

## PERILAKU FONDASI TIANG BOR

**Hari Dwi Wahyudi\* dan Darupratomo**

Program Studi Teknik Sipil Universitas Widya Dharma

Jl. Ki Hajar Dewantara, Klaten 57438

\*E-mail : hariwahyudi.hdw@gmail.com

### Abstrak

Struktur fondasi dikatakan dapat berfungsi dengan baik jika struktur fondasi tersebut mampu meneruskan beban konstruksi yang diterimanya ke tanah dengan tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan. Tujuan utama penelitian ini dilakukan adalah untuk mengetahui perilaku fondasi tiang bor pada tanah kohesif, yang ditinjau dari perubahan nilai kapasitas dukung fondasi. Data parameter tanah yang digunakan adalah data hasil penyelidikan tanah (*soil investigation*), pengujian laboratorium yang dilakukan terhadap contoh tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*), diantaranya ; angka pori ( $e$ ), porositas ( $n$ ), kadar air ( $w$ ), berat jenis ( $G_s$ ), dan berat isi tanah ( $\gamma_d$ ). Keberadaan M.A.T sangat mempengaruhi besarnya nilai kapasitas dukung, hal tersebut karena kerja air yang mengurangi kemampuan ikat antar mineral tanah, yang dalam hal ini dapat diartikan menurunkan nilai kohesi tanah. Semakin kecil nilai kapasitas dukung berbanding lurus dengan nilai penurunan yang terjadi, hal ini karena air juga memberikan tegangan yang bekerja berlawanan arah dengan gaya yang bekerja akibat beban konstruksi yang diterima oleh fondasi.

**Kata kunci :** bor, beban, fondasi, tiang, vertikal.

## 1. PENDAHULUAN

Fondasi merupakan bagian paling bawah dari suatu struktur yang mempunyai fungsi sebagai mediator yang meneruskan beban konstruksi ke lapisan tanah yang berada di bawah fondasi. Suatu struktur fondasi dikatakan dapat berfungsi dengan baik jika struktur fondasi tersebut mampu meneruskan beban konstruksi yang diterimanya ke tanah dengan tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan. Kapasitas dukung fondasi (*bearing capacity*) didefinisikan sebagai kekuatan untuk menahan suatu beban yang bekerja padanya yang selanjutnya disalurkan ke media tanah di sekitarnya. Kapasitas dukung tanah menyatakan tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah disepanjang bidang – bidang gesernya.

Istiyarningsih, M., dkk. (2013) melakukan penelitian tentang tahanan gesek (*friction*) yang terjadi antara dinding tiang fondasi bor dengan tanah, memberikan kesimpulan bahwa kapasitas dukung fondasi tiang dipengaruhi oleh tahanan gesek yang terjadi antara tanah dengan dinding tiang fondasi. Alwan (2014) dengan penelitiannya tentang pengaruh variasi kadar air terhadap kapasitas dukung fondasi tiang pada tanah ekspansif, dari penelitian ini disimpulkan bahwa variasi kadar air mempengaruhi daya dukung fondasi tiang khususnya tipe *friction pile*, dimana semakin besar perubahan kadar air yang terjadi, semakin besar pula penurunan daya dukung ultimit tiang.

Tujuan utama penelitian ini dilakukan adalah untuk mengetahui perilaku fondasi tiang bor pada tanah kohesif yang ditinjau dari perubahan nilai kapasitas dukung dan penurunan yang terjadi.

## 2. METODOLOGI

Metode penelitian dilakukan dengan melakukan pengambilan contoh tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*) yang selanjutnya dilakukan pengujian di laboratorium terhadap contoh tanah tersebut. Pengujian laboratorium yang dilakukan terhadap contoh tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*), diantaranya ; angka pori ( $e$ ), porositas ( $n$ ), kadar air ( $w$ ), berat jenis ( $G_s$ ), dan berat isi tanah ( $\gamma_d$ ). Selanjutnya, data hasil uji laboratorium tersebut digunakan untuk melakukan simulasi tentang perilaku fondasi tiang bor, dengan piranti lunak (*software*) *Microsoft Excel* sebagai program bantu yang digunakan untuk simulasi.

### 2.1. Parameter Tanah

Secara umum, Hardiyatmo (2006) menjelaskan bahwa semua jenis tanah terdiri dari tiga material, yaitu : butiran dari suatu atau beberapa mineral (berwujud material padat), serta air dan udara yang terdapat dalam ruangan antara butiran – butiran tersebut. Ruangan diantara butiran – butiran ini disebut pori (*voids*). Tanah pada kondisi benar – benar jenuh, pori diisi dengan air saja

sedangkan, jika pori tanah benar-benar kering diisi dengan udara saja. Dalam hal tanah jenuh sebagian, pori diisi dengan air dan udara.

Parameter tanah merupakan indeks sifat – sifat fisis dan sifat – sifat mekanis suatu tanah, dimana parameter tanah dasar pada suatu konstruksi, sangat mempengaruhi berbagai elemen konstruksi yang akan dibangun di atasnya. Sifat – sifat fisis tanah yang dibahas dalam studi ini adalah angka pori ( $e$ ), porositas ( $n$ ), kadar air ( $w$ ), berat jenis ( $G_s$ ), dan berat volume kering ( $\gamma_d$ ). Sifat – sifat fisis tanah memberikan hubungan terhadap sifat – sifat mekanis (*engineering properties*) seperti kekuatan dan pemampatan atau kecenderungan untuk mengembang, dan permeabilitas.

## 2.2. Kapasitas Dukung Fondasi

Menurut Vesic (1977) secara umum kapasitas dukung fondasi tiang bor dinyatakan dalam persamaan, sebagai berikut :

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \quad (1)$$

Pada **persamaan 1** diatas, nilai kapasitas dukung ultimit ( $Q_u$ ) merupakan jumlah dari nilai tahanan bidang ujung tiang ( $Q_b$ ) dan nilai tahanan gesek dinding tiang ( $Q_s$ ) dikurangi dengan berat sendiri tiang ( $W_p$ ). Terzaghi (dalam Hardiyatmo, 2011) menyatakan, nilai tahanan bidang ujung tiang secara pendekatan dihitung dengan persamaan kapasitas dukung ultimit fondasi dangkal, sebagai berikut :

$$Q_b = A_b [cN_c + p_o N_q + 0,5\gamma B N_\gamma] \quad (2)$$

Nilai tahanan gesek dinding tiang ( $Q_s$ ) dianalisa dengan menggunakan teori persamaan Coulomb, berikut ini :

$$Q_s = A_s [c_d + K_d p_d \tan \phi_d] \quad (3)$$

Sehingga nilai kapasitas dukung tanah berdasarkan data uji laboratorium, dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$Q_u = A_b [cN_c + p_o N_q + 0,5\gamma B N_\gamma] + A_s [c_d + K_d p_d \tan \phi_d] - W_p \quad (4)$$

## 2.3. Penurunan

Nilai penurunan tanah dihitung menggunakan persamaan Vesic (1977), dengan persamaan, sebagai berikut :

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \quad (7)$$

$$S_2 = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (8)$$

$$Q_{neg} = \left(\frac{Q_{ws}}{pL}\right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \quad (9)$$

$$S_t = S_1 + S_2 + S_3 \quad (10)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Analisa

Dengan menggunakan metode klasifikasi Unified, contoh tanah yang diuji termasuk dalam klasifikasi tanah lempung berlanau (*silty clay*, CL – ML).

**Tabel 1. Hasil Uji Laboratorium Tanah UDS**

Parameter Index	Notasi	Nilai	Satuan
Berat isi basah	$\gamma_b$	16,15	kN/m <sup>3</sup>
Berat isi kering	$\gamma_d$	11,33	kN/m <sup>3</sup>
Berat jenis	Gs	2,54	
Kadar air	w	42,58	%
Porositas	n	54,55	%
Angka pori	e	1,20	
Batas cair	LL	57,28	%
Batas plastis	PL	42,15	%
Indek plastis	PI	15,13	%
Kohesi	c	23,00	kg/m <sup>2</sup>
Sudut gesek	$\phi$	11,70	...°
Index Kompresibilitas	Cc	0,29	

Simulasi kapasitas dukung fondasi tiang bor akibat pengaruh Muka Air Tanah (M.A.T) dilakukan seperti pada Gambar 1. Pada **kondisi 1**, M.A.T berada pada kedalaman  $d_w$ , dimana kedalaman M.A.T lebih dangkal daripada kedalaman tiang fondasi ( $D_f$ ), dituliskan dengan notasi  $d_w < D_f$ . Berat volume tanah yang diperhitungkan dalam simulasi pada **kondisi 1** ini, adalah berat volume tanah efektif ( $\gamma'$ ). Nilai berat volume tanah efektif diperoleh dari pengurangan nilai berat volume tanah jenuh dengan berat volume air, dalam hal ini nilai berat volume air adalah 9,81 kN/m<sup>3</sup>. Persamaan matematika untuk nilai kapasitas dukung pada **kondisi 1**, sebagai berikut :

$$Q_u = A_b [cN_c + ((\gamma'(D_f - d_w)) + (\gamma_b d_w))N_q + 0,5\gamma'BN_\gamma] + A_s [c_d + K_d p_d \tan \phi_d] - W_p \quad (11)$$

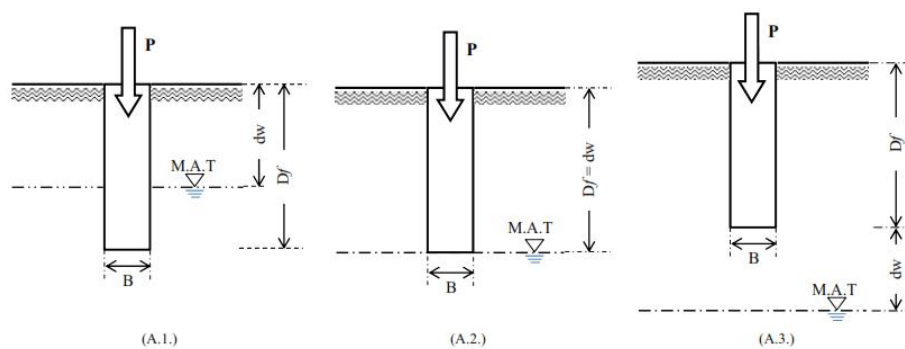
$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (12)$$

**Kondisi 2**, merupakan kondisi M.A.T berada tepat pada dasar fondasi. Nilai berat volume tanah efektif ( $\gamma'$ ) digunakan untuk menghitung persamaan suku ke – 3, sedangkan persamaan suku ke – 2 memperhitungkan berat volume tanah basah ( $\gamma_b$ ). Persamaan matematika untuk nilai kapasitas dukung pada **kondisi 2**, sebagai berikut :

$$Q_u = A_b [cN_c + (\gamma_b D_f)N_q + 0,5\gamma'BN_\gamma] + A_s [c_d + K_d p_d \tan \phi_d] - W_p \quad (13)$$

**Kondisi 3**, kedalaman M.A.T berada jauh di bawah kedalaman ujung fondasi tiang. Sehingga, pada **kondisi 3** ini nilai berat volume tanah yang digunakan pada persamaan suku ke – 2 dan suku – 3, adalah berat volume tanah basah. Persamaan matematika untuk nilai kapasitas dukung pada **kondisi 3**, sebagai berikut :

$$Q_u = A_b [cN_c + (\gamma_b D_f)N_q + 0,5\gamma_b BN_\gamma] + A_s [c_d + K_d p_d \tan \phi_d] - W_p \quad (14)$$



Gambar 1. Simulasi kondisi M.A.T.

### 3.2. Pembahasan Hasil

Analisa kapasitas dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ) yang dilakukan dengan simulasi dalam 3 (tiga) kondisi yang berbeda, seperti **Tabel 2**. Analisis juga dilakukan dengan mengubah diameter tiang fondasi untuk mengamati pengaruh M.A.T pada perubahan dimensi tiang fondasi terhadap nilai kapasitas dukungnya. Pada **Tabel 3** merupakan hasil analisis tegangan gesek yang terjadi antara tanah dengan dinding tiang ( $Q_s$ ), sedangkan nilai tahanan ujung tiang ( $Q_b$ ) disajikan pada **Tabel 4**.

**Tabel 2. Hasil analisa kapasitas dukung fondasi ultimit ( $Q_{ult}$ )**

Kondisi M.A.T	Kode	$Q_{ult}$ (kN)				
		B = 0,80 m	B = 0,90 m	B = 1,00 m	B = 1,10 m	B = 1,20 m
<i>M.A.T merendam tiang fondasi</i>	A.1.	524,60	618,31	718,37	824,79	937,62
<i>M.A.T di ujung tiang fondasi</i>	A.2.	593,86	700,53	814,51	935,81	1.064,46
<i>M.A.T di bawah tiang fondasi</i>	A.3.	597,05	705,08	820,73	944,10	1.075,22

**Tabel 3. Hasil analisa tahanan gesek dinding tiang ( $Q_s$ )**

Kondisi M.A.T	Kode	Tahanan Gesek Dinding Tiang, $Q_s$ (kN)				
		B = 0,80 m	B = 0,90 m	B = 1,00 m	B = 1,10 m	B = 1,20 m
<i>M.A.T merendam tiang fondasi</i>	A.1.	327,19	368,08	408,98	449,88	490,78
<i>M.A.T di ujung tiang fondasi</i>	A.2.	365,85	411,58	457,31	503,04	548,77
<i>M.A.T di bawah tiang fondasi</i>	A.3.	365,85	411,58	457,31	503,04	548,77

**Tabel 4. Hasil analisa tahanan gesek ujung tiang ( $Q_b$ )**

Kondisi M.A.T	Kode	Tahanan Gesek Ujung Tiang, $Q_b$ (kN)				
		B = 0,80 m	B = 0,90 m	B = 1,00 m	B = 1,10 m	B = 1,20 m
<i>M.A.T merendam tiang fondasi</i>	A.1.	202,24	256,34	316,93	384,04	457,70
<i>M.A.T di ujung tiang fondasi</i>	A.2.	232,84	295,06	364,74	441,89	526,55
<i>M.A.T di bawah tiang fondasi</i>	A.3.	236,03	299,61	370,97	450,18	537,31

Dari skema analisis yang dilakukan nilai kapasitas dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ) terkecil ada pada **kondisi 1**, yaitu ketika M.A.T lebih dangkal daripada kedalaman tiang fondasi ( $D_f$ ), pada **kondisi 1** ini bidang gesek dari tahanan gesek dinding tiang ( $Q_s$ ) dan tahanan gesek ujung tiang ( $Q_b$ ) berada pada tanah yang basah karena pengaruh M.A.T yang tinggi, tanah dalam **kondisi 1** tersebut kehadiran air mengakibatkan nilai berat volume tanah menjadi turun, dan secara langsung akan berpengaruh pada nilai kapasitas dukung. Pada **kondisi 2** dan **kondisi 3** tahanan gesek dinding tiang ( $Q_s$ ) mempunyai nilai sama yang berpengaruh meningkatkan

nilai kapasitas dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ). Peningkatan nilai kapasitas dukung juga dipengaruhi dengan memperbesar diameter tiang fondasi. Diameter tiang fondasi secara langsung akan menambah nilai tahanan gesek ujung tiang ( $Q_b$ ).

Penurunan yang terjadi pada masing – masing kondisi simulasi disajikan hasil analisisnya pada **Tabel 5** di bawah ini. Dari hasil analisis penurunan yang terjadi, semakin kecil nilai kapasitas dukung berbanding lurus dengan nilai penurunan yang terjadi, hal ini karena air juga memberikan tegangan yang bekerja berlawanan arah dengan gaya yang bekerja akibat beban konstruksi yang diterima oleh fondasi.

**Tabel 5. Hasil analisa penurunan fondasi.**

Kondisi M.A.T	Kode	$S_t$ (cm)				
		B = 0,80 m	B = 0,90 m	B = 1,00 m	B = 1,10 m	B = 1,20 m
<i>M.A.T merendam tiang fondasi</i>	A.1.	1,43	1,39	1,36	1,34	1,32
<i>M.A.T di ujung tiang fondasi</i>	A.2.	1,63	1,59	1,55	1,53	1,51
<i>M.A.T di bawah tiang fondasi</i>	A.3.	1,65	1,60	1,57	1,55	1,53

#### 4. KESIMPULAN

Fondasi tiang bor sebagai salah satu sistem fondasi yang sering ditemukan penggunaannya dalam dunia praktis di lapangan, merupakan suatu sistem fondasi peralihan yaitu peralihan dari model fondasi dangkal dan model fondasi dalam. Secara teoritis, nilai kapasitas dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ) terdiri dari nilai tahanan gesek dinding tiang dengan tanah ( $Q_s$ ) dan nilai tahanan gesek ujung tiang dengan tanah dasar ( $Q_b$ ). Keberadaan M.A.T sangat mempengaruhi besarnya nilai kapasitas dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ), hal tersebut karena kerja air yang mengurangi kemampuan ikat antar mineral tanah, yang dalam hal ini dapat diartikan menurunkan nilai kohesi tanah. Semakin kecil nilai kapasitas dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ) berbanding lurus dengan nilai penurunan yang terjadi, hal ini karena air juga memberikan tegangan yang bekerja berlawanan arah dengan gaya yang bekerja akibat beban konstruksi yang diterima oleh fondasi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia atas pendanaan penelitian ini melalui skim Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun anggaran 2019.

##### Daftar Notasi

- $Q_u$  = kapasitas dukung ultimit, kN.
- $Q_b$  = tahanan bidang ujung tiang, kN.
- $Q_s$  = tahanan gesek dinding tiang, kN.
- $W_p$  = berat sendiri tiang, kN
- $A_b$  = luas penampang ujung tiang,  $m^2$ .
- $c$  = nilai kohesi tanah di ujung tiang,  $kN/m^2$ .
- $p_o'$  = tekanan overburden di dasar tiang,  $kN/m^2$ .
- $\gamma$  = berat volume tanah,  $kN/m^3$ .
- $B$  = diameter tiang, m
- $N_c; N_q; N_\gamma$  = faktor kapasitas dukung.
- $c_d$  = nilai kohesi tanah di sekitar dinding tiang,  $kN/m^2$ .
- $p_o$  = tekanan overburden rerata di sepanjang tiang,  $kN/m^2$ .
- $\phi_d$  = sudut gesek antara sisi tiang dengan tanah
- $K_d$  = koefisien tekanan tanah lateral pada sisi tiang.
- $f_b$  = tahanan ujung satuan,  $kN/m^2$
- $f_s$  = tahanan gesek satuan,  $kN/m^2$

**DAFTAR PUSTAKA**

- Alwan, I., Indarto, 2014, *Pengaruh Variasi Kadar Air Terhadap Daya Dukung Fondasi Tiang Tipe Friction Pile Pada Tanah Ekspansif*, SEMNAS-ITS, 2015.
- Hardiyatmo, H.C., 2006, *Mekanika Tanah 1* edisi keempat cetakan pertama, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, Indonesia.
- Hardiyatmo, H.C., 2011, *Analisis dan Perancangan Fondasi 2* edisi kedua cetakan pertama, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, Indonesia.
- Istiyarningsih, M., Pangestuti, E.K., Andiyarto, H.T.C., 2013, *Pengaruh Metode Konstruksi Pondasi Sumuran Terhadap Kapasitas Dukung Vertikal*, Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7), Universitas Sebelas Maret (UNS), Surakarta, Indonesia.
- Vesic, A.S., 1977, *Design Of Pile Foundation*, Transportation Research Board National Research Council, Washington, D.C., USA.