

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 TANAH**

Tanah adalah bagian terluar dari kulit bumi yang biasanya dalam keadaan lepas - lepas, lapisannya bisa sangat tipis dan bisa sangat tebal, perbedaannya dengan lapisan di bawahnya adalah hal warna, struktur, sifat fisik, sifat biologis, komposisi kimia, proses kimia dan morfologinya. (C.F Marbut, 1949).

#### **3.2 PENYELIDIKAN TANAH**

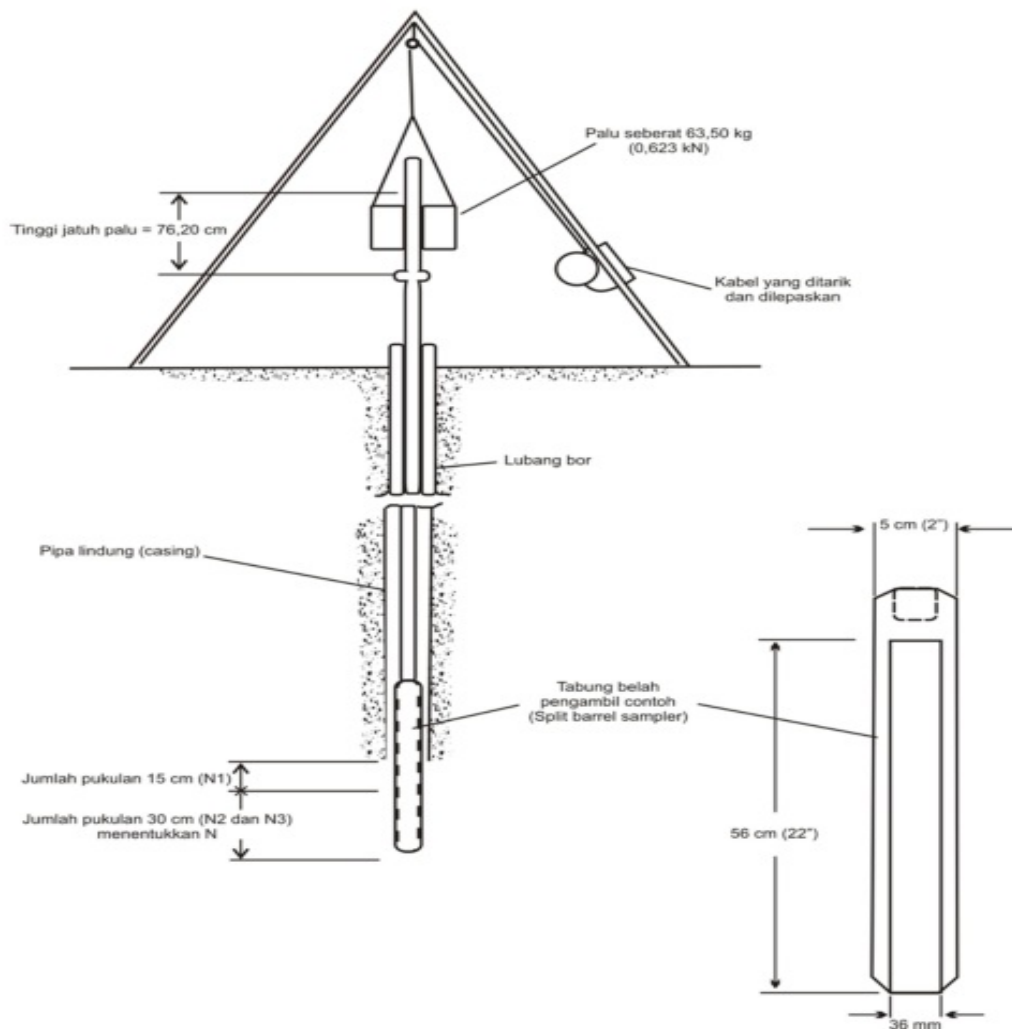
Fungsi tanah sangat penting dilihat dari fungsinya terhadap konstruksi. Karena tanah berfungsi meneruskan beban yang diterimanya dari bangunan yang didistribusikan oleh fondasi. Kekuatan tanah sangat beragam dan tergantung dari bahan penyusunnya. Bahan penyusun tanah juga menentukan karakteristik tanah, untuk mengetahui bahan penyusun tanah dan kekuatan tanah diperlukan penyelidikan tanah.

Jenis-jenis tanah tertentu sangat mudah sekali terganggu oleh pengaruh pengambilan contohnya di dalam tanah. Untuk menanggulangi hal tersebut, sering dilakukan beberapa pengujian di lapangan secara langsung. Pengujian di lapangan sangat berguna untuk mengetahui karakteristik tanah dalam mendukung beban fondasi dengan tidak dipengaruhi oleh kerusakan contoh tanah akibat operasi pengeboran dan penanganan contoh (Hardiyatmo, 2010). Untuk itu kita dapat melakukan penyelidikan tanah di lapangan (*In-situ Test*), yaitu.

##### **1. Standard Penetration Test (SPT)**

SPT adalah suatu metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. Dalam sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan

secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap. Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, sementara jumlah pukulan untuk memasukkan tahap ke-dua dan ke-tiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT (dinyatakan dalam pukulan/0,3 m). Detail alat dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Penetrasi dengan SPT

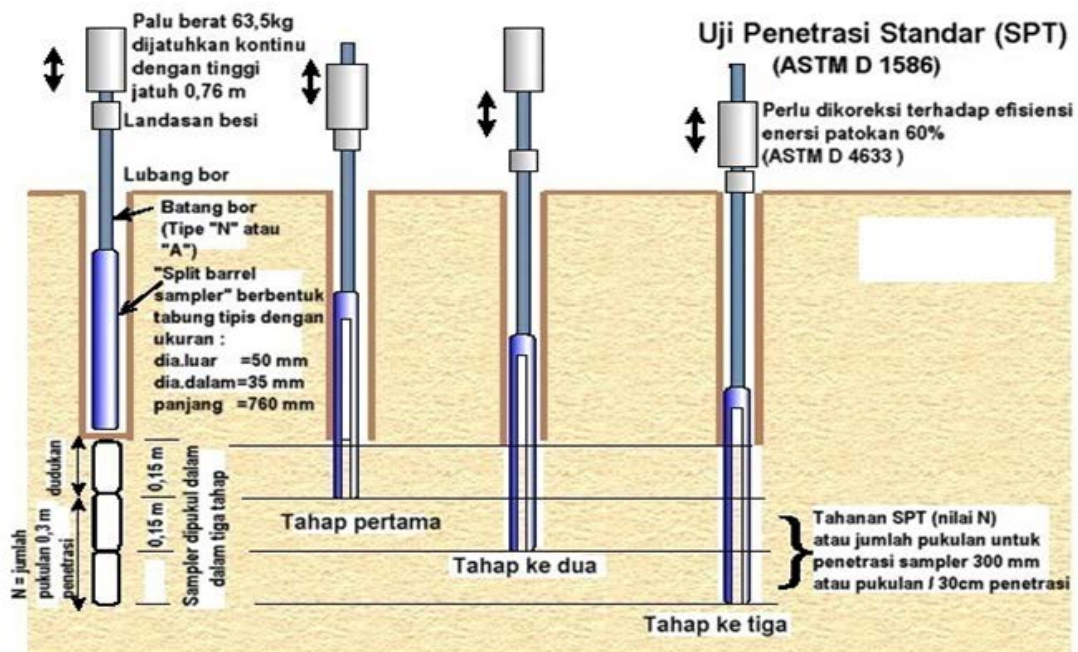
Sumber : SNI 4153-2008

Standar ini menetapkan cara uji penetrasi lapangan dengan SPT, untuk memperoleh parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah di lapangan dengan SPT. Parameter tersebut diperoleh dari jumlah pukulan terhadap penetrasi konus, yang dapat dipergunakan untuk mengidentifikasi perlapisan tanah yang merupakan

bagian dari desain fondasi. Standar ini menguraikan tentang prinsip-prinsip cara uji penetrasi lapangan dengan SPT meliputi: sistem peralatan uji penetrasi di lapangan yang terdiri atas peralatan penetrasi konus dengan SPT dan perlengkapannya; persyaratan peralatan dan pengujian; cara uji; laporan uji; dan contoh uji. Cara uji ini berlaku untuk jenis tanah pada umumnya. (SNI 4153:2008).

Nilai SPT diperoleh dengan cara sebagai berikut.

Tabung belah standar dipukul sedalam 15 cm (6"). Kemudian dilanjutkan pemukulan tahap kedua sedalam 30 cm (12"). Jumlah pukulan tahap kedua ini, yaitu jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi tabung belah standar sedalam 30 cm, didefinisikan sebagai nilai-N. Pengujian yang lebih baik dilakukan dengan menghitung pukulan pada tiap-tiap penembusan sedalam 7,62 cm (3 inci) atau setiap 15 cm (6 inci). Dengan cara ini, kedalaman sembarang jenis tanah didasar lubang bor dapat ditaksir, dan elevasi dimana gangguan terjadi dalam usaha menembus lapisan yang keras seperti batu, dapat dicatat. Hitung jumlah pukulan atau tumbukan N pada penetrasi yang pertama, penetrasi 15cm yang ke-dua dan ketiga, catat jumlah pukulan N pada setiap penetrasi 15cm. Jumlah pukulan yang dihitung adalah  $N_2 + N_3$ . Nilai pada  $N_1$  tidak diperhitungkan karena masih kotor bekas pengeboran. Bila nilai N lebih besar daripada 50 pukulan, hentikan pengujian dan tambah pengujian sampai minimum 6 meter. Catat jumlah pukulan pada setiap penetrasi 5cm untuk jenis tanah batuan. Skema dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Skema Urutan Standard Penetration Test

Sumber : SNI 4153-2008

### 3.3 ANALISIS PEMBEBANAN

Analisis pembebanan struktur menggunakan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-2847-2002. Beban – beban yang diperhitungkan adalah sebagai berikut ini.

a. Beban Mati

Beban mati adalah semua beban tidak bergerak yang berasal dari unsur bangunan tersebut termasuk semua unsur tambahan yang termasuk dalam bangunan tersebut.

b. Beban Hidup

Beban hidup adalah semua beban yang terdapat dari penggunaan suatu bangunan dan didalamnya termasuk beban – beban pada lantai dari benda yang dapat dipindahkan. Untuk ketentuan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

No	Jenis Beban	Berat
a	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam poin b	200 kg/m <sup>2</sup>
b	Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang – gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik, atau bengkel	125 kg/m <sup>2</sup>
c	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama dan rumah sakit	250 kg/m <sup>2</sup>
d	Lantai ruang olahraga	400 kg/m <sup>2</sup>
e	Lantai ruang dansa	500 kg/m <sup>2</sup>
f	Lantai dan balkon dalam dari ruang – ruang untuk pertemuan yang lain daripada yang lain daripada yang disebut dalam a s/d e, seperti masjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop, dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400 kg/m <sup>2</sup>
g	Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri	500 kg/m <sup>2</sup>
h	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c	300 kg/m <sup>2</sup>
i	Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam d, e, f dan g	500 kg/m <sup>2</sup>
j	Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam c, d, e, f, dan g	250 kg/m <sup>2</sup>
k	Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat – alat dari ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum	400 kg/m <sup>2</sup>
l	Lantai gedung parkir bertingkat: - Untuk lantai bawah - Untuk lantai tingkat lainnya	800 kg/m <sup>2</sup> 400 kg/m <sup>2</sup>

Lanjutan Tabel 3.1

No	Jenis Beban	Berat
m	Balkon – balkon yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	300 kg/m <sup>2</sup>

Sumber : Yayasan Badan Penerbit PU 1987

### c. Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen pada struktur bangunan yang terjadi akibat adanya gerakan tanah / percepatan tanah akibat gempa bumi. Dalam hal ini beban gempa merupakan beban geser dasar nominal statik ekuivalen pada struktur gedung (SNI 03-1726-2002, pasal 6.1). Apabila gedung memiliki faktor keutamaan I, faktor reduksi gempa R dan waktu getar alami fundamental T, maka beban geser dasar nominal statik ekuivalen (V) yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung seperti contoh pada persamaan 3.1 berikut ini.

$$V = \frac{C_1 I}{R} W_t \quad (3.1)$$

Keterangan :

- V = Beban geser dasar nominal ststik ekuivalen
- C<sub>1</sub> = Koefisien gempa dasar
- I = Faktor keutamaan struktur
- R = Faktor reduksi gempa
- W<sub>t</sub> = Berat total gedung

## 3.4 FONDASI TIANG BOR

Fondasi tiang bor (*bored pile*) adalah fondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah pada awal pengerjaannya. *Bored pile* dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi tulangan dan dicor beton. Tiang ini biasanya dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat

bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi atau casing dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan pipa ini ditarik ke atas pada waktu pengecoran beton. Pada tanah yang keras atau batuan lunak, dasar tiang dapat dibesarkan untuk menambah tahanan dukung ujung tiang.

Faktor utama yang sering menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan jenis fondasi adalah biaya dan keandalannya. Keandalan disini merupakan keyakinan dari ahli fondasi dimana rancangan yang tertulis dalam dokumen desain akan memperoleh kondisi yang mendekati kondisi lapangan sehingga dapat memikul beban dengan suatu faktor keamanan yang memadai. Kemajuan-kemajuan telah diperoleh terhadap informasi mengenai perilaku tiang bor dengan adanya instrumentasi pada tiang bor yang diuji. Fondasi tiang bor mempunyai karakteristik khusus karena cara pelaksanaannya yang dapat mengakibatkan perbedaan perilakunya di bawah pembebanan dibandingkan fondasi tiang pancang.

Pada pembuatan atau pengerjaan tiang bor terdapat beberapa metode pelaksanaan yang ditinjau dari cara pengerjaannya, yaitu sebagai berikut.

1. Metode kering
2. Metode basah
3. Metode casing

Sementara itu metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode basah, ini dikarenakan kedalaman dari tiang melewati muka air tanah, berikut adalah penjelasan metode tersebut.

### **Metode Basah**

Metode basah umumnya dilakukan bila pengeboran melewati muka tanah, sehingga lubang bor selalu longsor bila dindingnya tidak tahan. Agar lubang tidak longsor, di dalam lubang bor diisi dengan larutan tanah lempung / *bentonite* atau larutan polimer. Saat kedalaman yang diinginkan telah tercapai, lubang bor dibersihkan dan tulangan yang telah dirangkai dimasukkan ke dalam lubang bor yang masih berisi cairan *bentonite*. Adukan beton dimasukkan ke dalam lubang bor dengan pipa *tremie*. Larutan *bentonite* akan terdesak dan terangkut ke atas oleh adukan beton. Larutan yang keluar dari lubang bor selanjutnya ditampung dan dapat digunakan lagi untuk pengeboran selanjutnya. (Hardiyatmo 2010).

### 3.5 KAPASITAS DUKUNG TIANG BOR

Kapasitas dukung ijin fondasi tiang untuk beban aksial  $Q_a$  atau  $Q_{all}$  diperoleh dengan membagi daya dukung ultimit  $Q_u$  atau  $Q_{ult}$  dengan suatu factor keamanan (SF) baik secara keseluruhan maupun secara terpisah dengan menerapkan factor keamanan pada daya dukung selimut tiang dan pada tahanan ujungnya. Karena itu daya dukung ijin tiang dapat dinyatakan seperti dalam Rumus 3.2 berikut ini.

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} \quad (3.2)$$

Keterangan :

$Q_a$  = Kapasitas dukung ijin tiang.

$Q_u$  = Kapasitas dukung ultimate tiang

$SF_1$  = Faktor keamanan.

Beberapa pertimbangan faktor keamanan (SF) ditentukan dengan cara sebagai berikut ini.

1. Jenis dan kepentingan struktur,
2. Jenis pengujian tanah,
3. Jenis kandungan tanah,
4. Tingkat pengawasan mutu pembuatan fondasi,
5. Total beban yang ditumpu oleh fondasi.

Untuk dasar tiang yang dibesarkan dengan diameter  $d < 2$  m, faktor aman (SF = 2,5), sedangkan tiang tanpa pembesaran dibagian bawahnya faktor aman (SF = 2). (Hardiyatmo, 2001)

#### 3.5.1 Kapasitas Dukung Tiang Tunggal

Kapasitas dukung tiang bor dapat dihitung menggunakan penjumlahan antara tahanan ujung, tahanan selimut tiang dan berat tiang. Menurut cara statis dalam buku *Analisis dan Perancangan Fondasi-II*, (Hardiyatmo, 2010) dinyatakan dalam Rumus 3.3 berikut ini.



$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p \quad (3.3)$$

Keterangan :

$Q_u$	= Kapasitas dukung ultimit tiang	(Ton)
$Q_p$	= Kapasitas dukung ujung tiang	(Ton)
$Q_s$	= Kapasitas dukung selimut tiang	(Ton)
$W_p$	= Berat tiang	(Ton)

## 1. Berdasarkan Uji Standart Penetration Test (N-SPT)

### a. Tahanan Ujung Ultimit

Perhitungan tahanan ujung ultimit berdasar SPT dapat dihitung dengan menggunakan metode dari *O'Neil & Reese* (1989) dalam buku *Analisis dan Perancangan Fondasi-II*, (Hardiyatmo, 2010) yang dinyatakan dalam Rumus 3.4 dan 3.5 berikut.

$$Q_p = A \cdot q_p \quad (3.4)$$

Keterangan :

$Q_p$	= Kapasitas dukung ujung tiang	(Ton)
$A$	= Luas penampang ujung tiang	(m <sup>2</sup> )
$q_p$	= tahanan ujung per satuan luas	(Ton/m <sup>2</sup> )

$$q_p = 0,6 \cdot \sigma_r \cdot N_{60} \leq 4500 \text{ kN/m}^2 \quad (3.5)$$

Keterangan :

$N_{60}$	= nilai N-SPT rata – rata antara ujung bawah tiang bor sampai $2d_b$ dibawahnya
$d_b$	= diameter ujung bawah tiang bor
$\sigma_r$	= tegangan referensi = 100 kN/m <sup>2</sup>

### b. Tahanan Gesek Ultimit

Perhitungan tahanan ujung ultimit berdasar SPT dapat dihitung dengan menggunakan metode dari *Kullhawy* (1983) dalam buku *Analisis dan Perancangan Fondasi-I*, (Hardiyatmo, 2010) dinyatakan dalam Rumus 3.6 dan 3.7 berikut.

$$Q_s = A \cdot f_s \quad (3.6)$$

Keterangan :

- $Q_s$  = Kapasitas dukung selimut tiang (Ton)
- $A$  = Luas penampang selimut tiang ( $m^2$ )
- $f_s$  = gesekan selimut tiang per satuan luas ( $Ton/m^2$ )

$$f_s = K_o \cdot \sigma'_v \cdot \text{tg } \varphi \quad (3.7)$$

keterangan :

- $K_o$  = Koefisien tekanan tanah saat diam =  $1 - \sin \varphi$
- $\sigma'_v$  = Tegangan efektif tanah pada kedalaman yang ditinjau ( $Ton/m^2$ )
- $\text{tg } \varphi$  = sudut gesek dalam

### 3.5.2 Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

Kelompok tiang umumnya digunakan bila beban yang diterima oleh satu tiang fondasi terlalu besar, sehingga tidak mampu bila hanya menggunakan satu tiang. Jadi kelompok tiang merupakan kumpulan dari beberapa fondasi tiang yang bekerja sebagai satu kesatuan. Umumnya susunan tiang dibuat simetris dengan jarak yang samasehingga pusat beban tiang dan berat pile cap terletak pada satu satu garis vertikal.

## 1. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Pada Tanah Pasir

Perhitungan kapasitas dukung kelompok pada tiang dapat dihitung dengan Rumus 3.8 berikut ini.

$$Q_g = n \cdot Q_a \cdot E_g \quad (3.8)$$

Keterangan :

- $Q_g$  = Beban maksimum kelompok tiang (ton)
- $n$  = Jumlah tiang dalam kelompok
- $Q_a$  = Kapasitas dukung ijin tiang (ton)
- $E_g$  = Efisiensi kelompok tiang

## 2. Efisiensi Kelompok Tiang

Menurut *Coduto* (1994) dalam buku *Analisis dan Perancangan Fondasi-II*, (Hardiyatmo, 2010) efisiensi kelompok tiang tergantung pada beberapa faktor yaitu sebagai berikut.

1. Jumlah tiang, panjang, diameter, pengaturan dan terutama jarak antara as tiang,
2. Model transfer beban (gesek selimut atau tahanan ujung),
3. Prosedur pelaksanaan pemasangan ( tiang pancang atau tiang bor),
4. Urutan instalasi tiang,
5. Macam tanah,
6. Waktu setelah pemasangan,
7. Interaksi antara pelat penutup (*pile cap*) dengan tanah,
8. Arah dari beban yang bekerja.

Dalam buku *Analisis dan Perancangan Fondasi-II* persamaan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang dapat dihitung dengan persamaan *Conversi – Labarre formula* yang dicontohkan dalam Rumus 3.9.

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad (3.9)$$

Keterangan :

- $E_g$  = Efisiensi kelompok tiang  
 $\theta$  = arc tg  $d/s$ , dalam derajat  
 $m$  = Jumlah tiang pada deretan baris  
 $n$  = Jumlah tiang pada deretan kolom  
 $d$  = Diameter tiang (m)  
 $s$  = Jarak antar tiang (m)

### 3.6 PENURUNAN FONDASI TIANG

Perkiraan penurunan (*settlement*) pada fondasi tiang merupakan masalah yang kompleks karena beberapa hal berikut.

1. Adanya gangguan pada kondisi tegangan tanah saat pemancangan
2. Ketidakpastian mengenai distribusi dari posisi pengalihan beban (*load transfer*) dari tiang ke tanah.

Peralihan (*displacement*) yang diperlukan untuk memobilisasi gesekan selimut adalah kecil (tidak lebih dari 5 mm), tidak tergantung pada jenis tanah, jenis tiang maupun ukuran tiang. Tapi (Vesic, 1977) menemukan peralihan ini dapat mencapai 10 mm. Peralihan yang diperlukan untuk memobilisasi perlawanan ujung sebaliknya lebih besar dan tergantung jenis tanah, jenis tiang, serta ukuran tanah. Karena itu gesekan selimut tiang akan dimobilisasi lebih awal mendahului perlawanan ujung tiang.

#### 3.6.1 Penurunan Fondasi Tiang Tunggal

Penurunan dipengaruhi mekanisme pengalihan beban. Pada buku *Pile Foundations In Engineering Practice*, (Shamsher & Sharma, 1990) terdapat dua metode untuk memperkirakan besarnya penurunan elastis atau penurunan seketika pada fondasi tiang tunggal, yaitu metode semi-empiris dan metode empiris. Metode semi-empiris akan dinyatakan dalam Rumus 3.10, 3.11, 3.12, 3.13 berikut ini.

## 1. Metode Semi Empiris

$$S = S_s + S_p + S_{ps} \quad (3.10)$$

Keterangan :

- $S$  = Penurunan total (m)
- $S_s$  = Penurunan akibat deformasi aksial tiang (m)
- $S_p$  = Penurunan dari ujung tiang (m)
- $S_{ps}$  = Penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang (m)

Menghitung penurunan akibat deformasi aksial menggunakan rumus metode Semi Empiris akan dinyatakan dalam rumus 3.11 sebagai berikut.

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha Q_s)L}{A_p \cdot E_p} \quad (3.11)$$

Keterangan :

- $Q_p$  = Kapasitas dukung ujung tiang (ton)
- $Q_s$  = Kapasitas dukung selimut tiang (ton)
- $L$  = Panjang tiang (m)
- $A_p$  = Luas penampang tiang (m<sup>2</sup>)
- $E_p$  = Modulus elastis tiang (ton/m<sup>2</sup>)
- $\alpha$  = Koefisien yang tergantung pada distribusi gesekan selimut sepanjang tiang (Vesic 1977,  $\alpha = 0,33 - 0,5$ )

Menghitung penurunan dari ujung tiang menggunakan rumus metode Semi Empiris akan dinyatakan dalam rumus 3.12 sebagai berikut.

$$S_p = \frac{C_p \cdot Q_p}{d \cdot q_p} \quad (3.12)$$

Keterangan :

- $Q_p$  = Kapasitas dukung ujung tiang (ton)  
 $Q_p$  = Daya dukung batas diujung tiang (ton/m<sup>2</sup>)  
 $d$  = Diameter (m)  
 $C_p$  = Koefisien empiris

Nilai dari koefisien  $C_p$  tentunya akan bergantung pada jenis tanah yang ada disekeliling tiang bor, nilai koefisien akan dicantumkan pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Nilai Koefisien  $C_p$  (Vesic, 1977)

Jenis Tanah	Tiang Bor
Pasir	0,09 – 0,18
Lempung	0,03 – 0,06
Lanau	0,09 – 0,12

Sumber : Raharjo (2005)

Menghitung penurunan akibat pengalihan beban sepanjang tiang menggunakan rumus metode Semi Empiris akan dinyatakan dalam rumus 3.13 sebagai berikut.

$$S_{ps} = \left( \frac{Pt}{p \cdot L} \right) \cdot \frac{d}{E_s} \cdot (1 - \nu_s^2) \cdot I_{ws} \quad (3.13)$$

Keterangan :

- $\frac{Pt}{p \cdot L}$  = Gesekan rata – rata yang bekerja sepanjang tiang (m)  
 $p$  = Keliling tiang (m)  
 $L$  = Panjang tiang yang tertanam (m)  
 $d$  = Diameter tiang (m)  
 $E_s$  = Modulus elastis tanah  
 $\nu_s$  = *Poisson ratio* tanah  
 $I_{ws}$  =  $2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{d}}$  = Faktor pengaruh

Nilai dari modulus elastis tanah dan *poisson ratio* dalam perhitungan diatas dapai dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Modulus Elastis

Jenis Tanah	Modulus Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )
Lempung	
a. Sangat lunak	3 – 30
b. Lunak	20 – 40
c. Sedang	45 – 90
Jenis Tanah	Modulus Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )
d. Keras	70 – 200
e. Berpasir	300 - 425
Pasir	
f. Berlanau	50 – 200
g. Tidak Padat	100 – 250
h. Padat	500 – 1000
Pasir dan Kerikil	
i. Padat	800 – 2000
j. Tidak Padat	500 – 1400
Lanau	20 – 200
Loess	150 – 600
Serpih	1400 – 14000
Jenis Tanah	Modulus Elastis (kg/cm <sup>2</sup> )
Kayu	80000 – 100000
Beton	200000 – 300000
Baja	2150000

Sumber : Bowles (1988)

Tabel 3.4 Angka *Poisson*

Jenis Tanah	Angka Poisson
Lempung lunak	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir Padat	0,2 – 0,4
Pasir kasar (e=0,4 – 0,7)	0,15
Pasir halus (e=0,4 – 0,7)	0,25
Batu	0,1 – 0,4
<i>Loess</i>	0,1 – 0,3

Sumber : Bowles (1988)

## 2. Metode Empiris (Vesic, 1970)

Dalam buku *Pile Foundations In Engineering Practice*, (Shamsher & Sharma, 1990) dicantumkan pula metode empiris dalam perhitungan penurunan fondasi tiang bor yang akan dinyatakan dalam Rumus 3.14.

$$S = \frac{d}{100} + \frac{Q \cdot L}{A_p \cdot E_p} \quad (3.14)$$

Keterangan :

- S = Penurunan total di kepala tiang (m)
- d = Diameter tiang (m)
- Q = Beban yang bekerja (m)
- $A_p$  = Luas penampang tiang ( $m^2$ )
- L = Panjang tiang (m)
- $E_p$  = Modulus elastis tiang



### 3.6.2 Penurunan Fondasi Kelompok Tiang

Berikut adalah beberapa metode perhitungan penurunan fondasi kelompok tiang bor yang ada pada buku *Pile Foundations In Engineering Practice*, (Shamsher & Sharma, 1990).

#### 1. Tanah pasir menggunakan beberapa metode, sebagai berikut.

Penggunaan metode *Vesic* pada buku *Pile Foundations In Engineering Practice*, (Shamsher & Sharma, 1990) dinyatakan dalam Rumus 3.15 berikut.

##### a. Metode Vesic (1977)

$$S_g = S \sqrt{\frac{B}{d}} \quad (3.15)$$

Keterangan :

S	= Penurunan fondasi tiang tunggal	(m)
$S_g$	= Penurunan fondasi kelompok tiang	(m)
$B_g$	= Lebar kelompok tiang	(m)
D	= Diameter tiang tunggal	(m)

##### b. Metode *Meyerhoff* (1976)

*Meyerhoff* memberikan formula empiris yang sederhana di dalam buku *Pile Foundations In Engineering Practice*, (Shamsher & Sharma, 1990) untuk memperkirakan penurunan kelompok tiang berdasarkan hasil uji penetrasi standar (SPT) dan uji sondir (CPT), persamaan ini dicontohkan dalam Rumus 3.16.

##### 1. Berdasarkan N – SPT

$$S_g = 2q \sqrt{\frac{B_g \cdot I}{N}} \quad (3.16)$$

Keterangan :

I	= $\left(1 - \frac{L}{B_g}\right) \geq 0,5$
q	= Tekanan pada dasar fondasi

- $B_g$  = Lebar kelompok tiang  
 $N$  = Harga rata – rata  $N - SPT$  pada kedalaman  $\pm B_g$  dibawah ujung fondasi tiang

### 3.7 PILE CAP

*Pile cap* digunakan untuk menyatukan beberapa fondasi tiang, ini berfungsi untuk menyalurkan beban bangunan yang diterima oleh kolom. *Pile cap* tiang biasanya dianggap kaku.

Hal penting pada saat melakukan desain *pile cap* adalah pengaturan tiang dalam satu kelompok. Pada umumnya susunan tiang dibuat simetris sehingga pusat berat kelompok tiang dan pusat berat *pile cap* terletak pada satu garis vertikal. Jarak antar tiang memiliki persyaratan  $2,5 D < S < 3D$ , tetapi jika fondasi memikul beban momen maka jarak tiang perlu diperbesar yang berarti menambah / memperbesar tahanan momen.

### 3.8 PENULANGAN TIANG BOR

Penulangan pada tiang bor dapat dihitung dengan menggunakan rumus umum yang dinyatakan dalam Rumus 3.17 berikut.

$$n = \frac{A_s}{A_{1d}} \quad (3.17)$$

Keterangan:

- $n$  = Jumlah tulangan  
 $A_s$  = Luas tulangan yang dipakai  
 $A_{1d}$  = Luas satu tulangan yang dipakai