

STUDI EKSPERIMENTASI

KEKUATAN TARIK PONDASI TIANG ALAS LEBAR

Geni Firuliadhim

Staf pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir Ds.Ciwaruga Kotak Pos 1234 Bdg 40012
genifirdh@yahoo.co.id

ABSTRAK

Kekuatan tarik pondasi tiang alas lebar sangat dipengaruhi oleh 3 faktor: gaya gravitasi, kuat tarik/geser tanah, dan kuat hisap (suction). Suction cenderung bekerja ketika pondasi ditarik pada tanah yang lembab dan atau pondasi yang dalam.

Kandungan kohesi dan sudut geser dalam (ϕ) akan mempengaruhi bentuk keruntuhan tanah pondasi. Untuk tanah yang memiliki c besar dan ϕ yang kecil bentuk runtuh cenderung linier dan sebaliknya c kecil dan ϕ yang besar bentuk runtuh cenderung lengkung (parabolik) ke arah permukaan tanah. Bentuk alas pondasi sedikit mempengaruhi bentuk keruntuhan di permukaan tanah. Makin dalam alasnya, bentuk runtuh di permukaan tanah makin tidak dipengaruhi bentuk alas pondasi. Umumnya bentuk runtuh permukaan adalah melingkar/lingkaran.

Suction pada tanah pondasi dapat dimodelkan dengan piston dalam bejana prismatis yang menghisap zat cair dalam pipa S. Kontribusi gaya hisap rata-rata terhadap kapasitas tarik sistem pondasi dalam adalah 5%.

Untuk rasio kedalaman-lebar alas $D/B < 5$ nampak dengan jelas bahwa alas pondasi berbentuk bujur sangkar permukaan atas konus mempunyai kapasitas tarik terbesar dibandingkan dengan bentuk yang lain, dengan perbedaan 15-20%. Peningkatan rasio D/B satu satuan akan meningkatkan kapasitas tarik pondasi 20-30%. Pondasi tarik akan runtuh rata-rata pada rasio displacement-kedalaman pondasi sekitar 3%.

Untuk keperluan disain maka asumsi keruntuhan tarik merupakan pilihan terbaik. Kontribusi berat konus tanah terhadap kapasitas tarik sistem pondasi dalam skala lapangan mencapai 60 %. Makin dalam pondasi maka makin besar radius runtuh di permukaan tanah. Radius runtuh ditemukan hingga 6 kali diameter alas pondasi untuk $D/B < 5$ dan hingga 9 kali diameter alas pondasi untuk $5 < D/B < 8$, dimana D = kedalaman dan B = lebar alas pondasi.

Kata kunci : Pondasi Tiang Alas Lebar, Tanah Pondasi, Kuat Tarik Pondasi

I. Pendahuluan

I.1.Latar Belakang

Tiang-tiang yang menyangga bangunan-bangunan umumnya sering dibutuhkan untuk menahan gaya-gaya tarik atau keluar. Untuk tiang-tiang berdiameter seragam dan lurus, tahanan angkat dihitung dengan menjumlahkan tahanan gesek kulit ditambah berat tiang. Tahanan gesek kulit tiang lurus nilainya akan tergantung pada: faktor adhesi (α), sudut gesek antara tanah dan bahan tiang (δ), dan kedalaman tiang menancap dalam tanah (L).

Metoda untuk meningkatkan tahanan tarik dari suatu tiang adalah dengan memperbesar dasarnya. Bila pondasi terendam dalam air atau didirikan dalam lempung jenuh terjadi pengurangan dan peningkatan tahanan tarik. Pengurangan tahanan tarik terjadi akibat volume air yang digantikan oleh volume pondasi yang terendam. Sedangkan peningkatan tahanan tarik terjadi akibat tekanan dalam ruang pori tanah bernilai negatif (*suction*), yang dapat terjadi untuk pembebanan tarik jangka pendek.

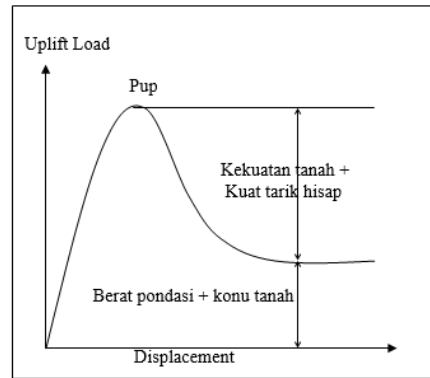
Penelitian dan rumusan untuk mendapatkan

besarnya tahanan tarik tiang alas lebar yang menggunakan parameter tanah campuran (yang memiliki parameter kohesi c dan sudut geser dalam ϕ) jumlahnya masih sangat sedikit dan bahkan pengaruh bentuk alas pondasi belum terlihat. Nilai *ultimate* tahanan tarik tiang alas lebar pada tanah campuran ($c-\phi$ soil) dan pengaruh bentuk (geometri) alas pondasi secara eksperimen di laboratorium menjadi perhatian penulis.

Penelitian mengenai tahanan tarik tiang alas lebar akan direalisasikan melalui uji model di laboratorium menggunakan miniatur pondasi tiang alas lebar (skala kecil) yang tertanam dalam tanah padat buatan (*remoulded*) di dalam *mould*. Model pondasi tersebut kemudian ditarik sampai runtuh dengan menggunakan mesin yang biasa dipakai dalam uji *California Bearing Ratio*, dengan memodifikasi posisi *proving ring* yang bekerja tetap sistem tekan (tidak tarik). Tujuan dari penelitian ini adalah dapat memberikan gambaran mengenai kekuatan tarik tiang alas lebar (berdasarkan kekuatan tanah) yang divariasikan dengan berbagai kekuatan geser tanah, bentuk alas pondasi dan rasio D/B , dimana D/B adalah kedalaman dan lebar alas tiang, serta dapat menyimpulkan kedekatan rumus-rumus tahanan tarik ultimate tiang alas lebar yang telah dipublikasikan dengan kenyataan.

Studi Pustaka

Pull out capacity yang dimaksud adalah batas maksimum gaya yang dapat dipikul sistem pondasi tiang alas lebar ketika ditarik keluar dari tanah. Gaya penahan *pull out* umumnya terdiri dari: gaya gravitasi + kekuatan tanah. Gaya gravitasi berupa berat pondasi + berat tanah yang ikut terangkat. Sedangkan kekuatan tanah, ada 2 hipotesa yaitu: kekuatan dengan menganggap tanah sebagai peristiwa keruntuhan tarik dan dengan menganggap tanah sebagai peristiwa keruntuhan geser. Gaya penahan *pull out* yang lainnya berupa gaya hisap (*suction*). Gambar 1 memperlihatkan tipikal grafik hasil uji tarik di laboratorium dan penjelasan tentang gaya penahan *pull out*.



Gambar 1. Distribusi *Uplift Load Capacity* Tanah

Hipotesa I: Keruntuhan Tarik

Perilaku bentuk keruntuhan untuk tanah yang memiliki parameter kohesi yang besar $c > 0$ dan sudut geser dalam ϕ yang kecil, bidang runtuh konus tanah cenderung membentuk garis lurus. Sedangkan perilaku bentuk keruntuhan untuk tanah yang memiliki parameter kohesi c yang kecil dan sudut geser dalam ϕ yang besar, bidang runtuh konus tanah cenderung membentuk lengkung parabolik.

Gaya *pull out* (tarikan) akan dipikul oleh dapat dilihat dalam bentuk persamaan:

$$Pup = Wp + Wt + Fs + Fb + Fucos \quad (1)$$

Dimana:

Wp = berat pondasi tiang

Wt = berat konus tanah

Fs = gaya hisap selimut samping konus tanah

Ft = gaya hisap pada alas pondasi

Fu = kapasitas gaya tarik tanah = $\sigma_t \cdot A$

σ_t = kekuatan tarik tanah

A = luas setengah selimut samping konus.

α sudut konus tanah terhadap bidang mendatar.

Berat pondasi diperoleh langsung dengan penimbangan miniatur pondasi, sedangkan berat berat tanah (Wt) diperoleh melalui salah satu cara dari 3 cara berikut :

1. Dari grafik hubungan *uplift force versus displacement*, yaitu harga mendatar uplift force dari bagian akhir kurva.
2. Mengukur volume lubang galian yang membetuk konus bekas konus tanah yang rusak.
3. Konus tanah yang utuh ditimbang langsung.

Gaya hisap merupakan fungsi dari kadar air, berat isi tanah, porositas tanah, luas bidang runtuh, perpindahan tanah, dan berat isi air.

$$Fs + Fb = \left[\frac{\gamma \cdot (n \cdot \frac{\omega + 1}{\gamma} - \frac{\omega}{\gamma_w})}{1} \right] \cdot Am \cdot x_t \cdot \gamma_w \quad (2)$$

Dimana:

Fs = Gaya hisap pada selimut konus tanah

Fb = Gaya hisap pada alas pondasi

γ_c = berat isi cairan (fluida) = γ_w

n = porositas tanah

ω = kadar air tanah

γ = berat isi tanah

x_t = perpindahan vertikal pondasi tiang ketika runtuh.

Am = luas penampang piston atau silinder

Kapasitas tarik tanah yang dimaksud disini bekerja tegak lurus bidang runtuh, untuk itu kapasitas tarik vertikal (sejajar *uplift force*) harus dikalikan dengan cosinus sudut yang dibentuk oleh bidang konus tanah dengan bidang mendatar (α). Jadi kapasitas tarik tanah vertikal adalah:

$$Fu \cos \alpha \quad (3)$$

$$Fu = \sigma_t \cdot A \quad (4)$$

Dimana:

A = luas selimut konus tanah diambil setengahnya.

Hipotesa II: Keruntuhan Geser

Beberapa pertimbangan keruntuhan geser :

- Kemungkinan terjadi pergerakan dua bagian tanah sejajar bidang runtuh.
 - Bagian tanah yang bergerak adalah bagian tanah yang ikut terangkat dengan pondasi.
 - Tanah bergeser dari permukaan menuju pondasi karena ada suction dan pergerakan tanah ini diiringi dengan naiknya permukaan tanah dipinggir tiang pondasi.
- Total gaya tarik dari peristiwa geser adalah

$$: \quad Fg = \sum_{i=1}^n Fg_i \quad (5)$$

$$Fg_i = \frac{Fr_i}{\sin \alpha_i} \quad (6)$$

Dimana :

Fg = total gaya tarik dari peristiwa geser.

Fg_i = gaya tarik dari elemen tanah ke-i.

i = nomor elemen tanah.

Fr_i = gaya gesek dari elemen tanah ke-i.

α_i = sudut yang dibentuk oleh garis singgung kurva pada elemen tanah ke-I terhadap bidang mendatar.

Hipotesa III: Suction dari Kurva Regresi

Gaya hisap atau *suction* dalam persamaan:

$$Fs + Fb = P_{up} - (W_p + W_t + F_u \cos \alpha) \quad (7)$$

Dimana :

Fs = tahanan *suction* samping

Fb = tahanan *suction* alas pondasi.

P_{up} = gaya uplift runtuh uji model.

W_p = berat pondasi.

W_t = berat tanah.

F_u = tahanan tarik tanah yang bekerja tegak lurus bidang runtuh.

α = sudut yang dibentuk oleh bidang runtuh terhadap bidang datar.

Metodologi

Untuk mendapatkan gambaran mengenai kekuatan tarik tiang alas lebar (berdasarkan kekuatan tanah) yang divariasikan dengan berbagai parameter tanah dan rasio kedalaman-lebar alas D/B, maka perlu disusun langkah-langkah kegiatan penelitian, antara lain:



Analisa dan Pembahasan

Harga-harga *pull out capacity* diambil pondasi tiang alas lebar Bentuk I (alas lingkaran atas konus 45°) untuk 3 macam komposisi tanah. Disamping perbandingan harga-harga *pull out capacity* hasil formula dari Penulis (metoda *suction* dari selisih aljabar) dan uji model laboratorium, ditampilkan juga sekali lagi menurut Meyerhof and Adams (1968), O'Neill (1987), dan Dickin and Leung (1990).

Tabel 1 Perbandingan *Pull Out Ultimate* Hasil Uji Model Laboratorium dan Hasil Perhitungan Dengan Beberapa Formula Untuk Komposisi 1 P : 3 K ($\gamma = 1,5$ gram/cc ; $c = 0,46$ kg/cm² ; $\phi = 30,4^\circ$) Bentuk I (B = 2,3 cm).

D /B	Uji Model (kg)	Meyerhof & Adams (kg)	O'Neill (kg)	Dickin & Leung (kg)	Penulis (kg)
2	19.6	31.32	7.07	0.28	28
3	30.7	31.55	11.44	0.44	46.33
4	50.6	31.83	15.85	0.64	62.57
6	181	32.36	21.54	1.18	169.77
7	310	32.62	22.81	1.51	274.08
8	391	32.88	24.10	1.86	351.62

Tabel 2 Perbandingan *Pull Out Ultimate* Hasil Uji Model Laboratorium dan Hasil Perhitungan Dengan Formula Untuk Komposisi 1 P : 1 K ($\gamma = 1,5$ gram/cc ; $c = 0,14$ kg/cm² ; $\phi = 45,2^\circ$) Bentuk I (B = 2,3 cm).

D /B	Uji Model (kg)	Meyerhof & Adams (kg)	O'Neill (kg)	Dickin & Leung (kg)	Penulis (kg)
2	14	12.02	2.33	0.28	10.64
3	25	14.23	3.78	0.44	20.31
4	38	18.28	5.29	0.64	28.25
6	90	31.90	7.44	1.18	67.76
7	153	41.46	8.05	1.51	112.88
8	220	52.87	8.71	1.86	150.63

Tabel 3 Perbandingan *Pull Out Ultimate* Hasil Uji Model Laboratorium dan Hasil Perhitungan Dengan Formula Untuk Komposisi 3 P : 1

$K (\gamma = 1,5 \text{ gram/ccm} ; c = 0,08 \text{ kg/cm}^2 ; \phi = 48^\circ)$ Bentuk I (B = 2,3 cm).

D / B	Uji Model (kg)	Meyerhof & Adams (kg)	O'Neil (kg)	Dickinson & Leung (kg)	Penulis (kg)
2	10.4	6.12	1.44	0.28	7.3
3	23.49	9.5	2.35	0.44	14.84
4	34	15.03	3.32	0.64	20.95
6	84	21.65	4.81	1.18	47.83
7	110	38.1	5.30	1.51	80.81
8	125	58.13	5.84	1.86	110

Dari angka-angka *pull out capacity* hasil formula dari Penulis menunjukkan perbedaan yang relatif kecil dengan hasil uji model di laboratorium. Perbedaan hasil-hasil peneliti terdahulu terhadap harga *pull out* nyata disebabkan oleh anggapan dasar dalam menentukan harga *pull out* tersebut yaitu pada:

- Jenis dan bentuk keruntuhan.
- Sifat tanah.
- *Subgrade*.
- Gaya hisap/*suction*.

Pull out hasil perhitungan dari Meyerhof and Adams (selain Penulis) adalah yang terdekat dengan kenyataan.. Untuk mendapatkan nilai *pull out capacity* dari Meyerhof and Adams sama dengan *pull out* uji model maka akan dicari parameter geser tanah yang tepat.

Tabel 4 Validitas Rumus-Rumus Meyerhof and Adams terhadap Hasil Uji Model Laboratorium untuk alas pondasi lingkaran atas konus (Bentuk I dimana diameter alas B = 2.3 cm) dan

$\phi = 30.4^\circ$ (c aktual = 0,46 kg/cm²)

D / B	Pull Out hasil uji model = Pull Out dari Meyerhof and Adams (kg)	Kohesi c perlu (kg/cm ²)	Sudut geser dalam ϕ (deg)	Rasio c perlu / c aktual
2	19.6	0.29	30.4	0.63
3	30.7	0.45	30.4	0.98
4	50.6	0.74	30.4	1.61
6	181	2.65	30.4	5.76
7	310	4.55	30.4	9.89
8	391	5.74	30.4	12.47

Tabel 5 Validitas Rumus-Rumus Meyerhof and Adams terhadap Hasil Uji Model Laboratorium untuk alas pondasi lingkaran atas konus (Bentuk I dimana diameter alas B = 2.3 cm) dan

$\phi = 45.2^\circ$ (c aktual = 0,14 kg/cm²)

D / B	Pull Out hasil uji model = Pull Out dari Meyerhof and Adams (kg)	Kohesi c perlu (kg/cm ²)	Sudut geser dalam ϕ (deg)	Rasio c perlu / c aktual
2	14	0.153	45.2	1.09
3	25	0.21	45.2	1.5
4	38	0.27	45.2	1.93
6	90	0.525	45.2	3.75
7	153	0.875	45.2	6.25
8	220	1.242	45.2	8.87

Tabel 6 Validitas Rumus-Rumus Meyerhof and Adams terhadap Hasil Uji Model Laboratorium untuk alas pondasi lingkaran atas konus (Bentuk I dimana diameter alas B = 2.3 cm) dan

$\phi = 48^\circ$ (c aktual = 0,08 kg/cm²)

D / B	Pull Out hasil uji model = Pull Out dari Meyerhof and Adams (kg)	Kohesi c perlu (kg/cm ²)	Sudut geser dalam ϕ (deg)	Rasio c perlu / c aktual
2	10.4	0.182	48	2.28
3	23.5	0.242	48	3.03
4	34	0.27	48	3.38
6	84	0.421	48	5.26
7	110	0.475	48	5.94
8	125	0.495	48	6.19

Kesimpulan yang dapat disimpulkan dari pembahasan sebelumnya adalah:

- Dari uji model dan 3 hipotesa menunjukkan makin dalam pondasi makin besar kapasitas tarik pondasi.
- Dari uji model dan 3 hipotesa menunjukkan makin dalam pondasi makin besar konus tanah terbentuk.
- Dari uji model dan 3 hipotesa menunjukkan makin dalam pondasi makin besar suction yang timbul.
- Dari uji model dan 3 hipotesa menunjukkan makin dalam pondasi makin besar tahanan tarik dari tanah.
- Rasio kapasitas tarik hipotesa terhadap kapasitas tarik uji model diuraikan menurut Tabel 7.

Tabel 7 Rasio kapasitas tarik hipotesa terhadap uji model.

D/B	Rasio Pup hipotesa / Pup uji model Untuk 1P : 3K			Rasio Pup hipotesa / Pup uji model Untuk 1P : 1K			Rasio Pup hipotesa / Pup uji model Untuk 3P : 1K		
	Hipotesa I	Hipotesa II	Hipotesa III	Hipotesa I	Hipotesa II	Hipotesa III	Hipotesa I	Hipotesa II	Hipotesa III
2	1.00	0.92	1.43	0.76	1.08	0.76	0.34	0.85	0.70
3	0.96	0.96	1.51	0.78	1.06	0.81	0.53	1.14	0.64
4	0.94	0.94	1.24	0.59	0.95	0.74	0.51	0.99	0.62
6	0.95	0.83	0.94	0.80	1.15	0.75	0.36	0.74	0.57
7	0.94	0.79	0.88	0.78	1.11	0.74	0.51	0.97	0.73
8	0.94	0.81	0.90	0.82	1.11	0.68	0.52	1.01	0.88

Keterangan :

$$1P : 3K = \gamma = 1,5 \text{ gr/cc} ; c = 0,46 \text{ kg/cm}^2 ; \phi = 30,4^\circ$$

$$1P : 1K = \gamma = 1,5 \text{ gr/cc} ; c = 0,14 \text{ kg/cm}^2 ; \phi = 45,2^\circ$$

$$3P : 1K = \gamma = 1,5 \text{ gr/cc} ; c = 0,08 \text{ kg/cm}^2 ; \phi = 48^\circ$$

Dari Tabel 7 untuk tanah kohesif dengan parameter $\gamma = 1,5 \text{ gr/cc} ; c = 0,46 \text{ kg/cm}^2 ; \phi = 30,4^\circ$, Hipotesa I merupakan hasil yang terbaik dengan rata-rata rasio kapasitas hipotesa terhadap uji model sebesar 0,95. Sementara untuk tanah granular dengan parameter $\gamma = 1,5 \text{ gr/cc} ; c = 0,08 \text{ kg/cm}^2 ; \phi = 48^\circ$, Hipotesa II merupakan hasil yang terbaik dengan rata-rata rasio kapasitas hipotesa terhadap uji model sebesar 0,95. Sedangkan untuk tanah dengan komposisi butiran halus dan butiran kasar yang relatif sama Hipotesa I dan III menunjukkan rasio kapasitas hipotesa terhadap uji model yang sama sebesar 0,75.

Dari ketiga hipotesa diatas hanya Hipotesa I yang under estimated untuk ketiga macam tanah. Jadi untuk keperluan disain pondasi Hipotesa I merupakan pilihan terbaik.

Tabel 8 Rata-rata rasio kapasitas tarik hipotesa terhadap uji model.

Kode	Hipotesa I	Hipotesa II	Hipotesa III
1P : 3K	0.95	0.88	1.15
1P : 1K	0.75	1.08	0.75
3P : 1K	0.46	0.95	0.69
Rata-rata	0.72	0.97	0.88

- Prosentase kapasitas tarik tanah terhadap kapasitas tarik sistem pondasi diuraikan menurut Tabel 9 Dari tabel tersebut diperoleh keterangan bahwa kapasitas tarik pondasi sedikitnya 80 % dipikul oleh kuat tarik/geser tanah atau rata-rata 90 %.

Tabel 9 Prosentase kapasitas tarik tanah terhadap kapasitas tarik sistem pondasi.

D/B	Prosentase Kap. tarik tanah / kap. sispon Untuk 1P : 3K			Prosentase Kap. tarik tanah / kap. sispon Untuk 1P : 1K			Prosentase Kap. tarik tanah / kap. sispon Untuk 3P : 1K		
	Hipotesa I	Hipotesa II	Hipotesa III	Hipotesa I	Hipotesa II	Hipotesa III	Hipotesa I	Hipotesa II	Hipotesa III
2	98.32	97.85	98.68	96.60	97.75	96.80	92.57	97.50	95.34
3	97.32	97.52	98.34	96.31	97.67	96.31	94.68	97.60	94.44
4	96.93	96.90	97.70	94.93	96.77	94.87	94.02	96.75	93.03
6	96.26	95.80	96.35	93.22	95.23	91.57	90.79	95.48	88.42
7	95.77	95.03	94.58	92.33	94.63	88.51	89.45	94.43	84.89
8	95.04	94.27	93.25	91.98	94.09	85.93	86.29	92.98	81.70

Keterangan :

1P: 3K = $\gamma = 1,5 \text{ gr/cc}$; $c = 0,46 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 30,4^\circ$

1P : 1K = $\gamma = 1,5 \text{ gr/cc}$; $c = 0,14 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 45,2^\circ$

3P : 1K = $\gamma = 1,5 \text{ gr/cc}$; $c = 0,08 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 48^\circ$

g) Kontribusi gaya hisap terhadap kapasitas tarik sistem pondasi diuraikan menurut Tabel 10. Dari tabel tersebut diperoleh keterangan bahwa kontribusi gaya hisap terhadap kapasitas tarik sistem pondasi maksimum sebesar 10 % atau rata-rata 5 %.

Tabel 10 Kontribusi gaya hisap terhadap kapasitas tarik sistem pondasi.

D/B	Prosentase gaya hisap / kap. sispon Untuk 1P : 3K			Prosentase gaya hisap / kap. sispon Untuk 1P : 1K			Prosentase gaya hisap / kap. sispon Untuk 1P : 1K		
	Hipotesa I	Hipotesa II	Hipotesa III	Hipotesa I	Hipotesa II	Hipotesa III	Hipotesa I	Hipotesa II	Hipotesa III
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
2	0.38	0.39	0.04	0.66	0.46	0.19	1.43	0.57	0.41
3	0.81	0.82	0.17	1.03	0.75	0.49	1.85	0.88	0.74
4	1.20	1.19	0.53	1.93	1.19	1.35	2.24	1.18	1.91
6	1.40	1.62	1.33	2.89	2.01	3.54	4.24	2.06	5.16
7	1.67	1.97	2.82	3.30	2.29	6.13	5.04	2.65	8.14
8	2.14	2.48	3.85	3.55	2.61	8.18	6.66	3.41	10.73

Keterangan :

1P: 3K = $\gamma = 1,5 \text{ gr/cc}$; $c = 0,46 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 30,4^\circ$

1P : 1K = $\gamma = 1,5 \text{ gr/cc}$; $c = 0,14 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 45,2^\circ$

3P : 1K = $\gamma = 1,5 \text{ gr/cc}$; $c = 0,08 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 48^\circ$

h) Kontribusi berat tanah terhadap kapasitas tarik sistem pondasi diuraikan menurut Tabel 11. Dari tabel tersebut diperoleh keterangan bahwa kontribusi berat tanah terhadap kapasitas tarik sistem pondasi maksimum sebesar 7,5 % atau rata-rata 3,75 %.

Tabel 11 Kontribusi berat tanah terhadap kapasitas tarik sistem pondasi.

D/B	Prosentase Berat tanah / kap. sispon Untuk 1P : 3K			Prosentase Berat tanah / kap. sispon Untuk 1P : 1K			Prosentase Berat tanah / kap. sispon Untuk 1P : 1K		
	Hipotesa I	Hipotesa II	Hipotesa III	Hipotesa I	Hipotesa II	Hipotesa III	Hipotesa I	Hipotesa II	Hipotesa III
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
2	0.89	0.97	0.85	1.18	0.83	1.88	2.34	0.93	2.53
3	1.35	1.35	1.22	1.80	1.32	2.62	2.18	1.01	3.48
4	1.60	1.59	1.58	2.77	1.70	3.37	3.04	1.58	4.46
6	2.19	2.52	2.25	3.75	2.60	4.71	4.71	2.29	6.15
7	2.51	2.96	2.55	4.30	2.99	5.26	5.32	2.80	6.81
8	2.77	3.21	2.87	4.42	3.25	5.81	6.81	3.49	7.46

Keterangan :

1P: 3K = $\gamma = 1,5 \text{ gr/cc}$; $c = 0,46 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 30,4^\circ$

1P : 1K = $\gamma = 1,5 \text{ gr/cc}$; $c = 0,14 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 45,2^\circ$

3P : 1K = $\gamma = 1,5 \text{ gr/cc}$; $c = 0,08 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 48^\circ$

i) Kontribusi berat pondasi terhadap kapasitas tarik sistem pondasi diuraikan menurut Tabel 12. Dari tabel tersebut diperoleh keterangan bahwa kontribusi berat pondasi terhadap kapasitas tarik sistem pondasi maksimum sebesar 5 % atau rata-rata 2,5 %.

Tabel 12 Kontribusi berat pondasi terhadap kapasitas tarik sistem pondasi.

Keterangan :

1P: 3K = $\gamma = 1,5 \text{ gr/cc}$; $c = 0,46 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 30,4^\circ$

1P : 1K = $\gamma = 1,5 \text{ gr/cc}$; $c = 0,14 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 45,2^\circ$

3P : 1K = $\gamma = 1,5 \text{ gr/cc}$; $c = 0,08 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 48^\circ$

Dalam Tabel 5.40 diperlihatkan harga-harga pull out capacity menurut Peneliti Pendahuluan untuk parameter geser tanah tertentu dan diameter alas pondasi B = 1 m. Kemudian harga-harga tersebut dibandingkan dengan harga-harga pull out capacity hasil hitungan Penulis. Untu tanah dengan nilai kohesi yang tinggi maka besarnya pull out capacity menurut O'Neill (1987) dan Dickin & Leung (1990) umumnya lebih rendah dari Penulis. Hasil dari Meyerhoff & Adams memperlihatkan harga yang tidak konsisten.

Tabel 5.40 Pull Out Capacity menurut Peneliti Pendahuluan untuk diameter alas pondasi B = 1 m.

$\gamma = 1,5 \text{ ton/m}^3$; $c = 0,46 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 30,4^\circ$

Kedalaman alas D, (m)	Penulis, Hipotesa I (ton)	Meyerhoff & Adams (1968) (ton)	O'Neill (1987) (ton)	Dickinson & Leung (1990) (ton)
2	35,624	63,770	18,334	16,689
3	66,717	83,667	30,052	29,871
4	101,978	107,598	43,218	46,853

$$\gamma = 1,5 \text{ ton/m}^3 ; c = 0,14 \text{ kg/cm}^2 ; \phi = 45,2^\circ$$

Kedalaman alas D, (m)	Penulis, Hipotesa I (ton)	Meyerhoff & Adams (1968) (ton)	O'Neill (1987) (ton)	Dickinson & Leung (1990) (ton)
2	24,653	45,651	12,231	16,689
3	57,948	46,800	21,137	29,871
4	87,801	47,965	32,485	46,853

$$\gamma = 1,5 \text{ ton/m}^3 ; c = 0,08 \text{ kg/cm}^2 ; \phi = 48^\circ$$

Kedalaman alas D, (m)	Penulis, Hipotesa I (ton)	Meyerhoff & Adams (1968) (ton)	O'Neill (1987) (ton)	Dickinson & Leung (1990) (ton)
2	21,112	33,127	11,176	16,689
3	51,341	34,282	19,686	29,871
4	78,514	35,439	30,884	46,853

Untuk skala besar lapangan, bila diprediksi dengan metoda kurva regresi maka berat konus tanah akan memberikan kontribusi tahanan tarik terbesar, dengan rincian sebagai berikut :

- Berat pondasi = 12 ton
- Berat tanah = 466,33 ton
- Tahanan hisap = 0,511 ton
- Kapasitas tarik tanah = 43,15 ton.
- Kapasitas tarik pondasi = 521,99 ton.

Bila terjadi penurunan kekuatan geser karena penjujukan tanah maka prediksi harga-harga di atas sebagai berikut :

- Berat pondasi = tetap
- Berat tanah = turun
- Tahanan hisap = meningkat
- Kapasitas tarik tanah = turun
- Kapasitas tarik pondasi = turun

Kesimpulan

Berdasarkan hasil-hasil pengujian yang telah diperoleh dari penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain:

- Campuran tanah pasir dan kaolin yang dipadatkan dengan cara ditekan statis menghasilkan tanah yang butirannya tersementasi (*cemented*). Tanah padat tersebut memiliki harga kohesi (*c*) dan sudut geser dalam (ϕ).
- Dengan kadar air 25% dan berat isi 1,5 gram/cc maka campuran dengan perbandingan berat :
 - 1 Pasir Padalarang: 3 Kaolin Nagreg menghasilkan rata-rata kohesi (*c*) = 0,46 kg/cm² dan sudut geser dalam (ϕ) = 30,4°.
 - 1 Pasir Padalarang: 1 Kaolin Nagreg menghasilkan rata-rata kohesi (*c*) = 0,14 kg/cm² dan sudut geser dalam (ϕ) = 45,2°.
 - 3 Pasir Padalarang: 1 Kaolin Nagreg menghasilkan rata-rata kohesi (*c*) = 0,08 kg/cm² dan sudut geser dalam (ϕ) = 48°.
- Persamaan korelasi kekuatan geser tanah tak terdrainase (*Su*) terhadap arah

pencetakan contoh : $Su_{hor} = 0,7521 (Su_{ver})^{1,005}$. Dari persamaan tersebut dapat diambil korelasi praktis yaitu $Su_{hor} = 75 \% Su_{ver}$.

- Bentuk keruntuhan tanah pada pondasi tarik adalah linier hingga cekung ke arah permukaan tanah. Makin tinggi sudut geser dalam tanah ϕ bentuk keruntuhan makin cekung (parabolik).
- Parameter tanah (c dan ϕ) yang digunakan untuk analisa kekuatan pondasi tarik adalah hasil uji triaxial *extension* atau triaxial *compression* dengan pencetakan contoh tanah arah horisontal.
- Untuk tanah yang basah/lembab (jenuh atau jenuh sebagian) besar kemungkinan timbul gaya hisap ketika pondasi ditarik.
- Untuk tanah kohesif yang lembab gaya penahan tarik pondasi didominasi oleh kekuatan tarik tanah.
- Untuk tanah non-kohesif yang lembab gaya penahan tarik pondasi didominasi oleh kekuatan hisap tanah.
- Peristiwa hisap/*suction* pada tanah lembab dapat dimodelkan dengan piston dalam bejana prismatis yang menghisap zat cair dalam pipa S.
- Untuk rasio kedalaman-lebar alas pondasi $D/B < 5$ nampak dengan jelas bahwa alas pondasi berbentuk bujur sangkar permukaan atas konus mempunyai kapasitas tarik terbesar dibandingkan dengan bentuk yang lain, dengan perbedaan 15-20%.
- Peningkatan rasio D/B satu satuan akan meningkatkan kapasitas tarik pondasi 20-30%.
- Pondasi tarik akan runtuh pada rata-rata rasio displacement-kedalaman pondasi sekitar 3%.
- *Pull out capacity* dari formula Meyerhoff and Adams adalah yang terdekat dengan nilai *pull out capacity* hasil uji model laboratorium. Harga inipun masih jauh lebih kecil dari hasil uji model laboratorium. Perbedaannya pada $D/B = 8$ sekitar 12 X untuk tanah dengan lolos # No. 200 sebesar 75,5 % ; 5 X untuk tanah dengan lolos # No. 200 sebesar 57,45 % ; 2 X untuk tanah dengan lolos # No. 200

sebesar 39,1 %.

- Untuk keperluan disain maka asumsi keruntuhan tarik merupakan pilihan terbaik.
- Kontribusi gaya hisap rata-rata skala lapangan terhadap kapasitas tarik sistem pondasi dalam ($D/B > 5$) adalah 5 %.
- Kontribusi berat konus tanah rata-rata skala lapangan terhadap kapasitas tarik sistem pondasi dalam ($D/B > 5$) adalah 60 %.
- Makin dalam pondasi maka makin besar radius runtuh di permukaan tanah. Radius runtuh ditemukan hingga 6 kali diameter alas pondasi untuk $D/B < 5$ dan hingga 9 kali diameter alas pondasi untuk $5 < D/B < 8$, dimana D = kedalaman dan B = lebar alas pondasi.

Daftar Pustaka

- Bowless ,E.J.,Engineering Properties of Soil And Their Measurement, McGraw-Hill International Student Edition,2nd edition,1978.
- Bowless,E.J.,Physical and Geotechnical Properties of Soil, McGraw-Hill International Student Edition,2nd edition,1984.
- Braja,M.DAS, Advanced Soil Mechanics, Mc Graw-Hill Book Company,Singapore,1983.
- Braja,M.DAS, Principles Of Foundation Engineering, 2nd, PWS-KENT Publishing Company, Boston,1990.
- Donal,P. CODUTO, PE, GE, Foundation Design Principles and Practices, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. 07632, 1994.
- Hausmann, MANFRED R, Engineering Principles Of Ground Modification, Mc Graw-Hill Book Company,Singapore,1990.
- Holtz,R.D.and W.D. KOVACK, An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice Hall,Inc,1981.
- H.G. Paulos and DAVIS, Pile Foundation Analisis and Design, John Wiley & Sons inc. 1980.

Lambe, T.WILLIAM, Soil Mechanics, John Willey and Sons Inc, New York, 1969.

Seed, H.B. and CHAN, C.K., Structure and Strength Characteristic of Compacted Clays, Journal Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol.85, SM 5, pp.87-128, 1959.

P.Clemence, SAMUEL, Uplift Behaviour of Anchor Foundation in Soil, Proceeding of session sponsored by the Geotechnical Engineering Division of the American Society of Civil Engineers in conjunction with the ASCE Convention in Detroit, Michigan. Published by the American Society of Civil Engineers 345 East 47th Street New York 10017-2398. October 24, 1985.