

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Pondasi Dalam**

Pondasi dalam merupakan struktur bawah suatu konstruksi yang berfungsi untuk meneruskan beban konstruksi ke lapisan tanah keras yang berada jauh dari permukaan tanah. Definisi pondasi dalam yang lain adalah sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak relatif jauh dari permukaan. (Hardiyatmo, H.C., 1996)

Dikategorikan pondasi dalam apabila perbandingan antara kedalaman dengan lebar pondasi lebih dari sepuluh ( $Df/B \geq 10$ ).

Material pondasi dalam bisa dari kayu, baja, beton bertulang dan beton pracetak.

##### **2.1.1. Macam – macam Pondasi Dalam**

Pondasi dalam dibagi menjadi :

- a. Pondasi tiang pancang (*Pile*), bahan yang digunakan pada pondasi ini diantaranya bahan kayu (balok kayu), beton (berbentuk persegi, segitiga, maupun silinder) dan berbentuk sheet pile. Untuk memasukan tiang pancang ke dalam bumi menggunakan alat berat, metode yang digunakan mendesakkan pile ke dalam tanah bisa hammer pile, getar, dan ditekan.
- b. Pondasi bore pile, bahan yang digunakan untuk tipe pondasi ini adalah beton bertulang yang di cor ditempat (*in situ*). Pelaksanaan pondasi tipe ini membutuhkan peralatan bor baik secara manual (diameter lubang bor max 30 cm) maupun menggunakan mesin bor untuk membuat lubang dengan kedalaman rencana.
- c. Pondasi caisson, tipe pondasi ini berbentuk sumuran dengan diameter yang relatif lebih rendah. Pondasi ini digunakan apabila dasar terletak pada kedalaman relatif dalam.

## 2.2. Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang adalah suatu struktur pondasi berbentuk tiang yang penempatannya pada lapisan tanah pendukung. Sistem kerja pondasi jenis ini dikaitkan dengan kapasitas dukung tanah didasarkan pada kapasitas dukung ujung tiang maupun lekatan tanah pada keliling permukaan tiang pancang. (Sardjono, 1998)

Penggunaan pondasi tiang pancang sebagai pondasi bangunan apabila tanah yang berada dibawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung (bearing capacity) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban yang bekerja padanya atau apabila tanah yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan seluruh beban yang bekerja berada pada lapisan yang sangat dalam dari permukaan tanah kedalaman lebih dari 8 meter.

### 2.2.1. Jenis-Jenis Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang dapat digolongkan berdasarkan materialnya dan cara pelaksanaan. Penggolongan berdasarkan kualitas materialnya dan cara pembuatannya diperlihatkan dalam.

Tabel 2.1. Jenis pondasi tiang pancang berdasarkan materialnya

Kualitas Bahan	Nama Tiang	Cara Pembuatan	Bentuk
Tiang baja	Pipa tiang baja	Disambung secara elektris, diarah datar, mengeling	Lingkar an
	Tiang dengan flens lebar (Penampang H)	Diasah dalam keadaan panas, dilas	H
Tiang beton	Tiang beton bertulang pracetak	- Diaduk dengan gaya sentrifugal - Diaduk dengan penggetar	Lingkar an, segitiga . dll
	Tiang beton prategang	- Sistem penarikan awal	Lingkar an

	pracetak	- Sistim penarikan akhir	
Tiang yang dicor di tempat	Tiang alas Tiang beton Raymond	Sistem pemancangan	Lingkar an
	- Dengan menggoyangkan semua tabung pelindung	Sistim pemboran	
	- Dengan member tanah		
	- Dengan pemutaran berlawanan arah		
	- Dengan pondasi dalam		

## 2.3. Daya Dukung Pondasi

### 2.3.1. Daya Dukung Pondasi Tiang Berdasarkan Hasil CPT

Alat sondir atau Cone Penetrometer Statis (CPT) berupa tabung silinder dengan ujung bawahnya berbentuk konus dimasukkan ke dalam tanah dengan bantuan piston berkecepatan lambat dan konstan. Secara terpisah atau bersamaan hambatan lekatan lateral (Froierment, Friction laterale) dapat diukur dengan bantuan sebuah mantel dari tabung sondir yang terletak diatas elemen konus diujungnya. Daya dukung pondasi merupakan kemampuan pondasi / tanah dalam menerima beban dari atas yang diwujudkan dalam bentuk daya dukung ultimate atau daya dukung tanah maximum pada pondasi, didalam perencanaan pondasi tiang pancang (*pile*), data tanah geser sangat diperlukan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari tiang pancang sebelum pembangunan dimulai, guna menentukan kapasitas ultimit dari tiang pancang. Kapasitas daya dukung ultimit ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2.1)$$

Keterangan :

$Q_u$  : daya dukung tanah maximum pada pondasi  
(daya dukung ultimate).(ton)

$Q_p$  : resistance ultimate didasar pondasi.(ton)

$Q_s$  : resistance ultimate akibat lekatan lateral.(ton)

Untuk menghitung daya dukung tiang pancang berdasarkan data hasil pengujian sondir dapat dilakukan dengan menggunakan **Metode Philipponat**.

(Philipponat ,1980) .

$$Q_N = (Q_P) + (Q_S) \quad (2.2)$$

Daya dukung ujung tiang , sbb :

$$(Q_p)_a = A_p \times q_p \quad (2.3)$$

dimana,

A : section tiang bagian bawah  $(m^2)$

$q_p$  : unsur ujung tiang

$$q_p = \alpha_p \cdot \bar{R}_p \quad (2.4)$$

$$\text{dengan ,} \quad \bar{R}_p = \frac{1}{6B} \int_{Z_p, 3B}^{Z_p, 3B} R_p(z) dz \quad (2.5)$$

$R_p$  : data konus diambil rata-rata sepanjang 3B di atas hingga 3B dibawah dasar pondasi.

$Z_p$  : pondasi ujung bawah tiang

$\alpha_p$  : koefisien (lihat tabel 2.2) .

B : diameter tiang  $(m)$

Daya dukung lekatan, sbb:

$$(Q_s)_a = P \sum f_{ui} \cdot h_i \quad (2.6)$$

Dimana,

P : keliling tiang

$f_{ui}$  : lekatan lateral batas dari lapisan i setebal  $h_i$

Tabel 2.2. Koefisien  $\alpha_p$

Jenis Tanah	$\alpha_p$
Lempung dan kapur	0,50
Lanau	0,45
Pasir	0,40
Kerikil	0,35

Sumber : Herman Wahyudi (1999)

Unsur Lekatan (Frotterment)

$$F_u = \alpha_f \cdot \frac{R_p}{\alpha_s} \quad (2.7)$$

Dimana,

$\alpha_s, \alpha_f$ : koefisien, fungsi dari tanah dan type tiang (tabel 2.3&2.4)

$\sum h = D$  : kedalaman tiang

Tabel 2.3. Koefisien  $\alpha_s$

Jenis Tanah	$\alpha_s$
Lempung dan kapur	50
Lanau, lempung berpasir	60
Pasir berlempung	
Pasir lepas	100
Pasir sedang	150
Pasir padat	
Kerikil	200

Sumber : Herman Wahyudi (1999)

Tabel 2.4. Koefisien  $\alpha_f$

Bahan Tiang	Type Tiang	$\alpha_f$
Beton	Tiang Pancang	1.25
	Tiang dibor dan divibrasi	1
	Tiang diinjeksi	0.85
	Tiang dibor untuk 1.50 m	
	Tiang dibor dengan 1.50 m	0.75
Baja	Tiang profil H	0.10
	Tiang baja dipancang	0.60
	Tiang baja terbuka dipasang dengan cara Benoto	0.30

Sumber : Herman Wahyudi (1999)

### 2.3.2. Daya Dukung Pondasi Tiang Berdasarkan Data SPT

SPT (Standard Penetration test) banyak sekali digunakan untuk mendapatkan daya dukung tanah secara langsung. Salah satu hubungan yang pertama dikemukakan adalah rumus **Terzaghi dan Peck (1967)**. Data SPT dari lapangan tidak langsung dapat digunakan untuk perencanaan tiang pancang. Harus dilakukan koreksi dahulu terhadap data SPT asli, sebagai berikut :

### 1. Koreksi terhadap muka air tanah.

Khusus untuk tanah pasir halus, pasir berlanau dan pasir berlempung yang berada dibawah muka air tanah dan bila  $N > 15$  :

a.  $N_1 = 15 + \frac{1}{2} (N - 15)$   
(Terzaghi dan Peck, 1960) (2.11)

b.  $N_1 = 0,6 N$   
(Bazaraa., 1967) (2.12)

Pilih harga  $N_1$  yang terkecil dari a dan b tersebut.

Untuk jenis tanah lempung, lanau, dan pasir kasar bila  $N \leq 15$ , tidak ada koreksi. Jadi  $N_1 = N$ .

### 2. Koreksi terhadap overburden pressure dari tanah.

Hasil dari koreksi 1 ( $N_1$ ) dikoreksi lagi untuk pengaruh tekanan vertical efektif pada lapisan tanah dimana harga  $N$  tersebut didapatkan (tekanan vertical efektif = overburden pressure).

Koreksi terhadap overburden pressure (Bazaraa, 1967)

$$N_2 = \frac{4.N_1}{1+0,4 p'_{\circ}} \quad ; \text{ bila } p'_{\circ} \leq 7,5 \text{ ton/m}^2 \quad (2.13)$$

atau

$$N_2 = \frac{4.N_1}{3,25+0,1 p'_{\circ}} \quad ; \text{ bila } p'_{\circ} > 7,5 \text{ ton/m}^2 \quad (2.14)$$

$p'_{\circ}$  : tekanan tanah vertical efektif pada lapisan/kedalaman yang ditinjau.

Bila  $p'_{\circ}$  dalam kPa = kN/m<sup>2</sup>, maka :

$$N_2 = \frac{4.N_1}{1+0,4 p'_{\circ}} \quad ; \text{ bila } p'_{\circ} \leq 7,5 \text{ kPa} \quad (2.15)$$

atau

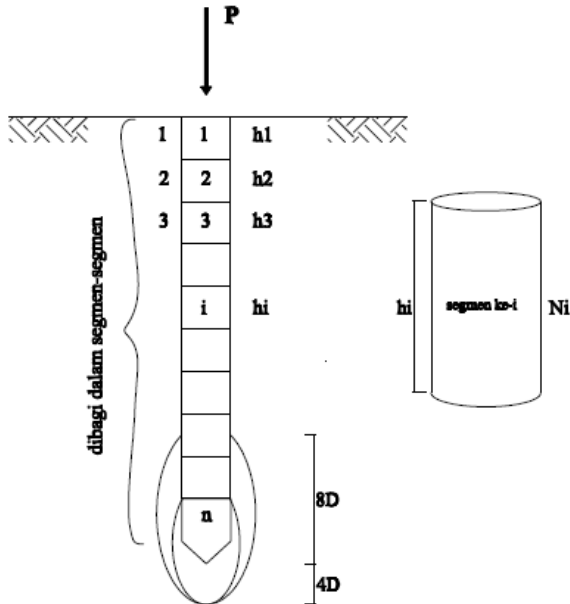
$$N_2 = \frac{4 \cdot N_1}{3,25 + 0,01 p'_{o}} \quad ; \text{ bila } p'_{o} > 7,5 \text{ kPa} \quad (2.16)$$

Perhatian :

Harga  $N_2$  harus  $\leq 2 N_1$

Bila dari koreksi didapat  $N_2 > 2 N_1$  dibuat  $N_2 = 2 N_1$

Tiang pancang dibagi menjadi n segmen (biasanya  $h_i = 1\text{m}$  atau  $2\text{m}$ )



Gambar 2.1 Kedalaman pondasi per-segmen (1m atau 2m)

$N_i$  = harga SPT yang telah dikoreksi ditengah-tengah segmen  $i$

$$P_{ult} = C_n \cdot A_{ujung} + \sum C_{li} \cdot A_{si} \quad (2.17)$$

Keterangan,

$C_n$  : hambatan geser selimut tiang pada segmen  $i$

$C_{li}$  :  $f_{si}$

$A_{si}$  : luas selimut tiang pada segmen  $i = O_i \times h_i$

$O_i$  : keliling tiang



$$C_n \text{ ujung} = 40 \bar{N} \quad (2.18)$$

Keterangan,

$\bar{N}$  : harga rata-rata N2 4D dibawah ujung s/d 8D diatas ujung tiang .

$$C_{li} = f_{si} = \begin{cases} N/2 \text{ ton/m}^2 & \text{untuk tanah lempung/lanau} \\ N/5 \text{ ton/m}^2 & \text{untuk tanah pasir} \end{cases}$$

Jadi,

$$P_{ult.tiang} = 40 \bar{N} \cdot A \text{ ujung} + \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{2 \text{ atau } 5} \times A_{si} \quad (2.19)$$

$$P_{ijin} = \frac{P_{ult}}{SF}, \text{ biasanya } SF = 3 \quad (2.20)$$

### 2.3.3. Korelasi N-SPT

Korelasi ini bertujuan untuk mengetahui nilai karakteristik tanah yang belum didapat datanya saat pengujian dan pengambilan sampel dilapangan. Berikut dilakukan untuk mendapatkan korelasi berdasarkan karakteristik tanah dan nilai N-SPT. Tujuannya untuk memudahkan dalam perhitungan perencanaan.

Dalam perencanaan daya dukung menggunakan beberapa metode yang akan dibahas dalam mencari parameter data tanah yang diperlukan diantaranya N-SPT, berat volume jenuh ( $\gamma_{sat}$ ), dan kekuatan geser undrained ( $C_u$ ). Untuk mengetahui taksiran kekuatan geser undrained ( $C_u$ ) dari nilai N-SPT digunakan Tabel 2.2. Sedangkan untuk mengetahui taksiran berat volume jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) digunakan Tabel 2.3.

Tabel 2.5. Hubungan antara parameter tanah untuk tanah lempung dan lanau

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, Cu		Taksiran harga SPT, Harga N	Taksiran harga tahanan conus, qc (dari Sondir)	
	kPa	ton/m <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	kPa
Sangat Lunak (very soft)	0 - 12,5	1 - 1,25	0 - 2,5	0 - 10	1 - 1000
Lunak (soft)	12,5 - 25	1,25 - 2,5	2,5 - 5	10 - 20	1000 - 2000
Menengah (medium)	25 - 50	2,5 - 5	5 - 10	20 - 40	2000 - 4000
Kaku (stiff)	50 - 100	5,0 - 10	10 - 20	40 - 75	4000 - 7500
Sangat kaku (very stiff)	100 - 200	10 - 20	20 - 40	75 - 150	7500 - 15000
Keras (hard)	>200	>20	>40	>150	>15000

Sumber : Mochtar (2006), revised (2012)

Tabel 2.6. Hubungan antara parameter tanah untuk tanah pasir (Teng 1962)

Konsistensi tanah	Taksiran harga kekuatan geser undrained, Cu		Taksiran harga SPT,	Perkiraan berat volume jenuh $\gamma_{sat}$ (ton/m <sup>3</sup> )
Very loose (sangat renggang)	0% s/d 15%	0 s/d 4	0 s/d 28	< 1,60
Loose (renggang)	15% s/d 35%	4 s/d 10	28 s/d 30	1,50 - 2,0
Medium (menengah)	35% s/d 65%	10 s/d 30	30 s/d 36	1,75 - 2,10
dense (rapat)	65% s/d 85%	30 s/d 50	36 s/d 41	1,75 - 2,25
Very dense (sangat rapat)	85% s/d 100%	>50	41*	

\*Perkiraan oleh Mochtar (2009)

### 2.3.4. Daya Dukung Ijin Vertikal Tiang ( $Q_{Vijin}$ )

Menentukan daya dukung ijin tiang ( $Q_{ijin}$ ) dilakukan dengan membagi daya dukung ultimate terhadap safety factor (Angka keamanan).

$$Q_{V\ ijin} = \frac{Q_{ult}}{SF} \quad (2.8)$$

Nilai angka keamanan (SF) ,untuk pondasi adalah 2 s/d 4 (menurut beberapa ahli) sedangkan untuk tiang pancang min 2.5 (Tomlinson, 1977), hal ini dilakukan untuk mengantisipasi adanya variasi lapisan tanah.

### 2.3.5. Kapasitas Kelompok Tiang

Pondasi tiang pancang yang umumnya dipasang secara berkelompok. Yang dimaksud berkelompok adalah sekumpulan tiang yang dipasang secara relatif berdekatan dan biasanya diikat menjadi satu dibagian atasnya dengan menggunakan pile cap. Untuk menghitung nilai kapasitas dukung kelompok tiang, ada beberapa hal yang harus diperhatikan terlebih dahulu, yaitu jumlah tiang dalam satu kelompok, jarak tiang, susunan tiang dan efisiensi kelompok tiang.

#### a. Repartisi Beban-Beban diatas Tiang Kelompok:

- **Tiang Yang Menerima Beban Vertikal, horisontal dan Momen ,maka besarnya vertikal ekivalen yang bekerja pada sebuah tiang , sbb:**

$$Q_{\max} = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{M_y \cdot X_{\max}}{\sum X^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{\max}}{\sum Y^2} \quad (2.9)$$

Dimana :

$Q_{\max}$  : Beban max yang diterima oleh tiang pancang (ton)

$\sum V$  : Jumlah total beban normal (ton)

$V_1$  : Beban luar /vertikal yang bekerja (ton)

$V_2$  : Berat poer (ton)

$n$  : Banyaknya tiang dalam dalam kelompok (pile group)

$M_y$  :Momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu y (tonm)

$M_x$  :Momen yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu x (ton.m)

- X<sub>max</sub> : Absis terjauh tiang terhadap titik berat ke kelompok tiang (m)  
 Y<sub>max</sub> : Ordinat terjauh tiang terhadap titik berat ke kelompok tiang (m)  
 $\Sigma X^2$  : Jumlah kuadrat absis-absis tiang (m<sup>2</sup>)  
 $\Sigma Y^2$  : Jumlah kuadrat ordinat-ordinat tiang (m<sup>2</sup>)

**b. Kontrol Beban Maksimum Terhadap Daya Dukung Ijin Tiang**

$$\frac{Q_{\max}}{C_e} \leq Q_{\text{ijin}} \quad (2.10)$$

Dimana :

Q<sub>max</sub> :Beban maksimum yang diterima oleh tiang pancang (ton)

Q<sub>ijin</sub> : Daya dukung ijin satu tiang (ton)

C<sub>e</sub> : Koefisien koreksi

**2.4. Penurunan Pondasi Tiang**

Bila suatu lapisan tanah mengalami pembebanan akibat beban di atasnya, maka tanah di dibawah beban yang bekerja tersebut akan mengalami kenaikan tegangan, eksese dari kenaikan tegangan ini adalah terjadinya penurunan elevasi tanah dasar (settlement). Pembebanan ini mengakibatkan adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel tanah, dan keluarnya air pori dari tanah yang disertai berkurangnya volume tanah. Hal inilah yang mengakibatkan terjadinya penurunan tanah.

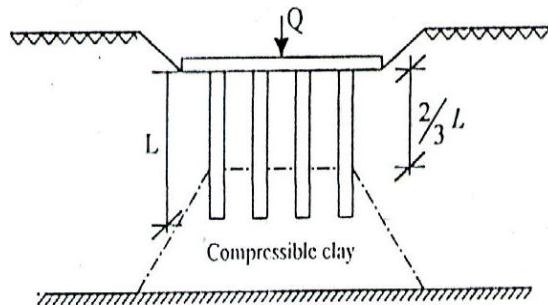
Demikian pula pada penambahan beban diatas suatu permukaan tanah akan dapat menyebabkan tanah dibawahnya mengalami pemampatan.

Secara umum, penurunan dapat diklasifikasikan menjadi 3 tahap, yaitu :

1. Penurunan seketika (Immediate Settlement), diakibatkan dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air, tanpa adanya perubahan kadar air. Umumnya, penurunan ini diturunkan dari teori elastisitas.
2. Penurunan konsolidasi primer (Primary Consolidation Settlement), yaitu penurunan yang disebabkan perubahan volume tanah selama periode keluarnya air pori dari tanah. Penurunan konsolidasi ini umumnya terjadi pada lapisan tanah kohesif (clay / lempung).
3. Penurunan konsolidasi sekunder (Secondary Consolidation Settlement), adalah penurunan akibat dari perubahan plastis tanah.

Penurunan konsolidasi dalam kelompok tiang group yang dianalisa oleh Terzaghi (Gambar 2.2.), dengan anggapan sebagai berikut :

- Kelompok tiang mendekati sebagai blok.
- Beban ditransfer ke suatu “equivalent shallow foundation” pada suatu kedalaman.
- Penurunan ditentukan oleh lapisan tanah di bawah “equivalent shallow foundation”.



Gambar 2.2 Penyebaran beban

Beban disebarakan pada kedalaman  $2/3L$ , dimana  $L$  adalah kedalaman tiang . Dasar –dasar perhitungan penurunan dan analisa penyebaran tegangan digunakan metoda “**Analisa sederhana**” Penurunan konsolidasi terdapat 2 kondisi tanah:

Untuk tanah “**Normally Consolidated**” dirumuskan sebagai berikut:

$$S_c = \left[ C_c \frac{H_o}{1+e_o} \cdot \log \frac{\sigma_{vo'} + \Delta P}{\sigma_{vo'}} \right] \quad (2.21)$$

Untuk tanah **“Overconsolidated”**, penurunan konsolidasi terdapat 2 kondisi sbb:

1.  $\sigma'_{vo} + \Delta P \leq \sigma'_c$ , dengan besarnya penurunan konsolidasi  $S_c$ ,

$$S_c = \left[ C_r \frac{H_o}{1+e_o} \cdot \log \frac{\sigma_{vo'} + \Delta P}{\sigma_{vo'}} \right] \quad (2.22)$$

2.  $\sigma'_{vo} + \Delta P \geq \sigma'_c$ , dengan besarnya penurunan konsolidasi  $S_c$ ,

$$S_c = \left[ C_r \frac{H_o}{1+e_o} \cdot \log \frac{\sigma_{vo'} + \Delta P}{\sigma_{vo'}} \right] + \left[ C_c \frac{H_o}{1+e_o} \cdot \log \frac{\sigma_{vo'} + \Delta P}{\sigma_{vo'}} \right] \quad (2.23)$$

Tahapan Perhitungan Penurunan Konsolidasi dengan metoda **“Analisa Sederhana”** untuk Tanah Normally Consolidation sbb:

1. Menghitung besarnya penambahan beban ( $\delta\sigma_v$ ):

$$(\Delta p) = \frac{P}{B' \cdot L'} \quad (2.24)$$

Keterangan,

- $\Delta p$  : peningkatan tegangan di tengah lapisan i
- $B', L'$  : panjang dan lebar tiang kelompok di kedalaman z
- $B'$  :  $(B+z)$
- $L'$  :  $(L+z)$
- $P$  : Beban luar yang bekerja (ton)
- $A$  : Luas penyebaran ( $m^2$ )
- $B$  : Lebar poer arah sumbu x (m)
- $L$  : Lebar poer arah sumbu y (m)
- $z$  : Kedalaman penyebaran tegangan yang semakin mengecil (m).

2. Tegangan efektif awal ( $\sigma_{vo}'$ ) setiap lapisan tanah

$$(\sigma_{vo}') = (h_1 + z) \cdot (\gamma_{tanah} - \gamma_{air}) \quad (2.25)$$

$$(\sigma_{vo}') = (h_1 + 1/2 \cdot H_1) \cdot (\gamma_{tanah} - \gamma_{air}) \quad (2.26)$$

Keterangan,

$\sigma_{vo}'$  : Tegangan efektif awal (ton/m<sup>2</sup>)

h<sub>1</sub> : Tebal setiap lapisan tanah (m)

H<sub>1</sub> : Tebal setiap lapisan tanah saat mulai penyebaran tegangan (m)

$\gamma_{tanah}$  : Berat jenis tanah pada setiap(m)

$\gamma_{air}$  : Berat jenis air = 1 ton/m<sup>3</sup>

### 3. Penurunan konsolidasi (S<sub>c</sub>)

Untuk tanah lempung yang terkonsolidasi normal, digunakan persamaan:

$$S_c = \sum \left[ C_c \frac{H_1}{1+e_o} \cdot \log \frac{\sigma_{vo}' + \Delta P}{\sigma_{vo}'} \right] \quad (2.27)$$

Keterangan,

S<sub>c</sub> : Penurunan konsolidasi (m)

C<sub>c</sub> : Compression index

e<sub>o</sub> : Angka pori awal

$\sigma_{vo}'$  : Tegangan efektif awal (ton/m<sup>2</sup>)

$\delta\sigma$  : Peningkatan tegangan yang terjadi akibat beban yang bekerja (ton/m<sup>2</sup>)