

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Pondasi

Pondasi merupakan bagian paling bawah dari konstruksi bangunan sipil yang mempunyai peranan yang sangat penting dan bertugas meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (*upper structure*) ke dasar tanah yang cukup kuat untuk mendukungnya. Suatu perencanaan pondasi dikatakan benar apabila beban yang diteruskan pondasi ke tanah tidak melebihi kekuatan tanah yang bersangkutan. Apabila kekuatan beban pondasi melebihi kekuatan tanah, maka penurunan yang berlebihan dan keruntuhan dari tanah akan terjadi. Hal-hal tersebut akan menyebabkan kerusakan pada konstruksi bangunan yang berada di atas dari pondasi tersebut.

Maka dari itu daya dukung pondasi untuk menopang bangunan di atasnya harus diperhitungkan agar dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban yang bekerja, gaya luar seperti angin, gempa bumi dan lain sebagainya. Pondasi dapat diklasifikasikan berdasarkan:

- a. Kedalaman tiang sampai tanah keras
- b. Bahan dan struktur pondasi
- c. Bangunan yang didukung di atasnya

### 3.1.1. Pondasi *Bored Pile*

Pondasi *Bored Pile* disebut pondasi tiang beton cetak ditempat merupakan pondasi stabil dan kaku yang dibangun dengan diisi tulangan setelah mengebor tanah dan kemudian dicor dengan beton, jika tanah mengandung air, dibutuhkan pipa besi untuk menahan dinding lubang kemudian pipa ini ditarik ke atas pada saat pengecoran. Untuk menambah tahanan dukung ujung tiang, diameter pada dasar tiang dapat dibesarkan. *Bored pile* berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung untuk mendukung struktur atas bangunan dan memberi keamanan pada bangunan tersebut. Penyelidikan tanah dilakukan untuk mendapatkan daya dukung yang akurat.

Pada umumnya kelebihan dan kekurangan penggunaan *bored pile* pada suatu proyek konstruksi antara lain:

- a. Keuntungan
  1. Panjang tiang dapat menyesuaikan kondisi tanah
  2. Kolom dapat langsung diletakkan di puncak *bored pile*
  3. Tanah yang dibuang akibat pengeboran dapat diteliti
  4. Mudah di pasang dengan diameter besar
  5. Resiko kenaikan muka tanah kecil
  6. Bahan tiang tidak bergantung pada kondisi pemancangan
  7. Tidak banyak menimbulkan kebisingan ataupun getar
  8. Tanah disekitar tiang tidak mengalami kerusakan
  9. Tiang dapat menembus lapisan batuan

b. Kerugian

1. Kemungkinan terjadi *necking* pada saat instalasi
2. Beban tidak ditempatkan pada kondisi ideal, dan tidak dapat diteliti
3. Pada tanah berbutir kasar, pelebaran ujung tiang tidak dapat dilakukan tanpa teknik khusus
4. Tidak mudah diperpanjang diatas muka tanah
5. Mutu beton akan berpengaruh jika tercampur dengan air tanah saat proses pengecoran
6. Metode pengeboran ada kemungkinan memperlemah tanah disekitarnya

### **3.2 Daya Dukung Tanah**

Daya dukung tanah adalah kekuatan tanah untuk menahan suatu beban yang bekerja yang disalurkan melalui pondasi. Banyak sekali metode analisis daya dukung tanah tunggal ataupun kelompok yang sudah diteliti dan dikembangkan serta diterapkan secara luas dibidang geoteknik dan terutama didalam perencanaan pondasi tiang seperti metode analisis berdasarkan data lapangan dan metode statis.

#### **3.2.1 Metode berdasarkan Data Lapangan**

Adapun beberapa analisis daya dukung tiang,pada lapangan antara lain:

1. Analisis Daya Dukung Tiang dengan Pengujian CPT / Sondir

- a. Menurut Schmertmann dan Nottingham (1975) Analisis ini berdasarkan data lapangan dengan alat sondir dapat memperoleh data yang berkelanjutan sepanjang tiang.

$$\text{Tahanan Ujung Tiang: } Q_b = \frac{Q_{c1} + Q_{c2}}{2} \times A_b \quad (3.1)$$

Dimana :

$Q_b$  = Tahanan ujung tiang

$Q_{c1}$  = Nilai rerata  $q_c$  dari 0,7D s.d. 4D di bawah ujung tiang

$Q_{c2}$  = Nilai rerata  $q_c$  8D diatas ujung tiang

$A_b$  = luas penampang tiang

Catatan :

Jika tanah di bawah ujung tiang dalam keadaan lembek antara 4D sampai dengan 8D, maka perlu dilakukan koreksi pada nilai rerata tersebut. Pada umumnya perlawanan konus ( $q_c$ ) diambil tidak lebih dari  $100\text{kg/cm}^2$  untuk tanah pasir dan tidak lebih  $75\text{kg/cm}^2$  untuk tanah pasir kelanauan.

$$\text{Ketahanan selimut: } Q_s = K_{s,c} \sum_{z=0}^{8D} \frac{z}{8D} \times f_s \times A_s + \sum_{z=8D}^L f_s \times A_s \quad (3.2)$$

$K_s$  dan  $K_c$  = Faktor reduksi (tergantung kedalaman dan nilai gesekan selimut).

Jika tanah disekeliling tiang terdiri atas berbagai lapisan tanah pasir dan lempung, dianjurkan untuk menghitung ketahanan

setiap lapisan secara terpisah, namun nilai faktor reduksi K pada persamaan diatas dihitung atas dasar total kedalaman tiang.

- b. Simon & Menzies (1977) mengusulkan perkiraan daya dukung tiang dengan menggunakan data sondir sebagai berikut:

$$Q_{ult} = q_{cp} \times A_b + \frac{1}{2} \times q_{cs} \times A_s \quad (3.3)$$

Dimana :  $q_{cp}$  = Rerata perlawanan konus ( $q_c$ ) sepanjang 4D diatas ujung s.d 1D di bawah ujung tiang.

$q_{cs}$  = rerata perlawanan konus ( $q_c$ ) sepanjang tiang.

Nilai  $q_{cp}$  dan  $q_{cs}$  dinyatakan dalam  $\text{kN/m}^2$ .

- c. Borghi (2001) mengungkapkan secara prinsip hasil *Cone Penetration Test* (CPT) dapat digunakan untuk mengevaluasi: *soil stratification, soil density, shear strength parameters*. Hasil dari *Cone Penetration Test* (CPT) juga dapat digunakan secara langsung untuk desain fondasi tiang pada tanah pasir dan berbatuan (*gravel*). Secara langsung dapat digunakan parameter *shear strength* untuk fondasi tiang pada tanah lempung (*clay*). Sejak *Cone Penetration Test* (CPT) dipandang sebagai suatu alat yang efektif untuk desain *pile* dan mempunyai kemiripan proses penetrasi pada *pile*.
- d. Sanglerat (1972) mengungkapkan uji *Cone Penetration Test* (CPT) (ASTM D-3441) adalah suatu metode peneksiran lapisan statigrafi di bawah permukaan (*statigraphy subsurface*) yang berhubungan dengan material lunak, material organik. Material – material yang

berpotensi mudah mencair (*liquefiable*) seperti: lempung, pasir, dan batuan bulat dan tanah longsor (*landslides*).

- e. Haryatmo (1992) mengemukakan uji sondir atau yang dikenal dengan uji penetrasi kerucut statis banyak digunakan di Indonesia. Pengujian ini merupakan suatu pengujian yang digunakan untuk menghitung kapasitas dukung tanah. Nilai – nilai tahanan kerucut statis atau hambatan konus ( $q_c$ ) yang diperoleh dari pengujian dapat langsung dikorelasikan dengan kapasitas dukung tanah.

## 2. Analisis Daya Dukung Tiang dengan Pengujian Standard *Penetration Test* (SPT)

Pengujian tiang dengan alat uji SPT adalah metode pengujian tanah lapangan untuk mengetahui kedalaman setiap lapisan tanah dan sifat – sifat daya dukung di setiap lapisan tersebut, seperti kerapatan relatif, jenis tanah, dan data kualitatif lainnya. Pengertian pengujian ini menurut para ahli antara lain:

- a. Joseph E. Bowles mengungkapkan bahwa *Standart Penetration Test* (SPT) merupakan pengujian penembusan tanah yang paling ekonomis dan populer untuk meendapatkan informasi di bawah permukaan tanah. *Standart Penetration Test* (SPT) juga merupakan salah satu pengujian lapangan yang cukup populer di Indonesia. Pertama kali digunakan pada tahun 1927, setelah itu alat ini rutin digunakan di lapangan. Pengujian SPT ini dilakukan dengan cukup

sederhana dan mudah sehingga tidak memerlukan keterampilan khusus dalam pengoperasiannya.

- b. Dalam buku “Dasar – Dasar Analisis Geoteknik” pengujian penetrasi standar paling sering digunakan untuk mengukur kepadatan relatif tanah – tanah granular. Meskipun pengujian ini kadang – kadang digunakan ukuran kuat geser tanah – tanah kohesif, tetapi korelasinya tidak begitu meyakinkan untuk tanah – tanah kohesif. Berbagai faktor dapat mempengaruhi hitungan pukulan yang diperoleh, sehingga perlu sangat berhati – hati dalam mengevaluasi hasil pengujian.

Pada umumnya Persamaan yang diterapkan pada analisis daya dukung tiang berdasarkan SPT adalah sebagai berikut:

$$Q_{ult} = \mu_b \times N_b \times A_b \times \mu_s \times N \times A_s \quad (3.4)$$

Dimana :

$Q_{ult}$  = Daya dukung ultimit (ton)

$A_b$  = Luas penampang ujung tiang

$A_s$  = Luas selimut tiang

$N_b$  = Nilai SPT pada ujung tiang

$\mu_{b,s}$  = Nilai koefisien perlawanan ujung dan selimut tiang

$N$  = Nilai rerata SPT sepanjang tiang

Pada penerapan proses perencanaannya, koreksi nilai  $N$  sebagai berikut:

$$N_b = 0,5 \times (N_1 + N_2) < 40 \quad (3.5)$$

$N_1$  = Nilai SPT pada ujung tiang

$N_2$  = Nilai SPT rerata dari ujung tiang hingga 4D diatas ujung tiang.

Untuk tanah pasir yang sangat halus (*fine sand*) atau tanah pasir kelanauan (*silty sand*) yang terletak di bawah muka air tanah, nilai SPT cenderung lebih tinggi disebabkan oleh rendahnya permeabilitas. Oleh sebab itu, nilai  $N$  SPT dikoreksi sebagai berikut:

$$N^* = 15 + 0,5x (N - 15) \quad (3.6)$$

Dimana:

$N^*$  : Nilai SPT terkoreksi ( $N^* \geq 15$ )

$N$  : Nilai SPT asli di lapangan

Adapun beberapa peneliti yang menyarankan besarnya harga koefisien gesek untuk persamaan daya dukung ultimit, pada tabel

3.1.

Tabel 3.1. Koefisien  $\mu_b$  dan  $\mu_s$ 

Peneliti	Jenis Tanah	Jenis Tiang	$\mu_b$	$\mu_s$	Batasan
Mayerhof (1976)	Pasir	Berlaku umum	40	0,2	-
	Lempung		-	0,5	-
Okahara (1992)	Pasir	Tiang pancang	40	0,2	<10 t/m <sup>2</sup>
		Cor ditempat	12	0,5	<20 t/m <sup>2</sup>
	Kohesif	Tiang pancang	-	1	<15 t/m <sup>2</sup>
		Cor ditempat	-	1	<15 t/m <sup>2</sup>
Takahashi (1992)	Pasir	Tiang pancang	30	0,2	-

Sumber: Bahan Kuliah Pondasi Dalam

### 3. Analisis Daya Dukung Tiang dengan Pengujian *Loading Test*

Pada umumnya percobaan pembebanan tiang atau *loading test* adalah metode yang paling tepat untuk menentukan daya dukung tiang. Hal ini disebabkan karena pembebanan tiang mirip yang terjadi pada lapangan. Pembebanan menyerupai apa yang dialami tiang sesungguhnya, dengan menganalisa penurunan yang terjadi pada tiang tersebut. *Loading test* dibedakan menjadi 2 jenis yaitu:

#### a. *Constant Rate Penetration Test (CRP)*

CRP melakukan pembebanan secara berkelanjutan dengan mempertahankan kecepatan penetrasi yang konstan, pembebanan akan dihentikan pada saat perlawanan tanah mencapai nilai konstan, sedangkan penurunan tetap berlangsung. Pembacaan dilakukan pada jarak waktu yang konstan.

Keunggulan metode ini menghasilkan sebuah kurva yang halus dan berlanjut sampai dengan tiang mencapai kondisi runtuh

(*failure*), karena itu beban ultimit dapat ditentukan dengan lebih tepat.

b. *Maintained Load Test*

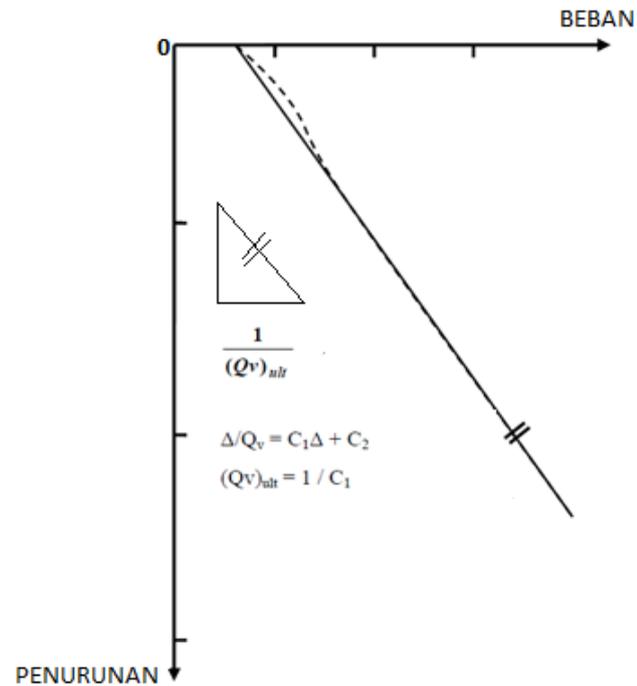
Pengujian pembebanan yang dibedakan menjadi 2 yaitu:

- *Slow Maintained Load Test Method (SM Method)* pengujian tiang yang dibebani dalam 8 tahap, sampai beban maksimum yang pada umumnya ditetapkan sebesar 2 kali beban rencana, pembebanan dipertahankan sampai penurunan tidak mencapai lebih dari 0,002 in/ 10 menit atau penurunan berhenti, karena itu sering kali pengujian ini dilakukan sampai tiang mencapai keruntuhan, oleh sebab itu tiang tersebut tidak layak lagi digunakan sebagai bagian dari pondasi, percobaan ini bisa memakan waktu lebih dari satu hari karena memiliki tahap yang membutuhkan waktu lama
- *Quick Maintained Load Test*, metode ini memiliki tahapan pembebanan yang dibuat menjadi 30 – 40 tahap. Menurut Housel (1976) agar setiap tahap pembebanan hanya dilakukan selama periode tertentu yang seragam dan relatif singkat, misal 60 menit tanpa memperhatikan penurunan tanah tersebut. Hal tersebut dilakukan untuk mempersingkat waktu. Interval waktu pembebanan dapat dipersingkat menjadi 5, 10, atau 15 menit.

Adapun beberapa teori analisis pengujian loading test yaitu :

a. Metode Chin F.K. (1971)

Dasar teori ini, digambarkan dalam gambar berikut :



Gambar 3.1. Grafik hubungan beban dengan penurunan menurut metode Chin F.K (Fellenius, Bengt H. 2001).

Kurva *load-settlement* digambar dalam kaitannya dengan  $S/Q$ .

$$S/Q = C_1 \cdot S + C_2 \quad (3.7)$$

Kegagalan beban ( $Q_f$ ) atau beban terakhir ( $Q_{ult}$ ) digambarkan sedengan rumus berikut.

$$Q_{ult} = 1/C_1 \quad (3.8)$$

Dimana :

$S$  = *settlement*

$Q$  = penambahan beban

$C_1$  = kemiringan garis lurus

Kegagalan metode Chin dapat digunakan untuk kedua tes beban yaitu tes beban dengan cepat dan tes beban yang dilakukan dengan lambat. Biasanya memberikan perilaku yang tidak realistis untuk kegagalan beban, jika tidak digunakan suatu kenaikan waktu yang konstan pada uji tiang. Jika sepanjang kemajuan tes beban statis, keruntuhan pada tiang akan bertambah maka garis Chin akan menunjukkan suatu titik temu, oleh karena itu dalam merencanakan tiap pembacaan metode Chin perlu dipertimbangkan. Dimana Chin memperhatikan batasan beban yang diregresikan linier yang mendekati nilai 1 (satu) dalam mengambil suatu hasil tes beban statis, dengan dasar nilai-nilai yang ditentukan dari dua cara yang telah disebutkan. Secara umum dua titik akan menentukan satu garis dan titik ketiga pada garis yang sama mengkonfirmasi suatu garis. (Fellenius, Bengt H. 2001)

b. Metode Davisson (1972)

Dalam metode Davisson (1972), metode batas *offset* mungkin yang terbaik yang dikenal secara luas (Salgado, Rodrigo. 1999). Metode ini telah diusulkan oleh Davisson sebagai beban yang sesuai dengan pergerakan dimana melebihi tekanan elastis (yang diasumsikan sebagai kolom yang berdiri

bebas) dengan suatu nilai 0,15 inchi dan suatu faktor sepadan dengan ukuran diameter tiang yang dibagi oleh 120. Kegagalan beban didefinisikan sebagai beban yang mendorong untuk membentuk sebuah deformasi yang sama pada penyajian akhir dari tekanan tiang elastis dan sebuah deformasi yang sejajar dari pencerminan tekanan tiang elastic untuk prosentase diameter tiang. Hubungan ini dituliskan sebagai berikut :

$$S_f = \Delta + 0,15 + (D/120) \quad (3.9)$$

Seperti yang terlihat pada Gambar 3.2, bahwa garis tekanan elastis pada tiang dapat diperoleh dari persamaan deformasi elastis dari suatu tiang, yang mana diperoleh dari persamaan elastis :

$$\Delta = \frac{Q \times L}{A \times E} \quad (3.10)$$

Dimana :

$S_f$  : penurunan pada kondisi kegagalan

$D$  : diameter tiang

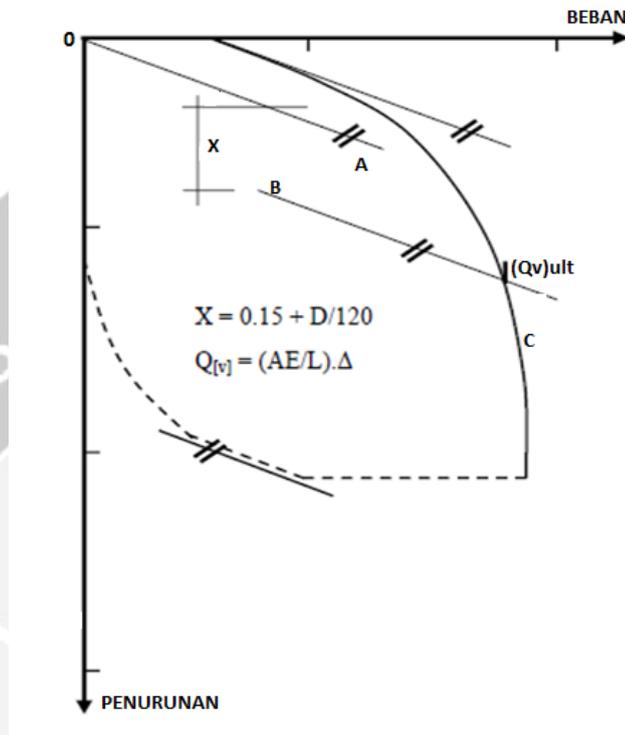
$Q$  : beban yang diterapkan

$L$  : panjang tiang

$E$  : modulus elastisitas dari tiang

$A$  : luas dari tiang

Dasar metode ini digambarkan dalam grafik berikut :



Gambar 3.2 Grafik hubungan beban dan penurunan pada metode Davisson (Fellenius, Bengt H. 2001).

Adapun teori – teori lain dalam analisis perhitungan *loading test* ini seperti, Mazurkiewicz (1972), Butler dan Hoy (1977) namun yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Davisson.

### 3.2.2 Metode Statis

Ada beberapa analisis daya dukung tanah dengan metode statis, yaitu metode Alpha ( $\alpha$ ), Beta ( $\beta$ ), maupun Gama ( $\gamma$ ), namun yang di bahas dalam penelitian ini hanya metode Beta ( $\beta$ ).

#### 1. Metode Beta ( $\beta$ )

Metode beta ( $\beta$ ) adalah metode yang dikembangkan oleh Burland pada tahun 1993, yang menggunakan parameter tanah efektif atau ketika tanah dalam keadaan terdrainase (*drained*) sehingga analisis yang digunakan adalah analisis tegangan efektif/*effective stress analysis* (ESA). Metode beta ( $\beta$ ) dapat digunakan untuk semua jenis tanah baik tanah berbutir halus (Lempung. Lanau) dan juga untuk tanah terkonsolidasi normal maupun terkonsolidasi lebih (*over-consolidated*) dengan demikian metode ini juga dapat digunakan untuk analisis jangka pendek maupun jangka panjang. Analisis daya dukung dengan metode beta ( $\beta$ ) menggunakan rumus:

$$\text{Tahanan Selimut : } Q_s = \sum_{f=1}^n (\sigma' x) \times \tan \phi' i \times \text{keliling} \times z_i \quad (3.11)$$

Gesekan sepanjang tiang sama dengan tekanan horizontal efektif ( $\sigma' x$ ) dikalikan dengan koefisien gesekan antara tiang dengan tanah ( $\phi$ ), yang biasanya diambil sama dengan  $\tan \phi'$ , dimana  $\phi'$ , adalah sudut gesek antara selimut tiang dengan tanah sekelilingnya.

$$Q_s = \sum_{f=1}^n K i (\sigma' z) i \times \tan \phi' i \times \text{keliling} \times z_i \quad (3.12)$$

Tegangan tanah lateral ( $\sigma' x$ ) proporsional dengan tegangan vertikal efektif ( $\sigma' z$ ) dikalikan dengan faktor K. Jika  $K \cdot \tan \phi' = \beta$ , maka :

$$Q_s = \sum_{f=1}^n \beta_i (\sigma' z)_i \times \text{keliling} \times z_i \quad (3.13)$$

Harga K tergantung rasio over konsolidasi (OCR). Untuk tanah yang *over-consolidated*.

$$K = (1 - \sin \phi' cs)(OCR)^{0.5} \quad (3.14)$$

Sedangkan untuk tanah yang terkonsolidasi normal OCR = 1

Dimana  $\phi' cs$  adalah sudut gesek dalam kritis. Dengan demikian secara umum, beta ( $\beta$ ) dapat ditulis dengan persamaan:

$$\beta = (1 - \sin \phi' cs)(OCR)^{0.5} \times \tan \phi_i \quad (3.15)$$

Tahanan ujung tiang ini dihitung analog dengan analisis yang digunakan pada pondasi dangkal

$$\text{Tahanan Ujung Tiang: } Q_b = f_b \cdot A_b = N_q \cdot (\sigma' z)_b \cdot A_b \quad (3.16)$$

$(\sigma' z)_b$  = Tegangan efektif pada ujung tiang

$A_b$  = Luas penampang ujung tiang

Nilai  $\phi$  = sudut pastifikasi

- Untuk tanah lunak, tanah berbutir halus berkisar ( $\pi/3$ )

- Untuk tanah keras, berbutir kasar, dan *over-consolidated* sampai dengan  $0,58\pi$

$N_q$  adalah faktor daya dukung tanah, menurut Janbu (1986)  $N_q$  dirumuskan seperti persamaan berikut:

$$N_q = (\tan \phi' + \sqrt{1 + \tan^2 2\phi'})^2 \times \exp(2\psi \tan \phi') \quad (3.17)$$

Menurut API (1984) untuk tanah pasir  $N_q$  yang digunakan adalah 40.

