft Soil*, sudut dilatansi umumnya dapat diabaikan. Sudut dilatansi sebesar nol derajat digunakan dalam pengaturan standar dari model *Soft Soil*.

### **Angka Poisson**

Dalam model *Soft Soil*, angka Poisson murni merupakan konstanta elastisitas dan bukan konstanta pseudo-elastisitas seperti digunakan dalam model Mohr-Coulomb. Nilai angka Poisson umumnya berkisar antara 0,1 dan 0,2. Jika dipilih pengaturan standar untuk parameter model *Soft Soil*, maka  $\nu_{ur} = 0,15$  akan digunakan secara otomatis. Untuk pembebanan material yang terkonsolidasi secara normal, angka Poisson hanya memegang peranan yang kecil, tetapi akan menjadi penting dalam masalah pengurangan beban. Sebagai contoh, untuk pengurangan beban dalam uji kompresi 1 dimensi (*oedometer*), angka Poisson yang relatif kecil akan menghasilkan penurunan tegangan lateral yang kecil dibandingkan dengan penurunan tegangan vertikal. Hal ini akan menyebabkan peningkatan rasio tegangan horisontal terhadap tegangan vertikal, yang merupakan suatu fenomena yang telah dikenal dengan baik pada material yang terkonsolidasi secara berlebih. Karena itu, angka Poisson seharusnya tidak didasarkan pada nilai  $K_o^{NC}$  pada kondisi yang terkonsolidasi secara normal, tetapi pada rasio dari peningkatan tegangan horisontal terhadap peningkatan tegangan vertikal dalam pengurangan dan pembebanan kembali pada uji *oedometer*.

## J. Metode Analisis Kekakuan Pondasi Pelat

1. Metode Pondasi Kaku (*rigid footing method*) yaitu metode analisis suatu pondasi yang didasarkan pada anggapan bahwa distribusi reaksi tanah yang terjadi sepanjang penampang bawah pondasi adalah linier.

Menurut *Bowles* (1983), konsep dasar untuk menganalisis pondasi kaku, baik untuk pondasi pelat tunggal (kolom tunggal) maupun pondasi pelat gabungan dengan dua kolom adalah :

- a. Pondasi Pelat Tunggal

Pondasi pelat tunggal bisa dianggap sebagai balok fleksibel, dengan beban kolom sebagai beban terpusat.

- b. Pondasi Pelat Gabungan

Pondasi pelat gabungan adalah termasuk dalam kategori balok terhingga dengan ujung bebas yang dibebani dua buah beban terpusat.

Momen lentur dan gaya lintang yang terjadi pada pondasi didapat dengan memperlakukan pondasi tersebut sebagai balok menerus yang ditumpu oleh dua kolom.

2. Metode pondasi fleksibel (*flexible footing method*) yaitu metode analisis yang didasarkan pada distribusi reaksi tanah yang terjadi di bawah pondasi tidak linier atau bervariasi sepanjang bidang kontak pondasi.

Ada 2 metode untuk menyelesaikan masalah pondasi fleksibel pada penelitian ini, yaitu metode *Hetenyi* dan metode elemen hingga dengan SAP 2000.

a. Metode *Hetenyi*

Metode *Hetenyi* disebut juga metode eksak adalah metode penyelesaian masalah balok fleksibel dengan asumsi dasar bahwa material balok mengikuti hukum *Hooke*, penampang prismatis, gaya geser di sepanjang permukaan bidang kontak antara pondasi dan tanah dianggap kecil dan diabaikan. Sedangkan lendutan serta reaksi tanah diasumsikan arahnya vertikal pada tiap - tiap penampang dan mengikuti model *Winkler* dimana lendutan dibawah pondasi berbanding langsung dengan tegangan tanah ( $q$ ) yang terjadi pada setiap penampang pondasi tersebut.

b. Metode Elemen Hingga

Pada pemecahan numerik khususnya dengan metode elemen hingga, sistem struktur merupakan rangkaian yang dibangun dari sejumlah elemen hingga, dimana satu dengan lainnya terhubung hanya pada nodal - nodalnya (*Bowles*, 1983). Beberapa persamaan dibuat untuk mencari hubungan gaya dan lendutan pada nodal dimulai dengan mencari hubungan antara gaya – gaya luar pada nodal  $\{P\}$  dengan gaya-gaya element  $\{F\}$  berdasarkan prinsip kesetimbangan.