

# HUBUNGAN DIMENSI, *WORKING LOAD* DAN *SETTLEMENT* *FONDASI DRIVEN PILE* DI LAPISAN PASIR

**Yohanes Lulie**

Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta  
Jl. Babarsari 44 Yogyakarta  
email : lulie@mail.uajy.ac.id

## ABSTRAKSI

Dalam prakteknya *geotechnical engineering* telah berkembang beberapa metode secara pendekatan untuk mengestimasi *ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ), *ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ), kapasitas axial *working load pile* dan *settlement*. Ada korelasi hubungan erat antara semakin bertambah dimensi *driven pile* terhadap parameter-parameter *ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ), *ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ), *working load pile* dan *settlement*.

Pada penelitian ini berusaha mengungkapkan akar masalah yang ada hubungan antara bertambahnya dimensi *driven pile* terhadap *ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ), *ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ), *working load pile* dan *settlement* di lapisan pasir.

Hasil penelitian ini menginformasikan *ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ) dan *Ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ) secara bertahap meningkat sesuai pertambahan ukuran diameter tiang. Pertambahan diameter *driven pile* akan semakin meningkatkan *woking load (use load)*. *Settlement*,  $s_1 = 25a^3$  tidak selalu meningkat sesuai pertambahan ukuran diameter *driven pile*. Sedangkan, *settlement*,  $s_2 = 0,1D [(F_{PILE} / (F_b + 0,215^3 \sqrt{D} \times F_s))]^3$ ; atau  $s_2 = 0,1D [(F_{PILE} - F_s) / F_b]^3$  selalu meningkat sesuai pertambahan ukuran diameter *driven pile*.

Kata kunci: CPT, *driven pile*, *dynamic testing*.

## ABSTRACT

In *geotechnical engineering practice*, some methods by approaches have been developed to estimate *ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ), *ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ), *pile working load axial capacity*, and *settlement*. There is a strong correlation between the increases of *driven pile diameter* and those four parameters. This research tried to reveal the roots of problem in the correlations between the increasing *driven pile dimension* towards the *ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ), *ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ), *working load pile*, and *settlement* in sand layer.

The objective of this research is to provide knowledge in foundation design of *driven pile* in sand layer. There is a strong connection between the increasing dimensions of *pile* and the *working load* and *settlement* that occur. The practical analysis basic principle directly uses data obtained from CPT to design *driven pile foundation*. There are similarities between *Cone Penetrometer* and *pile*. The *penetrometer* can be seen as a model of *pile*.

The results of this research indicate that the *ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ), The *ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ) and the *working load (use load)* increase gradually as the diameter of the *driven pile* is increased. *Settlement*  $s_1 = 25a^3$  does not always increase as the diameter of *driven pile* increases. Meanwhile, *settlement*  $s_2 = 0,1D [(F_{PILE} / (F_b + 0,215^3 \sqrt{D} \times F_s))]^3$ ; or  $s_2 = 0,1D [(F_{PILE} - F_s) / F_b]^3$  always increases as the diameter of *driven pile* increases.

Keywords: CPT, *driven pile*, *dynamic load testing*.

## 1. PENDAHULUAN

Dalam prakteknya *geotechnical engineering* telah berkembang beberapa metode dan pendekatan untuk mengestimasi kapasitas fondasi tiang axial pada struktur fondasi jembatan. Eslami (1997), Metode dengan kepentingan cakupan asumsi-asumsi dan (atau) pendekatan empiris dengan memandang stratigrafi tanah dan penyebaran (*transfer*) beban. Dengan demikian, desain sering menjadi seakan-akan sesuatu *game* tebakan dan cenderung dilaksanakan secara subjektif. Yang hendak dikerjakan dalam inovasi tersebut bertujuan kearah perbaikan situasi dalam daerah analisis statis transfer beban pada *model pile*, berdasarkan pada pendekatan *in situ testing* menggunakan *CPT*.

Lulie (2007), banyak metode desain untuk mendapat *ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ), *ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ), kapasitas *axial working load pile* dan *settlement* fondasi *driven pile*. Tidak ada masalah bagaimana baiknya atau kasarnya suatu metode desain. Para insinyur telah menggunakannya secara intensif, dan telah membandingkan hasilnya dengan konsekuensi yang timbul selama dan sesudah pembangunan pada banyak proyek, belajar dari kesulitan dan keterbatasan yang ada dan keuntungan yang didapat dari penggunaannya. Hal ini merupakan bagian pertimbangan, dan pada waktunya merupakan suatu bantuan yang sangat berharga.

Menurut Brouwer (2002) *Settlement* saat sebelum mendekati keruntuhan tahanan dasar (*base resistance*) merupakan suatu persentasi dari diameter tiang (*pile*). Model kurva *settlement* merupakan suatu fungsi ekponensial (*exponential function*) yaitu:  $(1 - \text{Exp } X)$ . *Settlement* komulatif pada sumbu  $y$  dan *corrected base resistance* ( $F_b$ ), *corrected shaft resistance* ( $F_s$ ) pada sumbu  $x$ . *Corrected base resistance* ( $F_b$ ), *corrected shaft resistance* ( $F_s$ ) diperoleh dari *ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ), *ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ) setelah dibagi oleh *safety factor scale effect* dan *statistical chance* masing-masing sebesar  $\gamma = 1,33$ .

Dari teori *settlement* dan model kurva *settlement* nampak salah satu untuk besaran *ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ), *ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ) sangat tergantung dimensi pile yang ada. Demikian juga, nampak akar permasalahan ada korelasi erat antara pertambahan dimensi *pile* akan mempengaruhi pertambahan besar nilai *ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ), *ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ), kapasitas *axial working load pile* dan *settlement* yang akan terjadi.

Kesamaan antara *Cone Penetrometer* dan tiang (*pile*), *Penetrometer* dapat dipandang sebagai sebagai suatu *model pile*. Dalam prakteknya *geotechnical engineering* telah berkembang beberapa metode secara pendekatan untuk mengestimasi *ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ), *ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ), kapasitas *axial working load pile* dan *settlement*. Ada korelasi hubungan erat antara semakin bertambah dimensi *driven pile* terhadap parameter-parameter *ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ), *ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ), *working load pile* dan *settlement*. Pada penelitian ini berusaha mengungkapkan akar masalah yang ada hubungan antara bertambahnya dimensi *driven pile* terhadap *ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ), *ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ), *working load pile* dan *settlement* di lapisan pasir.

Tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan suatu wacana dalam desain fondasi *driven pile* struktur fondasi jembatan jalan raya di lapisan pasir. Ada hubungan erat antara semakin bertambahnya dimensi tiang terhadap *working load* dan *settlement* yang akan timbul. Metode dasar prinsip analisis praktis yang langsung menggunakan data *CPT* untuk desain fondasi *driven pile*. Ada kesamaan antara *Cone Penetrometer* dan tiang (*pile*). *Penetrometer* dapat dipandang sebagai sebagai suatu *model pile*.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Sanglerat (1972) dan GE (2004), *Cone penetration tests* telah banyak digunakan di berbagai negara termasuk di Indonesia, karena besarnya kegunaan dan keandalannya. Situasi ini menunjukkan tidak adanya keengganan para insinyur menggunakan *penetration tests*. *Cone Penetrometer tests (CPT)* yang standard meliputi pendorong berdiameter 1,41 inci dan konus 55° sampai 60° menembus lapisan tanah pada tingkat 1 sampai 2 cm/detik. Sondir *CPT* akan sangat efektif pada karakteristik lokasi, khususnya lokasi dengan lapisan horizontal atau lensa yang tidak menerus. Uji *CPT* (ASTM D-3441) adalah suatu metode penaksiran stratigrafifi lapisan di bawah permukaan (*stratigraphy subsurface*) yang berhubungan dengan material lunak, lensa yang tidak menerus, material organik (*peat*), material-material yang berpotensi mudah mencair (*liquefiable*) seperti: lempung, pasir dan batuan bulat dan tanah longsor (*landslides*). Sanglerat (1972) dan Brower (2002), biasanya peralatan konus secara normal dapat menembus *consolidated soils* dan *colluvium*, dan dapat dipakai pada sifat strata umur *Quaternary* dan *Tertiary* batuan sedimentasi.

Salah satu dari banyak keuntungan dari *CPT* adalah mudah dipindahkan, dapat dibawa ke daerah yang sulit terjangkau. Hasil dari *CPT* cukup akurat dan dapat digunakan untuk mengestimasi penurunan (*settlement*) dan *undrained shear strength* di daerah di mana sekurang-kurangnya pengetahuan tentang sifat-sifat teknis tanah dapat memungkinkan (Lulie, 2007<sub>a</sub>). *CPT* adalah peralatan yang tepat untuk digunakan selama pembangunan untuk memutuskan jika galian fondasi sudah selesai dan ada keragu-raguan sifat-sifat tanah yang tidak diperoleh saat penyelidikan awal rencana (*predesign investigation*). Spesifikasi pembangunan seharusnya mengizinkan insiyur menggunakan *CPT* atau peralatan test lainnya untuk mengatasi masalah yang ada, (US Department of Agriculture, 1984).

Dalam Brower (2002) secara prinsip hasil dari *CPT* dapat digunakan untuk mengevaluasi: *soil stratification, soil tipe, soil density, in situ stress conditions, shear strength parameters*. Hasil dari *CPT* dapat juga 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*).

Formula standard untuk hitungan *ultimate pile resistance* untuk fondasi tiang pada pasir dapat ditransformasi dari hasil penggunaan *tip resistance* dan *local friction* uji *CPT*.

$$F_{pile} = F_{BASE} + F_{SHAFT}$$

**Tabel 1. Faktor keamanan (*safety factor*  $\gamma$ )**

Influence	$\gamma$
<i>Scale effect</i>	1,33
<i>Statistical chance</i>	1,33
<i>Over load</i>	1,40

*Overall safety factor* = 1,33 x 1,33 x 1,40 = 2,5.

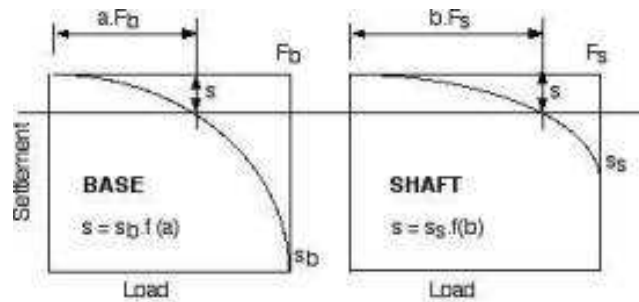
Tahanan dasar tiang (*pile base resistance*) diambil dalam hitungan adalah pada *layer 4D<sub>PILE</sub>* di bawah dan *8D<sub>PILE</sub>* di atas dasar tiang (*pile-base*). Gunakan *minimum-path method* dan diambil nilai hitungan rata-rata dari tahanan ujung (*tip-resistance*), (Brower,2002).

Koefisien korelasi (*correlation coefficients*) untuk tahanan dasar (*base resistance*  $\alpha_b$ ) dan tahanan selubung (*shaft resistance*  $\alpha_s$ ) seperti di Tabel 2.

**Tabel 2. Correlation coefficients for base resistance  $\alpha_b$**

Pile type	base resistance $\alpha_b$	shaft resistance $\alpha_s$
<b>Displacement piles</b>		
<i>Driven piles</i>	1,0	1,0
<i>Formed in situ, bored piles, like vibro</i>	1,0	1,2
<i>Screw piles</i>	0,9	0,6
<b>Non-displacement piles</b>		
<i>Continuous Flight Auger (CFA) concrete piles</i>	0,8	0,6
<i>Bored piles, cast in situ</i>	0,5	0,6

*Settlement Pada Fondasi Tiang*



**Gambar 1. Load and Settlement curves**

*Safe load:*  $F_{pile} = (F_b + F_s) / 1.4$

$s = s_b \cdot f(a); \quad s = s_s \cdot f(b); \quad F_{pile} = a \cdot F_b + b \cdot F_s; \quad (0 \leq a; b \leq 1).$

di mana :

$F_{u,b}$  = ultimate base resistance derived from CPT,

$F_{u,s}$  = ultimate shaft resistance derived from CPT,

$F_b$  = corrected base resistance =  $F_{u,b} / (1.33 \times 1.33)^*$

$F_s$  = corrected shaft resistance =  $F_{u,s} / (1.33 \times 1.33)^*$

\* corrections for scale effect and statistical chance.

Gambar 1 *Settlement curves* di atas berupa fungsi *exponential*. *Settlement* saat sebelum runtuh (*collapse*) dari tahanan dasar (*base resistance*) sebesar 10% diameter tiang untuk *driven piles* untuk pasir padat (*dense sand*). Pada Tabel 3 ditampilkan persamaan *settlement* untuk bermacam tiang antara lain: *driven piles*, di tanah pasir. Sedangkan *Settlement* saat sebelum runtuh (*collapse*) dari shaft-resistance nilai tetap sebesar 10 mm untuk *driven piles* untuk pasir padat (*dense sand*). Demikian juga, *Settlement* saat sebelum runtuh (*collapse*) untuk *non-displacement piles*, mendekati 2 (dua) kali *settlement* dari *displacement piles*.

Seluruh struktur bangunan yang ada di bumi ini tergantung pada kemampuan kita untuk mendesain fondasi yang aman dan murah. Kecenderungan tanah alami mudah terjadi kerusakan. Beberapa kerusakan para telah menghancurkan hak milik dan merengut kehidupan. Budhu (2000) menyatakan kegagalan struktur bangunan terjadi karena tidak memadainya penyelidikan lokasi dan penyelidikan tanah; tidak dapat diduga kondisi tanah dan air; bencana alam; jeleknya analisis keteknikan, kegagalan dalam desain dan pelaksanaan, kontrol kualitas; aktivitas pascakontruksi.

Bila Kerusakan diinvestigasi secara menyeluruh, kita mendapat pelajaran dan informasi yang akan memandu kita untuk mencegah tipe kegagalan yang sama di masa yang akan datang. Lulie (2006) beberapa tipe kerusakan yang disebabkan oleh bencana alam (gempa bumi, angin topan dan lain-lain) sangat sulit dicegah sungguh merupakan sesuatu yang tersembunyi dan mengintai sewaktu-waktu. Usaha kita seharusnya langsung ke arah solusi memitigasi kerusakan hak milik dan kehidupan.

**Tabel 3. Persamaan simplified Settlement (mm) untuk fondasi tiang di pasir**

Tipe tiang	Persamaan simplified Settlement (mm)	$s_2$ range value
Driven piles	$s_2 = 0,1D [(F_{PILE} / (F_b + 0,215 \sqrt[3]{D} \times F_s))]^3$	0 mm < $s_2$ < 10 mm
	$s_2 = 0,1D [(F_{PILE} - F_s) / F_b]^3$	10 mm < $s_2$ < 0,1D

### 3. DATA DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

Lokasi uji sondir (*CPT*) dan *boring* dilakukan di area rencana penempatan abutment Jembatan Nglingan, Kulonprogo, Wates, DIY. Kedalaman permukaan air tanah sekitar -2,00 m dari peil ±0,00 m permukaan lantai jalan raya. Kondisi permukaan air tanah ini dapat merupakan suatu pertimbangan bagi perencana dalam menentukan tipe fondasi dan kedalaman fondasi yang representatif.

#### 3.1. Data Stratigrafi Lapisan Tanah

Kapasitas sondir yang digunakan maksimum 25 MPa. Jumlah sample sondir yang diambil sebanyak 2 titik, yaitu S1 dan S2. Sampel uji sondir dilakukan secara *random*. Titik sondir S1 dan S2 rata-rata menginformasikan tahanan konus (*static cone resistance*) pada peil -1,00 m dan -2,20 m dengan nilai  $q_c$  rata-rata = 1,5 MPa dan dapat didiskripsikan jenis tanah *silty sand*. Nilai  $q_c$  rata-rata yang tidak konstan naik turun bergantian pada range peil -3,00 m sampai -7,00 m. Terdapat peningkatan nilai  $q_c$  rata-rata sesuai bertambah kedalaman. Pada kedalaman -6,00 m nilai  $r$  rata-rata = 5,5 MPa, dapat didiskripsikan berupa jenis tanah *silty sand*. Awal kekuatan penetrasi maksimum dengan nilai  $q_c = 25$  MPa bervariasi mulai pada peil -9,20 m dan -9,40 m.

#### 3.2. Tipe dan Dimensi *Driven Pile*

Tipe tiang adalah *precast concrete driven pile*. Dimensi *driven pile* ada 4 (empat) ukuran yaitu: 250 mm, 300 mm, 350 mm, 400 mm. Pertimbangan menentukan diameter tiang *driven pile* seperti di atas atas pertimbangan tekuk kalau diambil lebih kecil dari ukuran 250 mm. Sedangkan diameter yang lebih besar dari 400 mm tidak akan tercakup efek syarat 8D ke atas dari ujung tiang.

### 3.3. Desain Kapasitas *Driven Pile*

Kedalaman *driven pile tip* ditentukan di peil -6,00 m, mengingat di kedalaman tersebut nilai *static cone resistance*  $q_c$  sudah memadai (periksa pada uraian stratigrafi lapisan tanah).

Hitungan tahanan dasar tiang (*pile base resistance*) diambil pada layer  $4D_{PILE}$  di bawah dan  $4D_{PILE}$  serta  $8D_{PILE}$  di atas dasar tiang (*pile-base*). Digunakan nilai hitungan rata-rata dari tahanan ujung  $q_c$  (*tip-resistance*) berdasarkan *minimum-path method*, (Brower,2002). Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 4 untuk *driven pile* diameter 250 mm, 300 mm, 350 mm dan 400 mm.

#### Aplikasi desain *driven pile* dengan diameter 250 mm

Diameter = 0,25 m; Area = 0,0491 m<sup>2</sup>; circumference = 0,7854 m.

Base:  $\alpha_p = 1$

$$\text{Average tip resistance} = ((6,7+8,25)/2) + (5,5+5,75)/2 = 6,55 \text{ MPa.}$$

$$\text{Ultimate base resistance } F_{ub} = 1 \times (\pi \times 0,25^2 / 4) \times 6550 = 321,52 \text{ kN.}$$

Shaft:  $\alpha_s = 1$

$$\text{Shaft friction in sand} = 1\% \times 5500 = 55 \text{ kPa.}$$

$$\begin{aligned} \text{Ultimate shaft resistance } F_{us} &= 1\% \times \text{circumference} \times \text{depth} \times 55 \\ &= 1\% \times 0,7854 \times 1 \times 55 = 43,2 \text{ kN.} \end{aligned}$$

$$F_{pile} = 321,52 + 43,2 = 364,72 \text{ kN.}$$

$$\text{Working load} = 364,72 / 2,5 = 145,89 \text{ kN, (safe load).}$$

$$\text{Used load } F_{pile} = 145 \text{ kN.}$$

$$\text{Corrected base resistance } F_b = 321,52 / (1,33 \times 1,33) = 181,76 \text{ kN}$$

$$\text{Corrected shaft resistance } F_s = 43,2 / (1,33 \times 1,33) = 24,42 \text{ kN}$$

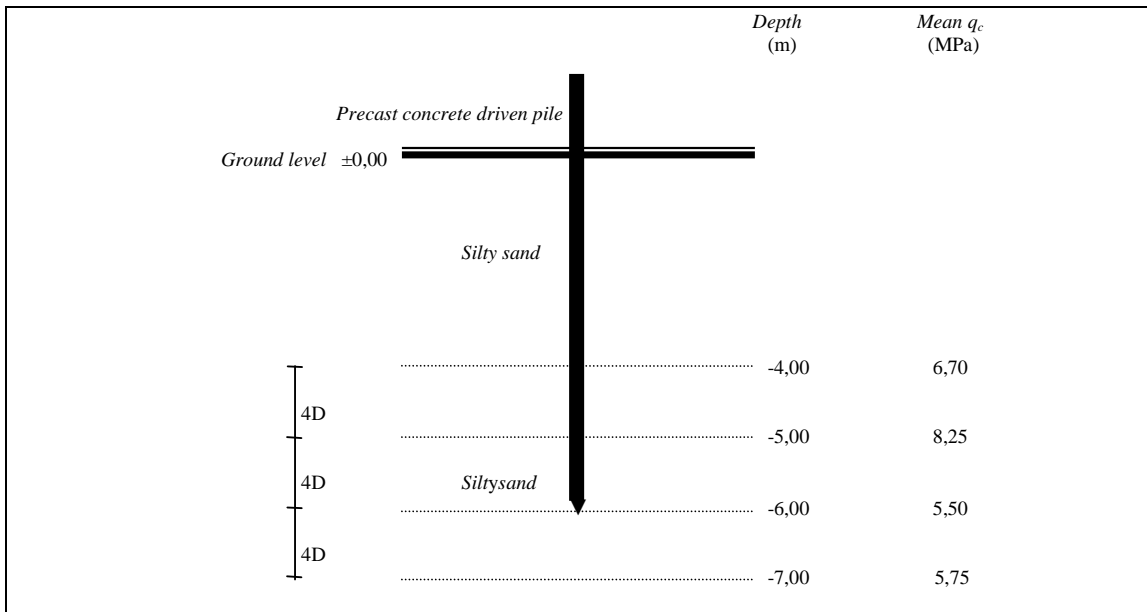
$$F_{PILE} = (181,76 + 24,42) / 1,4 = 139,69 \text{ kN}$$

**Tabel 4. Hubungan nilai *static cone resistance*  $q_c$  terhadap diameter *driven pile***

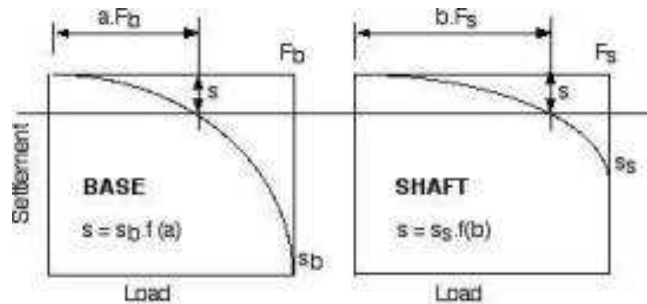
Kedalaman dari titik reference (m)	Diameter <i>driven pile</i> (mm)							
	250		300		350		400	
	$q_c$ (MPa)	Mean $q_c$ (MPa)	$q_c$ (MPa)	Mean $q_c$ (MPa)	$q_c$ (MPa)	Mean $q_c$ (MPa)	$q_c$ (MPa)	Mean $q_c$ (MPa)
8D	2,5 4,2	6,7	2,3 5,0	3,65	2,2 4,0	3,10	1,4 1,8	1,6
4D	3,5 13,0	8,25	2,8 11,0	6,9	4,0 9,0	6,5	3,0 10,0	6,5
PB (-6 m)	3,5 7,5	5,5	3,5 7,5	5,5	3,5 7,5	5,5	3,5 7,5	5,5
4D	4,5 5,75	5,75	4,0 7,5	5,75	4,5 11,0	7,75	5,0 12,0	8,5

Note; PB (*Pile Base*) sebagai kedalaman referensi ke atas dan ke bawah

Aplikasi desain *driven pile* yang berukuran diameter *driven pile* 250 mm selanjutnya dapat dilihat di halaman berikut ini Gambar 2.



**Gambar 2.** Kedalaman *concrete driven pile* dan *mean  $q_c$*



**Gambar 3.** *Load and Settlement curves*

$$\text{Corrected base resistance } F_b = 321,52 / (1,33 \times 1,33) = 181,76 \text{ kN}$$

$$\text{Corrected shaft resistance } F_s = 24,42 / (1,33 \times 1,33) = 13,81 \text{ kN}$$

$$F_{PILE} = (181,76 + 13,81) / 1,4 = 139,69 \text{ kN}$$

$$s = 25a^3$$

$$s = 10b^3$$

$$25a^3 = 10b^3$$

$$b = 1,36a$$

$$F_{PILE} = 181,76a + 13,81b = 139,69$$

$$F_{PILE} = 181,76a + 13,81 \times 1,36a = 139,69$$

$$a = 0,6966$$

$$b = 1,36 \times 0,6966 = 0,9474$$

$$a \times F_b = 0,6966 \times 181,76 = 126,61 \text{ kN}$$

$$b \times F_s = 0,9474 \times 13,81 = 13,08 \text{ kN}$$

$$F_{PILE} = 139,69 \text{ kN, (G).}$$

$$\text{Settlement, } s_1 = 25a^3 = 25 \times 0,6966^3 = 8,4506 \text{ mm.}$$

Settlement,  $s_2 = 0,1D [(F_{PILE} / (F_b + 0,215^3 \sqrt{D} \times F_s))]^3$ , dengan syarat  $0 \text{ mm} < s_2 < 10 \text{ mm}$ ; atau  $s_2 = 0,1D [(F_{PILE} - F_s) / F_b]^3$ , dengan syarat  $10 \text{ mm} < s_2 < 0,1D$ .

$s_2 = 0,1 \times 250 [(136,69 / (181,76 + 0,215^3 \sqrt{250} \times 13,81))]^3 = 7,9257 \text{ mm}$ ; dengan syarat:  $0 \text{ mm} < 7,9257 < 10 \text{ mm (G)}$ .

Selanjutnya aplikasi desain dengan langkah yang sama seperti di atas akan didapat masing-masing parameter untuk diameter *driven pile* 300 mm, 350 mm, dan 400 mm. Selanjutnya dari aplikasi desain di atas dapat dilihat pada Tabel 5 yang menginformasikan *ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ), *ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ), *working load pile* dan serta prediksi *settlement* untuk ukuran diameter *driven pile* 250 mm, 300 mm, 350 mm, dan 400 mm.

Tabel 5 menginformasikan *ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ), selalu meningkat sesuai pertambahan ukuran diameter *bored pile*. Nilai  $F_{ub}$  tergantung dari nilai *static cone resistance*  $q_c$  pada peil  $8D_{PILE}$  dan  $4D_{PILE}$  di atas ujung tiang dan  $4D_{PILE}$  di bawah ujung tiang, pada kasus ini selalu memberi pertambahan *resistance*.

*Ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ) secara bertahap meningkat sesuai pertambahan ukuran diameter tiang. Pengaruh *friction* di sepanjang  $4D_{PILE}$  di atas ujung tiang memberi pertambahan *resistance* yang *significant*.

Pertambahan diameter *driven pile* akan semakin meningkatkan *woking load* (*use load*). Settlement,  $s_1 = 25a^3$  tidak selalu meningkat sesuai pertambahan ukuran diameter *driven pile*. Sedangkan, Settlement,  $s_2 = 0,1D [(F_{PILE} / (F_b + 0,215^3 \sqrt{D} \times F_s))]^3$ ; atau  $s_2 = 0,1D [(F_{PILE} - F_s) / F_b]^3$  selalu meningkat sesuai pertambahan ukuran diameter *driven pile*.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1. Kesimpulan

Dari aplikasi desain di bagian depan ada beberapa kesimpulan yaitu:

- langkah desain kapasitas *driven pile* sangat mudah dan simple, cepat, dan relatif ekonomis, dalam mengestimasi kapasitas axial fondasi tiang,
- kapasitas tiang dan *settlement* dapat dicari di setiap elevasi kedalaman dengan nilai *static cone resistance*  $q_c$ ,
- ultimate base resistance* ( $F_{ub}$ ), *ultimate shaft resistance* ( $F_{us}$ ) dan *woking load* (*use load*), selalu meningkat sesuai pertambahan ukuran diameter *driven pile*,
- Settlement,  $s_1 = 25a^3$  tidak selalu meningkat sesuai pertambahan ukuran diameter *driven pile*; sedangkan, *settlement*,  $s_2 = 0,1D [(F_{PILE} / (F_b + 0,215^3 \sqrt{D} \times F_s))]^3$ ; atau  $s_2$



=  $0,1D [(F_{PILE} - F_s) / F_b]^3$  selalu meningkat sesuai pertambahan ukuran diameter *driven pile*.

#### 4.2. Saran

Ketidakpastian yang ada pada tanah di mana *driven pile* berpijak dan bermacam metode desain kapasitas *driven pile* termasuk metode desain dengan *cone resistance*  $q_c$  dari uji *CPT*. Untuk mengetahui penyimpangan maupun keakurasian dari hasil desain suatu metode pendekatan perlu diuji kemampuan struktur suatu *driven pile* dengan uji *in situ loading test* seperti *dynamic load testing* dengan alat *FPDS-7*. Kebijakan akan muncul apakah *safety factor* dalam desain dapat mengatasi perbedaan sehingga masih dapat ditoleransi dalam kondisi batas aman dan sebagai evaluasi desain selanjutnya ke arah lebih baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Brouwer, J.J.M., 2002, *Guide to Cone Penetration Testing on Shore and Near Shore*, Lankelma, Cone Penetration Testing LTD, Iden, East Sussex.
- Budhu, M., 2000, *Soil Mechanics and Foundation*, John Wiley & Sons Inc. New York.
- Eslami, A., et. Al., 1977, Pile Capacity by Direct CPT and CPTu Methods Applied to 102 Case Histories, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 34, pp.886-904.
- Federal Highway Administration (FHWA), 2002, *Subsurface Site Characterization*, U.S. Department of Transportation FHWA, Reference Manual NHI Course No. 132031.
- GE 441, 2004, *Notes on the Cone Penetrometer Test*, Advanced Engineering Geology & Geotechnics.
- Geotechnical Engineering Office (GEO), Civil Engineering and Development Department The Government of The Hong Kong, 2006, *Foundation Design and Construction*, Geo Publication No. 1/2006, Homantin, Kowloon, Hong Kong.
- Lulie, Y., 2006, *Learning from Yogyakarta Earthquakes*. UAJY Earthquake Assessment Program.
- Lulie, Y., Hatmoko, J. T., 2007<sub>a</sub>, Prediksi Soil Properties Dari Cone Penetrometer Test, *Laporan Penelitian*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Lulie, Y., Suryadharma. Y.H., 2007<sub>b</sub>, Kapasitas Fondasi Tiang dari Metode Langsung Cone Penetrometer Test, *Laporan Penelitian*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Sanglerat, G., 1972, *The Penetrometer and Soil Exploration*, Elsevier Publishing Company, New York.
- United States Department of Agriculture, 1984, *The Static Cone Penetrometer: The Equipment and Using The Data*, Soil Mechanics Note No.11, 210-VI, Washington, D.C.
- US Army Corps of Engineers, 2001, *Engineering and Design, Geotechnical Investigations*, Engineer Manual 1110-1-1804.

**Tabel 5. Hubungan dimensi, *working load* dan *settlement* fondasi *driven pile* di lapisan pasir**

Diameter D (mm)	$A_c$ (cm <sup>2</sup> )	Ultimate base resistance $F_{ub}$ (kN)	Ultimate shaft Resistance $F_{us}$ (kN)	$F_{pile}$ (kN)	Working Load pile (kN)	Corected base resistance $F_b$ (kN)	Corected shaft resistance $F_s$ (kN)	$F_{PILE}$ (kN)	Settlement $s_1$ (mm)	Settlement $s_2$ (mm)	$0 < s_2 < 10$ or $10 < s_2 < 0,1D$ (mm)
250	490,87	132,52	24,42	364,72	145,89	181,76	13,81	139,69	8,4506	+) 7,9257	+) $0 < s_2 < 10$
300	706,86	385,24	62,21	447,45	178,98	217,79	35,17	180,69	7,8712	+) 9,15	+) $0 < s_2 < 10$
350	962,11	549,37	84,39	633,76	253,50	310,57	47,71	255,91	7,9164	*) 10,5446	*) $10 < s_2 < 35$
400	1256,64	694,92	110,58	805,5	322,2	392,85	62,51	325,26	7,8816	*) 11,9672	*) $10 < s_2 < 40$

+)  $s_2 = 0,1D [(F_{PILE} / (F_b + 0,215 \sqrt[3]{D} \times F_s))]^3$ ; di mana  $0 < s_2 < 10$  mm.

\*)  $s_2 = 0,1D [(F_{PILE} - F_s) / F_b]^3$ ; di mana  $10 < s_2 < 0,1D$ .

