

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Konstruksi Sarang Laba-Laba

Konstruksi Sarang Laba-Laba (KSSL) ialah kombinasi konstruksi bangunan bawah konvensional yang merupakan perpaduan pondasi plat beton pipih menerus yang diisi dengan perbaikan tanah sehingga menjadi satu kesatuan komposit konstruksi beton bertulang. Kombinasi ini menghasilkan kerja sama timbal balik yang saling menguntungkan sehingga membentuk sebuah pondasi yang memiliki kekakuan jauh lebih tinggi dibandingkan pondasi dangkal lainnya.

Konstruksi Sarang Laba-Laba 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 ditemukan oleh Ir. Ryantori dan Ir. Soetjipto, pada tahun 1975. Konstruksinya terdiri dari pelat beton tipis bermutu K-225 berukuran 10-15 cm yang dibawahnya dikakukan oleh rib – rib tegak yang tipis dan relatif tinggi, biasanya, 50-150 cm. Penempatan rib – rib diatur

sedemikian rupa sehingga dari atas kelihatan membentuk peta – petak segitiga, sedangkan rongga– rongga dibawah pelat dan diantara rib – rib diisi dengan tanah / pasir yang dipadatkan lapis demi lapis.

Konstruksi Sarang 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.

Pada dasarnya Konstruksi Sarang 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

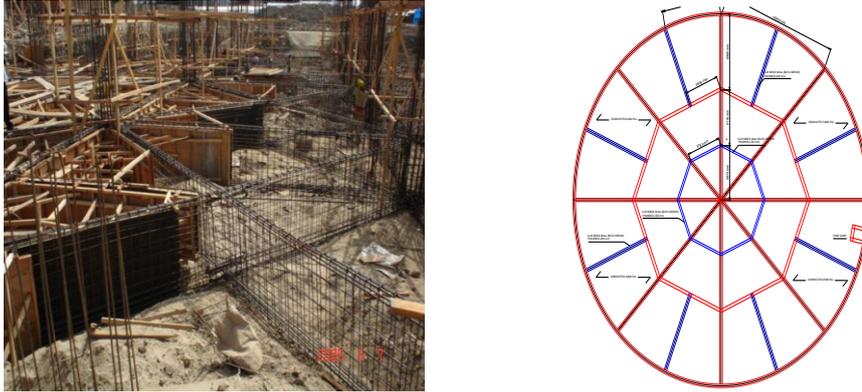
konsentrasi tegangan pada daerah beban terpusat. Dan sebaliknya, jika pondasi semakin kaku / *rigid*, maka distribusi tegangan / *stress* tanah akan semakin merata. Hal ini mempengaruhi kekuatan pondasi dalam hal penurunan yang dialami pondasi.

Dengan KSSL yang mempunyai tingkat kekakuan yang lebih tinggi, maka penurunan yang terjadi akan merata karena masing – masing kolom dijepit dengan rib – rib beton yang saling mengunci.

Sesuai dengan definisinya, maka Konstruksi Sarang Laba-Laba terdiri dari 2 bagian konstruksi, yaitu :

1. Konstruksi beton

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



Gambar 1. Contoh Konstruksi Sarang Laba-Laba dan rencana modifikasi KSSL

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.

Kelebihan – kelebihan pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba adalah sebagai berikut :

1. KSSL memiliki kekakuan yang lebih baik dengan penggunaan bahan bangunan yang hemat dibandingkan dengan pondasi rakit (*raft foundation*).
2. KSSL memiliki kemampuan memperkecil *settlement settlement* dan mengurangi *irregular settlement settlement* apabila dibandingkan dengan pondasi rakit.
3. KSSL mampu membuat tanah menjadi bagian dari struktur pondasi karena proses pematatannya akan meniadakan pengaruh lipat atau lateral buckling pada rib.
4. 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.
5. Pelaksanaannya tidak menggunakan alat-alat berat dan tidak mengganggu lingkungan sehingga cocok diterapkan baik di lokasi padat penduduk maupun di daerah terpencil.
6. KSSL mampu menghemat penggunaan baja tulangan maupun beton.
7. Waktu pelaksanaan yang diperlukan relatif lebih cepat.
8. KSSL lebih ekonomis dibandingkan pondasi konvensional rakit atau tiang pancang, apalagi dengan pondasi dalam, sehingga cocok digunakan oleh negara – negara sedang berkembang karena murah, padat karya dan sederhana.

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

1. Aspek Teknis

- a. 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.
- b. Susunan rib – rib yang membentuk titik – titik pertemuan dan penempatan kolom / titik beban pada titik pertemuan rib – rib. 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 arus sedemikian rupa sehingga titik pertemuan rib – rib berimpit 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.
- c. 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 m². Adanya rib – rib *settlement* memberi 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.

d. 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).

e. 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*).

f. 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

Di atas telah dijelaskan aspek – aspek teknis yang juga memberi keuntungan dilihat dari aspek ekonomis, seperti dimensi rib yang relatif kecil, penggunaan tanah sebagai bagian dari konstruksi yang menghemat pemakaian beton dan sebagainya.

Aspek ekonomis yang juga dapat dilihat pada pondasi KSSL adalah pengerjaan pondasi yang memerlukan waktu yang singkat karena pelaksanaannya mudah dan padat karya serta sederhana dan tidak menuntut keahlian yang tinggi. Selain itu pembesian pada rib dan plat, cukup dengan pembesian minimum, pada umumnya, hanya diperlukan volume beton 0,2-0,35 m³ beton/m² luas pondasi, dengan pembesian 90-120 kg/m³ beton. Pondasi KSSL memanfaatkan tanah hingga mampu berfungsi sebagai

struktur bangunan bawah dengan komposisi sekitar 85 persen tanah dan 15 persen beton.

B. Tanah

Tanah 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. Sedangkan menurut Craig (1991) tanah merupakan akumulasi partikel mineral atau ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan.

Tanah mempunyai peranan yang penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi yaitu sebagai pondasi pendukung untuk konstruksi bangunan, jalan (*subgrade*), tanggul dan bendungan. Namun tidak semua tanah mampu mendukung konstruksi. Hanya tanah yang mempunyai stabilitas baik yang mampu mendukung konstruksi yang besar. Sedangkan tanah yang kurang baik harus distabilisasi terlebih dahulu sebelum dipergunakan sebagai pondasi pendukung.

C. 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 doble	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ 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 <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai doble simbol		
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		Batas-batas <i>Atterberg</i> 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	Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus ; Kurang dari 5% lolos saringan no.200: GM, GC, SM, SC, 5% - 12% lolos saringan No.200 : Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol doble	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ 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 <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$	Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai doble simbol			
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung	Batas-batas <i>Atterberg</i> 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 <i>Atterberg</i> 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 dengan kandungan organik sangat tinggi	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.

D. Macam – Macam 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 *settlement 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 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.

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

Merupakan pondasi gabungan yang sekurang-kurangnya memikul tiga kolom yang tidak terletak dalam satu garis lurus, jadi seluruh bangunan menggunakan satu telapak bersama. Jika jumlah luas seluruh telapak melebihi setengah luas bangunan, lebih ekonomis digunakan pondasi rakit, dan juga untuk mengatasi tanah dasar yang tidak homogen, misal ada lensa-lensa tanah lunak, supaya tidak terjadi perbedaan penurunan cukup besar.

E. Penurunan / *settlement*

Deformasi tanah atau penurunan terjadi apabila suatu beban dikerjakan pada benda yang elastis, kemudian akan dihasilkan suatu regangan. Panjang

regangan yang terjadi akibat tegangan disebut deformasi atau penurunan (*settlement*). Secara umum penurunan diartikan sebagai perpindahan vertikal permukaan tanah sehubungan dengan pengurangan volume pori yang berakibat bertambahnya berat volume kering akibat beban yang bekerja dalam periode tertentu.

Beberapa penyebab *settlement* adalah sebagai:

1. *Capacity Bearing*, kegagalan atau ketidakstabilan tanah yang mencakup tanah longsor.
2. Kegagalan atau defleksi struktur pondasi.
3. Elastis atau penyimpangan tanah atau batu.
4. Konsolidasi (kompresi) tanah atau batu.
5. Penyusutan sehubungan dengan pengeringan.
6. Perubahan pada kepadatan sehubungan dengan guncangan atau getaran.
7. Perubahan Kimia yang mencakup peluruhan.
8. Erosi Bawah tanah.
9. Kehancuran pembukaan bawah tanah seperti gua atau tambang.
10. Kehancuran Struktural sehubungan dengan melemah dari sementasi ketika saturasi.

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

1. 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 %) $< 90\%$.

2. 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 ($K \approx 10^{-6}$ 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 vertikal

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

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 :

a. 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

b. Tanah Over Konsolidasi

Sedangkan apabila patahan yang terjadi pada tekanan yang lebih besar dari P_o , 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.

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.

F. Pembebanan

Dalam perencanaan struktur pondasi, harus diketahui terlebih dahulu pembebanan pada struktur bangunan atas (*upper structure*), setelah itu didapat beban yang bekerja pada struktur bawah (*sub structure*) yaitu pondasi tersebut. Besar dan macam beban yang bekerja pada struktur sangat tergantung dari jenis struktur.

1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati ialah beban yang bekerja akibat gravitasi yang bekerja tetap pada posisinya secara terus menerus dengan arah ke bumi tempat struktur didirikan. Yang termasuk beban mati ialah berat struktur sendiri dan juga semua benda yang tetap posisinya selama struktur berdiri.

2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup ialah beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung dan barang-barang yang dapat berpindah, mesin dan peralatan lain yang dapat digantikan selama umur gedung.

3. Beban Angin (*Wind Load*)

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Beban angin ditunjukkan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang – bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan positif dan tekanan negatif ini dinyatakan dalam kg/m^2 , ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup yang telah ditentukan dengan koefisien – koefisien angin yang telah ditentukan dalam peraturan ini.

Tabel 4. *Combined Height, Exposure and Gust Factor Coefficient*

Height above average level of adjoining ground (feet) × 304.8 for mm	Exposure D	Exposure C	Exposure B
0–15	1.39	1.06	0.62
20	1.45	1.13	0.67
25	1.50	1.19	0.72
30	1.54	1.23	0.76
40	1.62	1.31	0.84
60	1.73	1.43	0.95
80	1.81	1.53	1.04
100	1.88	1.61	1.13
120	1.93	1.67	1.20
160	2.02	1.79	1.31
200	2.10	1.87	1.42
300	2.23	2.05	1.63
400	2.34	2.19	1.80

^a Values for intermediate heights above 15 feet (4572 mm) may be interpolated. (From UBC 1997, Table 16-G.)

Tabel 5. Koefisien Tekanan C_g

Description	C _g
Method 1 (Normal force method) Maximum height 400 ft	
Walls	
Windward wall	0.8 inward
Leeward wall	0.5 outward
Roof	
Wind perpendicular to ridge	
Leeward roof or flat roof	0.7 outward
Windward roof	
Slope less than 2:12 (16.7%)	0.7 outward
Slope 2:12 (16.7%) to less than 9:12 (75%)	0.9 outward or 0.3 inward
Slope 9:12 (75%) to 12:12 (100%)	0.4 inward
Slope > 12:12 (100%)	0.7 inward
Wind parallel to ridge and flat roofs	0.7 outward
Method 2 (Projected area method) Maximum height 200 ft	
On vertical projected area	
Structures 40 feet (12.19 m) or less in height	1.3 horizontal any direction
Structures over 40 feet (12.19 m) in height	1.4 horizontal any direction
On horizontal projected area	
	0.7 upward

(From UBC 1997.)

4. Beban Gempa (*Earthquake Load*)

Besarnya beban gempa dasar nominal horizontal akibat gempa menurut Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Rumah dan Gedung (SNI – 03 – 1726 – 2002), dinyatakan sebagai berikut :

$$V = \frac{C \times I}{R} \times W_i \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

V = beban gempa dasar nominal (beban gempa rencana)

W_i = kombinasi dari beban mati dan beban hidup vertikal yang direduksi

C = faktor respons gempa

I = faktor keutamaan struktur

R = faktor reduksi gempa

G. Pemodelan dalam SAP 2000

Program komputer rekayasa (SAP2000, GT-Strudl, ANSYS, dll) berbeda dengan program komputer umum (EXCEL, AutoCAD, Words, dll), karena pengguna dituntut untuk memahami latar belakang metoda maupun batasan dari program tersebut. Developer program secara tegas menyatakan tidak mau bertanggung jawab untuk setiap kesalahan yang timbul dari pemakaian program. Umumnya manual yang melengkapi program cukup lengkap , bahkan terlalu lengkap sedangkan semakin hari program yang dibuat menjadi semakin mudah digunakan tanpa harus membaca manual maka mempelajari secara mendalam materi manual program sering terabaikan. Oleh karena itu dengan disajikannya contoh penyelesaian program dan hitungan manual pembanding yang detail tetapi ringkas tentu sangat berguna.

Dalam SAP 2000 pondasi pelat tunggal dan pondasi pelat gabungan dimodel dengan elemen *shell* (2D), dengan pembagian jumlah segmen antara 6 sampai 16 tergantung dari lebar pondasi pada kedua sumbunya. Tanah dimodel sebagai

kumpulan pegas yang berdiri sendiri (*spring constant*) yang bekerja pada tiap – tiap nodal segmen.

H. Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah (*bearing capacity*) adalah kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dari segi struktur pondasi maupun bangunan di atasnya tanpa terjadi keruntuhan geser. Daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) adalah daya dukung terbesar dari tanah. Daya dukung ini merupakan kemampuan tanah untuk mendukung beban dengan asumsi tanah mulai mengalami keruntuhan. Besar daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan.

Daya dukung tanah bisa kita dapat dengan cara mekanis seperti dengan bantuan alat berat. Ada beberapa cara seperti melakukan penggilasan dengan alat penggilas, menjatuhkan benda berat, ledakan, melakukan tekanan statis, melakukan proses pembekuan, pemanasan dan sebagainya.

Tanah yang memiliki daya dukung yang baik memiliki tingkat kerapatan yang besar. Tanah pada kondisi ini memiliki penurunan tanah yang sangat kecil dan dalam jangka waktu yang sangat lama. Penurunan muka air tanah juga sangat besar sehingga pada drainase tanah kondisinya tidak terlalu tergenang air.

Tujuan perbaikan daya dukung tanah yang paling utama adalah untuk memadatkan tanah yang memiliki sifat-sifat yang sesuai dengan spesifikasi pekerjaan tertentu. Perbaikan daya dukung juga merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk

menghasilkan pemampatan partikel (Bowless, 1989). Energi pemadatan dilapangan dapat diperoleh dari alat-alat berat, pemadat getaran, mesin gilas dan dari benda-benda berat yang dijatuhkan. Di laboratorium untuk mendapatkan daya dukung dilakukan dengan gaya tumbukan (dinamik), alat penekan, alat tekan statik yang memakai piston dan mesin tekan

Besar daya dukung yang diijinkan sama dengan daya dukung batas dibagi angka keamanan :

$$q_u = \frac{q_{ult}}{FK} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana nilai FK berkisar 1,5 – 3,0.

Analisa daya dukung tanah pada konstruksi sarang laba-laba ditentukan berdasarkan perumusan sebagai berikut :

$$Q_a (K_{SLL}) = 1,5 \times Q_a (\text{pondasi rakit}) \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

$$Q_a (\text{pondasi rakit}) = \frac{q_{ult}}{n}, \text{ dimana } n = \text{angka keamanan} = 3$$

$$Q_{ult} = c.N_c.S_c.i_c.d_c + \gamma.D.N_q.s_q.i_q.d_q + 0,5.\gamma.B.N_\gamma.s_\gamma.i_\gamma.d_\gamma \dots\dots\dots (2.4)$$

Kapasitas daya dukung tanah dasar dipengaruhi oleh parameter ϕ , c dan γ 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*.

I. 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.

Reaksi tanah :

$$q_{rata} = \frac{P}{BI} \dots\dots\dots (2.5)$$

Tebal efektif pelat pondasi :

$$4d^2 + 2 (b + c) c^3 = \frac{BIq}{Vc} \dots\dots\dots (2.6)$$

Momen lentur / lebar :

$$M = \frac{ql^2}{8} \dots\dots\dots (2.7)$$

b. Pondasi Pelat Gabungan

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

Reaksi tanah :

$$q_{rata} = \frac{\Sigma P}{BI} \dots\dots\dots (2.8)$$

Tebal efektif dari pondasi pelat dapat dihitung dari Persamaan (2.6). 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.