

KAPASITAS FONDASI TIANG DARI METODE LANGSUNG CONE PENETROMETER TEST

Yohannes Lulie¹, Y. Hendra Suryadharma¹

¹Dosen Program Studi Teknik sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44, Yogyakarta

ABSTRAK

Dalam suatu desain fondasi tiang ada perbedaan yang mendasar terhadap prinsip-prinsip analisis suatu model teoritis, yang tergantung pada *undisturbed sampling* dan selanjutnya *conventional laboratory testing* dihindari. Dalam prakteknya *geotechnical engineering* telah berkembang beberapa metode secara pendekatan untuk mengestimasi kapasitas fondasi tiang axial. Metode dengan kepentingan, cakupan asumsi-asumsi dan (atau) pendekatan empiris dengan memandang stratigrafi tanah dan penyebaran (*transfer*) beban.

Tujuan penelitian menggunakan data *CPT* untuk desain kapasitas axial fondasi tiang. Lebih lanjut, tidak perlu melengkapi *intermediate parameter*, seperti *earth pressure coefficient* K_s dan koefisien kapasitas dukung (*bearing capacity coefficient* N_q). Ada kesamaan antara *Cone Penetrometer* dan tiang (*pile*), *Penetrometer* dapat dipandang sebagai sabagai suatu *model pile*.

Lokasi uji sondir (*CPT*) dilakukan di area Bangunan Dermaga Wisata, Proyek Taman Wisata Glagah, Kulon Progo, Yogyakarta. Bangunan Dermaga Wisata ini terletak di tepi sungai Serang dekat dengan Pantai Glagah Indah. Kapasitas sondir yang digunakan maksimum 60 MPa. Jumlah sample sondir yang diambil sebanyak 3 titik, yaitu SB_1 , SB_2 dan SB_3 . Dalam aplikasi desain digunakan *driven concrete pile* yang berukuran 300x300 mm dan 400x400 mm.

Kesimpulan penting dari hasil penelitian ini: 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 . Nampak ada korelasi hubungan antara ukuran *driven pile* dengan kapasitas *driven pile* dan *settlement*.

Kata kunci: *undisturbed sampling*, *CPT*.

A. PENDAHULUAN

Cone Penetrometer test (CPT) merupakan alat bantu yang banyak dipakai oleh para insinyur dalam pekerjaan mekanika tanah. Data *CPT* dapat berupa sajian grafik. Nilai tahan ujung (*point resistance*) dan gesekan sisi selubung (*side skin friction*) digambar pada sumbu absis dan kedalaman penetrasi pada sumbu ordinat. Dari grafik *CPT* dapat dengan mudah menentukan lapisan tanah yang mana yang akan menjadi pertimbangan sebagai lapisan pendukung. Keputusan yang cepat dapat dilakukan dalam menentukan tipe fondasi yang terbaik untuk mendukung beban yang ada. Fondasi dapat dangkal, sedang atau bahkan dalam yaitu fondasi tiang. Seperti yang diusulkan Meyerhof, daya dukung fondasi tiang dapat diperoleh dari *point resistance static penetrometer* pada ujung tiang dan *side skin friction* sekeliling diameter sesuai kedalaman yang direkomendasikan.

Banyak metode desain untuk mendapat kapasitas axial fondasi tiang. 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.

Dalam prakteknya *geotechnical engineering* telah berkembang beberapa metode dan pendekatan untuk mengestimasi kapasitas fondasi tiang axial. 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 penelitian ini bertujuan kearah perbaikan situasi dalam daerah analisis statis transfer beban pada *model pile*, berdasarkan pada pendekatan *in situ testing* menggunakan *CPT*, (Eslami, 1997).

Cone Penetrometer Test merupakan alat sangat sederhana, cepat, dan relatif ekonomis, memberikan *record* menerus sesuai kedalaman, dan menyajikan bermacam-macam sensor yang dihubungkan dengan penetrometer. Keuntungan menggunakan data *CPT* untuk desain fondasi tiang, sebagai yang menentang dasar prinsip analisis suatu model teoritis, yang tergantung pada *undisturbed sampling* dan selanjutnya *conventional laboratory testing* dihindari. Lebih lanjutnya, tidak perlu melengkapi *intermediate parameter*, seperti koefisien tekanan tanah (*earth pressure coefficient K_s*) dan koefisien kapasitas dukung (*bearing capacity coefficient N_q*). Ada ada kesamaan antara *Cone Penetrometer* dan tiang (*pile*), *Penetrometer* dapat dipandang sebagai sebagai suatu *model pile*. Dalam kenyataannya, estimasi kapasitas tiang dari data *CPT* adalah satu-satunya pemanfaatan utama alat *Cone Penetrometer*.

Permasalahan yang biasanya dijumpai dalam desain fondasi tiang ada perbedaan yang mendasar terhadap prinsip-prinsip analisis suatu model teoritis, yang tergantung pada *undisturbed sampling* dan selanjutnya *conventional laboratory testing* dihindari. Dalam prakteknya *geotechnical engineering* telah berkembang beberapa metode secara pendekatan untuk mengestimasi kapasitas fondasi tiang axial. Metode dengan kepentingan, cakupan asumsi-asumsi dan (atau) pendekatan empiris dengan memandang stratigrafi tanah dan penyebaran (*transfer*) beban. Ada ada kesamaan antara *Cone Penetrometer* dan tiang (*pile*), *Penetrometer* dapat dipandang sebagai sebagai suatu *model pile*.

Tujuan menggunakan data *CPT* untuk desain fondasi tiang, sebagai yang menentang dasar prinsip analisis suatu model teoritis. Tidak perlu melengkapi *intermediate parameter*, seperti koefisien tekanan tanah (*earth pressure coefficient K_s*) dan koefisien kapasitas dukung (*bearing capacity coefficient N_q*). Ada ada kesamaan antara *Cone Penetrometer* dan tiang (*pile*), *Penetrometer* dapat dipandang sebagai sebagai suatu *model pile*.

Penelitian ini diharapkan bermanfaat, antara lain: bagi pihak konsultan dan praktisi, informasi yang akan diperoleh dari hasil penelitian ini sebagai panduan secara sederhana, cepat, dan relatif ekonomis, dalam mengestimasi kapasitas fondasi tiang axial, bagi masyarakat kampus penelitian ini sebagai kajian dasar perkembangan ilmu *geotechnical* yang akhir-akhir ini semakin nampak peranannya dalam dunia rancang bangun konstruksi.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Cone penetration tests

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*, (Sanglerat, 1972; GE, 2004). *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 stratigrafis 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*). Biasanya peralatan konus secara normal dapat menembus *consolidated soils* dan *colluvium*, dan dapat dipakai pada sifat strata umur *Quaternary* dan *Tertiary* batuan sedimentasi. (Sanglerat, 1972; Brower, 2002).

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). *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 insinyur menggunakan *CPT* atau peralatan test lainnya untuk mengatasi masalah yang ada, (US Department of Agriculture, 1984).

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*). Sejak *CPT* dipandang sebagai suatu alat yang efektif untuk desain *pile* dan mempunyai kemiripan proses penetrasi pada *pile* (Borghini, 2001; Brower, 2002, Fellenius, 2002).

Pile Base Resistance

Metode desain yang berdasarkan pada *CPT* menggunakan unit tahanan dasar (*basa resistance*) q_b *pile* yang mempunyai hubungan secara langsung terhadap *unit cone penetration resistance* q_c . *CPT* mempunyai kemiripan dengan *pile* pada geometri dan proses penetrasi vertikal, maka ada korelasi antara q_b dan q_c satu dengan lainnya. Para ahli (Billde, 1997; Tomlinson, 1998; Bowles, 1997; Fleming, 1992) pada petunjuk desain merekomendasikan bahwa *pile base resistance* q_b dapat diambil kesamaan dengan *cone penetration resistance* q_c .

Fondasi Tiang Pada Lempung (Clay)

Formula standard untuk hitungan *bearing capacity* untuk fondasi tiang pada *stiff clays* dapat ditransformasi dari hasil penggunaan *CPT*.

$$F_{pile} = \alpha \cdot C_{U;a} \cdot A_s + N_c \cdot C_U \cdot A_b$$

di mana: α = *adhesion factor*,
 $C_{U;a}$ = *average undrained shear strength over length of shaft*,
 A_s = *pile shaft area*,

N_c = bearing capacity factor (= 9),
 C_U = undrained shear strength near pile base, and A_b = base area.

Tabel 1. Adhesion factor α

Pile type	α
Driven piles	0,70
Continuous Flight Auger (CFA) concrete piles	0,60
Bored piles, cast in situ	0,45

Dengan menggunakan hubungan tahanan konus (*cone resistance*) dan *undrained shear strength*:

$$C_U = q_c / N_k \quad \text{dengan} \quad N_k = 18 - 20.$$

Selanjutnya dapat diturunkan persamaan berikut ini:

$$\text{Driven piles:} \quad F_{pile} = 3,5\% \cdot q_{c;a} \cdot A_s + 0,5 \cdot q_c \cdot A_b$$

$$\text{CFA -piles:} \quad F_{pile} = 3,0\% \cdot q_{c;a} \cdot A_s + 0,5 \cdot q_c \cdot A_b$$

di mana: $q_{c;a}$ = average cone resistance along the pile shaft,
 q_c = cone resistance near pile base.

Beban Kerja (*working load*): $WL = F_{pile} / 2,5.$

Untuk diameter tiang kurang dari 0,8 m; settlement pada beban kerja akan lebih rendah dari 50 mm, dengan demikian dapat diterima, (Brower,2002).

Fondasi Tiang Pada Pasir (*Sand*)

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 2. Faktor keamanan (*safety factor* γ)

Influence	γ
Scale effect	1,33
Statistical chance	1,33
Over load	1,40

$$\text{Overall safety factor} = 1,33 \times 1,33 \times 1,40 = 2,5.$$

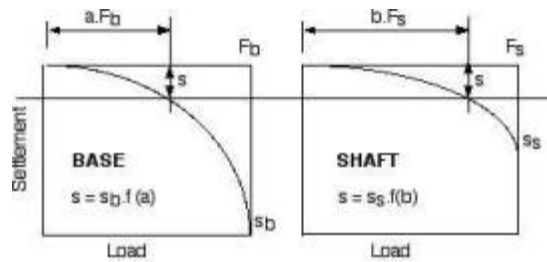
Tahanan dasar tiang (*pile base resistance*) diambil dalam hitungan adalah pada *layer* $4D_{PILE}$ di bawah dan $8D_{PILE}$ di atas dasar tiang (*pile-base*), dengan menggunakan *minimun-path method* dan diambil nilai hitungan rata-rata dari tahanan ujung (*tip-resistance*), (Brower,2002).

Koefisien korelasi (*correlation coefficients*) untuk tahanan dasar (*base resistance*) seperti di Tabel 3.

Tabel 3. correlation coefficients for base resistance ξ

Pile type	ξ
Displacement piles	
Driven piles	1,0
Formed in situ, bored piles, like vibro	1,2
Screw piles	0,6
Non-displacement piles	
Continuous Flight Auger (CFA) concrete piles	0,6
Bored piles, cast in situ	0,6

Settlement Pada Fondasi Tiang



Gambar 1. Load and Settlement curves

Safe load:

$$F_{pile} = (F_b + F_s) / 1.4$$

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

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). 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.

Pelajaran Geotechnical dari Kegagalan

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. 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, (Budhu, 2000).

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. Beberapa tipe kerusakan yang disebabkan oleh bencana alam (gempa bumi, angin topan dll.) 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, (Lulie, 2006).

C. LOKASI, DATA DAN APLIKASI

Lokasi Uji Sondir

Lokasi uji sondir (*CPT*) dilakukan di area Bangunan Dermaga Wisata, Proyek Taman Wisata Glagah, Kulon Progo, Yogyakarta. Bangunan Dermaga Wisata ini terletak di tepi sungai Serang dekat dengan Pantai Glagah Indah.

Muka Air Tanah

Kedalaman permukaan air tanah sekitar -2,00 m dari peil $\pm 0,00$ m permukaan lantai bangunan yang sudah ada. Kondisi permukaan air tanah ini dapat merupakan suatu pertimbangan bagi perencana dalam menentukan tipe fondasi dan kedalaman fondasi yang representatif.

Data Stratigrafi Lapisan Tanah

Kapasitas sondir yang digunakan maksimum 60 MPa. Jumlah sample sondir yang diambil sebanyak 3 titik, yaitu SB₁, SB₂ dan SB₃. Sampel uji sondir dilakukan secara *random*. Letak titik sondir SB₁ dan SB₂ di bagian tepi dermaga dan SB₃ di bagian tengah dermaga. Hasil uji sondir SB₁, SB₂ dan SB₃.

Uji sondir SB₁, SB₂ dan SB₃ menginformasikan nilai *static cone resistance* q_c mengikuti pola yang hampir sama. Pada peil $\pm 0,00$ m sampai -2,20 m nilai q_c rata-rata yang kecil di antara 0,37 MPa sampai 0,90 MPa dan nilai *friction ratio* r rata-rata di antara 27,0% sampai 25,6%, berupa tanah *organic clays*. Nilai q_c mulai meningkat sesuai pertambahan kedalamannya, meskipun diikuti penurunan kembali pada range kedalaman peil -2,40 m sampai -4,40 m. Pada peil -3,00 m nilai $q_c = 9,50$ MPa dan nilai $r = 2,63\%$, berupa tanah *clayey sands*.

Nilai q_c meningkat secara konstan sesuai pertambahan kedalaman mulai pada peil -4,60 m. Di kedalaman antara -4,00m sampai -5,00 m nilai nilai q_c rata-rata di antara 13,17 sampai 27,67 MPa dan nilai r rata-rata di antara 1,75% sampai 1,19%, berupa *dense sand*. Sedangkan pada peil kedalaman -6,00 m nilai nilai $q_c = 37,75$ MPa dan nilai $r = 0,39\%$, berupa *very shell sands*. Awal kekuatan penetrasi maksimum dengan nilai $q_c = 60$ MPa pada peil maksimum -6,40 m.

Spesifikasi *Driven Pile*

Jenis fondasi yang digunakan ada *driven concrete pile*. Dasar pertimbangan menggunakan jenis *driven pile* karena:

1. dekat dengan sungai yang permukaan air sungai yang tinggi,
2. manfaat fondasi dalam untuk mencegah efek gerusan oleh air sungai,

3. efek getaran dapat dihindari, karena rumah penduduk yang relatif jauh dari lokasi proyek.

Tabel 4. Spesifikasi *driven concrete pile*

Pile size (mm)	Reinforcement		Link	Maximum length (m)	Max structural working load (kN)	Max axial working load (kN)
	Steel bar	No/Diameter (mm)	Head/Toe section Spacing@length			
150x150 (RC)	Deformed	4 Nos 10	25 @ 125	6	330	250
200x200 (RC)	Deformed	4 Nos 13	25 @ 125	9	560	450
300x300 (PC)	Prestress wire	4 Nos 9.53	25 @ 125	12	1400	1100
400x400 (PC)	Prestress wire	4 Nos 12.9	25 @ 125	15	2500	1950
Note						
Concrete compressive strength, $f_c = 50 \text{ N/mm}^2$			Main prestresses tensile strength, BS5896 - 80			
Main reinforcement tensile strength, $F_y = 400 \text{ N/mm}^2$			Link Reinforcement tensile strength, $F_y = 250 \text{ N/mm}^2$			

Sumber: PT Sunway Yasa – PMI Pile

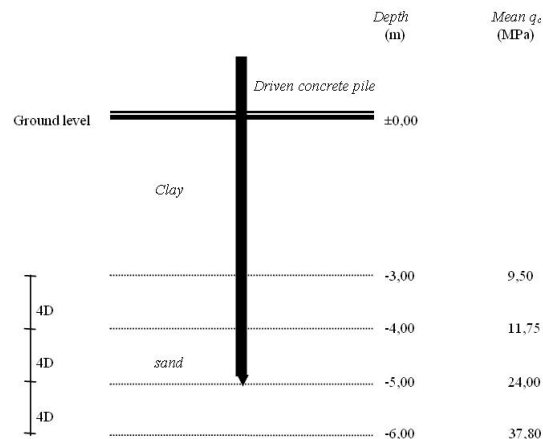
Dimensi *driven pile* ada empat ukuran yaitu: 150x150 mm; 200x200 mm; 300x300 mm; dan 400x400 mm. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada spesifikasi *driven concrete pile* pada table 4.

Dasar Pertimbangan Penggunaan Tipe Ukuran *Driven Pile*

Mengingat lingkungan bangunan dekat dengan air sungai dan laut tentu sangat korosif. Dasar pertimbangan ini, selanjutnya dalam aplikasi desain pada penelitian ini akan digunakan *driven pile* yang berukuran 300x300 mm dan 400x400 mm. Ukuran *driven pile* yang cukup besar mempunyai *concrete cover* (selimut beton) serta *concrete core* yang cukup tebal untuk memperlambat efek korosi pada *reinforced concrete* (baja tulangan) yang ada.

Desain Kapasitas *Driven Pile*

Kedalaman *driven pile tip* ditentukan di peil -5,00 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 $4D_{PILE}$ di bawah dan $8D_{PILE}$ di atas dasar tiang (*pile-base*). Digunakan nilai hitungan rata-rata dari tahanan ujung (*tip-resistance*) berdasarkan *minimun-path method*, (Brower, 2002). Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 2.



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

Aplikasi desain *driven pile* yang berukuran 300x300 mm dan 400x400 mm selanjutnya dapat dilihat di halaman berikut ini.

a. Aplikasi desain *driven pile* dengan dimensi 300 x 300 mm

Base resistance

$$\text{Average tip resistance} = ((37,8 + 24)/2) + 10,625/2 = 20,763 \text{ MPa.}$$

$$\text{Ultimate base resistance } F_{ub} = 0,30 \times 0,30 \times 20763 = 1868,67 \text{ kN.}$$

Shaft resistance

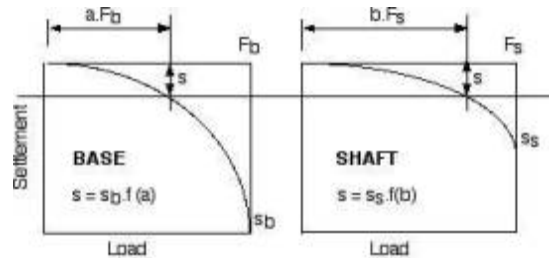
$$\text{Ultimate base resistance } F_{us} = 1\% \times 24.000 \times 4 \times 0,30 \times 1 = 288 \text{ kN.}$$

$$F_{pile} = 1868,67 + 288 = 2156,67 \text{ kN.}$$

$$\text{Working load} = 2156,67/2,5 = 862,668 \text{ kN, (safe load).}$$

$$\text{Used load } F_{pile} = 850 \text{ kN.}$$

Settlement analysis



Gambar 3. Model *Load and Settlement curves* dalam desain

$$F_b = 1868,67 / (1,33 \times 1,33) = 1056 \text{ kN} \quad F_s = 288 / (1,33 \times 1,33) = 162 \text{ kN}$$

$$F_{pile} = (1056+162)/1,4 = 870 \text{ kN}$$

$$s = 25a^3$$

$$s = 10b^3$$

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

$$b^3 = 1,36a$$

$$F_{pile} = 1056a + 162b = 870$$

$$F_{pile} = 1056a + 162 \times 1,36a = 870$$

$$a = 0,6816$$

$$b = 1,36 \times 0,6868 = 0,9269$$

$$a \times F_b = 0,6816 \times 1056 = 720 \text{ kN}$$

$$b \times F_s = 0,9269 \times 162 = 150 \text{ kN}$$

$$F_{pile} = 870 \text{ kN, (G).}$$

$$\text{Settlement (s)} = 25a^3 = 25 \times 0,6816^3 = 7,916 \text{ mm.}$$

b. Aplikasi desain *driven pile* dengan dimensi 400 x 400 mm

Base resistance

$$\text{Average tip resistance} = ((37,8 + 24)/2) + 10,625/2 = 20,763 \text{ MPa.}$$

$$\text{Ultimate base resistance } F_{ub} = 0,40 \times 0,40 \times 20763 = 3322,08 \text{ kN.}$$

Shaft resistance

$$\text{Ultimate base resistance } F_{us} = 1\% \times 24.000 \times 4 \times 0,40 \times 1 = 384 \text{ kN.}$$

$$F_{pile} = 3322,08 + 384 = 3706,08 \text{ kN.}$$

$$\text{Working load} = 3706,08 / 2,5 = 1482,43 \text{ kN, (safe load).}$$

Used load $F_{pile} = 1450$ kN.

Settlement analysis

$$F_b = 3322,08 / (1,33 \times 1,33) = 1878 \text{ kN}$$

$$F_s = 384 / (1,33 \times 1,33) = 217 \text{ kN}$$

$$F_{pile} = (1878+217)/1,4 = 1496 \text{ kN}$$

$$s = 25a^3$$

$$s = 10b^3$$

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

$$b^3 = 1,36a$$

$$F_{pile} = 1878a + 217b = 1496$$

$$F_{pile} = 1878a + 217 \times 1,36a = 1496$$

$$a = 0,6884$$

$$b = 1,36 \times 0,6884 = 0,9362$$

$$a \times F_b = 0,688 \times 1878 = 1293 \text{ kN}$$

$$b \times F_s = 0,9362 \times 217 = 203 \text{ kN}$$

$$F_{pile} = 1496 \text{ kN, (G)}$$

$$\text{Settlement (s)} = 25a^3 = 25 \times 0,6884^3 = 8,16 \text{ mm.}$$

Selanjutnya dari aplikasi desain di atas dapat dilihat pada daftar Tabel 5 yang menginformasikan *working load*, *used load pile*, *settlement* untuk *single driven pile* dengan ukuran 300x300 mm dan 400x400 mm.

Tabel 5. *Working load, used load pile, settlement for asingle riven pile*

<i>Driven pile dimension (mm)</i>	<i>Working load (kN)</i>	<i>Used load pile (kN)</i>	<i>Settlement (mm)</i>
300x300	862,668	850	7,916
400x400	1482,420	1450	8,160

D. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari aplikasi desain di bagian depan ada beberapa kesimpulan yaitu:

1. langkah desain kapasitas *driven pile* sangat mudah dan simple, cepat, dan relatif ekonomis, dalam mengestimasi kapasitas axial fondasi tiang,
2. kapasitas tiang dan *settlement* dapat dicari di setiap elevasi kedalaman dengan nilai *static cone resistance* q_c .
3. nampak ada korelasi hubungan antara ukuran *driven pile* dengan kapasitas *driven pile* dan *settlement*.
4. prinsip analisis suatu model teoritis, yang tergantung pada *undisturbed sampling* dan selanjutnya *conventional laboratory testing* dapat dihindari

Saran

Ada 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*. 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.

E. DAFTAR PUSTAKA

- 1) Biddle, A. R., 1997, *The Steel Bearing Pile Guide*, 5th Edition, Steel Construction Institute, Ascot, UK.
- 2) Borghi, X, 2001, Empirical Pile Design Based on Cone Penetrometer Data: An Explanation for the reduction of Unit Base Resistance Between CPTs and Piles, *5th International Conference on Deep Foundation Practice*, Singapore, pp.125-132.
- 3) Bowles, J. E., 1997, *Foundation Analysis and Construction*, 5th Edition, McGraw-Hill International Editions.
- 4) Brouwer, J.J.M., 2002, *Guide to Cone Penetration Testing on Shore and Near Shore*, Lankelma, Cone Penetration Testing LTD, Iden, East Sussex.
- 5) 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.
- 6) Federal Highway Administration (FHWA), 2002, *Subsurface Site Characterization*, U.S. Department of Transportation FHWA, Reference Manual NHI Course No. 132031.
- 7) Fellenius, B.H., 2002, *Background to Unicone*, Unisoft LTD, Calgary, Alberta.
- 8) Fleming, W. G. K., et al., 1992, *Piling Engineering*, 2nd Edition, Blackie Academic and Professional, Glasgow, UK.
- 9) GE 441, 2004, *Notes on the Cone Penetrometer Test*, Advanced Engineering Geology & Geotechnics.
- 10) 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.
- 11) Lulie, Y., Hatmoko, J. T., 2007, Prediksi Soil Properties Dari Cone Penetrometer Test, *Laporan Penelitian*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- 12) Sanglerat, G., 1972, *The Penetrometer and Soil Exploration*, Elsevier Publishing Company, New York.
- 13) Tomlinson, M.J., 1998, *Foundation Design and Construction*, 6th Edition, Pitman, London.
- 14) 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.
- 15) US Army Corps of Engineers, 2001, *Engineering and Design, Geotechnical Investigations*, Engineer Manual 1110-1-1804.