

# TATA UJI BEBAN AKSIAL MODEL FONDASI TIANG BOR PENDEK DI LAPANGAN UNTUK STUDI TAHANAN DUKUNG UJUNG

Andrias Suhendra Nugraha <sup>(1)</sup>

## ABSTRAK

Pengujian beban aksial pada model fondasi tiang bor pendek di lapangan memerlukan beberapa kriteria yang harus dipenuhi, di antaranya : kedalaman lapisan pendukung ujung, penyesuaian terhadap kapasitas dan penataan alat uji sehingga tetap dapat mengacu pada standar pengujian. Agar beban kerja aksial pada model fondasi hanya dipikul oleh tahanan dukung ujung, tahanan gesekan selimut dihilangkan melalui pelumasan dengan silikon cair. Tahanan dukung ujung termobilisasi pada deformasi yang besar yaitu pada 18 % d sampai 30 % d. Nilai tahanan dukung ujung hasil uji beban hanya sekitar setengah dari tahanan dukung ujung berdasarkan perhitungan empiris.

**Kata Kunci :** tahanan dukung ujung, tahanan gesekan selimut, deformasi, tiang bor panjang, tiang bor pendek.

## 1. PENDAHULUAN

Dalam kaitan telaah perilaku tahanan dukung ujung pada tiang bor pendek diperlukan suatu uji beban nyata. Uji beban aksial pada tiang bor pendek dengan skala penuh membutuhkan biaya yang besar. Pengujian model kecil maupun besar dapat dilakukan untuk mengatasinya. Pengujian ini dapat dilakukan di laboratorium ataupun langsung di lapangan. Jika pengujian dilakukan di lapangan, penyimpangan model yang digunakan akan lebih kecil dibandingkan dengan pengujian model di laboratorium. Pelaksanaan uji beban aksial pada suatu model fondasi di lapangan memerlukan perhatian khusus dalam hal alat yang digunakan, pengaturan alat, beban kerja, sistem pembebanan, pengukuran beban dan deformasi, serta penyelidikan di lokasi pengujian.

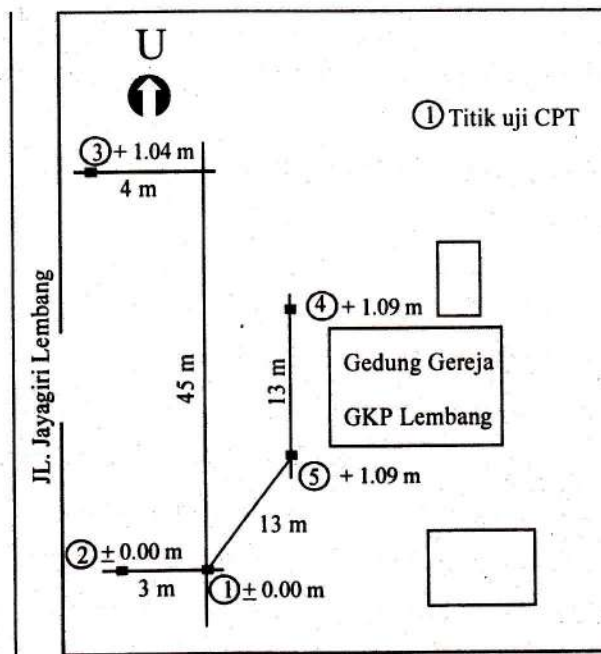
Dalam makalah ini akan dibahas mengenai hal-hal yang harus diperhatikan dalam penataan uji beban aksial di lapangan untuk studi tahanan dukung ujung pada model fondasi tiang bor pendek. Kriteria tiang pendek mengacu kepada Murthy (1974), yakni tiang dengan perbandingan antara panjang dan diameter ( $L/d$ ) < 10.

## 2. PERSIAPAN PENGUJIAN

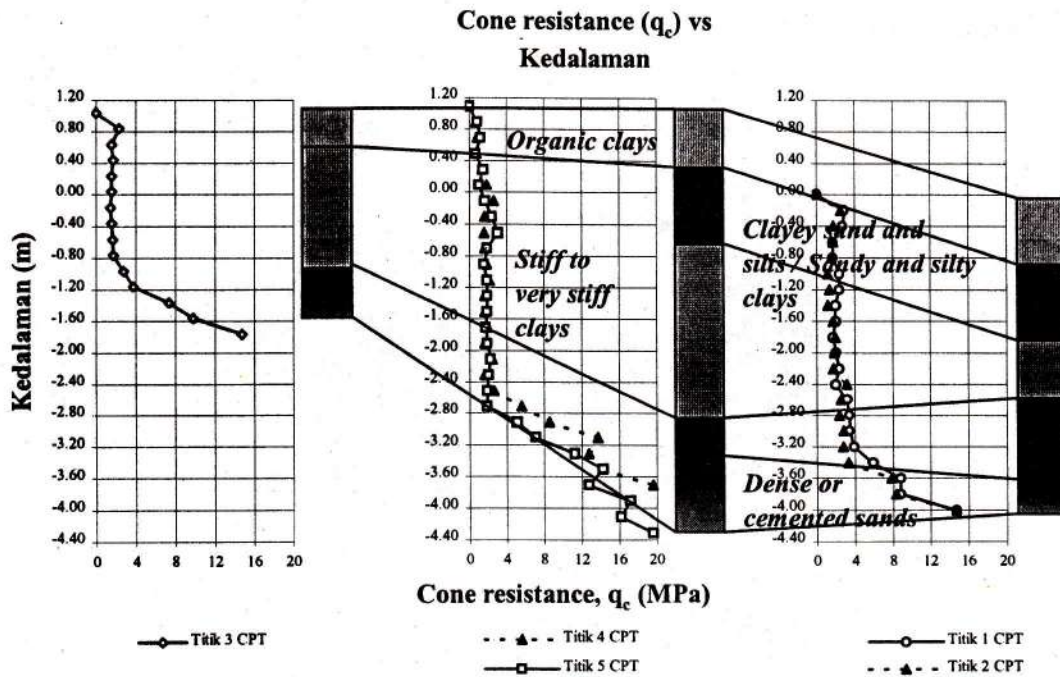
### 2.1 Pemilihan Lokasi Uji Beban

Lokasi uji beban dalam studi ini dipilih karena mempunyai kedalaman lapisan pendukung ujung yang cukup dangkal. Pengujian dilakukan di Kompleks Gereja Kristen Pasundan (GKP) Lembang, Jl. Jayagiri Lembang, Jawa Barat. Hasil 2 buah Cone Penetration Test (CPT) di lokasi tersebut menunjukkan bahwa lapisan pendukung ujung terletak pada kedalaman 4.8 m dan 5.4 m.

Untuk melengkapi data awal tersebut, uji CPT tambahan dilakukan di 3 titik (titik 1, 2 dan 3). Lokasi uji CPT dan profil tanah dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2. Parameter tanah di titik 1 disajikan dalam Tabel 2.1. Uji beban aksial dilakukan di sekitar titik 3 karena kedalaman lapisan pendukung ujung di titik tersebut paling dangkal diantara empat titik lainnya, sehingga mempermudah instalasi model fondasi.



Gambar 2.1 Denah Uji CPT Dan Elevasi Tanah



**Gambar 2.2 Profil Tanah Di Lokasi Pengujian**

**Tabel 2.1 Parameter Tanah Di Titik 1**

Kedalaman (m)	$w_n$ (%)	IP (%)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$q_{su}^*$ (KPa)
0.4 - 1.0	168	28	11.38	271.65
1.2 - 1.8	165	39	11.87	270.67
1.8 - 2.4	164	30	11.57	212.81
2.4 - 3.0	121	69	11.96	> 441.32
3.0 - 3.5	152	55	-	-
3.5 - 4.0	101	3	-	-

\* pocket penetrometer

## 2.2 Model Fondasi Tiang Bor Pendek

Beban kerja aksial pada model tiang bor direncanakan hanya dipikul oleh tahanan dukung ujung sehingga gesekan selimut pada model tiang penting untuk dihilangkan.



Pada saat pengujian, jika beton bergerak ke bawah menuju dasar cetakan dan pembacaan beban pada alat UTM tetap menunjuk pada angka 0 (nol), maka dapat disimpulkan bahwa tidak ada gesekan selimut yang bekerja antara model dan cetakan. Hasil uji dapat dilihat dalam Tabel 2.2.

**Tabel 2.2 Hasil Uji Eliminasi Gesekan Selimut**

Model	No. Urut	Benda Uji	Umur Beton (hari)	Beban Maksimum ( ton )
1	1	A1	3	0.165
	2	A2	3	0.018
	3	A3	7	0.075
	4	A4	7	0.070
	5	A5	14	0.250
2	6	A7	3	0.005
	7	A8	7	-
	8	A9	14	-
	9	A10	14	-

Hasil pengujian menunjukkan bahwa silikon cair pada model 2 bekerja lebih baik dibandingkan pada model 1, hal ini terjadi karena pada model 1 diameter beton yang tidak tertutup cetakan sedikit lebih besar dari diameter dalam cetakan, hal ini menyebabkan terjadinya ganjalan antara beton dan ujung atas cetakan yang dapat menahan pergerakan beton ke arah bawah. Sedangkan pada model 2 ujung atas beton rata dengan ujung atas casing sehingga tidak terjadi ganjalan antara beton dan cetakan.

Berdasarkan hasil uji ini, maka model fondasi tiang bor pendek yang akan diuji di lapangan mengikuti bentuk model 2 di mana ujung atas model rata dengan cetakan.

#### **a. Dimensi Tiang Uji**

Jumlah model tiang yang akan diuji terdiri dari tiga buah dengan dimensi sebagai berikut :

- Diameter (d) = 0.068 m
- Panjang (L) = 0.544 m
- L/d = 8

## b. Material

Tiang bor terbuat dari beton, yang menggunakan semen tipe I, pasir beton I, agregat kasar berdiameter  $< 0.01$  m.

## c. Cetakan

Cetakan terbuat dari pipa PVC dengan dimensi sebagai berikut :

- Diameter (d) = 0.076 m
- Tebal (t) = 0.004 m
- Panjang ( $L_c$ ) = 0.694 m

Permukaan bagian dalam cetakan dilumuri dengan pelumas silikon cair. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan gesekan selimut, sehingga beban kerja hanya akan dipikul oleh tahanan dukung ujung.

## 2.3 Penggalian dan Pengeboran Tanah

Dimensi model tiang uji menyebabkan penggalian tanah harus dilakukan, untuk memenuhi kriteria tiang pendek.

Penggalian tanah di lokasi pengujian dilakukan hingga elevasi rencana yaitu  $-2.26$  m dari permukaan tanah setempat dengan area berukuran  $3.0$  m x  $6.6$  m.

Pengeboran tanah untuk model fondasi dilakukan setelah penggalian mencapai elevasi rencana. Alat bor yang digunakan adalah bor tangan tipe *Iwan*. Alat bor ini dibuat khusus dan disesuaikan dengan ukuran model fondasi. Dimensi dari alat bor adalah sebagai berikut :

- Diameter = 3 inch.
- Panjang mata bor = 0.3 m
- Tinggi mata bor + stang pemutar = 0.6 m

Kedalaman lubang bor cukup dangkal ( $0.544$ m) sehingga kelurusan lubang saat pengeboran mudah untuk dijaga.

Setelah pengeboran selesai dilakukan, dasar lubang bor dibersihkan dari tanah sisa pengeboran yang masuk ke dalam lubang. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi pengurangan nilai tahanan dukung ujung akibat penumpukan tanah sisa pengeboran.

## 2.4 Pengecoran

Pengecoran dilakukan setelah pengeboran selesai dilaksanakan. Pengeboran dan pengecoran dilaksanakan pada hari yang sama. Sebelum pengecoran dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan pekerjaan sebagai berikut :

- Menyiapkan cetakan
- Pelumasan permukaan bagian dalam cetakan dengan silikon cair
- Cetakan dimasukkan ke dalam lubang bor
- Pengecoran

Mutu beton rencana adalah 30 MPa. Adukan beton dibuat secara manual tanpa menggunakan alat pencampur beton. Hal ini dilakukan karena volume beton yang kecil, yaitu berkisar antara  $1.98 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  hingga  $3.41 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ . Bahan tambahan tipe *Conplast SP 430* ditambahkan pada adukan untuk mempercepat umur kuat tekan beton. Uji *slump* dilakukan pada adukan beton. Selanjutnya contoh adukan dicetak berbentuk silinder untuk pengujian kuat tekan beton di laboratorium.

## 2.5 Pemasangan Angker

Sebelum angker dipasang, terlebih dahulu dilakukan pengeboran sedalam 0.10 m dari elevasi rencana. Hal ini dilakukan agar angker dapat masuk ke dalam tanah keras. Pemasangan angker dilakukan dengan menggunakan motor penggerak yang diletakkan di kepala angker.

## 3. ALAT-ALAT UJI BEBAN

Alat-alat yang digunakan untuk uji beban aksial adalah sebagai berikut :

- 1 buah dongkrak hidrolik berkapasitas 300 kN.
- 1 buah manometer kapasitas 60 MPa dengan ketelitian 2 MPa.
- 4 buah *dial gauge* kapasitas 25 mm dengan ketelitian 0.01 mm.
- 2 buah balok uji (baja profil C,  $h = 0.14\text{m}$ ,  $L = 3.2\text{m}$  dan  $h = 0.14\text{m}$ ,  $L = 1.70\text{m}$ ).
- 4 buah angker + kunci angker ( $L = 1.30 \text{ m}$ ,  $d = 0.05 \text{ m}$ ,  $d_b = 0.30 \text{ m}$ ) sebagai tiang reaksi.

- 2 buah balok rujukan (  $L = 2.5$  m).
- 2 buah balok pengikat (baja profil C,  $h = 0.05$  m,  $L = 1.1$  m)
- Alat-alat bantu lainnya seperti : besi untuk dudukan *dial gauge*, *spacer*, dll.

Sebelum uji beban dilakukan, kalibrasi alat dilakukan terhadap :

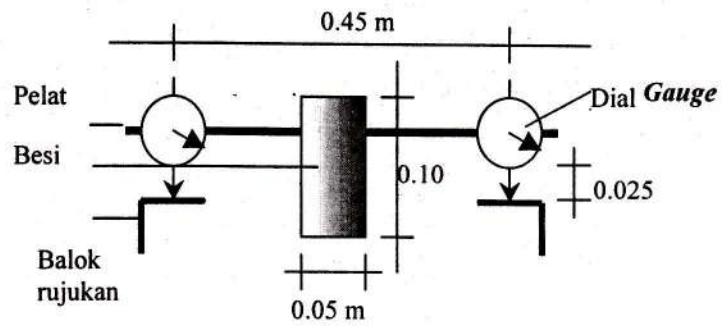
- Dongkrak
- Manometer
- Dongkrak + manometer (satu kesatuan)
- *Dial Gauge*

#### 4. TATA UJI BEBAN

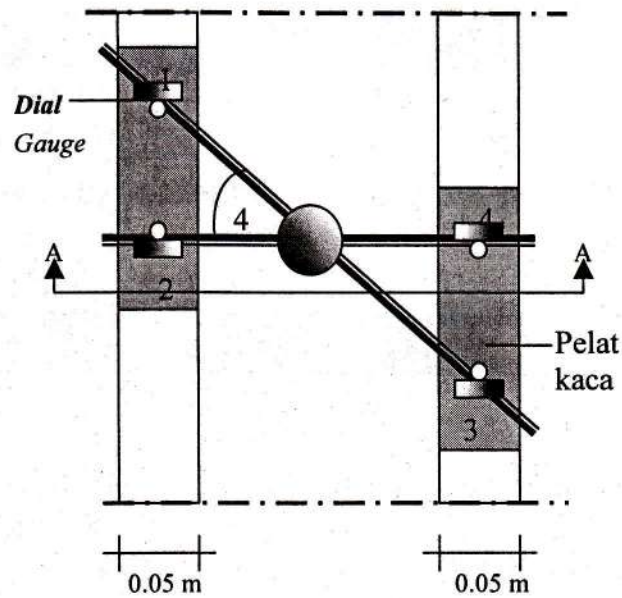
Tata uji beban aksial pada model fondasi tiang bor pendek mengacu pada ASTM D 1143 - 81 (*Reapproved* 1994). Namun, dalam hal ini beberapa penyesuaian dilakukan sebagai akibat dari diameter model fondasi yang digunakan. Penyusunan alat uji adalah sebagai berikut :

- Jarak antara angker dan tiang uji  $> 5d$  (diameter tiang bor) yaitu  $0.55$  m  $\sim$   $0.60$  m atau  $8d \sim 9d$ . (Menurut ASTM D 1143 - 81 *reapproved* 1994, jarak antara angker dan tiang uji  $> 5d$  dan tidak kurang dari 2 m)
- Deformasi tiang yang diukur adalah deformasi pada kepala tiang dan dibaca oleh 4 buah *dial gauge*. *Dial gauge* ditempelkan pada dudukan besi seperti terlihat pada Gambar 4.
- Balok rujukan yang digunakan adalah dua buah ( pada setiap balok rujukan terdapat 2 buah *dial gauge* ) dan diletakkan sejajar pada sisi kiri dan kanan tiang uji. Jarak antara tiang uji dan ujung balok rujukan adalah  $1.25$  m ( $18d$ ), jarak ini  $> 4.5d \sim 5.5d$  yaitu jarak di mana deformasi tanah akibat adanya kompaksi tidak terjadi lagi (menurut Meyerhoff, 1959 , Robinsky dan Morrison, 1964). (Menurut ASTM D 1143 - 81 *reapproved* 1994, jarak balok rujukan terhadap tiang uji tidak kurang dari 2.5 m atau sejauh mungkin)
- Ujung dari setiap *dial gauge* diletakkan pada permukaan balok rujukan yang diberi pelat kaca seperti terlihat pada Gambar 4.1, hal ini dilakukan untuk menjaga permukaan tetap rata dan halus.





Potongan melintang A-A



Tampak Atas

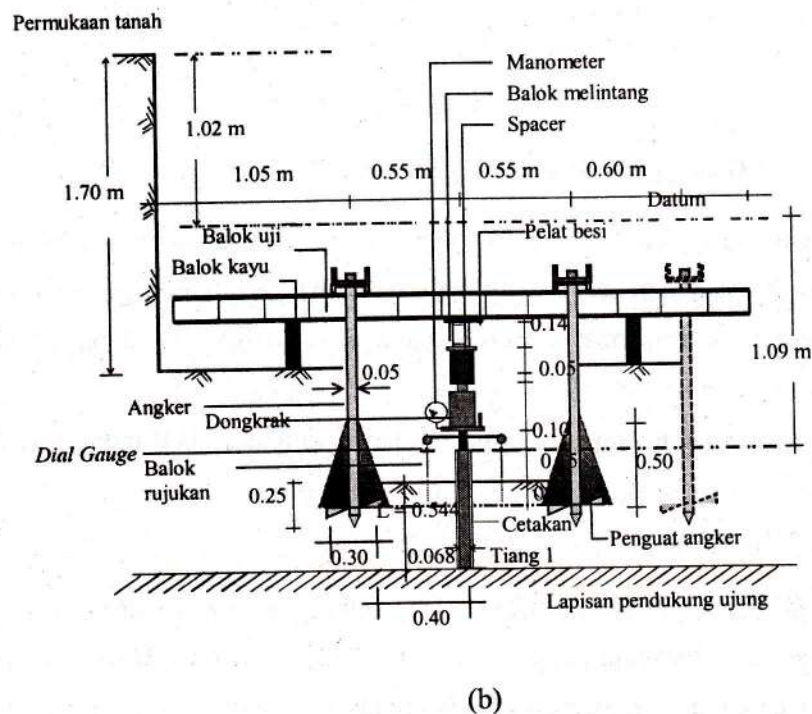
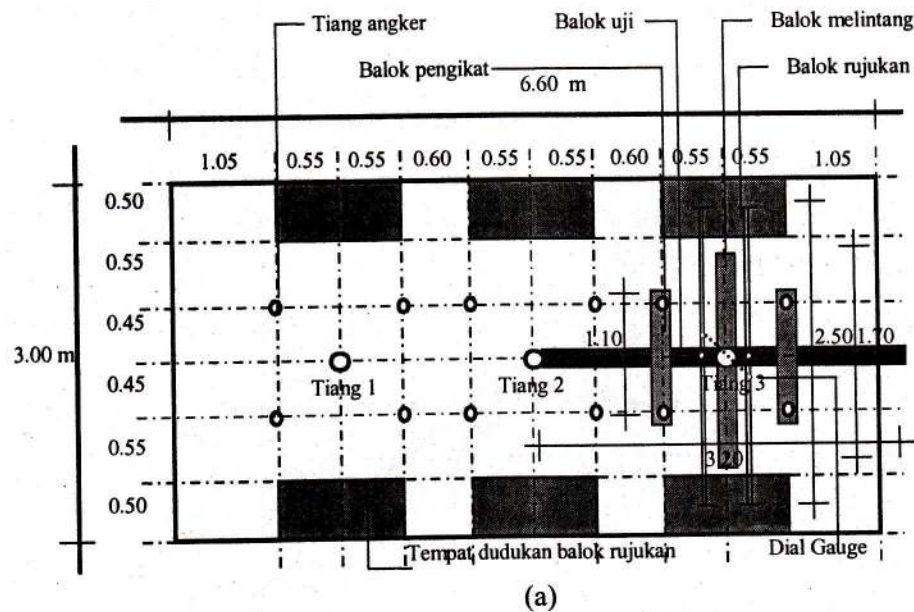
Gambar 4.1 Besi Untuk Dudukan *Dial Gauge*

- Kedalaman angker yang masuk ke dalam tanah hanya 0.25 m, sehingga dibutuhkan penguat angker (terbuat dari adukan semen dan pasir) yang berfungsi memperkuat angker dari gaya tarik dongkrak. Penguat angker ini ditempatkan di bagian bawah angker.
- Denah tiang dan potongan melintang susunan uji beban terlihat pada Gambar 5.1

## 5. PROSEDUR PEMBEBANAN

Metode pembebanan yang digunakan adalah pembebanan melalui dongkrak dengan angker sebagai tiang reaksi. Prosedur pembebanan yang digunakan adalah *Slow Maintenance Loading Test* dengan 4 daur pembebanan. Tiang dibebani sampai beban uji maksimum sebesar 200 % beban batas ( $Q_{ult}$ ), sedangkan ASTM D 1143 – 81 (*Reapproved 1994*)

mensyaratkan tiang dibebani sampai 200 % beban kerja ( $Q_{all}$ ) di mana beban kerja adalah beban batas dibagi dengan suatu faktor keamanan. Hal ini dilakukan dengan alasan, untuk mengetahui nilai faktor keamanan yang sebenarnya hasil dari uji beban pada model fondasi tiang bor pendek.



Gambar 5.1 (A) Denah Tiang (B) Potongan Melintang Tata Uji Beban Pada Tiang 1

Beban batas dihitung secara empiris dengan menggunakan parameter tahanan ujung konus,  $q_c$  dan tahanan geser,  $f_s$  hasil uji CPT. Persamaan empiris yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Meyerhoff (1976)

$$Q_{ult} = q_c A_p + f_s A_s \dots\dots\dots(5.1)$$

- Vesic (1967)

$$Q_{ult} = c_{kd} \cdot A_b + 2 \bar{f}_c A_s \dots\dots\dots(5.2)$$

- Van der Veen (1957)

$$Q_p = c_{kd} \cdot A_b \dots\dots\dots(5.3)$$

Hasil perhitungan beban batas tiang terlihat dalam Tabel 5.1

**Tabel 5.1 Perhitungan Beban Batas Tiang**

Persamaan Empirik	$Q_p$ (kN)	$Q_u$ (kN)	$Q_{ult}$ (kN)
Meyerhof (1976)	53.75	30.41	84.16
Vesic (1967)	53.75	30.41	84.16
Van der Veen (1957)	40.02		

Persamaan Meyerhoff dan Adam (1968) digunakan untuk menghitung tahanan angkat anker. Persamaan tersebut adalah sebagai berikut :

$$Q_{uu} = \pi c d_b L + s \frac{\pi}{2} \gamma d_b L^2 K_u \tan \phi + W \dots\dots\dots (5.4)$$

Dalam perhitungan tahanan angkat, berat anker (W) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) diabaikan karena keterbatasan data. Nilai kohesi (c) diperoleh dari persamaan Begeman (1963) dimana  $c = q_c/14$ . Hasil perhitungan tahanan angkat terlihat dalam Tabel 5.2

**Tabel 5.2 Tahanan Angkat Angker**

Tahanan Angkat	Jumlah Angker	
	1	4
$Q_{uu}$ (kN)	123.85	495.40
$Q_{u\ all}$ (kN)	41.28	165.13

Jika beban batas hasil perhitungan empiris Meyerhoff (1976) dan Vesic (1967) digunakan sebagai beban uji, maka beban uji maksimum tiang adalah 168.32 kN. Nilai ini lebih besar dari nilai tahanan angkat dari empat buah angker (165.13kN).

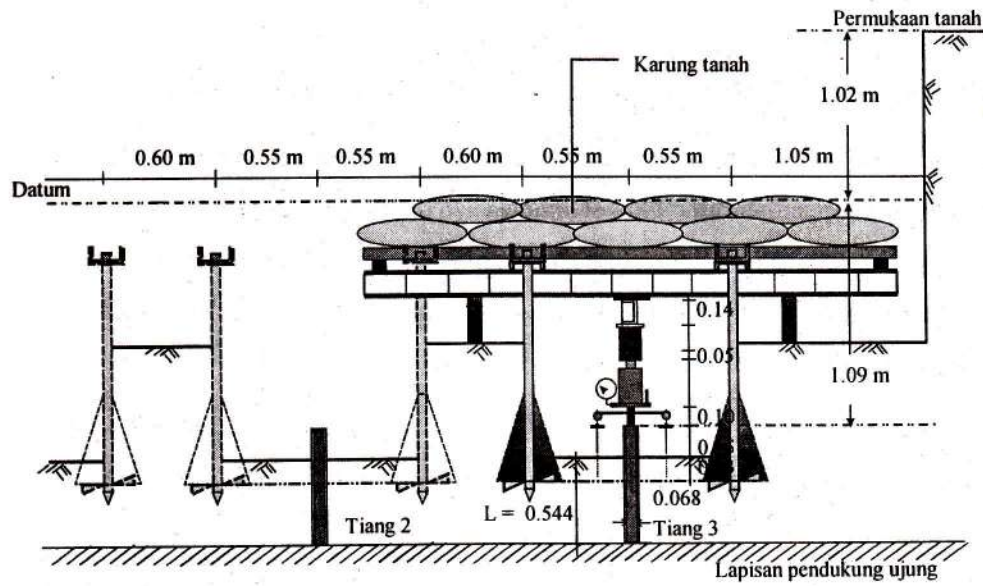
Dengan alasan tersebut maka beban batas tidak dapat digunakan sebagai beban uji pada model fondasi tiang bor pendek. Untuk mengatasi hal ini, tahanan dukung ujung ( $Q_p$ ) hasil perhitungan empiris digunakan sebagai beban uji, karena nilai 200 %  $Q_p$  masih lebih kecil dari nilai tahanan angkat angker.

Nilai  $Q_p$  sebesar 40.02 kN hasil perhitungan empiris Van der Veen (1957) digunakan sebagai beban uji, karena nilai ini paling kecil diantara dua nilai  $Q_p$  lainnya.

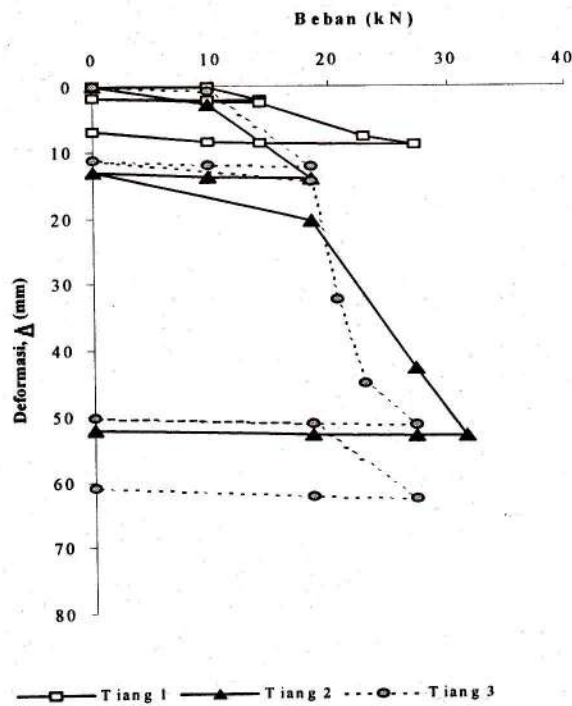
## 6. HASIL UJI BEBAN DAN ANALISIS

Saat uji beban dilaksanakan pada tiang 1, metode pembebanan yang digunakan tidak cukup kuat untuk memberikan beban ke tiang uji, hal ini ditandai dengan adanya salah satu angker yang sempat terangkat. Karena itu, dilakukan penambahan karung tanah di atas konstruksi pembebanan pada tiang 1.

Untuk mengantisipasi hal tersebut, penambahan karung tanah pada konstruksi pembebanan untuk tiang 2 dan 3 dilakukan sebelum uji beban dilaksanakan. Potongan melintang susunan alat uji untuk tiang 2 dan 3 terlihat pada Gambar 6.1



Gambar 6.1 Potongan Melintang Tata Uji Beban Pada Tiang 2 Dan 3



Gambar 6.2 Kurva Beban-Deformasi

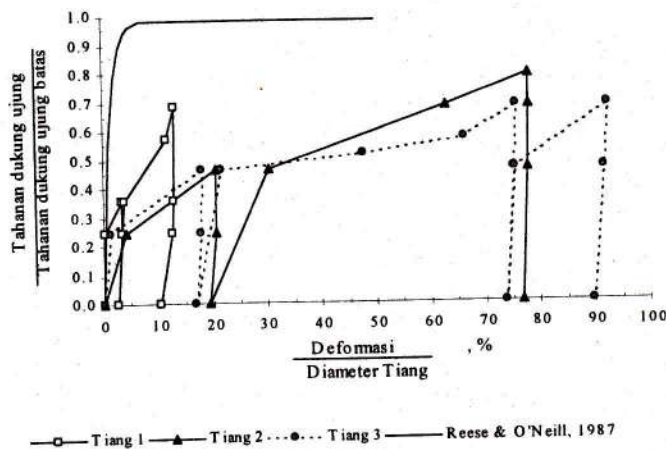
Kurva beban-deformasi dan beban/beban uji- deformasi/diameter tiang hasil uji beban tampak pada Gambar 6.3 dan 6.4 Gambar 6.4 menunjukkan bahwa tahanan dukung ujung termobilisasi pada deformasi yang besar yaitu pada 18 %d sampai 30 %d.

Tiang 1 tidak diikutsertakan dalam interpretasi data uji beban karena pada saat uji beban salah satu angker sempat terangkat sehingga menyebabkan sisi kanan balok uji lebih tinggi dari sisi kiri. Kedudukan balok uji ini mengakibatkan ketidakseimbangan beban yang berasal dari angker sebelah kanan dan kiri. Kondisi ini menyebabkan data beban dan deformasi yang dihasilkan oleh tiang 1 kurang representatif.

Interpretasi nilai tahanan dukung ujung  $Q_p$  hasil uji beban dengan beberapa metode dan persentase beban yang diterima oleh tahanan dukung ujung dapat dilihat pada Tabel 6.1

**Tabel 6.1 Tahanan Dukung Ujung Dan Persentase Beban**

Tiang Uji	Tahanan Dukung Ujung, $Q_p$							
	Davissan (1973)		Chin (1971)		De Beer (1967)		Butler & Hoy (1977)	
	(kN)	(%)	(kN)	(%)	(kN)	(%)	(kN)	(%)
2	17.65	44	22.83	57	18.52	46	17	42
3	18.63	47	20.58	51	20.71	52	17	42



**Gambar 6.3 Kurva Beban/Beban Uji – Deformasi/Diameter Tiang**

Tabel 6.2 memperlihatkan nilai faktor keamanan untuk tahanan dukung ujung yang diperoleh dari hasil bagi antara  $Q_p$  hasil uji beban dengan beban uji.

**Tabel 6.2 Faktor Keamanan**

Tiang Uji	Faktor Keamanan			
	Davison (1973)	Chin (1971)	De Beer (1967)	Butler & Hoy (1977)
2	2.27	1.75	2.16	2.36
3	2.15	1.94	1.93	2.36

Nilai rata-rata dari tahanan dukung ujung, persentase beban dan faktor keamanan dapat dilihat pada Tabel 6.3. Tabel tersebut menunjukkan bahwa nilai tahanan dukung ujung hasil uji beban lebih kecil dari nilai tahanan dukung ujung hasil perhitungan empiris. Hal ini sesuai dengan apa yang disarankan oleh Meyerhoff (1976) bahwa untuk tiang bor nilai tahanan dukung ujung adalah setengah dari nilai tahanan dukung ujung menurut perhitungan empiris atau besarnya faktor keamanan adalah 2. Hal tersebut diakibatkan oleh pelaksanaan pengeboran dan alat bor yang menyebabkan adanya pengurangan kepadatan pada tanah di sekitarnya dan gangguan pada tanah di bawah ujung bawah tiang.

**Tabel 6.3 Nilai Rata-Rata Dari Tahanan Dukung Ujung, Persentase Beban, Dan Faktor Keamanan**

Beban Uji* (kN)	Tahanan Dukung Ujung Hasil Uji Beban		Faktor Keamanan
	(kN)	(%)	
40.02	19.11	48	2.09

\* Beban uji = tahanan dukung ujung empirik

## 7. KESIMPULAN

Berdasarkan studi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- Penggunaan silikon cair sebagai bahan yang bersifat *frictionless* untuk mengeliminasi tahanan geser bekerja dengan baik, hal ini terlihat dari hasil pengujian pada model.
- Tahanan dukung ujung termobilisasi pada deformasi yang besar yaitu pada 18 % d – 30 % d. Persentase beban uji yang dipikul oleh tahanan dukung ujung adalah 48 %.
- Besarnya tahanan dukung ujung untuk model fondasi tiang bor pendek hanya sekitar setengah dari tahanan dukung ujung berdasarkan perhitungan empiris.

Diusulkan untuk melakukan uji beban pada model fondasi tiang bor pendek dengan L/d yang berbeda dan pengaturan jarak yang sesuai dengan ASTM D 1143 – 81 (Reapproved 94).

Tata Uji Beban Aksial Model Fondasi Tiang Bor Pendek Di Lapangan

Untuk Studi Tahanan Dukung Ujung (Andrias Suhendra)

## DAFTAR PUSTAKA

1. Annual Book of ASTM Standards (1996), *D 1143 Standard Test Method for Pile Under Static Axial Compressive Load*, American Society For Testing and Materials, 93-103.
2. Chin, F.K. (1970), Estimation of the Ultimate Load of Piles not Carried to Failure, *Proceeding 2<sup>nd</sup> Southeast Asian Conference on Soil Engineering*, Singapore, 81-90.
3. Costa Nunes, A.J. (1984), Load Tests and Load Transfer on Short Bored Piles, *International Conference on Soils Mechanics and Foundation Engineering*, 1369-1372.
4. Davisson, M.T. (1973), High Capacity Piles, *Proceedings, Lecture Series Innovations in Foundations Construction*, ASCE, Illinois, Chicago, 81-112.
5. Butler, H.D. & H.E. Hoy (1977), Users Manual for the Texas Quick Load Method for Foundation load Testing, *Federal Highway Administration*, Office of Development, Washington, DC, 59.
6. Mayne, P.W. (1995), Laboratory Modeling of Laterally-Loaded Drilled Shafts in Clay, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, December, 827-835.
7. Meyerhoff, G.G (1976), Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundation, *Jnl. Geot. Eng. Div., ASCE*, vol 102, no. GT3, 195-228.
8. Osterberg, J. (2000), Side Shear and End Bearing in Rock Sockets for Drilled Shafts, *Geo-Strata*, July, 14- 16.
9. Poulos, H.G. & E.H. Davis (1980), *Pile Foundation Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Canada, 15- 17.
10. Prakash, S. & H.D. Sharma (1990), *Pile Foundation in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, 31-33, 228.
11. Reese, L.C. (1977), Field Tests of Drilled Shaft in Clay-Shales, *International Conference on Soils Mechanics and Foundation Engineering*, IX, 1977, 371-376.
12. Reese, L.C. & M.W. O'Neill (1988), Drilled Shafts; *Construction Procedures and Design Methods*, Fed. Hwy. Adm. Publ. FHWA-HI-88-042, McLean, Va., 564



13. Van der Veen, C. & L. Boersma (1957), The Bearing Capacity of a Pile Predetermined by a Cone Penetration Test, *Proc. 4<sup>th</sup> Int. Conf. S.M. & F.E.*, vol. 2, 72-75.
14. Vesic, A.S. (1967), Study of Bearing Capacity of Deep Foundations, *Final Rep., Proj. B-189, School of Civil Eng. Georgia Inst. Tech, Ga.*
15. Zhang, L. (1998), End Bearing Capacity of Drilled Shafts in Rock, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, July, 574-584.

#### **RIWAYAT PENULIS**

<sup>[1]</sup> **Andrias Suhendra Nugraha ST.,MT.**, adalah dosen jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha

