

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas, yang terletak diatas batuan dasar. Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun keduanya. (Hary Christiady. H, 1992)

Proses terjadinya tanah dari pelapukan batuan dapat terjadi secara fisik maupun kimiawi. Pelapukan secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, dapat terjadi akibat adanya pengaruh erosi, angin, air, es, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel ini dapat berbentuk bulat, bergerigi, maupun bentuk diantaranya. Sedangkan pelapukan akibat proses kimiawi dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, dan air.

Apabila karakteristik fisik yang selalu terdapat pada massa butir-butir tanah bersatu sesamanya sehingga sesuatu gaya akan diperlukan untuk memisahkannya dalam keadaan kering maka tanah ini disebut dengan tanah kohesif.

Sedangkan bila butir-butir tanah terpisah sesudah dikeringkan dan hanya bersatu apabila berada dalam keadaan basah karena gaya tarik permukaan di dalam air maka tanah disebut tanah non kohesif.

Tanah merupakan suatu agregat alam dari butiran mineral, dengan atau tanpa kandungan organik yang dapat dipisahkan dengan cara mekanis ringan seperti pengadukan dalam air. (Ralp B. Peck, 1996).

Tanah selalu mempunyai peranan yang amat penting dalam suatu pekerjaan konstruksi. Tanah adalah sebagai dasar pendukung suatu bangunan atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri seperti tanggul atau bendungan dan kadang-kadang juga sebagai penyebab timbulnya gaya luar pada bangunan. Pada

umumnya semua bangunan dibuat diatas atau dibawah permukaan tanah, maka diperlukan suatu sistem fondasi yang akan menyalurkan beban dari bangunan ke tanah. Penyelidikan kondisi lapisan tanah setempat merupakan prasyarat bagi perancangan elemen bangunan bawah, selain itu informasi yang memadai diperlukan untuk pengkajian kemungkinan dan ekonomi dari proyek yang diusulkan. (J. E. Bowless, 1991)

Suatu deposit tanah harus diidentifikasi apakah berbutir kasar, halus atau campuran dan perlu diketahui teksturnya (pasir, lanau dan lempung) serta kandungan kerikil atau bebatuan lainnya. Selanjutnya dapat diteliti dan ditentukan sifat-sifat indeks dan parameter-parameter yang diperlukan untuk suatu konstruksi. Untuk memperoleh hasil klasifikasi yang objektif, biasanya tanah secara sepiantas dibagi dalam tanah yang berbutir kasar dan berbutir halus berdasarkan hasil analisis mekanis selanjutnya tahap klasifikasi tanah berbutir halus diadakan berdasarkan percobaan konsistensi. (Suyono.S, Kazuko Nakazawa, 1980)

Dari beberapa sistem klasifikasi yang ada, terdapat dua jenis yang erat berkaitan dengan judul tugas akhir, yaitu:

1. Sistem Klasifikasi tanah USC (*Unified Soil Classification*)

Sistem yang paling banyak dipakai untuk pekerjaan teknik pondasi seperti bendungan dan bangunan gedung.

2. Sistem Klasifikasi American Association of State Highway and Transportation (AASHTO)

Sistem ini dipakai oleh beberapa Departemen Transportasi dari negara bagian di Amerika untuk spesifikasi pekerjaan tanah pada lintasan transportasi.

Sistem klasifikasi USC cenderung dipakai karena berkaitan dengan perencanaan fondasi. Berdasarkan sistem USC, tanah dibagi menjadi tiga kelompok besar, yaitu: berbutir kasar, berbutir halus dan sangat organik. Simbol dari kelompok tanah berbutir kasar ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir, sedangkan simbol yang digunakan untuk kelompok tanah berbutir

halus adalah M untuk lanau (*silt*), C untuk lempung (*clay*) dan O untuk lempung organik atau lanau organik.

3.2. Fondasi Tiang bor

Fondasi tiang digolongkan berdasarkan material, cara pelaksanaan, dan lain sebagainya. Berdasarkan material bahan tiang, tiang dibedakan menjadi empat yaitu tiang kayu, tiang baja, tiang beton, dan tiang komposit. Tiang beton dalam pembuatannya dibedakan menjadi tiang beton pracetak (*precast concrete pile*) dan tiang beton cor di tempat (*cast in place*).

Pembuatan tiang dengan cara dicor di tempat (*cast in place*) yang sering disebut juga dengan *bored pile* atau tiang bor adalah suatu cara tiang dicetak pada lubang dalam tanah, berbentuk seperti tiang, kemudian ke dalam lubang tersebut dituangkan adukan beton. Fondasi tiang bor dibuat dengan cara membor tanah terlebih dahulu kemudian mengisinya dengan beton.

Tiang bor dapat diklasifikasikan berdasarkan desainnya dalam meneruskan beban kelapisan bawahnya. Macam tiang bor berdasarkan hal tersebut adalah :

1. Tiang bor lurus

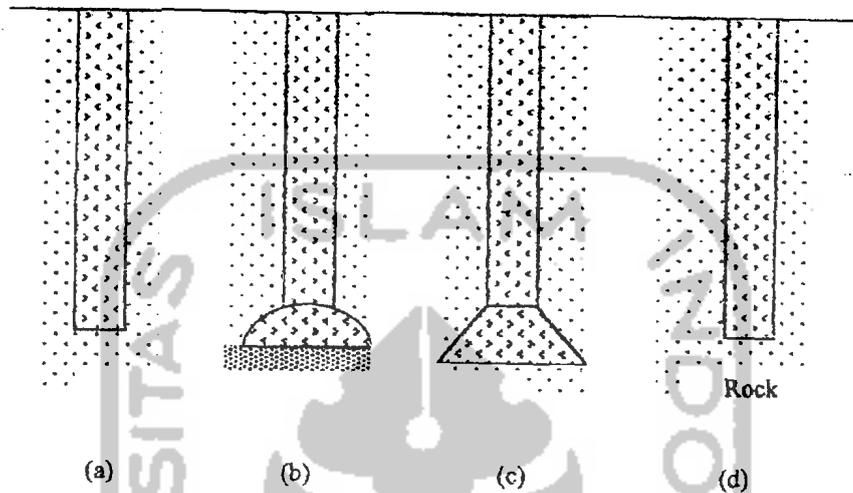
Tiang tersebut menerus melewati tanah jelek dengan ujungnya terletak pada tanah baik ataupun cadas (*rock*). Tahanan terhadap beban yang bekerja terdiri dari tahanan ujung serta gesekan antara permukaan kulit tiang dengan tanah. (Gambar 3.2.a)

2. Tiang bor dengan pembesaran ujung (*Underreamed Pile*)

Tiang tersebut terdiri dari badan tiang (*shaft*) dengan ujung yang membesar. Ujung tiang yang membesar tersebut terletak pada tanah dengan kapasitas dukung yang baik. Ujung tiang dapat berupa kubah (*dome*) ataupun bersudut (*angle*). Besar sudut tiangnya antara $30-45^{\circ}$ dengan arah vertikal. Di wilayah Amerika Serikat, perhitungan kapasitasnya dengan anggapan seluruh beban didukung oleh ujung tiang. Di wilayah Eropa memperhitungkan gesekan kulit dan tahanan ujungnya. (Gambar 3.2.b,c)

3. Tiang lurus dengan ujung menembus lapisan cadas (*rock*)

Tiang tersebut perhitungannya dengan anggapan seluruh beban didukung oleh gesekan kulit dan tahanan ujungnya. (Gambar 3.2.d)



Gambar 3.2. Macam tiang bor berdasarkan desain bentuk dalam transfer beban

Penggunaan tiang bor mempunyai beberapa keuntungan dan kekurangan, yang antara lain :

Keuntungannya yaitu :

1. Tiang bor dapat dipakai secara individu/tunggal tanpa menggunakan pile cap.
2. Pada pembuatannya tidak merusakkan struktur didekatnya, karena tidak seperti tiang pancang yang pada saat dipancang menggunakan *hammer* sehingga menimbulkan getaran tanah.
3. Tiang yang dipancarkan pada tanah lempung dapat menimbulkan pengangkatan tanah (*ground heaving*) serta dapat mengakibatkan pergerakan kesamping (*lateral*) dari tiang sekitarnya yang telah dipancang sebelumnya. Kondisi tersebut tidak terjadi pada pembuatan tiang bor.

4. Kondisi tanah sebenarnya dapat diketahui saat pengeboran, dibandingkan dengan prediksi sebelumnya.
5. Jika didapati kondisi diluar perencanaan awal, perubahan diameter dan panjang tiang dapat segera disesuaikan.
6. Pada pelaksanaan pembuatan tiang bor, tidak ada polusi suara dari *hammer* seperti pada tiang pancang.
7. Permukaan tanah pada dasar lubang sebagai ujung dari tiang bor dapat dilihat secara visual.

Kekurangannya yaitu :

1. Kualitas pencoran memerlukan pengawasan yang ketat.
2. Pekerja pembuatan tiang bor ditunda apabila cuaca buruk.
3. Pengangkatan tanah pada pembuatan lubang bonya dapat mengakibatkan longgarnya tanah yang bisa membahayakan struktur didekatnya.
4. Tahanan ujung tiang bor relatif lebih kecil dibanding dengan tiang pancang.

3.3. SAP 2000

SAP (*Struktural Analysis Program*) adalah program aplikasi komputer yang digunakan untuk menganalisis dan merancang suatu struktur terutama pada bidang teknik sipil. Program ini adalah hasil riset dari suatu tim yang bernama *Computer and Structure Inc* Universitas Avenue, Berkeley. Salah satu kelebihan yang dimiliki oleh SAP 2000 adalah dapat membantu menganalisis dan merancang struktur dengan tingkat kesukaran yang tinggi, dalam hal ini struktur bertingkat banyak dan kompleks baik dalam bentuk tiga dimensi maupun dalam dua dimensi. Dari output analisis program SAP 2000 dapat diketahui gaya geser, momen lentur, momen torsi dan simpangan (manual SAP 2000)

Langkah awal yang dilakukan dalam pengoperasian program aplikasi komputer SAP 2000 ialah pemodelan struktur. Pemodelan struktur diusahakan mendekati kondisi struktur yang dianalisis atau mewakili perilaku struktur yang

sebenarnya, agar didapatkan hasil analisis yang valid dan dapat diolah untuk keperluan desain selanjutnya. Adapun pemodelan suatu struktur meliputi:

- a. Penentuan koordinat joint sebagai batas elemen
- b. Penentuan orientasi elemen dalam koordinat struktur
- c. Penentuan sifat elemen dan elastisitas
- d. Penentuan pembebanan struktur (gaya yang bekerja pada struktur)
- e. Penentuan jenis analisis yang digunakan.

Prosedur input data pada program SAP 2000 adalah sebagai berikut :

1. Pengidentifikasian *joint*, *frame*, *restraint*, dan *constraint*.
2. Pendefinisian karakteristik *material* dan *frame section*.
3. Pendefinisian beban (*Load*), yaitu beban mati (W_D), beban hidup (W_L), dan beban gempa ((E) serta kombinasi (*Combo*).
4. Pendefinisian *masses*, yaitu massa translasi (m_t) dan massa rotasi (m_r) serta pusat massanya tiap lantai.
5. Analisis struktur dengan cara di RUN.

Sedangkan proses pengoperasian input data pada program SAP 2000 adalah sebagai berikut :

1. Blok data *TITLE LINE* atau baris judul adalah langkah pertama yang harus kita tuliskan pada *input* , baris judul ini akan digunakan sebagai label *output* dari hasil program. Baris judul akan selalu dicetak pada setiap halaman dari yang dihasilkan program.
2. Langkah selanjutnya penulisan blok data *SYSTEM*
3. Kemudian kita tulis *JOINT* , blok data *JOINT* ini berfungsi untuk mendefinisikan kedudukan dari joint-joint dari struktur sesuai dengan koordinatnya.
4. Blok data *RESTRAINTS*

Data *RESTRAINTS* dari suatu joint terdiri dari enam buah konstanta.

Untuk - sendi R = 1,1,1,1,1,0

- jepit R = 1,1,1,1,1,1

- rol R = 0,1,1,1,1,0

- bebas R = 0,0,1,1,1,0

5. Blok data *FRAME*

Blok data *FRAME* mendefinisikan sifat-sifat elemen struktur dan pembebanannya. Pada langkah ini disebutkan jumlah jenis elemen dan jumlah jenis beban yang bekerja, kemudian mendefinisikan jenis material pada masing-masing elemen.

6. Blok data *LOAD*

Beban merata atau beban titik dapat diberlakukan pada setiap join dalam portal. Blok data *LOAD* mendefinisikan beban join sesuai dengan jumlah kondisi pembebanan.

7. Blok data *COMBO* digunakan untuk mendefinisikan kombinasi pembebanan yang bekerja pada struktur. Jika blok data *COMBO* ini tidak didefinisikan, maka hasil keluaran program yang berhubungan dengan kondisi beban-beban yang ada akan diperoleh tanpa ada kombinasi.

Dari hasil *output* SAP 2000 didapatkan gaya-gaya dalam akibat kombinasi beban (kombinasi 2) yaitu gaya normal (P), gaya geser (H) dan momen (M) yang bekerja pada tiap-tiap kolom dasar yang akan dipakai sebagai beban rencana pada analisa pondasi tiang bor.

3.4. Hitungan Kapasitas Dukung Tiang

Besarnya kapasitas dukung fondasi tiang bor pada tanah tergantung pada kapasitas dukung ujung dan kapasitas geser antara struktur fondasi dengan lapisan tanah. Kemampuan geser tanah dipengaruhi oleh panjang tiang, sehingga kemampuan geser tanah semakin tinggi dengan bertambahnya kedalaman tiang di dalam tanah.

Kemampuan kapasitas dukung tiang merupakan parameter besarnya beban yang dapat dipikul oleh fondasi. Analisis kapasitas dukung pada tiang bor dilakukan dengan terlebih dahulu mengetahui data-data tanah, dimensi tiang dan pile cap, jarak antara tiang, kedalaman fondasi, dan data pendukung seperti mutu beton.

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang bor dapat dibagi menjadi tiang dengan dukungan ujung (*end bearing pile*) dan tiang dengan gesekan sepanjang permukaan badan tiang (*friction pile*).

Tiang dengan dukungan ujung adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tiang berada dalam zone tanah yang lunak, yang berada diatas lapisan tanah yang keras. Tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban, yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan yang berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada dibawah ujung tiang. Sedangkan tiang dengan gesekan sepanjang badan adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dengan tanah disekitarnya.

Kapasitas dukung tiang terdiri dari kapasitas dukung ujung tiang (Q_p) dan daya dukung selimut tiang (Q_s).

1. Kapasitas dukung ujung tiang (Q_p)

Kapasitas dukung ujung tiang bor pada tanah pasir dapat ditentukan sebagai berikut :

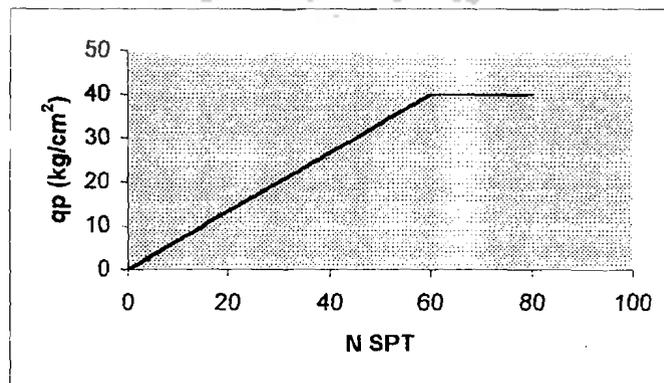
$$Q_p = q_p \cdot A \dots\dots\dots (3.1)$$

dengan :

Q_p = kapasitas dukung ujung tiang (kN)

A = luas penampang ujung tiang (m^2)

q_p = kapasitas dukung batas (kg/cm^2) (gambar 3.2)



Gambar 3.2. Hubungan nilai N-SPT dengan q_p (Reese & Wright, 1977)

2. Kapasitas dukung selimut tiang (Q_s)

Kapasitas dukung selimut tiang bor pada tanah pasir dapat ditentukan berdasarkan rumus berikut ini :

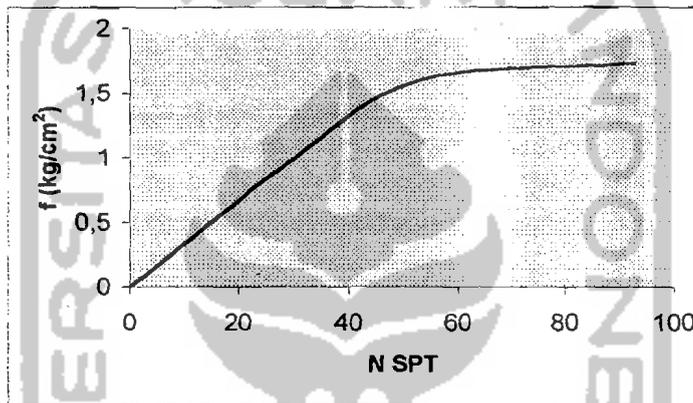
$$Q_s = \sum f \cdot \Delta L \cdot p \dots\dots\dots (3.2)$$

dengan :

$$p = \text{keliling tiang (m}^2\text{)} = \pi D \dots\dots\dots (3.3)$$

ΔL = panjang tiang (m)

f = gesekan selimut satuan (kg/cm^2) (gambar 3.3)



Gambar 3.3. Hubungan nilai N-SPT dengan f
(Reese & Wright, 1977)

3. Kapasitas Dukung Ultimit (Q_u)

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

dengan :

Q_p = kapasitas dukung ujung tiang (kN)

Q_s = kapasitas dukung selimut tiang (kN)

4. Kapasitas Dukung Ijin (Q_A)

$$Q_A = \frac{Q_p}{3} + \frac{Q_s}{1,5}$$

dengan :

Q_p = kapasitas dukung ujung tiang (kN)

Q_s = kapasitas dukung selimut tiang (kN)

4.5. Hitungan Penurunan Fondasi

Kegagalan suatu pekerjaan fondasi dapat terjadi karena dua macam perilaku struktur fondasi. Pertama seluruh fondasi atau sebagian elemennya akan masuk terus ke dalam tanah karena tidak mampu menahan beban tanpa mengalami keruntuhan. Yang kedua tanah pendukung tidak runtuh, tetapi penurunan bangunan sangat besar atau tidak sama sehingga struktur atas retak dan rusak.

Kegagalan pertama tersebut berhubungan dengan kekuatan tanah pendukung dan disebut sebagai kegagalan daya dukung tanah (*bearing capacity settlement*). Kegagalan kedua berhubungan dengan karakteristik deformasi tekanan tanah dan batuan disebut sebagai penurunan yang berlebihan (*detrimental settlement*). Pada kenyataannya kedua tipe kegagalan ini saling berhubungan. Sebagai contoh fondasi di atas pasir akan mengalami penambahan penurunan yang lebih besar daripada proporsi penambahan beban, bahkan penurunan akibat penambahan beban yang cukup kecilpun tidak dapat ditoleransi. Berbeda dengan fondasi pada lempung kaku yang di atasnya terdapat lapisan lempung lunak sehingga dapat masuk dengan mudah ke tanah, tetapi penurunan karena konsolidasi pada lempung sangat besar.

Penurunan yang terjadi pada tiang sangat dipengaruhi oleh mekanisme pengalihan beban, maka penyelesaian untuk perhitungan penurunan hanya bersifat pendekatan. Perhitungan penurunan fondasi tiang bor pada tanah pasir adalah sebagai berikut :

Untuk memperkirakan penurunan pada tanah pasir ada dua buah cara yaitu :

- a) Metode Semi Empiris
- b) Metode Empiris

a. *Metode Semi Empiris*

$$S = S_s + S_p + S_{ps} \dots\dots\dots (3.4)$$

dimana :

- S = penurunan total (m)
- S_s = penurunan akibat deformasi axial tiang (m)
- S_p = penurunan dari ujung tiang (m)
- S_{ps} = penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang Tiang (m)

Penurunan akibat deformasi axial tiang :

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha \cdot Q_s) \cdot L}{A_p \cdot E_p} \dots\dots\dots (3.5)$$

dimana :

- Q_p = beban yang didukung ujung tiang (kN)
- Q_s = beban yang didukung selimut tiang (kN)
- L = panjang tiang (m)
- A_p = luas penampang tiang (m²)
- E_p = modulus elastis tiang (kg/cm²)
- α = koefisien yang bergantung pada distribusi gesekan selimut sepanjang tiang. (Vesic, 1977, α = 0,33 – 0,50)

Penurunan dari ujung tiang

$$S_p = \frac{C_p \cdot q_p}{D \cdot Q_p} \dots\dots\dots (3.6)$$

dimana :

- Q_p = perlawanan ujung dibawah beban kerja (kN)
- q_p = kapasitas dukung batas di ujung tiang (kg/cm²)
- D = diameter (m)
- C_p = koefisien empiris (table 3.1)

Untuk mendapatkan nilai Cp dapat dilihat pada tabel berikut dibawah ini :

Tabel 3.1. Nilai koefisien Cp (Vesic,1977)

| Jenis Tanah | Tiang Pancang | Tiang Bor |
|-------------|---------------|-------------|
| Pasir | 0,02 - 0,04 | 0,09 - 0,18 |
| Lempung | 0,02 - 0,03 | 0,03 - 0,06 |
| Lanau | 0,03 - 0,05 | 0,09 - 0,12 |

Penurunan akibat pengalihan beban sepanjang tiang :

$$S_{ps} = \left(\frac{Q_{ws}}{p.L} \right) \cdot \frac{D}{E_s} \cdot (1 - V_s^2) \cdot I_{ws} \quad (3.31)$$

dimana :

$$\frac{Q_{ws}}{p.L} = \text{gesekan rata-rata yang bekerja sepanjang tiang} \dots\dots (3.7)$$

P = keliling tiang (m²)

L = panjang tiang tertanam (m)

D = diameter tiang (m)

E_s = modulus elastisitas tanah (kg/cm²)

V_s = poisson's ratio tanah (tabel 3.2)

$$I_{ws} = \text{faktor pengaruh} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \dots\dots\dots (3.8)$$

Nilai V_s dan E_s dapat dilihat dari tabel berikut dibawah ini :

Tabel 3.2. Nilai Poisson's Ratio Tanah (T. William Lambe dan R.V. Whitman, 1969)

| Type Tanah | Poisson's Ratio |
|-----------------------|-----------------|
| Clay, saturated | 0,05 |
| Clay, undrained | 0,35 - 0,40 |
| Clay with sand & silt | 0,30 - 0,42 |
| sandy soil | 0,15 - 0,25 |
| Sand | 0,30 - 0,35 |

Tabel 3.3. Nilai Modulus Elastis (H. F. Winterkorn & Hsai Y. F, 1975)

| Jenis Tanah | Modulus Elastisitas (Kg/cm ²) |
|-------------------------|---|
| Tanah liat sangat lunak | 3,5 - 30 |
| Tanah liat lunak | 20 - 50 |
| Tanah liat sedang | 40 - 80 |
| Tanah liat keras | 70 - 180 |
| Tanah liat berpasir | 300 - 400 |
| pasir berlanau | 70 - 200 |
| pasir lepas | 100 - 250 |
| pasir padat | 500 - 800 |
| pasir padat + kerikil | 1000 - 2000 |
| Kayu | 80.000-100.000 |
| Beton | 200.000-300.000 |
| Baja | 2.150.000 |

b. Metode Empiris

$$S = \frac{D}{100} + \frac{Q.L}{A_p.E_p} \quad (3.9)$$

dimana :

S = penurunan total di kepala tiang (m)

D = diameter tiang (m)

Q = beban kerja (kN)

A_p = luas penampang tiang (m²)

L = panjang tiang (m)

E_p = modulus elastis tiang (Tabel 3.3)

3.6. Pile Cap

Pile cap adalah gabungan beberapa tiang pancang yang digabungkan menjadi satu kelompok oleh plat. Pile cap ini berfungsi untuk menyalurkan beban bangunan yang diterima oleh kolom tiang, sehingga tiang akan menerima beban sesuai dengan daya dukung yang diijinkan. Pile cap tiang pancang biasanya dianggap kaku sehingga gerakan pile cap akan diuraikan oleh translasi dan rotasi benda kaku.

Jika sebuah tiang pancang digunakan, maka pile cap diperlukan untuk menyebarkan beban vertikal dan beban horisontal dari setiap momen guling pada semua tiang pancang dalam kelompok tersebut.

Pile cap biasanya terbuat dari beton bertulang, dituangkan langsung pada tanah. Pile cap tiang pancang tersebut mempunyai sebuah reaksi yang merupakan sederet beban terpusat (tiang pancang), perencanaan tersebut juga dipertimbangkan beban kolom dan momen dari setiap tanah yang mendasari pile cap (jika pile cap berada di bawah permukaan tanah) dan berat pile cap.

Anggapan bahwa setiap pancang di dalam sebuah kelompok mengangkat beban yang sama mungkin benar bila hal berikut terpenuhi:

1. Pile cap bersentuhan dengan tanah
2. Tiang pancang semuanya tegak lurus
3. Beban dipakaikan pada pusat kelompok tiang pancang.
4. Kelompok tiang pancang adalah simetris.

Adapun rumus – rumus untuk menghitung pile cap tidak banyak dibahas dalam literature yang tersedia, sehingga digunakan rumus –rumus dalam perhitungan beton bertulang berdasarkan ketentuan Peraturan Beton Bertulang Indonesia, 1971, yaitu sebagai berikut :

Tebal penampang pile cap :

$$h = \sqrt{M} / b.k_0 \dots\dots\dots (3.10)$$

$$d_{\min} = 15 \text{ cm} + 1,5 \cdot \Phi_{\text{tulangan}} \dots\dots\dots (3.11)$$

Luas penampang pile cap :

$$A_s = \omega_0 \cdot b \cdot h \dots\dots\dots (3.12)$$

Luas tulangan pile cap :

$$a_s = \frac{1}{4} \pi D^2 \dots\dots\dots (3.13)$$

Jarak tulangan :

$$a / 200 = a_s / A_s \dots\dots\dots (3.14)$$

$$H_{\text{total}} = d_{\min} + A_s \dots\dots\dots (3.15)$$

dengan :

A_s = luas penampang (cm^2)

a_s = luas diameter tulangan (cm)

- b = lebar pile cap (cm)
 h = tinggi pile cap (cm)
 M = momen
 D = resultan tegangan-tegangan tekan (tm)
 ω_0 = 0,008 (koefisien tulangan tarik pada keseimbangan elastis)
 k_o = koefisien ordinat blok tegangan tekan beton ($k_o = 0,5 \phi$) (kg/cm^2)
 $\phi = 0,93$ (koefisien pada penentuan kekuatan beton)

(Sumber : PBBI, 1971)

Tebal efektif pile cap :

$$d' = t - \text{tebal selimut beton} - (d/2)$$

dengan :

$$d' = \text{tebal efektif pile cap (cm)}$$

$$t = \text{tebal pile cap (cm)}$$

$$d = \text{diameter tulangan (mm)}$$

Tegangan ijin geser lentur beton akibat beban kerja ditengah tinggi penampang :

$$\bar{\tau}_b = 0,54 \sigma'_{bk} \dots \dots \dots (3.16)$$

Tegangan ijin geser pons akibat beban kerja :

$$\bar{\tau}_{bp} = 0,65 \sqrt{\sigma'_{bk}} \dots \dots \dots (3.17)$$

dengan :

$$\sigma'_{bk} = \text{kuat tekan beton karakteristik (kg/cm}^2 \text{)}$$

$$\tau_b = 8/7 \cdot D/b \cdot h \dots \dots \dots (3.18)$$

dengan :

$$\tau_b = \text{Tegangan geser pons akibat beban kerja (kg/cm}^2 \text{)}$$

$$D = \text{resultan tegangan-tegangan tekan (tm)}$$

$$b = \text{lebar pondasi (m)}$$

$$h = \text{tinggi pondasi (m)}$$

3.7. Metode Statis

Adapun maksud dari perhitungan dengan metode statis ini adalah perhitungan yang menggunakan "Bearing Capacity Formula" dengan *strength*

parameter yang diperoleh dari hasil uji lapangan berdasarkan data hasil uji lapangan (CPT, SPT) atau data hasil uji laboratorium. Parameter tanah yang diperlukan untuk analisis kapasitas tiang pancang statik terdiri dari sudut geser dalam (ϕ), dan kohesi (c). Parameter tanah ditentukan dari percobaan triaksial dilaboratorium pada contoh tanah yang tak terganggu (J. E. Bowles, 1986)

Sedangkan menurut Terzaghi hasil-hasil CPT dan SPT *in-situ* pada pondasi dalam memberikan gambaran yang lebih baik tentang perilaku bangunan daripada gambaran yang dapat diberikan oleh hasil-hasil laboratorium atas contoh tanah yang tak terganggu (*Undisturbed soil*).

Pemilihan penggunaan harga tekanan harus dari *Cone Penetration Test* (CPT) dan harga-N dari *Standar Penetration Test* (SPT) dalam perhitungan kapasitas dukung tiang dan perkiraan terjadinya penurunan (*settlement*) tiang, karena kedua harga harga tersebut memberikan gambaran secara langsung mengenai sifat-sifat tanah pendukung secara akurat dari setiap lapisan tanah. Hasil uji CPT dan SPT memberikan data sebagai berikut :

- Kekuatan geser (*Strength parameter*)
- Jenis tanah (Lanau, Lempung Pasir, dan lain-lain)
- Kekuatan kapasitas dukung ultimit masing-masing lapisan tanah
- Kedalaman dan tebal masing-masing lapisan tanah
- Sifat compressibility dan deformation properties.