

Nurhayati Doda

PONDASI LANJUTAN



PONDASI LANJUTAN

Nurhayati Doda



PONDASI LANJUTAN

Penulis:

Nurhayati Doda

Desain Cover:

Septian Maulana

Sumber Ilustrasi:

www.freepik.com

Tata Letak:

Handarini Rohana

Editor:

Neneng Sri Wahyuni

ISBN:

978-623-500-139-5

Cetakan Pertama:

Mei, 2024

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

by Penerbit Widina Media Utama

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT:

WIDINA MEDIA UTAMA

Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17 Desa Bojong Emas
Kec. Solokan Jeruk Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

Anggota IKAPI No. 360/JBA/2020

Website: www.penerbitwidina.com

Instagram: @penerbitwidina

Telepon (022) 87355370

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT atas izin dan kuasa-Nya juga akhirnya buku ajar ini bisa penulis selesaikan. Sholawat serta salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW atas segala bimbingan dan tuntunan Beliau yang Insya Allah penulis mampu beristiqomah menjadi umatnya.

Kami ucapkan rasa terimakasih pada pihak-pihak yang mendukung lancarnya penyusunan buku ajar ini, sejak awal hingga pencetakan, kepada suami dan anak-anak yang telah bersedia faham dan mengerti akan keruwetan penulis dalam Menyusun buku ini. Terimakasih pula kami ucapkan kepada penerbit yang bersedia berkontribusi memberikan kesempurnaan pada buku ajar ini hingga pada tahap penerbitan.

Adapun, buku ajar kami yang berjudul '**Pondasi Lanjutan**' ini telah selesai kami buat secara semaksimal dan sebaik mungkin, buku ini dikhusus bagi para mahasiswa Teknik Sipil dengan konsentrasi Struktur agar menjadi bahan referensi bagi para mahasiswa ataupun praktisi dalam mempelajari Pondasi Bangunan

Kami sadar, masih banyak luput dan kekeliruan yang tentu saja jauh dari sempurna tentang buku ini. Oleh sebab itu, kami mohon agar pembaca memberi kritik dan juga saran terhadap karya buku ajar ini agar kami dapat terus meningkatkan kualitas buku.

Demikian buku ajar ini kami buat, dengan harapan agar dapat memberikan manfaat bagi para pembaca. Terimakasih

April, 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB 1 PROPERTIS FISIK DAN MEKANIK TANAH	1
A. Pendahuluan	1
B. Propertis Fisik Tanah	2
C. Karakteristik Mekanik Tanah	9
D. Soal Latihan	17
BAB 2 PONDASI BASEMENT	19
A. Pendahuluan	19
B. Metode Konstruksi <i>Basement</i>	19
C. Pertimbangan Penerapan	26
D. Latihan Soal	28
BAB 3 PONDASI SARANG LABA-LABA (SLL)	31
A. Pendahuluan	31
B. Syarat Umum Perancangan	33
C. Konstruksi Sarang Laba-Laba (KSLL)	34
D. Kelebihan dan Kelemahan Pondasi SLL	37
E. Keistimewaan Sistem Konstruksi dan Bentuk Pondasi Sarang Laba-laba	39
F. Analisa Daya Dukung Pondasi SLL	46
G. Pelaksanaan Pondasi Konstruksi Sarang Laba-Laba	50
H. Tambahan	55
I. Proyek-proyek yang Menggunakan Pondasi KSLL	57
J. Soal Latihan	57

BAB 4 PONDASI CAKAR AYAM	59
A. Pendahuluan.....	59
B. Prinsip Kerja Pondasi Cakar Ayam.....	60
C. Analisa Stabilitas <i>System</i> Pondasi Cakar Ayam.....	62
D. Latihan Soal.....	73
BAB 5 PONDASI CAKAR AYAM MODIFIKASI	75
A. Pendahuluan.....	75
B. Standar.....	77
C. Teori dan Stabilitas CAM.....	78
D. Aplikasi Penggunaan Pondasi Cakar Ayam dan Cakar Ayam Modifikasi.....	79
E. Metode Analisis dan Perancangan Sistem CAM.....	84
F. Sistem Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah Ekspansif.....	88
G. Latihan Soal.....	92
DAFTAR PUSTAKA	93
PROFIL PENULIS	94



PROPERTIS FISIK DAN MEKANIK TANAH

A. PENDAHULUAN

Tanah terbentuk berlapis-lapis karena proses fisik, kimia dan biologi yang meliputi transformasi bahan tanah. Dikalangan Insinyur Sipil, membagi materi penyusun kerak bumi atas dua jenis, yakni “tanah” dan “batuan”. Tanah adalah kumpulan butiran mineral alami (*agregat*) yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanis bila agregat tersebut diaduk dalam air. Sedangkan batuan adalah agregat yang mineralnya satu sama lain diikat oleh gaya-gaya kohesif yang permanen dan kuat, dan tidak bisa dipisahkan dengan cara mekanis sederhana. Mekanika tanah pada dasarnya merupakan studi tentang tanah dan propertinya sehubungan dengan tujuan konstruksi. Mekanika tanah adalah disiplin teknik sipil yang memprediksi karakteristik kinerja tanah, dengan menggunakan teknik statika, teknik dinamika, mekanika fluida, dan teknologi lainnya. Mekanika tanah meliputi studi komposisi tanah, kekuatan, konsolidasi, dan penggunaan prinsip hidrolis, untuk menangani masalah yang menyangkut sedimen dan endapan lainnya. Mekanika tanah adalah salah satu ilmu utama untuk menyelesaikan masalah yang juga berkaitan dengan geologi teknik. Studi mekanika tanah sangat penting bagi insinyur sipil karena

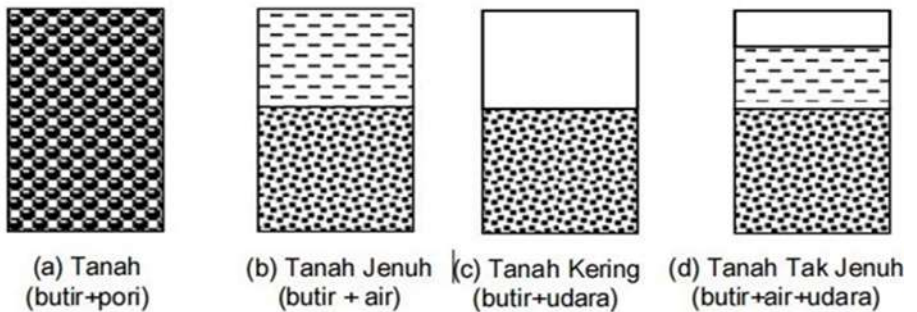
berdasarkan temuan studi mekanika tanah, struktur rekayasa dapat dirancang-bangun. Jenis konstruksi, jenis peralatan yang akan digunakan, jenis pondasi, bahan pendukung, dan banyak aspek pekerjaan konstruksi lainnya sangat dipengaruhi oleh hasil dari studi mekanika tanah. Pada dasarnya mekanika tanah mempelajari tentang proses pembentukan tanah, sifat fisik dan kimia tanah, kompresibilitas tanah, permeabilitas, konsolidasi, dan lain sebagainya.

B. PROPERTIS FISIK TANAH

Sebagaimana yang telah diuraikan sebelumnya bahwa sifat fisis atau properti tanah dasar pada suatu konstruksi, sangat mempengaruhi berbagai elemen konstruksi yang akan dibangun di atasnya. Properti tanah ditunjukkan dengan berbagai parameter yang disebut dengan indeks properti atau indeks sifat-sifat fisis tanah, seperti berat volume, kadar air, porositas, angka pori, derajat kejenuhan, derajat kepadatan, derajat kerapatan, berat jenis, analisis butiran, batas cair, batas plastis, batas susut, dan sebagainya. Sedangkan parameter seperti, koefisien konsolidasi, kohesi, sudut geser dalam, dan lain sebagainya adalah merupakan parameter teknis tanah, yang dipengaruhi oleh sifat-sifat fisis tanah.

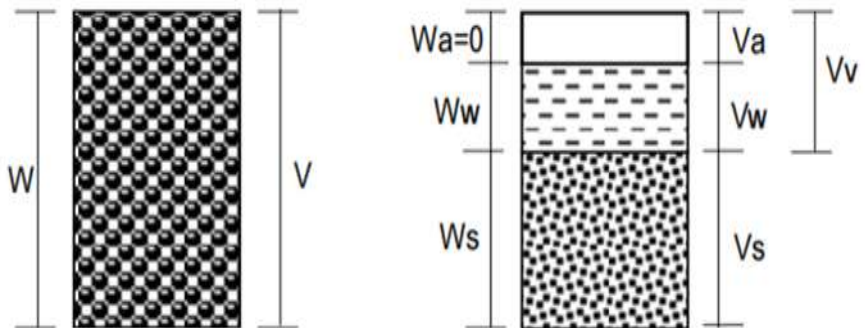
1. Berat Volume Tanah

Material tanah dapat terdiri atas dua atau tiga unsur, yakni butiran, air dan udara. Pada dalam kondisi tanah jenuh terdapat dua unsur, yakni butiran dan air, dan pada tanah yang kering juga hanya terdapat dua unsur yakni butiran dan udara. Sedangkan pada tanah dengan kondisi tak jenuh terdapat tiga unsur, yakni butiran, air dan udara. Ketiga kondisi tersebut dapat diilustrasikan sebagai berikut :



Gambar 1.1. Komposisi tanah dalam berbagai kondisi

Masing-masing elemen tanah tersebut (butir, air dan udara), memiliki volume dan berat. Untuk memahami sifat-sifat tanah secara fisis, maka parameter tanah harus dijabarkan lebih terperinci sebagai berikut:



Gambar 1.2. Diagram Fase Tanah
Sumber: (Hardiyatmo 2012)

Keterangan :

W = berat total tanah

W_a = berat udara = 0 (diabaikan)

W_w = berat air

- V = volume total tanah
- V_a = volume udara
- V_w = volume air
- V_v = volume pori
- V_s = volume butir

Dari gambar diagram fase tanah di atas, dapat dirumuskan beberapa hubungan sebagai berikut :

- 1) Berat tanah (W) = W_s + W_w (1.1)
- 2) Volume pori (V_v) = V_w + V_a (1.2)
- 3) Volume tanah (V) = V_s+V_w +V_a..... (1.3)
- (V) = V_s + V_v (1.4)

Selanjutnya berat volume tanah dapat dirumuskan sebagai berikut :

- 1) *Berat Volume Basah* : adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (V). Parameter ini dituliskan dengan γ_b formula sebagai berikut :

$$\gamma_b \frac{W}{V} = \dots\dots\dots (1.5)$$

- 2) *Berat Volume Kering* : adalah perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume total tanah (V). Parameter ini dituliskan dengan γ_s formula sebagai berikut :

$$\gamma_s \frac{W_s}{V} = \dots\dots\dots (1.6)$$

- 3) *Berat Volume Butiran Padat* : adalah perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume butiran padat (V_s). Parameter ini dituliskan dengan formula sebagai berikut :

$$V_s = \frac{W_s}{\rho_s} \dots\dots\dots (1.7)$$

4) Porositas (*porosity*) : adalah perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume total (V). Nilai porositas dapat dinyatakan dalam satuan persen (%) atau dalam satuan decimal. Parameter ini dituliskan dengan formula sebagai berikut :

$$n = \frac{V_v}{V} \pi r^2 \dots\dots\dots (1.8)$$

5) *Angka Pori* adalah perbandingan antara rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s). Parameter ini dituliskan dengan formula sebagai berikut :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots (1.9)$$

6) *Kadar Air (water content)* adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) di dalam massa tanah, yang dinyatakan dengan formula sebagai berikut :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \dots\dots\dots (1.10)$$

7) *Derajat Kejenuhan* adalah perbandingan antara volume air (V_w) dengan volume total rongga pori (V_v). Parameter ini dituliskan dengan formula sebagai berikut :

$$S = \frac{V_w}{V_v} \dots\dots\dots (1.11)$$

Apabila tanah dalam keadaan jenuh air maka nilai S akan sama dengan 1. Nilai derajat kejenuhan ini dapat digunakan untuk mengklasifikasi konsistensi tanah, seperti yang diuraikan pada tabel berikut :

Tabel 1.1. Derajat kejenuhan dan konsistensi tanah

Konsistensi Tanah	Derajat kejenuhan (S)
Tanah kering	0,00
Tanah agak lembab	>0 - 0,25
Tanah lembab	0,26 - 0,50
Tanah sangat lembab	0,51 - 0,75
Tanah basah	0,76 - 0,99
Tanah jenuh air	1,00

Sumber : Hardiyatmo (2012)

2. Parameter turunan

- a. Berat jenis atau berat spesifik Berat Jenis atau Berat Spesifik (*Specific Gravity*) : yaitu perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperatur 4°C, yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots (1.12)$$

Nilai parameter G_s tidak berdimensi. Interval nilai G_s untuk berbagai jenis tanah, berkisar antara 2,58 sampai 2,75. Kecuali untuk jenis tanah humus dan gambut biasanya interval G_s antara 1,25 sampai 1,80. Nilai berat jenis untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada tabel

Tabel 1.2. Berat Jenis (G_s) berbagai jenis tanah

Jenis tanah	Berat jenis
Keriki	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau organik	2,62 – 2,68

Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

Sumber: Hardiyatmo (2012)

b. Hubungan antara angka pori dan porositas

$$e = \frac{n}{1-n} \dots\dots\dots (1.13)$$

$$n = \frac{e}{1+e} \dots\dots\dots (1.14)$$

c. Berat Volume tanah basah

$$\gamma_b = \frac{G_s \gamma_w (1+w)}{1+e} \dots\dots\dots (1.15)$$

d. Kerapatan relatif (**Dr**)

merupakan parameter yang diturunkan dari beberapa sifat fisik tanah lainnya. Kerapatan relatif adalah prosentase dari perbandingan beberapa nilai berat volume tanah pasir atau angka porinya. Nilai ini menunjukkan kepadatan tanah berbutir seperti dalam Tabel berikut:

Tabel 1.3. Nilai kerapatan dan berat volume beberapa jenis tanah

Jenis Kerapatan Tanah	Nilai Dr	γ (t/m ³)
Sangat lepas (<i>very loose</i>)	0 - 15	1,1 - 1,6
Lepas (<i>loose</i>)	15 - 50	1,4 - 1,8

Sedang (<i>medium</i>)	50 - 70	1,7 - 2,0
Padat	70 - 85	1,7 - 2,2 -
Sangat padat	85 -100	2,0 - 2,3

Sumber: Hardiyatmo 2012

e. Hubungan sifat-sifat fisik tanah

Pada dasarnya, properti tanah dapat dihubungkan satu dengan yang lain menggunakan persamaan matematis yang sangat sederhana. Hubungan antar parameter tersebut sangat berguna untuk mengestimasi sebuah parameter dari beberapa parameter yang lainnya. Untuk itu diperlukan paling tidak tiga parameter tanah harus diketahui, sehingga parameter lainnya dapat ditentukan berdasarkan

hubungan sifat fisik tanah. Dalam Tabel 1.4 diperlihatkan beberapa hubungan parameter yang sering dipergunakan dalam mekanika tanah, sedangkan parameter fisik lainnya dapat diturunkan dari beberapa parameter lainnya.

Tabel 1. 4. Hubungan beberapa nilai properti tanah

I. Kondisi Umum			
<i>Jenis properti</i>	<i>Lambang</i>	<i>Satuan</i>	<i>Persamaan</i>
Derajat kejenuhan	Sr	%	$\frac{wG_s}{e}$
Angka Pori	n		$\frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$
Porositas	e		$\frac{e}{e + 1}$
Berat Volume	γ	t/m ³	$\frac{G_s \gamma_w (1 + w)}{1 + e}$
Berat Volume kering	γ_d	t/m ³	$\frac{G_s \gamma_w}{1 + e}$ atau $\frac{\gamma}{1 + e}$
Kerapatan <i>relative</i>	Dr	%	$\frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$

II. Kondisi jenuh			
Derajat kejenuhan	Sr	%	100
Angka pori	e	%	$W.G_s$
Berat volume jenuh	γ_{sat}	T/m ³	$\frac{G_s\gamma_w + e\gamma_w}{1 + e}$

C. KARAKTERISTIK MEKANIK TANAH

Sifat mekanis tanah adalah sifat perilaku tanah dari struktur masa tanah saat diberikan gaya atau saat tanah tersebut menerima beban ataupun tekanan atau sifat mekanis adalah kekuatan tanah dalam menerima beban.

Tanah terdiri dari berbagai fase padat, cair, dan gas, dimana karakteristiknya bergantung pada perilaku fase interaksi ini, dan pada tegangan yang diterimanya. Fasa padat meliputi tanah liat, mineral non-tanah liat, dan bahan organik. Unsur-unsur ini dikategorikan menurut ukurannya seperti tanah liat, pasir, dan kerikil. Fasa cair terdiri dari air yang mengandung senyawa organik yang tersedia dari tumpahan kimiawi, limbah, dan air tanah, sedangkan fasa gas biasanya udara. Ukuran, bentuk, sifat kimia, kemampuan kompresibilitas, dan daya dukung muatan partikel tanah ditentukan oleh mineralogi tanah, yang merupakan ilmu yang terkait dengan kimia, struktur, dan sifat fisik mineral. Struktur tanah tergantung pada susunan partikel, kelompok partikel, ruang pori, dan komposisinya. Karakteristik dasar ini menentukan jenis struktur yang akan dibangun dan tindakan dukungan eksternal apa, jika ada, harus diambil untuk membuat struktur tersebut bertahan lama dan menanggung dampak gempa, rembesan air, dan faktor eksternal lainnya.

Konsolidasi tanah juga merupakan faktor penting yang perlu dipelajari untuk membuat struktur yang kuat dan tahan lama. Konsolidasi adalah prosedur yang menurutnya volume tanah berkurang, oleh penerapan tekanan karena partikel tanah digabungkan secara rapat, sehingga menurunkan volume. Dengan pemindahan tekanan, tanah akan terpendam

kembali dan memulihkan sebagian volume yang hilang selama proses konsolidasi. Sementara mempelajari konsolidasi, faktor penting yang harus dianalisis adalah tingkat konsolidasi dan jumlah konsolidasi. Faktor penting lainnya adalah permeabilitas tanah.

Semua faktor terkait erat satu sama lain dan mempengaruhi keseluruhan desain dan proses konstruksi. Misalnya, jika strukturnya dibangun di atas tanah dengan butiran halus yang memiliki permeabilitas rendah, aliran air melalui rongga tanah akan berkurang. Kandungan air yang besar di tanah ini dapat menyebabkan struktur meresap karena beratnya. Proses konsolidasi di tanah berbutir halus ini lambat. Namun, ekstraksi air pori sederhana di tanah berbutir kasar karena bergerak bebas di dalam wilayah. Tingkat konsolidasi akan dipengaruhi oleh sejarah tanah, sifat tanah, dan beban pada tanah. Dengan demikian semua faktor seperti permeabilitas kadar air, konsolidasi, batas cair dianalisis secara kolektif. Studi mekanika tanah dapat juga digunakan untuk menentukan tekanan tanah lateral, daya dukung tanah, dan analisis stabilitas lereng. Studi semacam ini selalu membantu seorang insinyur sipil untuk merancang dan membangun struktur yang lebih baik, dan secara tidak langsung studi ini membantu dalam mitigasi risiko, juga karena jika kita tahu sebelumnya bagaimana massa tanah akan berperilaku, kita dapat melakukan tindakan pencegahan kerusakan atau kerusakan terhadap konstruksi yang dibangun.

1. Permeabilitas Tanah

Karena adanya perbedaan tekanan, air dapat mengalir pada pori-pori diantara butiran tanah. Dalam rekayasa geoteknik terkadang perlu diketahui jumlah air yang mengalir pada suatu titik dalam tanah pada waktu tertentu. Kasus-kasus yang memerlukan analisis yang berkaitan dengan pengaliran air diantaranya adalah bendung tipe urugan ataupun jenis lainnya, dinding penahan tanah dan basement. Untuk mengestimasi jumlah air yang meresap dan memperkirakan tekanan disebabkan oleh aliran air, diperlukan konstanta pengaliran tanah yang sering disebut koefisien permeabilitas tanah. Koefisien permeabilitas

didefinisikan sebagai kemampuan tanah untuk mengalirkan air untuk jarak tertentu dalam satuan waktu. Koefisien kemampuan tanah dalam mengalirkan air tersebut dinyatakan dalam persamaan Darcy sebagai berikut:

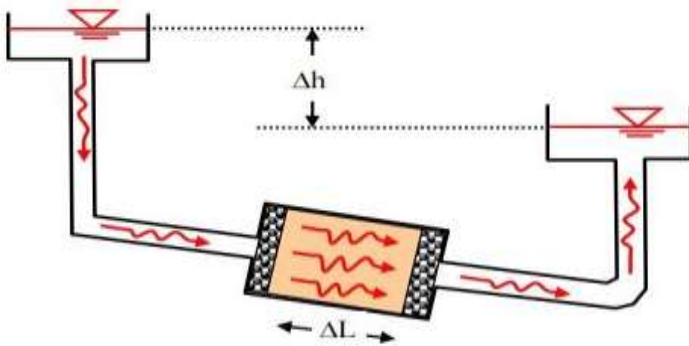
$$k = \frac{v}{i} \dots \dots \dots (1.16)$$

Dimana:

k adalah koefisien permeabilitas tanah

v adalah kecepatan air mengalir dalam tanah

i didefinisikan sebagai gradien hidrolis yang merupakan perbandingan beda tinggi tekan (Δh) dengan perbedaan jarak tempuh aliran (ΔL).



Gambar 1.4. Gradien hidrolis

Rentang nilai koefisien permeabilitas untuk beberapa jenis tanah dapat ditampilkan dalam Tabel 1.5. Beberapa peneliti telah mencoba memberikan persamaan empiris untuk nilai permeabilitas berdasarkan nilai *void ratio* dari tanah. Namun, dengan pengujian yang relatif tidak mahal dan mudah, disarankan nilai koefisien permeabilitas didapat dengan melakukan pengujian di lapangan atau di laboratorium.

Tabel 1.5. Rentang nilai koefisien permeabilitas

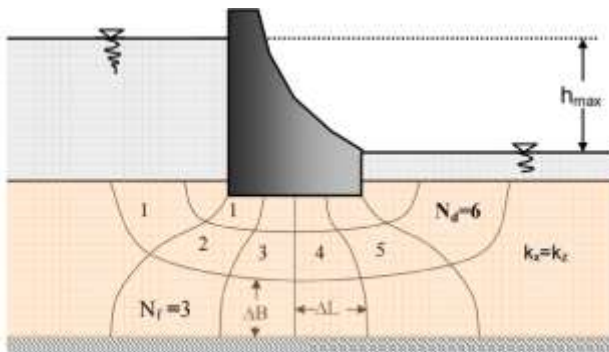
Jenis Tanah	Nilai k (cm/detik)
Kerikil kasar hingga sedang	besar dari 0.1
Pasir kasar hingga halus	0.1 – 0.001
Pasir halus, pasir berlanau	0.001 – 0.00001
Lanau, lanau berlempung, lempung berlanau	0.0001 – 0.000001
0.0001 – 0.000001	kecil dari 0.0000001

Sumber : Hardiyatmo (2012)

Estimasi jumlah aliran dalam tanah dibawah struktur geoteknik dapat dilakukan dengan menggambarkan garis alir (*flow line*) dan garis tekanan (*equipotential lines*) seperti contoh pada Gambar 1.5. Selanjutnya volume air yang mengalir dalam satuan waktu (debit) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$q = k h_{max} \frac{N_f \Delta B}{N_d \Delta L} \dots\dots\dots (1.17)$$

dimana N_f dan N_d masing-masing adalah jumlah garis alir dan garis tekanan.

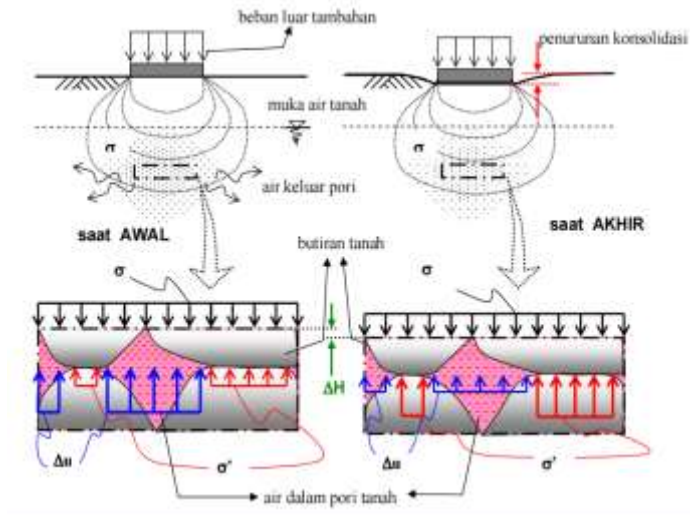


Gambar 1.5 Jaringan aliran (*Flow Net*)

Sumber: Surendro (2014)

2. Konsolidasi

Konsolidasi dapat didefinisikan sebagai keluarnya air dari dalam pori tanah diikuti dengan berkurangnya volume tanah. Bila orientasi berkurangnya volume tanah adalah arah vertikal, maka yang terjadi adalah penurunan. Keluarnya air pori dari dalam tanah dapat disebabkan oleh meningkatnya tekanan air pori tersebut, akibat penambahan beban misalnya, atau dapat pula disebabkan oleh tertariknya air oleh adanya muatan listrik seperti pada proses dewatering menggunakan arus listrik. Proses konsolidasi berlangsung selama keluarnya air pori dalam tanah disebabkan meningkatnya tegangan air pori dari dalam tanah akibat adanya beban tambahan tetap yang cukup lama, seperti beban timbunan dan beban pondasi bangunan. Beban tambahan σ , pada saat seketika (saat pertama diberikan, $t=0$) ditahan oleh air pori dalam tanah, Δu . Sebagaimana sifat fluida tertekan, secara berangsur-angsur, air pori akan mengalir menuju tekanan yang lebih rendah ke atas, bawah atau sisi-sisinya. Dengan mengalirnya air ini, tekanan yang ditahan air dialihkan kepada tekanan antar butiran tanah. Proses tersebut berlangsung untuk jangka waktu yang lama tergantung kepada beberapa sifat tanah. Proses konsolidasi berhenti setelah tegangan air pori kembali seperti semula, seperti sebelum terjadi peningkatan beban ($\Delta u = 0$) dan seluruh beban tambahan ditahan oleh butiran tanah (tegangan efektif, σ').



Gambar 1.6. Konsolidasi Masa tanah

Sumber: Surendro (2014)

a. Waktu Konsolidasi

Waktu berlangsungnya konsolidasi (lama konsolidasi) sangat tergantung kepada kecepatan pengaliran air keluar dari pori-pori tanah. Untuk tanah pasir yang sangat porous, waktu (lamanya) konsolidasi berlangsung sangat singkat. Tetapi untuk tanah lempung pada umumnya, mempunyai waktu konsolidasi yang cukup lama hingga dalam hitungan tahunan. Kecepatan aliran ini selanjutnya dalam ilmu mekanika tanah ditentukan dengan derajat kecepatan konsolidasi (c_v). Perlu diperhatikan bahwa dalam teori konsolidasi, kecepatan konsolidasi ini dibedakan dengan kecepatan pengaliran air seperti pada kasus permeabilitas tanah (k). Lamanya waktu yang diperlukan untuk terjadinya konsolidasi biasanya ditentukan pada derajat konsolidasi 90%, sebab secara teori proses konsolidasi mencapai 100% terjadi pada waktu yang sangat lama (tak terhingga). Pada penurunan mencapai 90% dari total penurunan tersebut waktu yang diperlukan adalah:

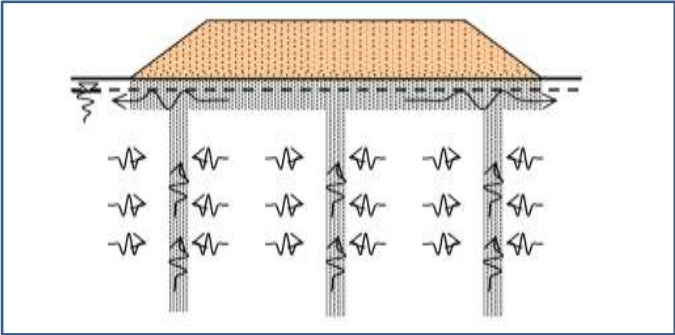
$$t_{90} = \frac{0,848 \cdot H_{dr}^2}{C_v} \dots\dots\dots (1.18)$$

dimana:

Hdr = adalah panjang aliran air pada tanah yang terkonsolidasi yang tergantung pada jenis lapisan tanah di atas/bawahnya.

Cv = adalah koefisien kecepatan konsolidasi hasil uji konsolidasi di laboratorium

Selain itu, pada kasus di lapangan, kecepatan aliran ini juga ditentukan oleh panjangnya jalur yang harus ditempuh oleh partikel air menuju tegangan normalnya (biasanya sama dengan tegangan hidrostatis/air diam). Untuk itu, dalam upaya untuk mempercepat proses konsolidasi, dapat dilakukan usaha untuk mempersingkat waktu konsolidasi dengan cara memperpendek jalur yang harus ditempuh air. Cara ini biasanya dilakukan dengan membuat draenase (jalur khusus air untuk mengalir) tambahan pada jarak-jarak tertentu atau pada posisi tertentu. Bahan draenase tersebut dapat terbuat dari bahan alami (misal kolom pasir/sand drained) atau bahan buatan (geotextile). Sketsa dari pemasangan draenase dapat dilihat pada Gambar1.7. berikut:



Gambar 1.7. Vertikal Drain untuk mempercepat Konsolidasi
 Sumber: Surendro (2014)

b. Besarnya Penurunan Konsolidasi

Besarnya penurunan yang terjadi akibat konsolidasi tergantung pada beberapa hal berikut:

- 1) Jenis tanah yang mengalami konsolidasi
- 2) Tebalnya lapisan tanah yang terkonsolidasi
- 3) Jumlah lapisan tanah yang mengalami konsolidasi
- 4) Besarnya kemampatan tanah
- 5) Besarnya beban yang diberikan
- 6) Lamanya proses konsolidasi telah berlangsung

Penurunan maksimum yang ditentukan saat akhir proses konsolidasi (derajat konsolidasi 100%) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$S_{100\%} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{C_c H_i}{1 + e_0} \log \left(\frac{\sigma_{0,1} + \Delta\sigma_1}{\sigma_{0,1}} \right) \right] \dots\dots\dots (1.20)$$

Dimana :

S_{100} = Penurunan disaat konsolidasi 100% selesai

$i = 1, \dots, n$ adalah jumlah lapisan tanah

H_i = tebal lapisan tanah ke i (yang terkonsolidasi)

$\sigma_{0,1}$ = Tegangan normal tanah efektif tanah

$\Delta\sigma_1$ = Tambahan tegangan normal tanah

e_0 = Angka pori awal tanah

C_c = Koefisien pemampatan tanah (Lab)

Koefisien pemampatan tanah (C_c) ditentukan dari kurva penurunan yang diplotkan pada bidang tekanan (σ) versus angka pori (e). Kurva tersebut adalah hasil pengolahan data pengujian konsolidasi di laboratorium terhadap sampel tanah. Untuk perkiraan praktis, Terzaghi

dan Peck (1967) mengusulkan persamaan empiris untuk menduga nilai C_c sebagai berikut:

$$C_c = 0,009(W_{LL} - 10) \quad \text{..... (1.21)}$$

Untuk tanah lempung asli (tidak terganggu)

$$C_c = 0,007(W_{LL} - 10) \quad \text{..... (1.22)}$$

Untuk tanah lempung terganggu (tidak terganggu)

Penelitian tentang nilai empiris untuk koefisien pemampatan tersebut telah banyak dilakukan di masa yang lalu. Namun untuk keperluan analisis yang baik, maka sangat dianjurkan untuk melakukan pengujian konsolidasi di laboratorium terhadap sampel tanah pada lokasi rencana. Dibandingkan dengan kerugian yang timbul akibat kemungkinan salah estimasi nilai penurunan dengan metode empiris, biaya pengujian di laboratorium tidak mempunyai arti yang besar.

D. SOAL LATIHAN

Sebuah sampel tanah dengan volume 0.1 m³ memiliki berat basah 1.8 kN, setelah dikeringkan beratnya berkurang menjadi 1,6 kN. Bila diketahui spesifik gravity dari tanah tersebut adalah 2.65, tentukan parameter fisik lainnya

Solusi

Untuk mendapatkan solusi dari kasus diatas, dapat diperhatikan kembali Gambar 1.3. Dengan menggunakan gambar tersebut, kita perlu menghitung tiap volume dan berat dari elemen tanah. Beberapa yang telah diketahui dari data kasus diatas adalah:

$$V_{tot} = 0.1 \text{ m}^3$$

$$W_{tot} = 1.8 \text{ kN}$$

$$W_s = 1.6 \text{ kN}$$

$$W_w = W_{tot} - W_s = 1.8 \text{ kN} - 1.6 \text{ kN} = 0.2 \text{ kN}$$

$$V_s = W_s / (G_s \cdot \gamma_w) = 1.6 \text{ kN} / (2.65 \cdot 9.81 \text{ kN/m}^3) = 0.062 \text{ m}^3$$

$$V_w = W_w / \gamma_w = 0.2 \text{ kN} / 9.81 \text{ kN/m}^3 = 0.02 \text{ m}^3$$

$$V_v = V_{tot} - V_s = 0.1 \text{ m}^3 - 0.062 \text{ m}^3 = 0.038 \text{ m}^3$$

$$V_a = V_v - V_w = 0.038 \text{ m}^3 - 0.02 \text{ m}^3 = 0.018 \text{ m}^3$$

Dengan diperolehnya seluruh berat dan volume dari elemen tanah maka seluruh parameter fisik yang diinginkan dapat dihitung. Hasil perhitungan dicantumkan dalam Tabel K.1. berikut:

Tabel K.1. Propertis fisik tanah untuk kasus 1.1.

Jenis propertis	Lambang	Satuan	Persamaan		Nilai
Kadar air	w	%	$\frac{W_w}{W_s} \cdot 100\%$	$\frac{0.2}{1.6} \cdot 100\%$	12.5%
Derajat kejenuhan	S_r	%	$\frac{V_w}{V_v} \cdot 100\%$	$\frac{0.02}{0.038} \cdot 100\%$	52.6%
Angka pori (void ratio)	e		$\frac{V_v}{V_s}$	$\frac{0.038}{0.062}$	0.61
Porositas	n		$\frac{V_v}{V_{tot}}$	$\frac{0.038}{0.1}$	0.38
Berat volume	γ	kN/m ³	$\frac{W_{tot}}{V_{tot}}$	$\frac{1.8}{0.1}$	18.0
Berat volume Kering	γ_d	kN/m ³	$\frac{W_s}{V_{tot}}$	$\frac{1.6}{0.1}$	16.0



PONDASI BASEMENT

A. PENDAHULUAN

Basement secara sederhana dapat dideskripsikan sebagai ruangan pada gedung bertingkat yang terletak di bawah permukaan tanah. *Basement* menjadi solusi penambahan lantai kembali pada bagian paling bawah sebuah gedung yang terletak di bawah permukaan tanah dari desain bangunan gedung. Lantai *basement* sebuah gedung umumnya terdiri dari sebuah tingkat atau beberapa tingkat dari bangunan yang keseluruhan atau sebagian terletak di bawah permukaan tanah.

Basement memang penting dan diperlukan jika sebuah gedung dibangun di pusat kota. Dikarenakan lahan semakin terbatas, penggalian tanah-tanah untuk *basement* menjadi solusinya. Selain pembangunan berdiri ke atas ada juga *basement* yang merupakan pembangunan vertikal ke bawah.

B. METODE KONSTRUKSI BASEMENT

Metode konstruksi *basement* secara garis besar di bagi menjadi dua macam, yakni metode *Bottom-Up* dan metode *Top-Down*. Pada Metode *Bottom-Up* sendiri memiliki macam-macam Teknik pelaksanaannya,

seperti teknik *Cut-Off* dan teknik *Strutting steel* . Untuk lebih jelasnya mengenai metode *Bottom-up* dan metode *Top-Down* berikut uraiannya :

1. Metode Bottom-Up

Metode *bottom-up* atau metode pembangunan gedung yang dimulai dari bawah hingga keatas ini juga fokus terhadap pembuatan *basement* terlebih dahulu. Dengan menggali tanah terlebih dahulu hingga mencapai elevasi yang direncanakan merupakan tahapan pertama yang dilakukan dalam metode ini. Setelah itu dilakukan pekerjaan pondasi, pekerjaan kolom, pekerjaan plat hingga ke lantai paling atas, adapun urutan pekerjaan menggunakan metode *bottom-up*, dijelaskan di bawah ini.

- a. Siapkan akses peralatan dan bahan
- b. Lakukan penggalian tanah
- c. Proses pembuatan pondasi
- d. Buat dinding penahan tanah (bila dibutuhkan)
- e. Proses pembuatan lantai *basement*
- f. Buat kolom, balok, dan plat lantai berulang hingga ke lantai paling atas

Kelebihan metode *Bottom-Up*

- a. Biaya yang harus dikeluarkan *relative* lebih murah
- b. Sumber daya manusia yang terlatih sudah banyak yang layak
- c. Teknik pengendalian pelaksanaan konstruksi sudah dikuasai
- d. Tidak membutuhkan teknologi yang tinggi

Kekurangan dari teknologi *Bottom-up*

- a. Penggunaan konstruksi sementara sangat banyak
- b. Secara efisien, tidak memungkinkan untuk melaksanakan dengan *super structural*
- c. Pelaksanaan dewatering harus lebih intensif

2. Teknik Cut-off

Teknik *cut-off* ini merupakan metode yang pada tahap awalnya melakukan penggalian seluruh tanah secara langsung hingga ke elevasi perencanaan *basement* yang paling bawah. Akan tetapi dengan penggunaan Teknik ini, maka tanah disekitar galian akan cenderung melakukan dorongan aktif dan memicu jatuhnya tanah sekitar menuju area yang sudah digali atau terjadinya longsor. Oleh karena itu tanah disekitar area penggalian perlu ditahan dan diberi *ground anchor* dalam penggunaan metode ini agar tanah disekitar area penggalian tidak runtuh.

Selain itu, penggunaan metode ini perlu memperhatikan lingkungan disekitar proyek seperti seberapa banyak Gedung yang sudah terbangun disekitarnya. Hal ini dikarenakan tidak disarankan apabila disekitar area proyek terdapat banyak Gedung-gedung yang sudah berdiri sebab akan sangat mengganggu bagi keberadaan gedung-gedung tersebut. Gangguan yang terjadi dapat berupa runtuhnya bagian struktural dari gedung-gedung tersebut, turunnya tanah atau pondasi dari bangunan tersebut.

3. Teknik Strutting Steel

Proses awal dari metode ini secara garis besar sama dengan metode *cut-off* yakni melakukan penggalian seluruh tanah secara langsung hingga ke elevasi *basement* yang paling dasar atau bawah. Karena tahap awal yang dilakukan maka kendala dan kesulitan yang dialami pun sama yaitu kecenderungan tanah sekitar untuk jatuh dan runtuh menuju area galian. Oleh karena itu untuk mencegah runtuh atau jatuhnya tanah yang berada disekitar proyek, perlu diberikan penahan tanah yang terdapat disekitar galian.

Yang membedakan metode ini dengan metode *cut-off* adalah metode pencegah runtuhnya tanah sekitar. Pada Metode *Strutting* ini, pencegahan yang dilakukan adalah dengan memberikan tahanan *structural* berupa rangka baja dari satu sisi tanah menuju ke sisi tanah yang lain, sehingga

apabila dilihat dari atas, rangka baja yang dipakai itu kurang lebih akan terlihat seperti jaringan atau net.

4. Metode Top-Down

Metode ini merupakan metode dengan melakukan cara pelaksanaan pembangunan yang dimulai dari atas ke bawah. Dengan memasang dinding diafragma, proses pelaksanaan metode ini dimulai, setelah itu dipasang pondasi dan kingpost serta dilanjutkan dengan pembuatan plat lantai dasar. Kemudian dilakukan pengerjaan konstruksi *basement* bagian bawah yang dilakukan bersamaan dengan penggalian. Apabila kondisi disekitar proyek terdapat bangunan yang berdekatan, metode ini sangat membantu dan longsor tanah di sekitar bangunan dapat dicegah.

Urutan pengerjaan metode *Top-Down*

- 1) Pasang dinding diafragma
- 2) Pasang pondasi beserta kingpost
- 3) Kerjakan plat lantai dasar
- 4) Kerjakan pengerukan dan pengecoran lantai *basement*
- 5) Kerjakan lantai *basement* lebih bawah lagi bersamaan dengan lantai lebih atas.

5. Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah (*retaining wall*) memiliki fungsi sebagai penahan tanah dari kelongsoran. Terutama pada pekerjaan galian tanah dapat menyebabkan struktur tanah menjadi tidak stabil dan mudah longsor, sehingga dibutuhkan pemilihan dinding penahan tanah yang tepat untuk menghindari kelongsoran tanah. Pada pekerjaan *basement* dinding penahan tanah dapat berfungsi pula untuk dewatering dan penahan gaya horizontal untuk pelat lantai *basement*.

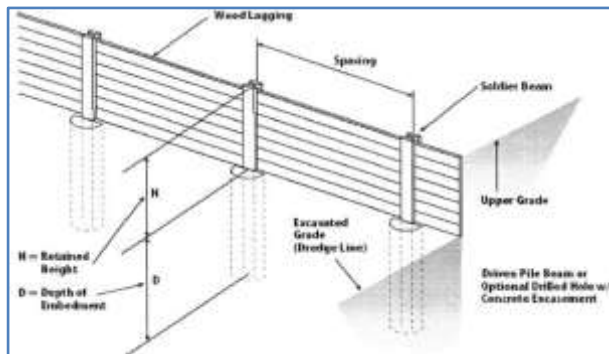
a. Diaphragm Wall

Diaphragm wall merupakan konstruksi dinding penahan tanah. Diaphragm wall memiliki fungsi *triple* yaitu : sebagai dinding penahan

tanah galian *basement, cut off* dewatering sistem pada saat pekerjaan galian *basement* dan sebagai dinding permanen bagi *basement*. Dengan fungsi yang banyak tersebut, maka penggunaan diaphragm wall akan menjadi efisien (Asiyanto, 2008)

b. Soldier Pile

merupakan alternatif lain untuk dinding penahan tanah. Soldier pile adalah pembedan dinding penahan tanah dengan menggunakan bored pile dari beton bertulang yang diselingi dengan bored pile dari bentonite. Diameter soldier pile tergantung pada kebutuhan bisa mencapai diameter 600 mm – 1000 mm.



Gambar 2.1 Konstruksi *Basement*

Sumber: *The Constructor*

6. Dewatering

Dewatering atau pekerjaan pengeringan, memiliki tujuan untuk mengendalikan air (air tanah/permukaan) agar tidak mengganggu atau menghambat proses pelaksanaan suatu pekerjaan konstruksi, terutama untuk pelaksanaan bagian struktur yang berada di dalam tanah dan di bawah muka air. (Asiyanto, 2008)

a. Open Pumping

Metode ini masih dianggap sebagai teknik yang umum diterima dimana kolektor digunakan untuk mengumpulkan air permukaan (khususnya air hujan) dan rembesan dari tepi galian. Tentu saja posisi kolektor adalah untuk membuang air keluar galian. Metode open pumping dapat digunakan bila karakteristik dari tanah merupakan tanah padat, bergradasi baik dan berkohesi, debit rembesan air tidak besar, dapat dibuat sumur atau selokan penampung, dan galian tidak dalam. Peralatan yang diperlukan untuk metode ini adalah pompa. Bila pompa yang dipergunakan pompa listrik maka dibutuhkan generator (jika tidak tersedia sumber listrik). Pada gambar berikut dapat dilihat ilustrasi metode open pumping :

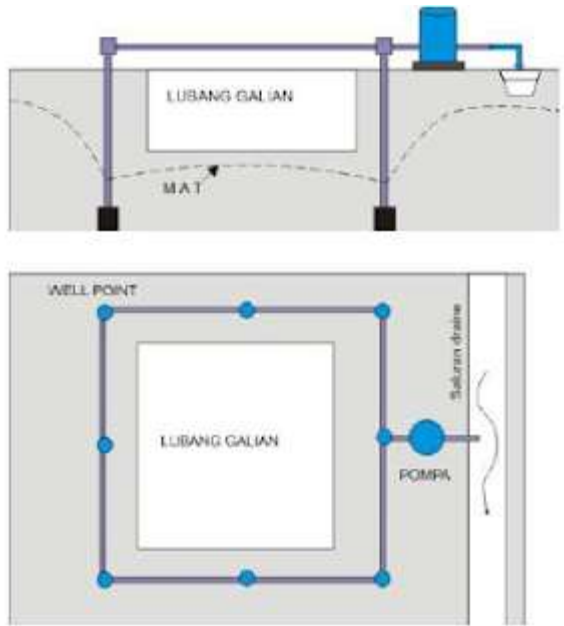


Gambar 2.2 Open Pumping
Sumber : belajarsipil.blogspot.com

b. Predraining

Prinsip kerja predrainage adalah menurunkan muka air terlebih dahulu sebelum pekerjaan galian dimulai. Metode predrainage dapat digunakan bila karakteristik dari tanah merupakan tanah lepas, berbutir seragam, cadas lunak dengan banyak celah, debit rembesan cukup besar dan tersedia saluran pembuangan air, slope tanah sensitif terhadap erosi atau

mudah terjadi *rotary slide*, penurunan muka air tanah tidak mengganggu atau merugikan bangunan disekitarnya.

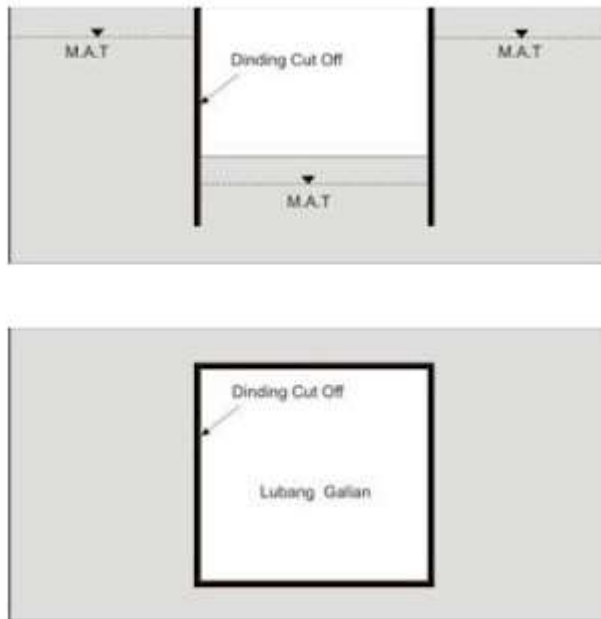


Gambar 2.3 Dewatering Predrainage
Sumber : ruangsipil.blogspot.com

c. *Cut Off*

Prinsip kerja metode *cut off* adalah aliran air tanah dipotong dengan beberapa cara yakni *steel sheet pile*, diaphragm wall dan secant pile (asiyanto, 2008). Ketiganya merupakan dinding penahan tanah, tetapi semuanya dapat menjadi pemotong aliran air tanah. Metode ini dapat digunakan bila dinding *cut off* diperlukan juga sebagai dinding penahan tanah, gedung disekitar lokasi sensitif terhadap penurunan muka air tanah, dan tidak tersedia saluran pembuang. Berdasarkan kriteria atau persyaratan pemilihan metode dewatering perlu dilakukan pengeboran terlebih dahulu untuk mengetahui secara pasti jenis tanah serta tinggi

muka air tanah (*Water Table*). Ilustrasi Metode *Cut Off* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.4 Dinding Cut Off
Sumber : ruangsipil.blogspot.com

C. PERTIMBANGAN PENERAPAN

1. Bentuknya

Opsi yang paling hemat biaya adalah menjaga ruang bawah tanah tetap dalam bentuk yang sama dengan tapak lantai dasar, karena tidak ada fondasi lebih lanjut yang diperlukan untuk menopang bangunan. Dimana pondasi pengisi parit yang dalam ditentukan karena kondisi tanah, menggali sedikit lebih dalam dan menggali ruang bawah tanah layak ditelusuri. Dinding lurus dan sederhana akan lebih irit biaya ketika akan membangunnya dari pada berbentuk lekukan.

2. Tinggi langit-langit

Langit-langit tinggi dapat meningkatkan kualitas ruangan dan ruangan besar umumnya membutuhkan langit-langit yang lebih tinggi untuk menyeimbangkan proporsinya. Tidak ada ketinggian langit-langit minimum untuk langit-langit ruang bawah tanah, tetapi ketinggian minimum praktis adalah 2,4. Semakin tinggi langit-langit semakin baik. Langit-langit perlu mengakomodasi untuk penerangan, ventilasi dan pipa ledeng, sehingga diperlukan ruang yang kedalamannya akan disesuaikan dengan ukuran saluran.

3. Pertimbangan Struktur Ruang Bawah Tanah

Jika tanah sedang digali atau ruang bawah tanah diperpanjang, maka dinding yang ada butuh penopang dan struktur lantai yang ditopang menggunakan balok kayu atau baja.

4. Kamar Mandi dan Utilitas

Pembuangan limbah dari kamar mandi, wastafel dapur, dan mesin cuci bergantung pada gravitasi, tetapi ruang dibawah tanah saluran pembuangan akan berada di atas permukaan plat. Oleh karena itu semua air kotor harus dikumpulkan dalam bak dan di pompa ke saluran pembuangan (atau tangka drainase diluar jaringan listrik)

5. Sarana menyelamatkan diri jika ada kebakaran.

Jika ruang bawah tanah akan digunakan untuk tujuan layak huni, pintu atau jendela eksternal yang cocok untuk keluar harus dilengkapi dengan area yang dapat dibuka. Sebagai alternatif, tangga yang terlindung yang mengarah dari ruang bawah tanah ke pintu keluar akhir dapat disediakan.

6. Ventilasi udara

Peraturan bangunan mengharuskan ventilasi dirancang untuk memperhitungkan kadar air dalam struktur dan kualitas udara di ruang bawah tanah. Ventilasi mekanis merupakan solusi yang paling mungkin kecuali ada pintu dan jendela eksternal yang memadai.

7. Tangga

Tangga ke ruang bawah tanah harus memiliki kemiringan tidak lebih dari 42 derajat dan memiliki ruang kepala tidak lebih dari dua meter, dilengkapi dengan pegangan tangan yang sesuai dan langkah yang tidak dapat didaki dengan jarak antar spindle kurang dari 100 mm. Lokasi tangga juga dapat dipertimbangkan dengan cermat untuk efisiensi ruang.

8. Antisipasi terhadap air

Dalam pembuatan rancangan *basement* untuk *system* utilitas pemipaannya harus dibantu dengan alat mekanis. Misalnya pada bagian *basement* dibangun kamar mandi atau toilet, jika mengacu pada prinsip gravitasi maka air buangan harus dilarikan ke tempat yang lebih rendah. Hal ini mengingat area *basement* memiliki level yang lebih rendah maka air buangannya harus dipompa ke atas agar bis dikeluarkan. Cara lain yang bias dilakukan adalah dengan membuat septictank yang lebih rendah dari lantai *basement*. Mengingat peran pompa sangat penting maka untuk mengantisipasi kerusakan mekanik pada pompa disarankan agar memiliki lebih dari satu pompa. homebuilding.co.uk

D. LATIHAN SOAL

1. Dalam proses pembuatan struktur *basement*, pekerjaan apakah yang pertama dilakukan?
2. Pemeriksaan apa yang dilakukan pada proses desain struktur *basement* ?
3. Jika muka air tanah di lahan terbangun cukup tinggi, ada beberapa cara yang dilakukan, diantaranya ?
4. Apa yang harus diperhatikan pada kondisi sekitar area terbangun dalam membangun *basement*?
5. Bagaimanakah cara memperoleh sirkulasi udara alami pada *basement* ?

6. Apa sajakah yang mempengaruhi tipe-tipe *basement*?
7. Hal-hal apa yang mempengaruhi kebutuhan dari tembok bawah tanah?
8. Apa yang sebaiknya dilakukan untuk mencegah rembesan air pada *basement* ?
9. Ketebalan dinding beton berkisar antara ?
10. Bagaimanakah prinsip kerja dari Metode *BottomUp*?



PONDASI SARANG LABA-LABA (SLL)

A. PENDAHULUAN

Pemilihan jenis pondasi merupakan salah satu tahap penting dalam perencanaan sebuah bangunan. Pondasi merupakan bagian dari suatu *system* rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan ke dalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya (Bowles, 1997 dalam Hardiyatmo 2012).

Suatu sistem pondasi harus dapat menjamin dan harus mampu mendukung beban bangunan di atasnya, termasuk gaya-gaya luar seperti gaya angin, gempa dan lain-lain. Jika terjadi kegagalan konstruksi pada pondasi, misalnya retak atau patah, dapat terjadi hal-hal seperti :

1. Kerusakan pada dinding, retak, miring.
2. Lantai pecah, retak, bergelombang.
3. Penurunan atap dan bagian-bagian bangunan lain.

Untuk itu pondasi haruslah kuat, stabil dan aman agar tidak mengalami kegagalan konstruksi, karena akan sulit untuk memperbaiki suatu sistem pondasi. Menurut Suyono (1984) dalam Hardiyatmo (2012),

pemilihan jenis pondasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain adalah :

1. Keadaan tanah pondasi, meliputi jenis tanah, daya dukung tanah, kedalaman tanah keras dan lainnya.
2. Batasan-batasan akibat konstruksi di atasnya, meliputi kondisi beban (besar beban, arah beban, penyebaran beban), sifat dinamis bangunan atas (statis tertentu atau tak tentu, kekakuan dan lainnya).
3. Batasan-batasan di sekelilingnya, meliputi kondisi lokasi proyek, pekerjaan pondasi tidak boleh mengganggu atau membahayakan bangunan dan lingkungan sekitarnya.
4. Waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan. Pada dasarnya waktu berbanding lurus dengan biaya pelaksanaan, semakin sedikit waktu yang digunakan maka dapat mereduksi biaya proyek. Akan tetapi hal ini tidak mutlak terjadi, karena masih ada berbagai faktor yang andil dalam proses pembangunan di antaranya mutu material yang digunakan, jenis peralatan yang dipakai dan lain-lain.

Pemilihan jenis pondasi secara garis besar ditentukan berdasarkan faktor teknis, ekonomis dan lingkungan. Solusi yang tepat untuk membuat suatu sistem pondasi yang tepat berdasarkan faktor teknis, ekonomis dan lingkungan sehingga dapat digunakan pada kondisi tanah yang sesuai. Jika bangunan akan dibangun di daerah dengan daya dukung tanah *relative* rendah atau tinggi bangunan yang tanggung (tidak tinggi ataupun rendah atau antara 3 sampai 8 lantai) diharapkan kombinasi Pondasi Sarang Laba-Laba mampu menjadi salah satu solusi yang tepat. Karena, jika menggunakan pondasi dalam, misalnya dengan tiang pancang, maka harga bangunan akan naik hingga 30%, sedangkan jika digunakan pondasi dangkal harus mempertimbangkan resiko penurunan bangunan secara tidak merata (*irregular differential settlement*) ditambah dengan total *settlement*. Konstruksi Sarang Laba-Laba merupakan struktur kombinasi yang memungkinkan adanya kerjasama timbal balik saling menguntungkan

antara sistem pondasi plat beton pipih menerus yang dibawahnya dikakukan oleh rib-rib tegak pipih tapi tinggi dengan sistem perbaikan tanah dibawah plat atau diantara rib-rib. Sejak tahun 1976 sampai saat ini, Konstruksi Sarang Laba-Laba telah digunakan pada lebih dari 1000 bangunan di Indonesia.

Secara sederhana konstruksi sarang laba-laba (KSLL) dapat digambarkan sebagai berikut :

1. Merupakan plat pipih menerus yang dibawahnya dilakukan oleh rib-rib yang tegak dan pipih tapi tinggi
2. Rib-rib pemaku ditempatkan sedemikian rupa sehingga denah atau tampak atas dari pada susunan rib-rib tersebut membentuk petak segitiga
3. Dalam penggunaannya sebagai pondasi yang memikul beban-beban terpusat/kolom maka susunan diatur sedemikian rupa sehingga titik-titik pertemuan dari rib-rib dengan titik kerja beban/kolom berimpit.

B. SYARAT UMUM PERANCANGAN

Dalam proses perancangan perlu dicari derajat kedekatan antara *system structural* yang digunakan dengan tujuan desain (tujuan yang dikaitkan dengan masalah arsitektural, efisiensi, *serficeability*, kemudahan pelaksanaan dan biaya).

1. Aspek arsitektural, hal ini berkaitan dengan denah dan bentuk struktur yang dipilih dikaitkan dengan segi arsitektur.
2. Aspek fungsional, berkaitan dengan struktur yang akan dibangun
3. Aspek kekuatan dan stabilitas struktur, berkaitan dengan kemampuan struktur menerima beban0-beban yang bekerja baik beban lateral maupun *vertical*, serta kestabilan struktur.
4. Faktor ekonomi dan kemudahan pelaksanaan. Biasanya dalam perancangan suatu struktur terdapat berbagai alternatif pembangunan, maka salah satu faktor yang berperan didalamnya

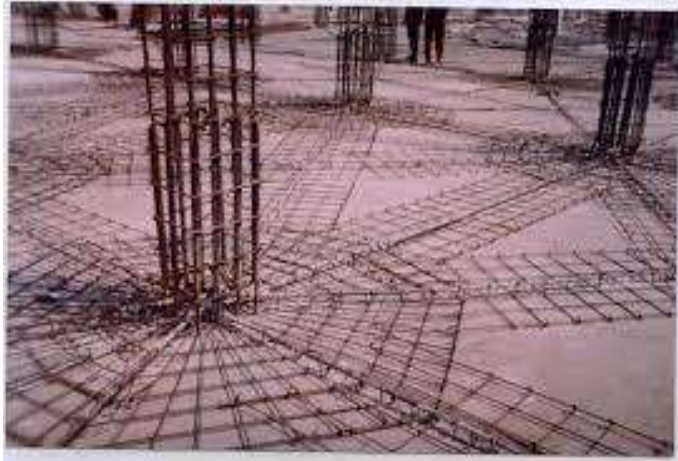
adalah masalah biaya dan kemudahan pelaksanaan pembangunan di lapangan.

5. Faktor kemampuan struktur mengakomodasi *system* layanan gedung. Pemilihan *system* struktur yang digunakan juga harus mempertimbangkan kemampuan struktur dalam mengakomodasikan *system* layan yang digunakan

C. KONSTRUKSI SARANG LABA-LABA (KSSL)

1. Tinjauan Umum

Pondasi KSSL merupakan kombinasi konstruksi bangunan bawah konvensional yang merupakan perpaduan plat beton pipih menerus yang dibawahnya dilakukan rib-rib tegak yang pipih tinggi dan *system* 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. Dinamakan sarang laba-laba karena pembesian plat pondasi di daerah kolom selalu berbentuk sarang laba-laba. Juga bentuk jaringannya yang tarik-menarik bersifat monolit yaitu berada dalam satu kesatuan. Ini disebabkan plat konstruksi didesain untuk multifungsi, untuk *septictank*, bak reservoir, lantai, pondasi tangga, kolom praktis dan dinding. Rib (tulang iga) KSSL berfungsi sebagai penyebar tegangan atau gaya-gaya yang bekerja pada kolom. Pasir pengisi dan tanah dipadatkan berfungsi untuk menjepit rib-rib konstruksi terhadap lipatan puntir.

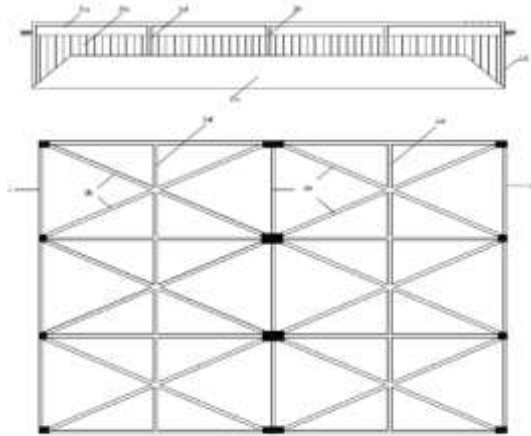


Gambar 3.1 Struktur pondasi sarang laba-laba
Sumber : ruangsipil.blogspot.com

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

1. Konstruksi beton

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



Gambar 2.9 Konstruksi Sarang Laba-Laba
(Sumber : Dokumentasi PT. Katama Suryabumi, 2008)

Gambar 3.2 Konstruksi Sarang Laba-Laba Sumber : Dokumentasi PT. Katama Suryabumi <https://katama.co.id/>

Keterangan Gambar :

- 1a (Plat beton pipih menerus)
- 1b (Rib konstruksi)
- 1c (Rib *setlemen*)
- 1d (Rib pembagi)
- 2a (urugan pasir yang dipadatkan)
- 2b (Urugan tanah yang dipadatkan)
- 2c (lapisan tanah asli yang ikut terpadatkan)

2. Perbaikan tanah/pasir

Rongga yang ada diantara rib-rib / di bawah pelat diisi dengan lapisan tanah / pasir yang memungkinkan untuk dipadatkan dengan sempurna. 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 bias memperkecil dimensi pelat serta rib-ribnya. Sedangkan rib-rib serta pelat KSSL merupakan pelindung bagi perbaikan tanah yang sudah dipadatkan dengan baik.

Pada dasarnya pondasi KSSL bertujuan untuk memperkaku sistem pondasi itu sendiri dengan cara berinteraksi dengan tanah pendukungnya. Seperti diketahui bahwa jika pondasi semakin fleksibel, maka distribusi tegangan / stres tanah yang timbul akan semakin tidak merata, terjadi konsentrasi tegangan pada daerah beban terpusat. Dan sebaliknya, jika pondasi semakin kaku / rigid, maka distribusi tegangan /stres tanah akan semakin merata. Hal ini mempengaruhi kekuatan pondasi dalam hal penurunan yang dialami pondasi. Dengan pondasi KSSL, karena mempunyai tingkat kekakuan yang lebih tinggi, maka penurunan yang terjadi akan merata karena masing-masing kolom dijepit dengan rib-rib beton yang saling mengunci.

D. KELEBIHAN DAN KELEMAHAN PONDASI SLL

Menurut Lokakarya yang diadakan di Bandung pada pertengahan tahun 2004 oleh Puslitbang Depkimpraswil yang dihadiri oleh para pakar gempa dan tanah, disimpulkan kelebihan-kelebihan pondasi KSSL adalah sebagai berikut :

1. KSSL memiliki ketahanan terhadap gempa bumi, dimana pondasi ini dapat menahan guncangan dari gempa bumi dengan lebih baik dari pada pondasi konvensional, karena secara struktur konstruksi segitiga pada jaring-jaring laba-laba yang dapat menyebar gaya guncangan secara merata keseluruh struktur bangunan.
2. KSSL dari segi ketahanan angin, dapat menahan angin dengan lebih baik karena jarring-jaring segi tiga yang dibuat dari beton bertulang memberikan kekuatan *structural* yang lebih baik dari pada konstruksi bangunan dengan dinding datar.

3. KSSL lebih mudah dan cepat dibangun karena pembangunan pondasi laba-laba memerlukan sedikit bahan dan waktu yang lebih sedikit untuk menghasilkan hasil yang kuat dan tahan lama.
4. KSSL ramah lingkungan karena kebutuhan material yang sedikit dan menghasilkan sedikit limbah. Hal ini membuat pondasi laba-laba lebih ramah lingkungan dan dapat membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Namun, perlu diingat bahwa Teknik konstruksi dengan pondasi laba-laba masih relatif baru dan masih dalam tahap pengembangan dan pengujian. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi lebih lanjut dan pengujian yang lebih detail untuk memastikan keamanan dan efektivitasnya dalam jangka Panjang.
5. KSSL memiliki kekurangan dengan biaya awal pelaksanaan yang lebih tinggi, dimana pelaksanaan pondasi laba-laba memerlukan keterampilan dan peralatan yang khusus.
6. KSSL dalam pelaksanaannya memiliki kesulitan khusus dalam pembuatannya yaitu pembuatan jaring-jaring segitiga yang kuat dan stabil memerlukan keterampilan khusus, jika tidak dilakukan dengan benar, pondasi KSSL menjadi tidak aman.
7. KSSL dalam pelaksanaannya harus pada cuaca yang ideal, Jika kondisi cuaca buruk, maka pelaksanaannya akan tertunda.
8. KSSL tidak cocok untuk semua jenis tanah, seperti tanah liat atau tanah yang tidak stabil.
9. KSSL cenderung lebih sulit untuk dipelihara dan diperbaiki karena konstruksi dan bentuknya yang kompleks.
10. KSSL memiliki kekakuan yang lebih baik dengan penggunaan bahan bangunan yang hemat dibandingkan dengan pondasi rakit
11. KSSL memiliki kemampuan memperkecil *differensial Settlement* dan mengurangi *irregular settlement* apabila dibandingkan dengan pondasi rakit

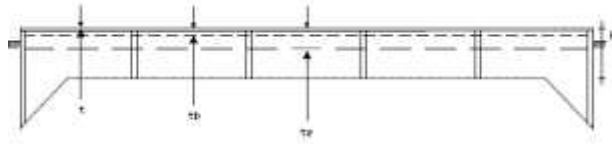
12. KSSL mampu membuat tanah menjadi bagian dari struktur pondasi karena proses pematatannya akan meniadakan pengaruh lipatan atau *lateral buckling* pada rib.
13. KSSL berpotensi untuk digunakan sebagai pondasi bangunan bertingkat rendah (2 Lantai) yang dibangun di atas tanah lunak dengan mempertimbangkan total *settlement* yang mungkin terjadi.
14. Pelaksanaannya tidak menggunakan alat-alat berat dan tidak mengganggu lingkungan sehingga cocok diterapkan baik di lokasi [adat penduduk maupun di daerah terpencil.
15. KSSL mampu menghemat penggunaan baja tulangan maupun beton.
16. Waktu pelaksanaan yang diperlukan relatif lebih cepat dan dapat dilaksanakan secara padat karya
17. KSSL lebih ekonomis dibanding pondasi konvensional rakit ataupun tiang pancang, terlebih dengan pondasi dalam, sehingga cocok digunakan oleh negara-negara sedang berkembang sebab murah, padat karya dan sederhana.

Dalam memilih Teknik konstruksi pondasi, perlu dilakukan evaluasi terhadap kondisi tanah, cuaca, keandalan kontraktor, biaya, waktu, dan kebutuhan *structural* bangunan untuk menentukan apakah Teknik konstruksi pondasi laba-laba cocok atau tidak.

E. KEISTIMEWAAN SISTEM KONSTRUKSI DAN BENTUK PONDASI SARANG LABA-LABA

1. Aspek Teknis

- Pelat pipih menerus yang dibawahnya dilakukan oleh rib-rib tegak, pipih, dan tinggi.



Gambar 3.3 Pelat pipih menerus

Sumber : *Dokumentasi PT. Katama* <https://katama.co.id/>

Dengan :

t = tebal plat

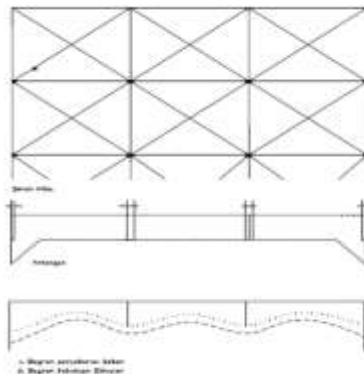
b = tabal rip

h = tinggi rib

te = tebal ekuivalen

tb = tebal volume penggunaan beton untuk pondasi KSSL, seandainya dinyatakan sebagai pelat menerus tanpa rib.

Bentuk konstruksi seperti ini, dengan bahan yang relatif sedikit (tb) akan diperoleh pelat yang memiliki kekakuan/tebal ekuivalen (te) yang tinggi. Pada umumnya $te = 2.5 - 3.5 tb$, dengan variasi tergantung desain. Bentuk ketebalan ekuivalentersebut tidak berbentuk merata, melainkan bergelombang.



Gambar 3.4 Tampak Denah, Potongan dan Diagram Penyebaran Beban dan Kekakuan Ekuivalen pada Pondasi KSSL

Sumber : *Dokumentasi PT. Katama* <https://katama.co.id/>

- *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

- *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 pertemuan rib-rib ketebalan ekuivalen semakin berkurang.

Dalam perencanaan pondasi KSSL sebagai pondasi bangunan gedung harus 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.

- *Rib-rib Settlement yang cukup dalam*



Gambar 3.5. Rib Settlement
Sumber : Dokumentasi PT. Katama

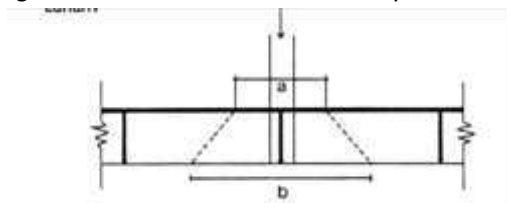
Penempatan rib yang cukup dalam diatur sedemikian rupa sehingga membagi luasan konstruksi bangunan bawah dalam petak-petak segitiga yang masing-masing

luasnya tidak lebih dari 200 m². Adanya rib-rib settlement memberi keuntungan-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. Seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar: 3.8 Rib-rib Settlement KSL
Sumber: ruangsipil.blogspot.com

- *Kolom Mencengkeram Pertemuan Rib-Rib Sampai Ke Dasar Rib*



Gambar 3.7 : Kolom yang mencengkeram pertemuan rib-rib
Sumber : Dokumentasi PT. Katama



Gambar 3.8 : Ikatan kolom dengan KSL

Sumber : ruangsipil.blogspot.com

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 KSL juga akan setinggi 120 cm. Untuk perbandingan, pada pondasi tiang pancang, hubungan antara kolom dengan pondasi hanya setebal pondasinya (kisarannya antara 50 - 80 cm).

- *Sistem Perbaikan Tanah Setelah Pengecoran Rib-rib*

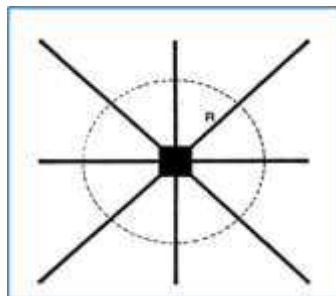
Pemadatan tanah baru dilakukan setelah rib-rib selesai dicor dan berumur sedikitnya 3 hari. Pemadatan sendiri harus dilaksanakan lapis demi lapis dan harus dijaga agar perbedaan tinggi antara petak yang sedang dipadatkan dengan petak-petak yang bersebelahan tidak lebih dari 25 cm, sehingga mudah untuk 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*).



Gambar 3.9 : Pemadatan Tanah Setelah pengecoran rib-rib
Sumber : ruangsipil.blogspot.com

- *Adanya Kerjasama Timbal Balik Yang 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-pengaruh dari banjir, penguapan dan degradasi. Perbaikan tanah akan memberi dampak lapisan tanah menjadi seperti lapisan batu karang sehingga dapat memperkecil dimensi ribnya.



Gambar 3.10 : Ikatan antara kolom dan KSSL
Sumber : Dokumentasi PT. Katama

2. Aspek Ekonomi

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.

Dibanding dengan *system* pondasi lain, KSSL dapat menekan biaya yang cukup besar, secara umum dapat menekan penghematan sebesar: untuk bangunan 3 – 8 lantai \pm 30%, Untuk bangunan 2 lantai \pm 20% dan untuk bangunan gudang kelas 1 sekitar \pm 30% (Ir. Sutjipto, dkk)

3. Aspek Pelaksanaannya

- a. Karena bentuk dan sistem konstruksinya yang sederhana, maka memungkinkan dilaksanakan dengan alat yang sederhana dan tidak menuntut keahlian tingkat tinggi
- b. Setelah pelat pondasi KSSL selesai di cor, maka progres fisik di proyek sudah mencapai peil \pm 10 cm di bawah tegel. Medan kerja kan sudah Nampak bersih dan rapi, sehingga memudahkan bagi pelaksanaan konstruksi bangunan atas.
- c. Untuk konstruksi bangunan bertingkat, maka biaya konstruksi perancah (*Scaffolding*) untuk acuan plat dan balok lantai 2 (tingkat 1) akan berkurang, maka akan sama dengan biaya perancah + acuan untuk lantai 3 dan seterusnya.

Pada sistim-sistim konstruksi bangunan bawah yang lain, biaya perancah + acuan pelat dan balok untuk lantai 2 (tingkat I) selalu lebih mahal dibandingkan dengan lantai 3 dan seterusnya karena, lantai dasar yang belum rata dan masih lunak, peil dasar tumpuan perancah pada umumnya masih peil tanah asli, yang membuat perancah menjadi lebih tinggi. Hal-hal tersebut mengakibatkan dibutuhkannya konstruksi tumpuan (biasanya papan) untuk dasar perancah dan disamping itu, jarak antara perancah yang satu dengan yang lainnya terpaksa harus berdekatan. Padahal, jarak antar perancah 50 x 50 em membutuhkan perancah lebih dari 2 kali lipat bila dibandingkan dengan jarak antar perancah 80 x 80 cm.

F. ANALISA DAYA DUKUNG PONDASI KSSL

1. Perkiraan Daya Dukung Tanah

Untuk KSSL, perkiraan kapasitas daya dukung tanah ditentukan berdasarkan perumusan :

$$q_{a(KSSL)} = 1,5 q_a (\text{Pondasi rakit})$$

Dimana:

$$q_a (\text{pondasi rakit}) = \frac{q_{ult}}{SF} \quad (SF = \text{angka keamanan } 2-4)$$

$$q_{Ult} = CN_c \cdot S_c \cdot I_c \cdot d_c + \gamma D_f \cdot N_q \cdot S_q \cdot i_q \cdot d_q +$$

$$\frac{1}{2} \gamma B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \cdot I_\gamma \cdot d_\gamma$$

Untuk $\emptyset = 0$

$$q_{Ult} = 5,14 C(1 + S_c' d_c' i_c') + q$$

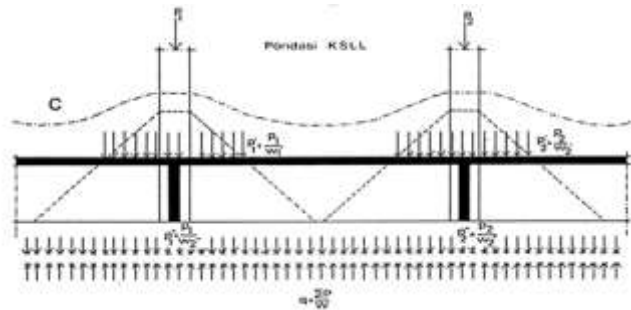
Dimana :

B = jarak terkecil antar kolom

Df = Kedalaman rib *settlement* KSSL

q_a (KSLL) + diambil 1,5 q_a (pondasi rakit) karena bekerjanya faktor-faktor yang menguntungkan pada KSLL, dibandingkan pondasi rakit, sebagai berikut :

- Untuk beban dan luasan yang sama, KSLL -memiliki kekakuan lebih tinggi daripada pondasi rakit.
- Sistim pemadatan tanah yang efektif di dalam KSLL ikut memperbaiki dan menambah kepadatan/meningkatkan daya dukung dari tanah pendukung.
- Bekerjanya tegangan geser pada rib keliling terluar dari KSLL.
- KSLL memiliki kemampuan melindungi secara permanen stabilitas dari perbaikan tanah di dalamnya.
- Penyebaran beban dimulai dari dasar pelat yang terletak di bagian atas rib, menyebabkan tegangan yang timbul akibat beban, sudah merata pada lapisan tanah pendukung, seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.11 Sebaran beban pada tanah pendukung

Sumber: Dokumentasi PT. Katama

2. Analisa Tegangan Tanah Yang Timbul

Tegangan tanah maksimum yang timbul dihitung berdasarkan perumusan :

$$q_o = R \left(A + \frac{e_x x}{I_y} + \frac{e_y y}{I_x} \right)$$

Dimana:

R = Resultan dari gaya-gaya *vertical* dari beban kolom dan beban dinding di atas KSLL

A = Luasan KSLL

I_x, I_y = Momen inersia dari luasan KSLL terhadap sumbu x dan y

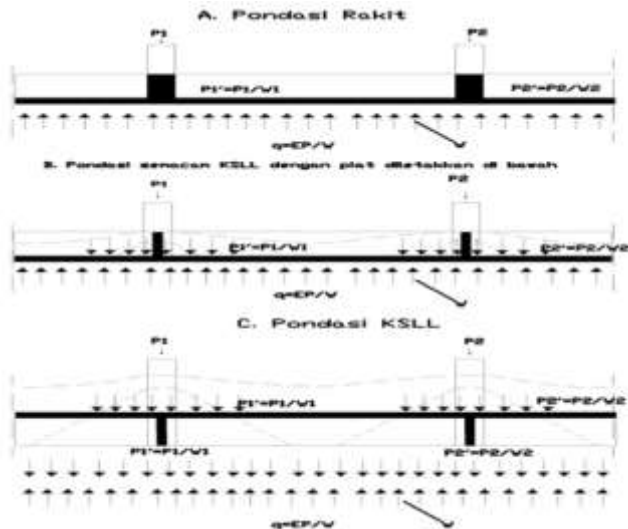
$$I_x = \frac{L \cdot B^3}{12}$$

$$I_y = \frac{B \cdot L^3}{12}$$

e_x, e_y = Eksentrisitas dari gaya-gaya *vertical* terhadap titik pusat luasan pondasi

x, y = Koordinat dari titik, dimana tegangan tanah ditinjau.

3. Proses Penyebaran Beban



Gambar 3.12 : Perbandingan proses penyebaran beban KSLL dan Pondasi Rakit (sumber : Dokumentasi PT Katama)

Pengaruh kekakuan ekuivalen dan letak plat disisi atas rib pada pondasi KSSL terhadap proses penyebaran beban adalah:

- Terdapat beban P1 dan P2 pada kolom.
- Melalui tulangan melingkar yang terdapat di sekeliling kolom, beban P1 dan P2 disebarakan ke pondasi KSSL (rib beton dan tanah yang dipadatkan)
- Beban lalu diteruskan ke tanah dasar dengan sudut penyebaran beban sebesar 45°. Pada gambar di atas beban P1 dan P2 diuraikan menjadi beban yang nilainya lebih kecil dan tersebar secara merata untuk melawan tekanan tanah w .

4. Penurunan (*Settlement*) KSSL

Untuk estimasi perhitungan penurunan yang terjadi pada sistim KSSL, bisa dipergunakan perumusan-perumusan empiris perhitungan penurunan yang lazim dipergunakan pada sistim-sistim pondasi dangkal yang lain, dengan cukup aman. Bahkan sebenarnya, masih per lu dikalikan dengan suatu faktor reduksi; hal ini disebabkan oleh adanya beberapa faktor kelebihan, yang dimiliki oleh KSSL :

- 1) Sistim perbaikan tanah di dalam KSSL, memungkinkan dilaksanakannya pemadatan tanah yang efektif, sehingga dapat dicapai tingkat kepadatan yang tinggi. Disamping itu, lapisan tanah asli di bawah lapisan perbaikan tanah akan ikut terpadatkan; akibatnya, daya dukung lapisan tanah tersebut akan mengalami peningkatan. Oleh karena itu, kemungkinan terjadinya pemampatan akibat beban yang ada di atasnya bisa direduksi.
- 2) Bekerjanya *cleef* pada sisi luar rib *settlement*, disamping meningkatkan daya dukung KSSL, juga mereduksi *settlement*.
- 3) Penyebaran beban pada lapisan tanah asli di bawah KSSL sudah merata.

- 4) KSSL bekerja sebagai satu kesatuan pondasi yang cukup luas, sehingga daya dukung pondasi bisa meningkat dan kemungkinan terjadinya penurunan diperkecil.
- 5) Adanya beban balans yang cukup tinggi di sekeliling KSSL.
- 6) Lapisan tanah yang pada sistim-sistim lain memberikan saham terbesar pada total *settlement*, pada KSSL menjadi nol.

Dengan menggunakan perumusan empiris untuk menghitung estimasi penurunan yang terjadi pada sistim-sistim pondasi dangkal konvensional, kondisi lapisan tanah teratas di bawah pelat pondasi akan memberikan pengaruh yang paling besar terhadap *settlement*, dibandingkan lapisan-lapisan di bawahnya. Pada sistim KSSL, lapisan tanah teratas tersebut sudah diperbaiki dengan proses pemadatan yang sempurna; atau dengan perkataan lain, lapisan ini sudah tidak bias memampat lagi.

G. PELAKSANAAN PONDASI KONSTRUKSI SARANG LABA-LABA

Bentuk KSSL yang sederhana dan tipikal membuat KSSL dapat dilaksanakan oleh setiap Kontraktor tanpa membutuhkan peralatan khusus. Sistimnya, yang membuat urutan pelaksanaan menjadi agak berbeda dengan *sistim* pondasi lainnya, ternyata mampu melahirkan beberapa keuntungan yang tidak kecil artinya, baik ditinjau dari segi teknis maupun dari segi biaya. Juga, karena pembongkaran acuan dari rib-rib bisa dilaksanakan 36 jam setelah pengecoran, membuat sistim KSSL dapat dilaksanakan dengan cara yang lebih efisien dari pada *sistim "network planning"* yang *lazim* dipergunakan.

Pada *sistim-sistim* pondasi langsung yang lain, pada umumnya pekerjaan perbaikan tanah *asli* merupakan pekerjaan yang mendahului pekerjaan pondasi. Untuk daerah-daerah yang permukaan air tanahnya tinggi, pekerjaan perbaikan tanah ini seringkali akhirnya menjadi pekerjaan yang sulit. Disamping itu, kepadatan tanah yang dihasilkan seringkali kurang memuaskan. Akibatnya bisa dibayangkan; bahwa untuk

daerah-daerah yang daya dukung tanahnya rendah, risiko terhadap *differential settlement* akan menjadi besar.

Kekhawatiran terhadap risiko terjadinya *differential settlement* ini membuat para Konsultan memilih pondasi dalam, apabila beban kolom sudah cukup besar. Padahal, untuk bangunan-bangunan tanggung antara 3 sampai dengan 8 lantai, terasa sekali bahwa pemilihan pondasi dalam akan merupakan pilihan yang kurang menguntungkan ditinjau dari *segi* biaya. Namun, pilihan tersebut memang agak terpaksa, karena dengan sistim-sistim pondasi langsung yang *lain*, pertimbangan-pertimbangan di atas memang mengandung risiko yang tidak kecil. Pada sistim KSSL, rib-rib konstruksinya dikerjakan mendahului pekerjaan perbaikan tanah. Karena rib-rib tersebut relatif tinggi, pekerjaan perbaikan tanah menjadi pekerjaan yang mudah, murah dan sempurna.

Mudah, karena tanah yang dipadatkan akan berada di dalam petak-petak *segi* tiga, sehingga tidak memungkinkan untuk berpindah-pindah pada waktu pemadatan.

Murah, karena slap yang dipergunakan cukup tamping rammer yang kecil. Sempurna, karena pada umumnya hasil kepadatan yang dicapai hampir selalu melampaui batas kepadatan yang disyaratkan.

Pada daerah-daerah yang air tanahnya tinggi, pada umumnya pekerjaan di bawah muka air tanah hanya setengah bagian dari rib *settlement*. Tetapi, inipun bisa diatasi dengan mudah; karena luas galian yang relatif sedikit dan membentuk selokan memanjang, sehingga tidak terlalu sulit, untuk membendung bagian-bagian yang sedang dilaksanakan, untuk kemudian dipompa airnya. Sedangkan untuk pengecoran rib konstruksi dan setengah bagian rib *settlement* bagian atas, pada umumnya tidak mengalami kesulitan, karena praktik seluruh pekerjaan dilaksanakan di atas muka air tanah.

Perbedaan urutan kerja ini ternyata menghasilkan kelebihan yang tidak kecil, sehingga membuat sistim KSSL akhirnya menjadi suatu sistim konstruksi bangunan bawah yang memiliki kemampuan daya dukung yang jauh lebih tinggi dengan faktor keamanan yang lebih besar dibandingkan dengan sistem-sistem yang lain.

1. Metode Sistem Ban Berjalan

Mengingat bentuk dan sistim pelaksanaannya, terutama bentuknya yang tipikal, pembongkaran acuan hanya 36 jam setelah pengecoran, memungkinkan untuk dikerjakan secara bertahap, maka, pada sistim KSSL dapat diterapkan sistim pelaksanaan yang lebih efisien dari pada metode *network planning*, seperti yang lazim diterapkan di dalam pembangunan konstruksi dewasa ini. Sistim ini adalah sistim yang lazim dipergunakan dalam proses produksi/perakitan di pabrik-pabrik, yaitu sistim ban berjalan. Jadi, pada prinsipnya, sistim ini menganut pola sebagai berikut :

- a. Pekerjaan KSSL, dari pekerjaan galian sampai dengan pekerjaan cor pelat, akan terdiri dari lebih kurang 35 step, yaitu:
 - 1) Galian s/d dasar rib konstruksi, digali sampai habis
 - 2) Galian setempat untuk sisa rib anti penurunan
 - 3) Pasang 1antai kerja dasar rib anti penurunan
 - 4) Pasang ½ bekisting untuk bagian rib anti penurunan bagian bawah (sampai setinggi dasar rib konstruksi)
 - 5) Pasang pembesian rib anti penurunan lengkap dengan voule.
 - 6) Pasang penutup bekisting bagian rib anti penurunan bagian bawah
 - 7) Cor rib anti penurunan bagian bawah
 - 8) Pasang kerja rib konstruksi/pembagi
 - 9) Pasang ½ bekisting rib konstruksi/pembagi
 - 10) Bongkar bekisting rib anti penurunan bagian bawah
 - 11) Urug lubang bagian bekas galian rib anti penurunan bagian bawah, lapis 1
 - 12) Pasang pembesian rib konstruksi/pembagi
 - 13) Pemadatan urugan point 11

- 14) Urugan tanah lapis II
- 15) Pemadatan
- 16) Urugan tanah lapis III
- 17) Pemadatan, urugan tanah dan seterusnya sampai rata di bawah rib konstruksi pembagi.
- 18) Tutup bekesting rib konstruksi/pembagi
- 19) Cor rib konstruksi/pembagi
- 20) Bongkar bekesting rib/pembagi
- 21) Pemadatan dasar urugan pada peil dasar rib konstruksi/pembagi
- 22) Urugan tanah lapis I
- 23) Pemadatan
- 24) Urugan tanah lapis II
- 25) Pemadatan
- 26) Urugan pasir lapis I
- 27) Pemadatan
- 28) Test
- 29) Urugan pasir lapis II
- 30) Pemadatan
- 31) Test
- 32) Lantai kerja
- 33) Pembesian plat
- 34) Pasang bekisting tepi plat
- 35) Cor palt KSL

- b. Untuk masing-masing step dihitung volumenya.
- c. Tentukan target perhari dari item pekerjaan yang dianggap paling menentukan.

Misalkan target 1 hari pengecoran dengan penyesuaian kapasitas beton molen yang dipergunakan = 12 m^3 maka akan di dapat waktu pengecoran = $\frac{V}{12} = m$ (jumlah hari yang dibutuhkan)

- a. Nilai m ini yang nantinya dipakai sebagai dasar waktu pelaksanaan untuk seluru item pekerjaan
- b. Penentuan target hendaknya didasarkan atas kemampuan kerja yang wajar.
- c. Tenaga untuk masing-masing step harus mengerjakan pekerjaan yang sama, supaya tercapai keterampilan yang semakin baik dari waktu ke waktu.
- d. Jumlah alat, tenaga kerja dan material diatur sesuai dengan kebutuhan
- e. Apabila karena gangguan cuaca, situasi dan lain sebagainya, ada beberapa item yang tidak memenuhi target, maka khusus untuk item pekerjaan tersebut dibutuhkan kerja lembur, sehingga bias mengejar target.

2. Sistem Acuan Pelaksanaan Pondasi KSL

Mengingat bentuk dan sistim pengecoran maupun sistim pembongkarannya, maka acuan dari KSL harus memenuhi pola dasar sebagai berikut :

- Tidak bisa terdiri dari satu kesatuan yang utuh, mengingat bahwa pembongkaran akan sulit dan membuat acuan kembali rusak.
- Harus terdiri dari beberapa elemen, yaitu
 - a. elemen standar,
 - b. elemen ujung,
 - c. elemen pengunci/pasak.
- Elemen standar harus segera bisa dilepas/dibongkar dengan mudah tanpa rusak, begitu pasak-pasak/elemen-elemen pengunci terlepas.
- Elemen pengunci harus diberi kode, mengingat akan ada cukup banyak macam elemen pengunci.
- Elemen ujung, apabila dibuat dari bahan baku kayu, pada umumnya merupakan bagian yang dikorbankan untuk rusak (karena terjepit).

Khusus untuk menjamin agar sistim ban berjalan bias dilaksanakan dengan sempurna, selalu dibutuhkan *stock* elemen ujung ini.

H. TAMBAHAN

1. Keuntungan-keuntungan yang diperoleh pada penggunaan KSSL untuk pondasi gudang-gudang kelas 1, hangar, bangunan-bangunan pabrik dan sebagainya :

- KSSL memiliki kemampuan menyebarkan beban-beban yang bekerja di atasnya secara merata ke lapisan tanah pendukung, sehingga dengan desain minim dari KSSL untuk bangunan-bangunan pabrik/gudang sudah mampu untuk menerima beban merata, beban setempat, beban berjala dan beban terpusat.
- Memanfaatkan seluruh luasan lantai dan teras sekeliling gudang sebagai suatu kesatuan sistem konstruksi bangunan bawah, sehingga untuk liasan gudang dan daya dukung izin tanah yang sama, mampu mendukung beban yang lebih besar dibanding dengan sistem-sistem konvensional.
- Mampu mereduksi biaya sampai 30%
- Dalam penggunaannya sebagai konstruksi bagian bawah bangunan pabrik, pada umumnya sudah tidak dibutuhkan lagi bangunan khusus untuk mesin-mesin yang dipergunakan, kecuali kalau ada faktor-faktor khusus, seperti getaran yang terlalu keras yang harus dipertimbangkan secara lebih teliti.

2. Keuntungan-keuntungan yang diperoleh pada penggunaan KSSL untuk *container yard*.

Saat ini, dunia transportasi telah memasuki era baru dengan menggunakan *container*. Untuk kondisi tanah jelek, maka penggunaan sistem-sistem konvensional sangat kurang menguntungkan, mengingat besarnya beban yang dipikul. Pada KSSL untuk perencanaan *pavement* bagi *container yard* bisa diatur perencanaannya sedemikian rupa sehingga:

- Setiap titik pada KSSL harus mampu untuk dilalui beban berjalan (jumbo forklift) 80 ton, tapi tidak harus mampu memikul beban titik 120 ton
- Beban titik 120 ton diatur penempatannya, sehingga akan duduk tepat pada titik-titik simpul

Dengan demikian didalam penggunaannya untuk *container yard*, kemampuan KSSL dapat dimanfaatkan secara maksimal dan efisien, sehingga diperoleh desain konstruksi yang ekonomis.

3. Keuntungan-keuntungan yang diperoleh dari penggunaan KSSL untuk pondasi menara. Untuk penggunaan KSSL sebagai konstruksi bangunan bawah dari menara, KSSL akan mampu berfungsi sebagai:

- Fondasi kaki menara
- Konstruksi lantai dari ruang bawah
- Pondasi dinding lantai bawah
- Dan lainnya.

Khusus untuk menara air, maka pada keliling luar KSSL bisa digunakan sebagai tandon air bawah tanah

4. Penggunaan KSSL pada menara listrik

Pada perencanaan pondasi menara listrik, maka faktor tarikan pada puncak menara akibat putusnya kabel atau pada saat pemasangan merupakan faktor dominan dibandingkan dengan beban vertikal. Dengan menggunakan KSSL maka dianggap seluruh volume tanah yang sudah dipadatkan dengan sempurna dalam KSSL sebagai satu kesatuan masa yang tidak bisa dipisah-pisahkan lagi, keuntungan ini menyebabkan bekerjanya momen panahan guling dengan biaya yang murah, dibandingkan dengan pondasi konvensional yang saat ini dipergunakan oleh pihak PLN sebagai pondasi tower untuk tanah yang jelek, maka penggunaan pondasi KSSL akan memberikan solusi terbaik dengan keuntungan sebagai berikut:

- Biaya yang jauh lebih hemat
- Kemudahan didalam pelaksanaan, hal ini amat menentukan, karena pada umumnya pondasi tower terletak pada medan-medan yang sulit dan berisiko
- Mempunyai masa yang lebih besar untuk menahan guling dari pada momen guling yang diperhitungkan
- Bekerjanya tekanan tanah pasif pada rip *settlement* semakin memperkuat kestabilan pondasi

I. PROYEK-PROYEK YANG MENGGUNAKAN PONDASI KSLL

1. Gedung kuliah Fakultas Kedokteran Universitas Islam Sultan Agung
2. 5 buah gunang kelas I proyek cargo Ketingan Surakarta
3. 3 Blok perumahan susun proyek perumahan sederhana, Surabaya
4. Gedung perkantoran PT Dwi Satriya Utama
5. Gedung kantor pusat statistik Jawa Timur
6. Gedung Radiologi Diagnostik RSUD Soetomo
7. Gedung kantor wilayah Direktorat Jenderal Pariwisata Jawa Tengah
8. Gedung kuliah IKIP Surabaya
9. Gedung kuliah Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Artha Budi Iswara
10. Gedung kantor Balai Teknologi keselamatan pelayaran DKI Jakarta.

J. SOAL LATIHAN

1. Apa yang membedakan pondasi KSLL (Konstruksi Sarang Laba Laba) dengan pondasi plat ?
2. Jelaskan syarat-syarat umum perancangan pondasi KSLL !
3. Kelebihan apa yang dimiliki KSLL dibanding pondasi klasik lainnya?
4. Apa yang menjadi keistimewaan pondasi KSLL?
5. Periksalah daya dukung pondasi KSL berdasarkan data-data berikut ini, jika di tentukan $SF = 3$

Data-data :

- Kedalaman pondasi 150 cm
- Jarak antar tiang pondasi 250 cm
- Sudut geser tanah 35°
- Berat Volume tanah $1,8 \text{ gr/cm}^2$



PONDASI CAKAR AYAM

A. PENDAHULUAN

Pondasi cakar ayam ini merupakan salah satu pondasi hasil karya anak bangsa Indonesia yang ditemukan oleh Prof.Dr.Ir.Sedijatmo pada tahun 1961. Ketika itu Prof.Sedijatmo sebagai pejabat PLN harus mendirikan 7 menara listrik tegangan tinggi di daerah rawa-rawa Ancol Jakarta. Dengan susah payah, 2 menara berhasil didirikan dengan sistem pondasi konvensional, sedangkan yang lainnya masih terbengkalai. Menara ini untuk menyalurkan listrik tegangan tinggi Tanjung Priok ke Gelanggang Olah Raga Senayan dimana akan diselenggarakan pesta olah raga Asian Games 1961. Karena waktunya sangat mendesak, sedangkan sistem pondasi konvensional sulit untuk diterapkan di rawa-rawa tersebut, maka dicarilah sistem baru, lahirlah ide Prof.Sedijatmo untuk mendirikan menara diatas pondasi plat beton yang didukung oleh pipa-pipa beton dibawahnya. Pipa dan plat itu melekat secara monolit dan mencengkram tanah lembek secara meyakinkan.

Istilah cakar ayam digunakan karena di bagian bawah pondasi tersebut terdapat pipa-pipa beton yang mencengkram tanah, seperti halnya kaki ayam. Agar dapat lebih memahami lebih lanjut sistem pondasi

cakar ayam, hendaknya kita mengetahui dulu latar belakang dari pondasi cakar ayam ini.

Pondasi Cakar Ayam Klasik, yang ditemukan oleh Prof. Dr. Ir. RM. Sedijatmo Hadmohoedjo pada tahun 1961, dengan sejarah singkatnya:

- Ditemukan tahun 1961, sebagai pondasi tower Transmisi tegangan tinggi di atas tanah lunak/rawa dengan daya dukung sekitar $\pm 1,5 - 3,00 \text{ t/m}^2$
- Perkembangan selanjutnya diaplikasikan untuk fondasi gedung bertingkat, fondasi menara air, fondasi pilar atau abutmen jembatan, sistem perkerasan jalan raya, lapangan terbang yang kesemuanya berada diatas tanah lunak.

B. PRINSIP KERJA PONDASI CAKAR AYAM

Pondasi cakar ayam terdiri dari plat tipis yang di dukung oleh pipa-pipa yang tertanam di dalam tanah. Posisi pipa-pipa ini menggantung pada bagian bawah plat. Hubungan antara pipa-pipa dibuat monolit. Kerja sama sistem yang terdiri dari plat cakar tanah ini, menciptakan plat yang lebih kaku dan lebih tahan terhadap beban dan pengaruh penurunan tidak seragam. Pondasi sistem cakar ayam ditemukan oleh Prof. Dr. Ir. Sedijatmo pada tahun 1961. Secara umum perkerasan cakar ayam terdiri dari pelat tipis beton bertulang tebal 10-17 cm yang diperkaku dengan pipa-pipa beton (cakar berdiameter 120 cm) tebal 8 cm dan Panjang pipa 150 – 200 cm, yang tertanam pada lapisan *subgrade*, dengan jarak pipa sekitar 2- 2,5 m. Dibawah pelat beton ada lapisan *lean concrete* setebal 10 cm (mutu rendah) dan lapisan sirtu.

Prinsip Kerja dari Pondasi Cakar Ayam Klasik adalah

- Pipa-pipa Cakar Ayam berfungsi sebagai *stiffener* (pengaku) sehingga slab tipis (15 cm) dapat berperilaku seperti slab “tebal” ($\pm 45 \text{ cm}$) namun dengan berat sendiri slab yang jauh lebih kecil.
- Sangat berfungsi bagus apabila mendukung beban terpusat atau momen.

- Slab langsung berada pada elevasi tanah asli setelah *distripping* seperlunya (tidak di atas timbunan). Sistem Cakar Ayam berfungsi sebagai sub-base atau fondasi. Dalam
- keadaan dimana permukaan jalan harus berada di atas permukaan tanah asli, maka
- diperlukan timbunan. Semua bahan yang memenuhi syarat timbunan bisa dipakai
- dengan CBR terendah minimum 2% dan tinggi timbunan maksimal 80 cm. Dalam hal
- ini sistem CAM berfungsi sebagai base.
- Karena “kakunya” slab, beban terpusat mampu disebarakan ke luasan efektif yang relatif besar, sehingga meskipun tanahnya lunak namun *bearing capacitynya* jadi besar.
- Lendutan akibat beban terpusat relatif jauh lebih kecil. *Defferential settlement* yang terjadi relatif jauh lebih kecil.
- Yang menahan rotasi pipa **bukan tekanan tanah pasif** (Kp) namun reaksi subgrade horizontal (Kn).
- Tidak dapat mengatasi masalah ***consolidation settlement*** terutama bila dibangun di atas timbunan.

Pondasi cakar ayam terdiri dari plat tipis yang di dukung oleh pipa-pipa yang tertanam di dalam tanah. Posisi pipa-pipa ini menggantung pada bagian bawah plat. Hubungan antara pipa-pipa dibuat monolit. Kerja sama sistem yang terdiri dari plat cakar tanah ini, menciptakan plat yang lebih kaku dan lebih tahan terhadap beban dan pengaruh penurunan tidak seragam. Pondasi sistem cakar ayam ditemukan oleh Prof. Dr. Ir. Sedijatmo pada tahun 1961. Secara umum perkerasan cakar ayam terdiri dari pelat tipis beton bertulang tebal 10-17 cm yang diperkaku dengan pipa-pipa beton (cakar berdiameter 120 cm) tebal 8 cm dan Panjang pipa 150 – 200 cm, yang tertanam pada lapisan *subgrade*, dengan jarak pipa

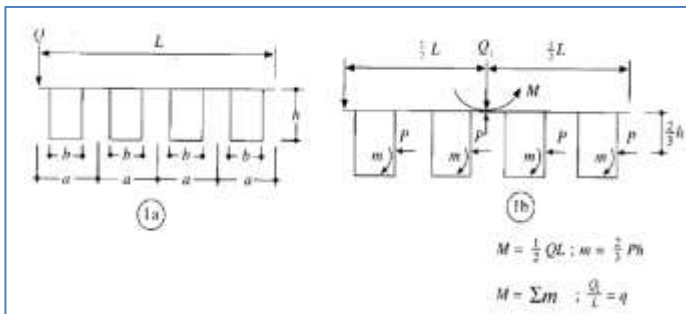
sekitar 2- 2,5 m. Dibawah pelat beton ada lapisan *lean concrete* setebal 10 cm (mutu rendah) dan lapisan sirtu.

C. ANALISA STABILITAS SYSTEM PONDASI CAKAR AYAM

1. Teori Dasar

Konstruksi cakar ayam (CA) berbeda dengan pondasi sumuran yang menumpu pada tanah keras di dasar pipa, karena konstruksi cakar ayam hanya mengambang di dalam masa tanah membawa bangunan di atasnya. Penurunan (*settlement*) diizinkan pada konstruksi cakar ayam, tapi penurunan terjadi secara bersamaan, bukan penurunan sebagian. Inilah bedanya konstruksi cakar ayam di bangunan jalan dengan konstruksi *rigid pavement*, pada konstruksi CA tidak dikenal delatasi, tetapi sepanjang jalan yang memakai konstruksi CA dibuat secara monolit.

Teori dasar stabilitas pondasi CA sebagai dasar perancangan dapat diuraikan berdasarkan gambar berikut ini:



Gambar 4.1 Struktur dan potongan pada pondasi CA

Sumber : Hardiyatmo 2010

Pada gambar diperlihatkan gaya-gaya dan momen yang bekerja di bawah pelat beton yang diakibatkan oleh beban Q di pinggir. Beban Q dapat digantikan oleh beban terpusat Q_1 di tengah pelat dengan ditambahkan momen $M = Q_2 \times 0,5 L$ (L = lebar pelat beton dan $Q = Q_1 =$

Q2). Akibat Q1 akan terjadi tekanan terbagi rata sebesar $q = Q_1/L$ dan akibat momen (M) akan ditahan oleh momen-momen lawan yang bekerja pada pipa-pipa Cakar Ayam ($m = 2/3 \times P \times h$).

Dengan:

P = tekanan tanah pasif total yang bekerja pada setiap pipa dan h = tinggi Cakar Ayam

Pada gambar 4.1 menunjukkan dengan jelas gaya-gaya dengan momen yang bekerja di bawah pelat pondasi atau dibawah permukaan jalan, yang ditimbulkan oleh beban terpusat eksentris Q di atas pelat (*Road Surface = Pavement*).

Karena beban terpusat Q_1 maka tekanan tanah akan menjadi $q = \frac{Q_1}{L}$ sementara momen M tetap dalam keadaan seimbang berkat momen lawan $m = 2/3Ph$ dimana P yang ditimbulkan oleh M menyatakan tekanan tanah pasif pada setiap pipa sedemikian rupa sehingga $M = \Sigma m$ atau $\frac{1}{2}QL = \Sigma 2/3 \times Ph$ dimana h adalah tinggi pipa.

Karena gaya-gaya dan momen-momen tersebut maka pelat tetap dalam keadaan datar sementara itu di bawah pelat hanya timbul tekanan tanah merata walaupun nyatanya beban terpusat Q bekerja secara eksentris. Berdasarkan prinsip tersebut secara sederhana bias diturunkan suatu rumus yang menggambarkan hubungan antara ukuran plat, ukuran pipa dan jaraknya satu sama lain serta sifat-sifat dan tekanan tanah, seperti pada persamaan berikut ini:

$$b \cdot h^3 = \eta a^3 \cdot y \dots\dots (4.1)$$

$$y = f(q \cdot \gamma \cdot \lambda) \dots\dots (4.2)$$

Dimana :

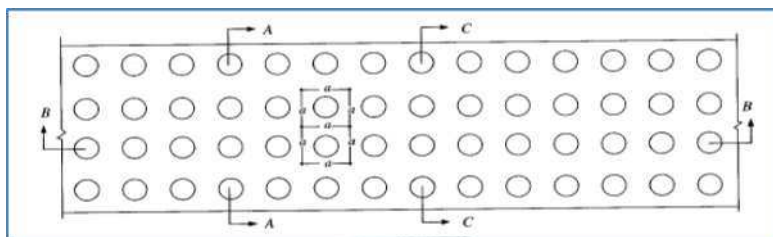
a = jarak antar pipa (m)

b = diameter luar pipa (m)

h = tinggi pipa (m)

- X = berat volume tanah
- q = tekanan tanah
- η = angka keamanan antara 1½ s.d 3

Penjabaran rumus tersebut berdasarkan gambar 4.1 adalah sebagai berikut :



Gambar 4.2 : Denah penempatan cakar berupa pipa-pipa beton
 Sumber: Hardiyatmo 2010

$$P = \frac{1}{2} h^2 \cdot \gamma \cdot \lambda \cdot b + h \cdot c \sqrt{\gamma} \cdot b \dots\dots\dots (4.3)$$

Dimana:

P = Tekanan tanah pasif (ton)

h = tinggi pipa sampai alat plat

γ = Berat volume tanah (ton/m³)

λ = Koefisien tekanan tanah pasif = $\lambda \cdot P = tg^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$

ϕ = Sudut geser dalam tanah

D = Diameter luar pipa

C = Kohesi tanah t/m²

Perlu dicatat bahwa rupanya Prof.Sedijatmo mengabaikan pengaruh kohesi dalam rumus tersebut, sehingga menjadi:

$$P = \frac{1}{2} h^2 \cdot \lambda \cdot \gamma \cdot b \dots\dots\dots (4.5)$$

P bekerja pada kedalaman h dari atas plat.
Momen dari P terhadap alas pelat

$$M = P \cdot h \dots\dots\dots (4.6)$$

Dimana:

M = Momen terhadap alas pelat

P = Tekanan tanah pasif pada sebuah pipa

h = Tinggi pipa

P disubstitusi kepersamaan (4.6)

$$M = \frac{1}{2} h^2 \cdot \lambda \cdot \gamma \cdot b \cdot \frac{2}{3} h$$

$$M = \frac{1}{3} h^3 \cdot \lambda \cdot \gamma \cdot b$$

Momen M , akibat terpusat Q yang terletak di tepi pelat, ditengah-tengah lebar pelat adalah:

$$M = Q_2 \cdot \frac{1}{2} \cdot L \dots\dots\dots (4.7)$$

Dimana:

M = Momen akibat beban eksentris (t.m)

$Q_2 = Q_1 = Q$ = beban terpusat (t)

L = Lebar pelat (m)

Apabila beban terpusat Q , dinyatakan dalam tekanan tanah lawan q , maka rumus momen M menjadi:

$$M = q \cdot a \cdot L \cdot \frac{1}{2} L \dots\dots\dots (4.8)$$

Dimana :

q = Tekanan tanah lawan (t/m^2)

a = Lebar jalur melintang pelat yang ditinjau (m)

L = Lebar pelat

Besar momen luar, M harus bias diimbangi oleh momen lawan dari empat empat buah pipa yang ada dalam jalur melintang pelat yang ditinjau. Persamaan momen menjadi:

$$M = n \cdot m \dots\dots\dots (4.9)$$

Dimana:

$$M = q \cdot a \cdot L \cdot \frac{1}{2}L$$

$$n \cdot m = n/3 \cdot h^3 \cdot \gamma \lambda \cdot b$$

Sehingga :

$$q \cdot a \cdot L \cdot \frac{1}{2}L = \frac{n}{3} h^3 \gamma \lambda \cdot b \dots\dots\dots (4.10)$$

Karena lebar jalur melintang pelat yang ditinjau = a merupakan jarak antara pipa-pipa, maka lebar pelat L , bias dinyatakan dalam a , sehingga persamaan tersebut menjadi:

$$q \cdot a \cdot L \cdot \frac{1}{2}L = \frac{n}{3} h^3 \gamma \lambda \cdot b \dots\dots\dots (4.11)$$

Dimana :

$$L = n \cdot a$$

n = jumlah pipa pada jalur yang ditinjau

$$q \cdot a \cdot n \cdot a \cdot \frac{1}{2} \cdot n \cdot a = \frac{n}{3} h^3 \gamma \lambda \cdot b$$

$$\frac{1}{2} n^2 \cdot q \cdot a^3 = \frac{n}{3} h^3 \gamma \lambda \cdot b$$

Persamaan terakhir dibalik, menjadi

$$\begin{aligned} \frac{n}{3} h^3 \cdot \gamma \cdot \lambda \cdot b &= \frac{1}{2} n^2 q a^3, \text{ selanjutnya dapat ditulis :} \\ b \cdot h^3 &= \frac{\frac{1}{2} n^2 q a^3}{\frac{n}{3} \cdot 1} = \frac{1}{2} \cdot n \cdot q \cdot a^3 \gamma^{-1} \lambda^{-1} \\ &= a^3 \left(\frac{3}{2} \cdot n \cdot q \cdot \gamma^{-1} \lambda^{-1} \right) \end{aligned}$$

Jika ruas kedua persamaan terakhir dikalikan dengan angka *safety factor* η , maka persamaan tersebut menjadi:

$$b \cdot h^3 = \eta \cdot a^3 \cdot y$$

Demikian penjabaran rumus $b \cdot h^3 = \eta \cdot a^3 y$ menjadi rumus stabilitas sebagai teori dasar pondasi cakar ayam.

2. Beban Sentris

Apabila pelat Cakar Ayam memikul beban terpusat yang sentris, yakni apabila Q berada ditengah-tengah lebar plat, maka apa yang terjadi?

Karena beban Q sentris, maka momen $M = Q \cdot \frac{1}{2} L = Q \cdot 0 = 0$

Karena beban Q tidak menimbulkan momen, maka tentunya momen lawan sebesar :

$$\Sigma M = P \cdot \frac{2}{3} \cdot h \quad \text{juga tidak timbul.}$$

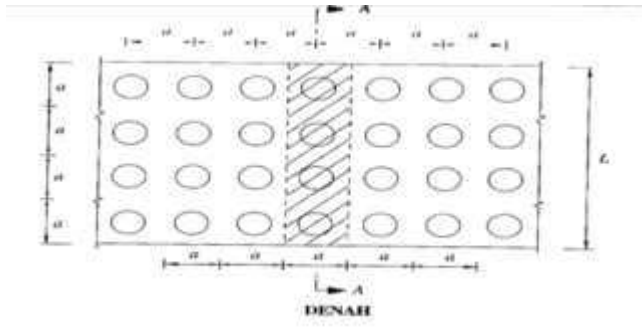
Q dapat di tuliskan dengan persamaan

$$Q = q \cdot a \cdot L \dots\dots\dots (4.12)$$

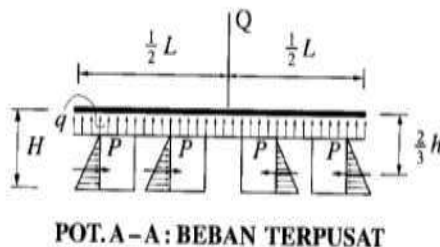
Apabila beban Q tersebut merupakan beban merata, bukan beban terpusat, maka pipa-pipa tidak akan memberikan reaksi mendatar yang berupa tekanan tanah pasif. Juga apabila pelat mempunyai tebal yang cukup di tengah-tengahnya, maka walaupun Q tersebut sentris dan terpusat, beban Q akan disebarakan secara merata di bawah pelat, karena itu pipa-pipa tidak akan memberikan reaksi mendatar, seperti yang terlihat pada gambar 4.3

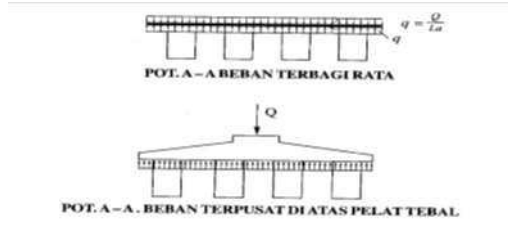
Namun apabila pelat tersebut tipis, beban Q terpusat tidak bias disebarkan secara merata di bawah plat. Jadi tekanan tanah lawan disekitar titik pusat beban akan jauh lebih besar daripada tekanan tanah lawan dipinggir-pinggir pelat.

Apabila konsentrasi tegangan tanah melampaui daya dukung tanah, maka pelat dibagian tengah akan turun, sedang bagian-bagian pinggir akan naik, dengan kata lain akibat beban terpusat yang sentris pelat akan melengkung. Hal itu memang benar, apabila di bawah pelat tidak dipasang pipa-pipa, atau dipasang namun pipa-pipa tersebut tidak saling berhubungan (tidak monolit) dengan pelat.



Gambar 4. 3. Denah penempatan buis-buis beton (cakar)
 Sumber : Hardiyatmo 2010

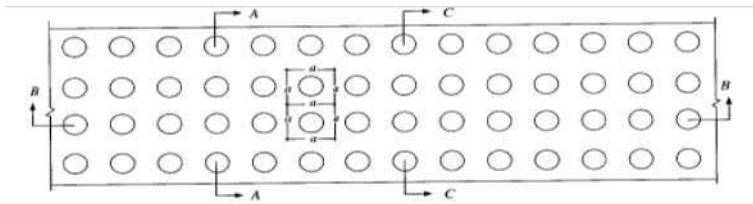




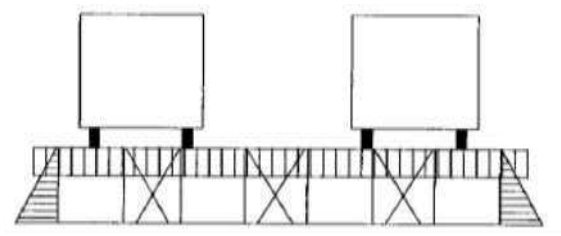
Gambar 4.4. Pembebanan pada pondasi Cakar Ayam
 Sumber: Hardiyatmo 2010

3. Peningkatan Beban

Gambar berikut ini merupakan denah dan potongan melintang jalan dengan pondasi konstruksi cakar ayam, gambar ini memperlihatkan bentuk reaksi tekanan tanah yang disederhanakan menjadi trapezium yang disebabkan berat dua buah truk yang berjajar, dan juga bentuk tekanan pasif terhadap pipa.



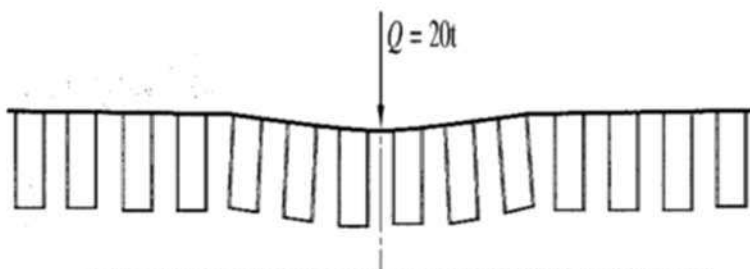
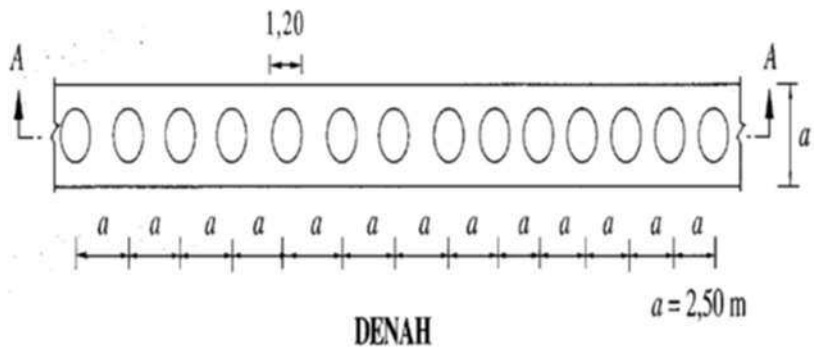
Gambar 4.5 Denah pipa-pipa beton
 Sumber : Hardiyatmo 2010



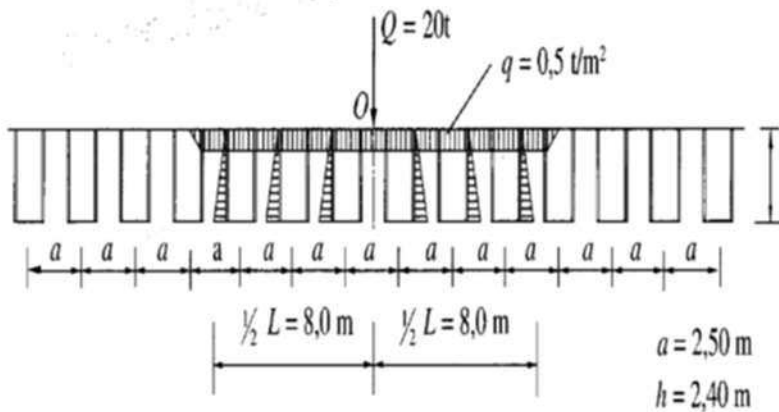
Gambar 4.6 Potongan C-C

Trapezium q_1 yang bergaris-garis yang menunjukkan tekanan tanah lawan yang merata di bawah pelat yang timbul akibat beban di atasnya, sementara trapezium q_2 yang tak bergaris-garis menyatakan tekanan tanah lawan yang merata di bawah pelat akibat beban yang ditambah dua kali dari beban sebelumnya. Besarnya trapezium dalam dua kejadian tersebut tetap sama yakni q , tapi luasnya bertambah.

Lihat gambar 4.6 beban Q menyebabkan lendutan pada plat. Untuk menghilangkan lendutan tersebut maka bergeraklah pipa-pipa yang berada disebelah kiri dan kanan beban Q . Karena Gerakan pipa-pipa maka timbullah tekanan tanah pasif untuk menahannya. Apabila semula pipa-pipa agak terpuntir maka sekarang tegak kembali. Bersamaan dengan itu pelat yang tandinya melengkung berubah menjadi datar kembali, seperti yang terlihat pada gambar 4.7 berikut ini :



GAMBAR 5.0. SEBELUM TEKanan TANAH PASIF BEKERJA



Gambar 4.7 Deformasi setelah tekanan tanah pasif bekerja

Prof. Sedijatmo menyebutkan bahwa tekanan tanah lawan q yang disederhanakan menjadi trapezium tidak akan bertambah besar walaupun beban dinaikkan atau di tambah. Besarnya trapezium. Misalkan $Q = 20$ ton, maka pipa-pipa yang bergerak adalah 3 buah kiri dan 3 buah kanan, apabila Q dinaikkan menjadi 40 ton maka lendutan plat akan menjadi lebih besar sehingga jumlah pipa yang bergerak ke kiri misalnya menjadi 5 buah begitu pula halnya dengan pipa yang bergerak di kanan.

4. Rencana Beban

Pada umumnya permukaan dari jalan raya dihitung untuk memikul beban terbagi rata 400 sampai dengan 500 kg/m², termasuk kejut yang berarti setara dengan beban kendaraan maksimum yang terjadi pada jembatan kelas 1. Untuk landasan pacu dari lapangan terbang beban terbagi rata tersebut hendaknya diambil sebesar 1 ton/m².

Berdasarkan hal tersebut model beban untuk perencanaan konstruksi cakar ayam bagi permukaan jalan raya dengan beban terbagi rata sebesar $P = 500$ kg/m². Perlu diketahui bahwa muatan jalur untuk jembatan kelas satu menurut Bina Marga No. 07/SE/M/2015

5. Penurunan Tanah

Berdasarkan pembahasan sebelumnya beban terpusat yang menyebabkan tekanan di bawah plat lebih dari 0,5 ton/m², akan disebarkan secara merata berkat adanya pipa-pipa. Pelat yang mula-mula melendur di bawah beban terpusat akan pulih menjadi datar kembali akibat bekerjanya tekanan tanah aktif pada pipa-pipa. Makin besar nilai beban terpusat, maka makin banyak pipa yang bergerak. Dengan demikian pelat tetap rata betapapun besarnya beban terpusat. Menurut Pro. Sedijatmo secara teoritis peningkatan beban bisa tak terbatas. Namun pelat tetap saja datar. Oleh karena itu tekanan tanah di bawah pelat bisa dibuat merata sebesar hanya 0,5 t/m². Hal ini berdasarkan penyelidikan bahwa peningkatan beban tidak akan memperbesar tekanan tanah lawan

q yang telah ditetapkan, melainkan hanya akan memperluas daerah penyebarannya berkat peranan pipa-pipa. Tujuan pemakaian angka keamanan tidak untuk menjamin sifat datar pelat terhadap peningkatan beban, melainkan untuk menjamin tekanan tanah pasif pada pipa-pipa agar tetap sebesar yang diinginkan, mana kala sifat-sifat tanah (γ dan \emptyset) menjadi lebih buruk dari sifat-sifat tanah yang diketahui.

D. LATIHAN SOAL

1. Apa yang mendasari ditemukannya pondasi Cakar Ayam ?
2. Apa saja kelebihan dan kekurangan yang terdapat pada sistem pondasi cakar ayam ?
3. Jalan raya dengan lebar 12,xx m dibuat melintasi daerah rawa-rawa yang tanahnya sangat lembek, apabila tanah dasar yang akan dilalui jalan raya memiliki daya dukung $q = 0,05 \text{ kg/cm}^2$ dengan sudut geser dalam $= 10^\circ$ dan berat volume $= 1,8 \text{ t/m}^3$. Berapa tinggi pipa H yang dibutuhkan jika direncanakan jarak pipa 2,xx m dengan $n = 5$, $b =$ diameter luar pipa $= 1,2 \text{ m}$ dan $\eta = 1,5$. Berapa berat beban terpusat Q yang dapat dipikul plat bila faktor kohesi tanah diabaikan ?



PONDASI CAKAR AYAM MODIFIKASI

A. PENDAHULUAN

Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) merupakan pengembangan lebih lanjut dari sistem cakar ayam **Prof. Sedijatmo**. Pengembangan yang dilakukan berdasarkan evaluasi hasil penelitian yang dilakukan secara intensif sejak tahun 1990 oleh Tim Pengembangan Sistem Cakar Ayam Modifikasi. Pengembangan yang dilakukan mencakup :

1. Perubahan bahan cakar yang semula dibuat dari pipa beton dengan diameter 1,20 m, tinggi 2 m dan tebal 8 cm, digantikan dengan pipa baja yang sangat ringan (berat sekitar 35 kg) dengan tebal 1,4 mm diameter berkisar 0,60 – 0,80 m dan Panjang 1,0 – 1,2 m. Pipa baja ini harus galvanized dan dilapisi bahan pelindung anti karat. Bahan cakar yang lebih ringan mempermudah dan mempercepat pelaksanaan.
2. Pengembangan pada metode analisis, perancangan, metode pelaksanaan, dan metode evaluasi pekerjaan.
3. Aplikasi sistem CAM pada pekerjaan jalan yang tanah dasarnya berupa tanah ekspansif (tanah dasar mudah mengalami kembang susut, sehingga merusak perkerasan).

Sistem cakar ayam yang baru ini, yang kemudian disebut dengan Sistem CAkar Ayam Modifikasi (CAM), dan telah dipatenkan oleh **Prof. Ir. Bambang Suhendro M.Sc, Ph.D., Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng., DEA., Ir. Maryadi Darmokumoro.**

Sistem Cakar Ayam Modifikasi dilakukan setelah mengkaji studi-studi yang telah/pernah dilakukan serta memperhatikan pengalaman-pengalaman di lapangan. Modifikasi-modifikasi itu adalah:

a. Modifikasi 1

Pipa beton diganti dengan pipa baja tahan karat/galvanis, sehingga :

1. Mudah dilaksanakan
2. Ringan (tebal minimum = 1,4 mm)
3. Tidak perlu alat berat
4. Tidak perlu perkerasan sementara (lapis sirtu dan *lean concrete* yang tebal) untuk dilewati alat berat pada saat konstruksi. (ide Ir. Maryadi Darmokumoro – PT. Jagat Baja Prima Utama, 2005)

b. Modifikasi 2

Slab langsung berada pada elevasi tanah asli setelah distripping seperlunya (tidak di atas timbunan). Sistem Cakar Ayam berfungsi sebagai sub-base atau fondasi. Dalam keadaan dimana permukaan jalan harus berada di atas permukaan tanah asli, maka diperlukan timbunan. Semua bahan yang memenuhi syarat timbunan bisa dipakai dengan CBR terendam minimum 2% dan tinggi timbunan maksimal 80 cm. Dalam hal ini sistem CAM berfungsi sebagai base.

c. Modifikasi 3

- Dikembangkan “bahan timbunan ringan” (berat volume bisa dibuat < 1) bahan tersebut ditimbun di atas slab Cakar Ayam, sesuai keperluan untuk mencapai elevasi jalan, untuk timbunan > 2 m (**Suhendro**).
- Dikembangkan “*precast hollow box*” sebagai pengganti timbunan, yang beratnya dapat mencapai 0,5 kali berat timbunan konvensional, untuk timbunan $\pm 1,5$ m (**Suhendro – Hardiyatmo**).

- Masalah *consolidation settlement* lebih teratasi.
- Waktu pelaksanaan jauh lebih cepat karena bisa dibuat di luar lokasi pekerjaan (pada saat yang bersamaan dengan pelaksanaan penanaman Cakar Ayam dan konstruksi slab) dan dipindahkan/dibawa ke lokasi pekerjaan pada waktunya. Modifikasi ini telah diterapkan dalam bentuk pengujian eksperimental skala penuh oleh Prof. Dr. Ir. Bambang Suhendro, M.Sc. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, pada lokasi daerah tambak di Surabaya dimana pipa beton diganti dengan pipa baja tahan karat/galvanis dan slab beton langsung menapak pada tanah asli (dasar tambak) dengan lantai kerja 5 cm.

Sistem Cakar Ayam Modifikasi memiliki keunggulan yang mengatasi masalah yang ada pada pondasi sistem cakar ayam klasik, diantaranya:

- Slab Cakar Ayam mampu mendukung beban terpusat sampai dengan 24 tf (4 x 6 tf) tanpa mengalami retak dengan besarnya lendutan maksimum adalah hanya 6 mm.
- Pipa-pipa baja beserta sistem sambungannya bekerja baik sesuai aslinya yang terbuat dari pipa beton.
- Repetisi pembebanan tidak mempengaruhi respon slab secara signifikan.

B. STANDAR

Bila tidak ditentukan lain dalam buku persyaratan teknis ini, maka diharuskan mengikuti ketentuan-ketentuan serta petunjuk-petunjuk yang dimuat dalam buku-buku standar sebagai berikut :

- **NI – 2 (PBI-1971)**, Peraturan Beton Bertulang Indonesia.
- **PUBI – 1982**, Peraturan Umum untuk Bahan Bangunan Indonesia.
- **ASTM**, *American Society of Testing Material*

- **ACI – 1976**, *American Concrete Institute*
- **AASHTO – 1978** atau sesudahnya, *American Association of State Highway and Transportation Officials*.
- **BINA MARGA No. 01/ST/BM/1972** : Spesifikasi Pelaksanaan Pembangunan Jalan Raya.
- **SII/SNI** : Standard Industri Indonesia/Standard Nasional Indonesia.

C. TEORI DASAR STABILITAS CAM

$$b \cdot h^3 = \eta \cdot a^3 \cdot \gamma \qquad \gamma = f(q\gamma\lambda)$$

Dengan :

a = jarak antar pipa-pipa

b = diameter luar pipa

h = tinggi pipa

γ = berat volume tanah

λ = konstanta tanah yang bergantung pada sudut geser tanah

q = tekanan tanah lawan (perlawanan konus)

η = angka keamanan (1,5 s.d 3)

Sementara itu tekanan aktif pada sebuah pipa adalah :

$$p = \frac{1}{2}h^2 \cdot \gamma \cdot \lambda \cdot b$$

Dengan \emptyset adalah sudut geser.

Beban yang bekerja di atas pelat pondasi cakar ayam akan menimbulkan suatu momen yang harus diimbangi oleh momen lawan dari pipa yang ada dalam jalur melintang pelat yang ditinjau, sehingga akan memberikan keseimbangan.

$$M = q \cdot a \cdot L \cdot \frac{1}{2}L$$

$$M = \frac{1}{3} \cdot h^3 \cdot \gamma \cdot \lambda \cdot b$$

Dengan :

M = momen akibat beban

L = lebar pelat

q = tekanan lawan

γ = berat volume tanah

a = lebar jalur melintang pelat yang ditinjau (m)

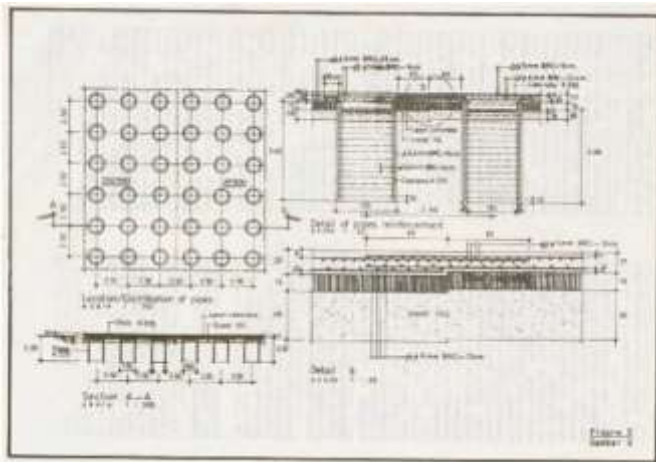
D. APLIKASI PENGGUNAAN PONDASI CAKAR AYAM DAN CAKAR AYAM MODIFIKASI

1. **Sistem Cakar Ayam** telah banyak dipakai dalam praktik sebagai:
 - Ratusan fondasi menara transmisi tegangan tinggi
 - Puluhan Fondasi bangunan bertingkat banyak, power station, kolam renang, gudang, tangka-tangki minyak dan hangar.
 - Perkerasan lapangan terbang, (Taxi way, run way dan apron)
 - Perkerasan jalan raya diberbagai jalan tol, yang kesemuanya dibangun diatas tanah yang relatif lunak sampai dengan sedang dengan ketebalan tanah lunaknya cukup besar.

Sebagai perkerasan lapangan terbang sistem CA telah menunjukkan keberhasilannya pada pekerjaan runway, taxiway dan apron di Bandara Soekarto Hatta-Jakarta, sebagai apron di bandara Juanda-Surabaya, maupun sebagai runway di bandara Poloia-Medan, dan telah terbukti berfungsi dengan baik dalam jangka Panjang (lebih dari 27 tahun) tanpa mengalami kerusakan yang berarti dan biaya perawatan yang lebih rendah. Sebagai perkerasan jalan raya, sistem CA disebut juga menunjukkan keberhasilannya sebagai *access road* sepanjang 13,5 km yang menghubungkan Jakarta – Badara Soekarno Hatta dengan beberapa ruas Tol Kampung Kayan-Sitiawan di Malaysia maupun beberapa jalan tol

simpang X – Taman Peringggit Jala di Malaka Malaysia, yang kesemuanya dibangun di atas tanah *sub grade* yang relative lunak dan telah berfungsi dengan baik selama lebih dari 27 tahun.

Sistem CA ini bukan termasuk *Convventional Rigid Pavement* (yang konsep dasarnya tanpa tulangan, dan mengandalkan modulus of Rupture/MoR material beton), namun lebih mendekati *Continuous Reinforced Concrete Pavement* (CRCP) yang konsep dasarnya menggunakan tulangan *structural*. Pada perkerasan bandara yang bebannya amat berat (*single wild load equivalent* = 25 ton) tulangan yang digunakan hanyalah \varnothing 6 BRC – 13 cm. Oleh penemunya saat itu, perhitungan sistem CA ini tidak pernah diungkap/ dipublikasikan. Sistem dirancang lebih didasarkan pada intuisi yang cermat (karena pangalaman yang matang) dan belakangan diperkuat dengan pendekatan eksperimental dengan beberapa percobaan lapangan (*Full scale experimental test*) di apron bandara Juanda-Surabaya, *Runway* bandara Polonia-Medan dan *Runway* bandara Soekarno Hatta-Jakarta. Gambar denah pondasi CA yang diaplikasikan pada *Runway* Bandara Soekarno Hatta seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 5.1 Aplikasi CAM pada *Runway* Bandara Soekarno Hatta
Sumber Hardiatmo 2010

2. Sistem Cakar Ayam Modifikasi

Pengembangan dilakukan oleh **Dr.Ir.Hary Christiady Hardiyatmo M.Eng, DEA** dan kawan-kawan pada tahun 1998, melalui percobaan-percobaan eksperimental di laboratorium dengan skala tertentu. Pada perkembangan selanjutnya pemahaman melalui pemodelan numeris yang telah divalidasikan dengan berbagai percobaan lapangan, maupun pemodelan fisik di laboratorium tersebut dapat dimanfaatkan untuk mengoptimalkan rancangan sistem perkerasan sesuai karakteristik beban yang bekerja, dan sekaligus mengembangkan rumus-rumus praktis (*simplified design formula*) untuk menyusun pedoman perancangan dan membantu para praktisi melakukan perancangan aal sistem perkerasan ini. Tahun 2003 setelah memahami mekanisme transfer beban sistem CA secara seksama, dilakukanlah pengembangan inovatif tahap berikutnya yaitu dengan mengganti pipa-pipa beton dengan pipa-pipa baja galvanis tahan karat (terlapiis pula dengan *coal/tar* tahan gores).

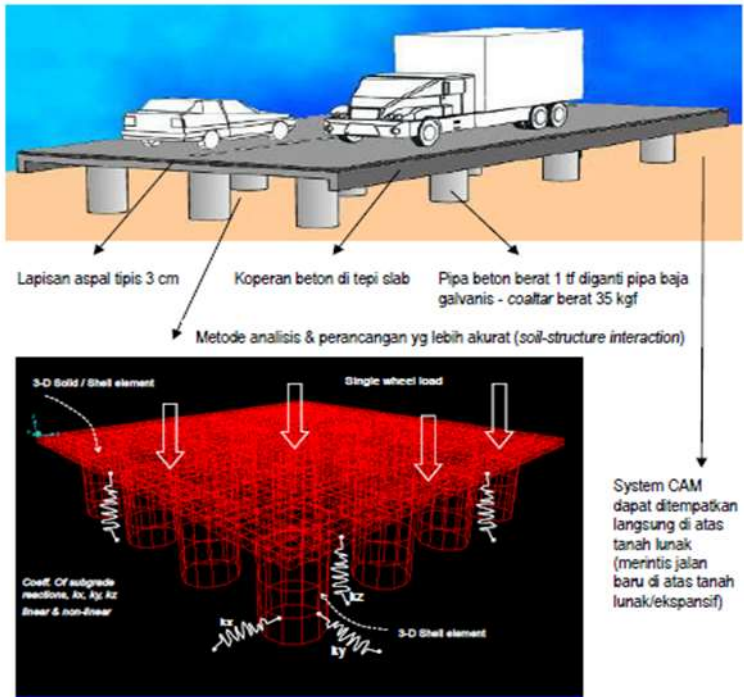
3. Pendekatan dan Pengembangan Sistem CA dan Modifikasi

Pendekatan dan pengembangan yang dilakukan dengan penelitian dapat dilihat pada diagram dibawah ini:



Gambar 5.2. Konsep pengembangan CAM (Suhendro B 2005)

Dilakukan perancangan sistem CAM dengan analisis dan perancangan yang jauh lebih akurat. Dilakukan penambahan lapisan aspal tipis (3 cm) di atas slab sejak awal, yang berfungsi ganda sebagai *wearing course*, meningkatkan *riding quality* dan mengeliminir dampak buruk thermal yang bersifat cyclic dan repetitive di wilayah tropis. Usaha yang lain juga dilakukan dengan menempatkan secara langsung slab CA pada elevasi permukaan tanah lunak asli (timbunan normal 50 cm), setelah tentunya dilakukan *stripping* seperlunya untuk menghilangkan top soil yang tidak stabil, untuk keperluan pembukaan jalan akses baru di atas tanah lunak. Ilustrasi modifikasi bisa dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 5.3 Berbagai modifikasi CA (Suhendro 2005)

Penggunaan Pipa-pipa Baja Galvanis

Ide penggantian pipa-pipa beton Cakar Ayam, yang aslinya terbuat dari pipa beton berdiameter 120 cm dengan tebal pipa 8 cm dan panjang pipa 150 ~200 cm, dengan pipa-pipa baja galvanis (dijamin tahan karat minimal 30 th) dan tahan gores (akibat adanya lapisan *coaltar*) dengan kinerja yang lebih baik, merupakan usulan inovatif dari Bp. Ir. Maryadi Darmokumoro (di awal 2005) setelah mendapat dukungan verivikatif dari Bp. Prof. Dr. Ir. Bambang Suhendro, M.Sc. (yang melakukan serangkaian simulasi/verifikasi melalui pemodelan numeris dengan *3-D Finite Element Method* di komputer maupun secara eksperimental *full sacale* di lapangan), dan menghasilkan spesifikasi optimal pipa sebagai berikut: diameter pipa 80 cm, tebal 1,4 mm dan panjang 120 cm yang dipasang pada setiap jarak sekitar 2,5 m.

Manfaat dari modifikasi ini, karena ringannya dan tipisnya pipa-pipa baja (berat 1 pipa baja hanya 35 kgf sedangkan 1 pipa beton beratnya 1 tonf), akan memberikan banyak keuntungan, diantaranya adalah: (a) mudah dilaksanakan, (b) tidak memerlukan alat-alat berat pada saat pelaksanaan, (c) tidak memerlukan perkerasan sementara (lapis sirtu setebal 35~40 cm & *lean concrete* setebal 15 cm) untuk dapat dilewati alat berat saat konstruksi, (d) waktu pengerjaan yang jauh lebih cepat, (e) biaya pelaksanaan yang relatif lebih murah (Gambar 5), dan (f) berat pipa yang berkurang dari 1 tonf menjadi hanya 35 kgf sangat berarti pada tanah lunak karena tidak mengurangi daya dukung tersedia yang relatif kecil.

Konsekuensi dari penggantian pipa ini, diperlukan : (a) *detailing* khusus sambungan antara pipa-pipa baja yang relatif tipis dengan slab beton agar mekanisme transfer beban dan fungsi utama pipa pengaku slab dapat berlangsung sempurna (Gambar 4), (b) topi pancang khusus, agar penyisipan pipa tipis ke dalam tanah dapat berlangsung baik dan mudah, tanpa merusak ujung atas pipa.

Ide ini akhirnya direalisasikan secara nyata di lapangan dengan membuat model skala 1:1 (*full scale*) di lokasi tanah lunak di Waru – Surabaya, dengan sponsor PT Citra Margatama Surabaya dan mengujinya langsung di lapangan, yang hasil-hasil pengujianya sangat memuaskan dari aspek *bearing capacity* dan defleksi slab. Setelah melalui serangkaian pengujian model di Laboratorium, yang dilakukan oleh Bp. Prof. Dr. Ir. Bambang Suhendro, M.Sc. dan Bp. Dr. Ir. Hary Christady, M.Eng., DEA, sistem perkerasan Cakar Ayam Modifikasi ini telah digunakan untuk pertamakalinya sebagai perkerasan jalan *detour* (± 300 m) di atas tanah lunak di jalan Tol Sedyatmo, untuk mengalihkan lalu-lintas jalan Tol selama hampir 1 tahun (2006).

E. METODE ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM CAM

Pada proses perancangan suatu struktur, termasuk *Pavement* yang menggunakan CAM, diperlukan data-data berupa:

- a. Sifat-sifat tanah sampai kedalaman tertentu yang di atasnya akan dibangun *pavement*
- b. Jenis dan kombinasi pembebanan yang akan bekerja.

Modifikasi ketiga pada sistem ini adalah pengembangan metode analisis dan perancangan sistem perkerasan CAM, yang jauh lebih akurat dari sebelumnya, yang pada saat itu tidak diungkap oleh penemunya.

Tahap perancangan dapat dibagi menjadi perancangan awal (*Preliminary Design*), dan perancangan detail (*detail design*). Kedua tahapan tersebut disajikan secara singkat oleh Tim (Prof. Harry Chritiadi, dkk) pada uraian berikut ini:

1. Preliminary Design

Pada tahap awal perancangan diperlukan *preliminary Design* untuk menentukan sistem struktur, bentuk, dimensi dan material yang akan digunakan yang harus mampu mendukung dan jenis dan kombinasi pembebanan yang akan bekerja di atasnya. Pada tahap ini karena banyak

parameter yang harus diperhitungkan dalam perancangan seperti tebal slab, jarak pipa, diameter pipa, tinggi pipa, tebal pipa, bahan pipa, jenis dan jenis material pada lapisan *base/subbase/subgrade*, jenis dan intensitas beban serta sifat-sifat tanah dasar. Perencanaan dapat menggunakan alat bantu (*design tool*) yang dapat berupa pengalaman, rumus-rumus yang disederhanakan maupun grafik-grafik yang secara praktis dapat digunakan untuk menetapkan sistem struktur perkerasan, bentuk, dimensi, dan jenis material sedemikian sehingga hasil rancangan dapat mendukung jenis dan kombinasi pembebanan yang bekerja dengan aman dan ekonomis. Pada tahap ini :

- a. Rumus-rumus sederhana dari Pro.Dr.Ir. Sedijatmo yang memodelkan slab sebagai balok
- b. Rumus-rumus sederhana yang berbasis pemodelan 2D (*Beam on Elastic Foundation*) oleh Dr.Ir.Hary Christady Hardiyatmo, M.Eng.DEA,
- c. Grafik-grafik perancangan yang disusun berdasarkan pemodelan *Finite Elemen* 3D dari Prof.Dr.Ir. B. Suhendro BSc. (**Suhendro Charta**) dapat dimanfaatkan. Suhendro *Chart* tersebut merupakan salah satu inovasi dalam proses atau metode perancangan sistem Cakar Ayam ataupun Cakar Ayam Modifikasi. Uraian rinci dari masing-masing *preliminary design* tidak dibahas pada buku ini.

Menurut pendekatan Prof.Dr.Ir Sedijatmo (1975) permasalahan dimodelkan menjadi 2 dimensi dan pelat beton dianggap sebagai balok. Gaya-gaya dan momen yang bekerja di bawah pelat beton yang diakibatkan oleh beban roda kendaraan dipinggir (posisi paling kritis) menjadi dasar perhitungan. Beban Q dapat diganti menjadi beban terpusat Q_1 di tengah pelat dengan ditambahkan momen $M = Q_2 \cdot 0,5L$. Akibat Q_1 akan terjadi tekanan terbagi rata sebesar $q = Q_1/L$ dengan L adalah lebar pelat beton dan akibat Momen (M) akan ditahan oleh momen-momen lawan yang bekerja pada pipa-pipa cakar ayam

$(M = \frac{2}{3} Ph)$, dengan P adalah resultan tekanan tanah pasif yang bekerja pada pipa-pipa dan h = tinggi cakar. Berbekal asumsi-asumsi yang disederhanakan tersebut dengan memasukkan data Q , L , h dan P , akan dapat diperoleh gambaran bahwa system perkerasan yang direncanakan dapat memikul beban yang bekerja di atasnya.

Hardiyatmo et al mengemukakan, untuk analisis lendutan, momen dan gaya lintang pada pelat sistem cakar ayam dengan menggunakan pendekatan *Beam On Elastic Foundation* (BoEF) yang dikembangkan oleh *Hetenyi* untuk hitungan balok pada fondasi elastis. Pada fondasi cakar ayam lendutan yang terjadi pada pelat fondasi akan menyebabkan pipa/cakar berotasi, rotasi cakar ini akan dilawan dengan tekanan tanah lateral yang ada disekeliling cakar/pipa. Akibat pembebanan pelat pondasi akan berdefleksi, bila hubungan antara cakar dan pelat diasumsikan monolit, akan defleksi pelat, cakar akan berotasi, dianggap rotasi pada pusat cakar sama dengan rotasi pada paltnya. Timbulnya rotasi pada cakar menyebabkan tanah dibelakang cakar akan melawan gerakan rotasi cakar dengan memobilisasi tekanan tanah lateral. Besarnya tekanan tanah lateral persatuan luas cakar di belakang dapat diperhitungkan. Tekanan tanah yang berkembang dibelakang cakar menggunakan koefisien reaksi *subgrade* arah horizontal dianggap sebanding dengan besarnya rotasi cakar.

Suhendro (1992) telah mengembangkan prosedur atau **Metode Analisis** sistem cakar ayam dengan Matematik non linier 3D, yaitu dengan menggunakan Metode Elemen Hingga (*Finite Elemen Method*). Model Elemen Hingga yang di kembangkan mencakup kombinasi dari elemen-elemen plat lentur (*Plate Bending*) untuk memodelkan slab, elemen-elemen cangkang 3D (*Shell*), untuk memodelkan pipa-pipa cakar ayam dan elemen-elemen pegas (*spring*) *vertical* di bawah slab untuk memperhitungkan interaksi tanah-struktur secara ekuivalen dalam bentuk reaksi *subgrade* dan elemen-elemen pegas (*spring*) horizontal pada pipa-pipa cakar ayam untuk memperhitungkan pengaruh interaksi tanah-

struktur secara ekuivalen dalam bentuk kekakuan rotasi pipa-pipa cakar ayam. Iterasi secukupnya untuk mendapatkan kondisi dimana tidak terjadi reaksi tarik pada *spring* vertical, yang mengalami Tarik harus dilepas dari model dan proses hitungan dapat dilanjutkan kembali. Iterasi dihentikan pada saat tercapai kondisi konvergen, dimana tidak ditemui reaksi tarik pada elemen *spring* vertical pada model tahap tersebut.

Berbagai kondisi *subgrade* (sangat lunak sampai sedang yang disimulasikan dengan nilai CBR 0,25 s.d 10 atau nilai $K_v = 0,25$ s.d 6 kg/cm^3). Berbagai tebal slab beton (10,15,17,20) cm, berbagai variasi jarak/diameter/Panjang pipa-pipa dan berbagai macam posisi beban telah dimodelkan dan dianalisis, kemudian hasil-hasilnya disajikan secara praktis dalam bentuk **Suhendro Charts**) yang sangat membantu baik dalam perancangan ataupun analisis. Solusi hasil pemodelan tersebut telah divalidasikan dengan berbagai hasil pengujian eksperimental secara *full scale* di *apron* Bandara Juanda Surabaya (1980), di runway Polonia-Medan (1981) maupun dengan Teknik FWD (*Falling Weight Deflectometer*) Test (1991, 1996, 2002) dan *Full Scale Loading Test*. Langsung di Runway, taxiway, dan apron di bandara Soekarno Hatta Jakarta dan memberikan hasil yang cukup akurat.

Penyajian secara grafis dalam bentuk *Charts* sangat efektif dan komunikatif karena untuk melakukan analisis sistem struktur tersebut memerlukan :

- a. Pemahaman yang mendalam terhadap masalah yang dimodelkan.
- b. Pengalaman praktis yang luas tentang penggunaan sistem tersebut sebagai *Pavement* di masa lalu sehingga dapat menginputkan data parameter structural maupun parameter tanah di bawah slab secara tepat.
- c. Pengetahuan yang cukup tentang metode elemen hingga non linier 3 Dimensi.
- d. Melakukan validasi matematis yang telah dipilih dengan hasil-hasil pengujian skala penuh di lapangan. **Metode Perancangan** yang telah

dikembangkan oleh **Suhendro** ini merupakan salah satu hasil inovasi dari desain sistem cakar ayam yang belum pernah ada sebelumnya.

2. Detail Desain

Setelah sistem struktur, bentuk, dimensi, dan jenis material telah ditetapkan maka tahap selanjutnya adalah **Analisa Struktur** untuk dapat memperoleh secara rinci respon struktur akibat beban (berupa bentuk dan besarnya defleksi slab, intensitas dan distribusi tegangan/regangan, *displacement* [ada slab, pada pipa-pipa pengaku, maupun pada setiap lapisan tanah serta distribusi dan intensitas tekanan tanah yang terjadi tepat di bawah slab atau pada kedalaman tertentu yang ditinjau). Hasil-hasil analisis inilah yang dapat digunakan untuk mengetahui dengan pasti apakah rancangan awal telah secara optimal memenuhi syarat *strength, stability, serviceability, dan Durabilit*. Apabila belum optimal, maka analisis dapat diulang lagi dengan terlebih dahulu memodifikasi atas beberapa parameter yang dianggap belum memenuhi syarat. Misalkan mengubah tebal slab, atau jarak/diameter/Panjang pipa, tebal dan jenis material *Subbase*. Agar kondisi optimal tercapai (diperlukan iterasi pada tahap ini).

F. SISTEM CAKAR AYAM MODIFIKASI PADA TANAH EKSPANSIF

Tanah ekspansif adalah istilah yang digunakan pada material tanah dan bantuan yang memiliki potensi penyusutan atau pengembangan oleh pengaruh perubahan kadar air. Tanah-tanah lempung yang mengandung banyak mineral *montmorillonite*. mengalami perubahan volume yang signifikan, ketika kadar air berubah. Pengurangan kadar air menyebabkan lempung menyusut dan sebaliknya bila kadar air bertambah lempung mengembang.

Perubahan volume tanah yang besar merusak bangunan. Perubahan bentuk permukaan tanah akibat adanya pengembangan, akan menghasilkan permukaan yang tidak beraturan, dan tekanan pengembangan yang dihasilkan akan mengakibatkan kerusakan serius

pada perkerasan jalan yang berada di atasnya. Permukaan perkerasan yang berada di atas tanah akan mengalami retak-retak akibat naik turunnya tanah, dan tekanan pengembangan yang dihasilkan akan mengakibatkan kerusakan serius pada permukaan perkerasan jalan.



Gambar 5.4. Kerusakan jalan akibat kembang susut tanah dasar

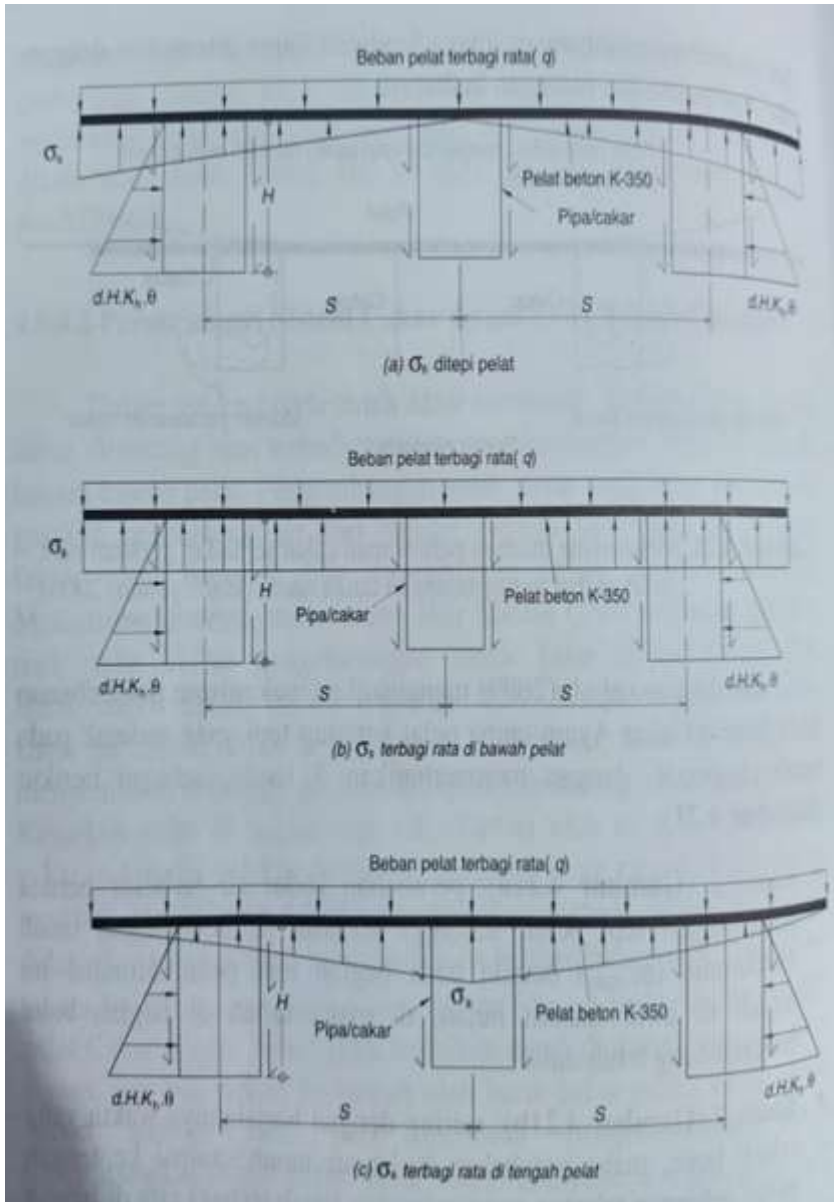
Dalam aplikasi tanah dasar ekspansif, sistem cakar ayam harus dirancang kuat terhadap tekanan pengembangan yang bekerja di bawah pelat. Pengembangan tanah dasar yang bergantung pada Gerakan kelembaban air dari pinggir menuju ke tengah merupakan faktor yang kompleks bila digambarkan dalam diagram tekanan. Mekanisme momen perlawanan cakar Sistem CAM terhadap gerakan naik pelat akibat pengembangan tanah dasar diilustrasikan oleh Hardiyatmo (2008) seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 5.5 Mekanisme momen perlawanan cakar terhadap Gerakan naik pelat akibat pengembangan tanah dasar (Hardiyatmo 2008)

Hardiyatmo dkk (2009), mengusulkan mekanisme pembebanan pada Sistem Cakar Ayam tanpa plat penutup tepi yang terletak pada tanah ekspansif dengan memperhatikan 3 kasus, yaitu:

- a. Kasus 1 (Gambar 5.5a) perubahan kadar air terbesar berada pada bagian tepi pelat, sehingga tekanan pengembangan tanah maksimum berada pada bagian tepi pelat. Kondisi ini terjadi di awal musim hujan, Dimana tanah dibagian bahu mengembang lebih dulu
- b. Kasus 2 (Gambar 5.5b) seiring dengan berjalannya waktu yang relatif lama, maka perubahan kadar air tanah sampai ke tengah pelat, sehingga tekanan pengembangan tanah terbagi rata di bawah pelat.
- c. Kasus 3 (Gambar 5.5c) pada musim kemarau pada bagian tepi pelat mengalami penyusutan atau penurunan kadar air dan dibagian tengah pelat belum mengalami pengurangan kadar air, sehingga tekanan pengembangan maksimum berada di bagian tengah pelat.



Gambar 5.5 Tekanan pengembangan terbagi rata di tengah pelat.

Sumber: Hardiyatmo et al. 2009)

G. LATIHAN SOAL

1. Jelaskan alasan ditemukannya Pondasi CA Modifikasi!
2. Apa perbedaan dari segi aspek teknis antara pondasi CA dan CAM ?
3. Perkerasan jalan akan dibangun dengan Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM), dengan lebar jalan 7.5 m. Untuk lebar ini, maka sistem CAM akan terdiri dari 3 pipa cakar ayam yang berjarak 2,5 m dengan tebal plat beton (K-350) 15 cm. Dalam perancangan disyaratkan lendutan maksimum untuk beban satu roda $Q = 10$ ton di Tengah dan ditepi plat, diperoleh modulus reaksi tanah dasar vertical $k_v = 30000 \text{ kN/m}^3$. Hitunglah lendutan, momen dan gaya lintang untuk tipe CAM dengan plat penutup tepi.

DAFTAR PUSTAKA

- Civil Engineering Blogge Wong Sipil (2015) Pembahasan Pondasi Cakar Ayam
- Hakam A. (2018) Rekayasa Pondasi untuk mahasiswa dan praktisi CV. Bintang Grafika
- Hardiatmo H. C (2009) Analisis dan Perancangan Pondasi Bagian II Jogja Karta UGM Press
- Hardiatmo H. C. (2012) Mekanika Tanah 1 edisi ke 6 Jogja Karta UGM Press
- Hardiatmo H.C. (2014) Mekanika Tanah 2 edisi ke 5 Jogja Karta UGM Press
- Hariyaniek M (2005) Metode Konstruksi Pembuatan Basement dan Analisis Pekerjaan Universitas Islam Indonesia (Skripsi)
- Hayati Y.N. dkk 2017 Desain Pondasi Konstruksi Sarang Laba-laba Pada Proyek Mini Extraction Plant for Asphalt Buton
- Katama PT Sistem Konstruksi Sarang Laba-laba
- Rahmadi H (2015) Perencanaan Metode Konstruksi Pekerjaan Basement Pada Proyek Appartement One East Residence Surabaya
- Surendro B. (2014) Mekanika Tanah, Teori, Soal dan penyelesaian. Penerbit CV ANDI OFFSET Surabaya
- Sutjipto, dkk 1984 Konstruksi Sarang Laba-Laba, Sistem Konstruksi Bangunan Bawah Untuk Bangunan Bertingkat (3 s.d 8) Surabaya

PROFIL PENULIS

Ir. Nurhayati Doda,. ST. MT



Penulis memiliki kepakaran dibidang keairan, ilmu tanah dan Pondasi dan Manajemen Konstruksi. Untuk mewujudkan karir sebagai dosen yang profesional, penulis pun aktif dalam melakukan penelitian di beberapa bidang. Beberapa penelitian yang telah dilakukan diantaranya Analisa perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga Kemenristek DIKTI. Selain itu, penulis juga giat menulis buku-buku yang terkait dengan mata kuliah yang diampu oleh penulis sebagai dosen, seperti pada book chapter Geoteknis Tanah dan Manajemen Proyek. Penulis berharap setiap karya-karyanya bisa berkesinambungan sehingga bisa memberikan sumbangsih ilmu yang utuh dan dapat memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara pada umumnya dan terlebih khusus untuk para praktisi dibidang Rekayasa Konstruksi dan para mahasiswa di negara yang tercinta ini. Email Penulis: yati.doda@gmail.com

PONDASI LANJUTAN

Pondasi Lanjutan adalah bagian dari buku yang mengeksplorasi konsep-konsep mendalam dalam desain struktur bangunan. Bab ini memusatkan perhatian pada pondasi lanjutan, yang merupakan elemen kunci dalam memastikan kestabilan dan kekuatan suatu struktur bangunan.

Buku ini dimulai dengan penjelasan tentang propertis fisik dan mekanik tanah, yang meliputi karakteristik tanah seperti kekuatan geser, kepadatan, dan kompresibilitas. Pembaca akan memperoleh pemahaman yang kuat tentang bagaimana faktor-faktor ini memengaruhi desain dan kinerja pondasi.

Selanjutnya, buku ini membahas berbagai jenis pondasi lanjutan, termasuk pondasi basement, pondasi sarang laba-laba (SLL), pondasi cakar ayam, dan pondasi cakar ayam modifikasi. Setiap jenis pondasi dieksplorasi secara rinci, termasuk kelebihan, kelemahan, dan kondisi penggunaan yang ideal.

Dengan contoh kasus dan ilustrasi yang jelas, pembaca akan dibimbing melalui proses pemilihan dan desain pondasi lanjutan yang sesuai dengan kondisi tanah dan kebutuhan struktural bangunan. Bab ini merupakan sumber pengetahuan yang berharga bagi insinyur sipil, arsitek, dan profesional lain yang terlibat dalam desain dan konstruksi bangunan.