

VARIATION OF REINFORCEMENT OUTWORN FOUNDATIONS SYSTEM (FOOTING FOUNDATIONS AND PILE FOUNDATIONS)

VARIASI SISTEM PERKUATAN PONDASI BANGUNAN LAMA (PONDASI *FOOTING* DAN PONDASI TIANG)

Daniel Tjandra

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra
Jalan Siwalankerto 121-131, Surabaya, 60236. E-mail: danieljtj@petra.ac.id

ABSTRACT

In the construction field, engineers are faced with several common problems on foundation of structures. Such as, there are many old structures with outworn foundation which are needed to be reinforced. When the new structures are built adjacent to existing foundations, excavation adjacent to existing foundation leads to loosen soil at the foundations and reduce their strength characteristic. A reduction in the bearing capacity may be accompanied by settlements of the foundations. Sheet pile has been used in many ground improvement application to reduce settlement and particularly in strengthening outworn foundations. In this paper, there are two types of outworn foundations are used: footing and pile. There is several design alternatives of reinforcement are considered for each type of existing foundations. Comparative study for different types of reinforcement system of each foundation type is made. The stress-strain analysis is based on the result of numerical simulations using PLAXIS. The result of this study shown that the installation effect of Cylinder Type Sheet Pile (CTSP) in existing foundation is significant in reducing the settlement in footing and pile foundation with percentage decrease of displacement value up to 98. Location of the hard rock layer is very important and must be considered in selection of the best reinforcement method for each type of foundation. This study also examines the effect of installation H-beam and CTSP cap in CTSP with inclination method and the increasing depth of CTSP in footing and pile foundation. The result shows that installation H-beam and CTSP cap in footing foundation is significant in increasing percentage decrease of displacement value and increasing depth of CTSP in footing and pile foundation has significant influence in reducing the settlement.

Key words: Reinforcement outworn foundations, Cylinder Type Sheet Pile, displacement

ABSTRAK

Pada konstruksi di lapangan, para Insinyur dihadapkan dengan beberapa masalah umum pada bangunan-bangunan pondasi. Seperti halnya, banyak bangunan-bangunan tua seperti pondasi-usang/pondasi-lama yang memerlukan perkuatan. Ketika bangunan baru dibangun berdekatan dengan keberadaan pondasi-usang, penggalian berdekatan dengan pondasi yang ada menyebabkan melonggarnya/bergesernya tanah pada pondasi dan mengurangi karakteristik kekuatan pondasi. Berkurangnya daya dukung bisa disertai dengan menurunnya fondasi. *Sheet-pile* telah banyak digunakan dalam aplikasi perbaikan tanah untuk mengurangi penurunan pondasi dan terutama dalam memperkuat pondasi-usang. Dalam tulisan ini, ada dua tipe pondasi-usang yang digunakan yaitu pondasi kaki (*footing foundations*) dan pondasi tiang (*pile foundations*). Ada beberapa alternatif desain perkuatan yang dapat dipertimbangkan penggunaannya untuk masing-masing tipe pondasi yang ada. Kemudian dilakukan studi banding untuk berbagai jenis system perkuatan dari setiap jenis pondasi yang dibuat. Kemudian dilakukan analisis tegangan-regangan berdasarkan pada hasil simulasi numerik menggunakan PLAXIS. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa efek pemasangan *Cylinder Type Sheet Pile* (CTSP) dalam pondasi yang ada adalah signifikan dalam mengurangi turunnya pondasi-kaki dan fondasi-tiang dengan persentase pengurangan hingga 98 %. Lokasi dari lapisan batuan keras adalah sangat penting dan harus dipertimbangkan dalam pemilihan metode perkuatan terbaik untuk setiap jenis pondasi. Penelitian ini juga menguji pengaruh pemasangan Balok-H dan Tutup-CTSP dalam CTSP dengan metode kemiringan dan peningkatan kedalaman dari CTSP pada pondasi-kaki dan pondasi-tiang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemasangan Balok-H dan Tutup-CTSP pada pondasi kaki adalah penting dalam meningkatkan persentase penurunan dari nilai peletakan dan meningkatnya kedalaman CTSP pada pondasi-kaki dan pondasi-tiang mempunyai pengaruh yang signifikan dalam mengurangi turunnya pondasi.

Kata-kata Kunci: Perkuatan pondasi usang, *Cylinder Type Sheet Pile*, peletakan

PENDAHULUAN

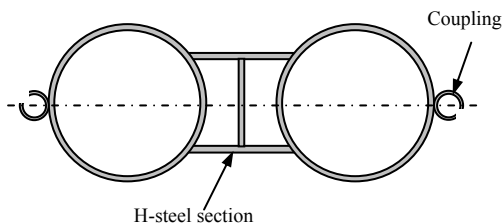
Seiring dengan perkembangan pembangunan saat ini, banyak didirikan bangunan baru yang letaknya berdekatan dengan struktur bangunan yang lama. Galian-galian yang dilakukan di dekat bangunan lama akan menambah beban pada pondasi bangunan yang lama dan tanah di bawah pondasi lama akan berkurang daya dukungnya. Pengurangan kapasitas dari pondasi lama (*outworn foundation*) ini akan menimbulkan penurunan, yang pada akhirnya akan mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan lama. Oleh sebab itu, desain struktur pondasi bangunan baru harus memperhatikan bangunan yang sudah ada sebelumnya.

Apabila kerusakan struktur terlanjur terjadi pada bangunan lama, ditunjukkan dengan adanya penurunan bangunan yang melebihi batas yang diijinkan, maka perkuatan pondasi lama mutlak harus dilakukan. Perkuatan pada pondasi lama juga diperlukan untuk meningkatkan ketahanan struktur terhadap gempa dan mencegah berkurangnya kapasitas pondasi akibat gangguan alam lainnya, seperti erosi.

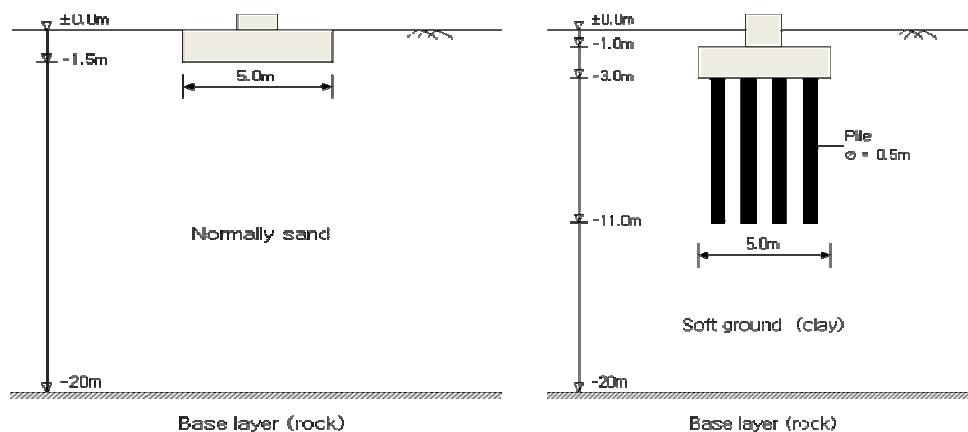
Perkuatan pondasi lama yang dimaksud adalah proses memodifikasi sistem pondasi lama dengan memperpanjang pondasi tersebut ke lapisan tanah yang lebih dalam dan lebih stabil. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan daya dukung vertikal dan horizontal dari pondasi lama (Shvets et al., 1996). Tipe pondasi ba-

ngunan lama yang dievaluasi adalah pondasi footing dan pondasi tiang. Perkuatan pondasi menggunakan *Cylinder Type Sheet Pile* (CTSP) dan *Deep Cement Mixing* (DCM). CTSP adalah turap yang merupakan kombinasi dari pipa baja dan profil H seperti terlihat pada Gambar 1 (Kimura et al., 2003). Pemasangan profil H pada CTSP akan meningkatkan kekuatan dari turap dan meningkatkan kemampuan untuk menahan air.

Studi ini bertujuan untuk mengembangkan alternatif desain untuk memperkuat pondasi bangunan lama (*outworn foundation*) dan melakukan evaluasi pada beberapa alternatif desain tersebut dengan melihat penurunan yang terjadi. Evaluasi alternatif perkuatan pondasi lama dilakukan dengan program PLAXIS dengan melihat penurunan yang terjadi dan angka keamanan dari beberapa alternatif tersebut (Brinkgreve, 2002).



Gambar 1. *Cylinder Type Sheet Pile* (CTSP)



Gambar 2. Model Pondasi Footing dan tiang

Tipe Pondasi, Karakteristik Tanah dan Karakteristik Material Perkuatan Pondasi

Pada penelitian ini, ada 2 tipe pondasi yang dipakai sebagai model, yaitu pondasi footing dan pondasi tiang. Beban aksial dari pondasi tersebut adalah beban mati dan beban hidup dari struktur atas. Sedangkan beban horisontal adalah beban gempa atau beban yang ditimbulkan akibat galian di samping bangunan lama. Untuk pondasi footing, beban aksial yang diberikan adalah 600 KN dan beban horisontal yang diberikan adalah 60 KN. Sedangkan untuk pondasi tiang, beban aksial yang diberikan adalah 1000 KN dan beban horisontal yang diberikan adalah 100 KN. Pondasi footing diletakkan pada tanah pasir setebal 20 m dengan lebar footing adalah 5 m. Sedangkan untuk pondasi tiang, pondasi tersebut diletakkan pada lapisan tanah lempung setebal 20 m dengan lebar poer adalah 5 m. Model pondasi-pondasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.

Karakteristik geoteknik lapisan tanah dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan untuk karakteristik dari material perkuatan pondasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Karakteristik Tanah

Identification	Material model	Material type	γ unsat (kN/m ³)	γ sat (kN/m ³)	c (kN/m ²)	Poisson's ratio, ν	Φ (phi)
Sand	Mohr-Coulomb	Drained	16	20	1	0.3	30
Clay	Mohr-Coulomb	UnDrained	15	18	10	0.33	24
Rock	Mohr-Coulomb	Drained	27	27	2700	0.3	30
Concrete	Linear elastic	Drained	24	24	-	0.35	-
DCM	Linear elastic	Drained	16.5	19.5	-	0.35	-

Note: γ unsat = Unsaturated Unit Weight
 γ sat = Saturated Unit Weight

Table 2. Karakteristik Material Perkuatan

Identification	Material type	Axial rigidity, EA (kN/m)	Flexural rigidity, EI (kNm ² /m)	Poisson's ratio, ν
H-beam	Elastic	4.374E+06	1.332E+05	0.32
CTSP	Elastic	5.000E+06	1.400E+09	0.32
Pile Toe	Elastic	2.000E+06	8000	0.20
Pile	Elastic	2.000E+06	-	-
Strut	Elastic	2.000E+06	-	-

Alternatif Desain Sistem Perkuatan Pondasi Bangunan Lama

Konfigurasi variasi sistem perkuatan pondasi footing dan pondasi tiang dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4. Pada pondasi footing, CTSP digunakan pada case 1-5. Pada case 1 dan 2, CTSP dipasang dengan kedalaman 5m, 10m, 15m, and 20m, sedangkan untuk case 3-5, CTSP dipasang dengan kemiringan vertikal: horizontal adalah 2:1. Pada pondasi tiang, CTSP digunakan pada case 2 dan 4 dengan kedalaman 5m, 10m, 15m, and 20m.

Penentuan kemiringan sudut CTSP ini berdasarkan studi yang telah dilakukan oleh Murthhy, et al. (2002). Tegangan normal dan geser yang bekerja pada *sheet pile* dirumuskan sebagai berikut (lihat Gambar 5):

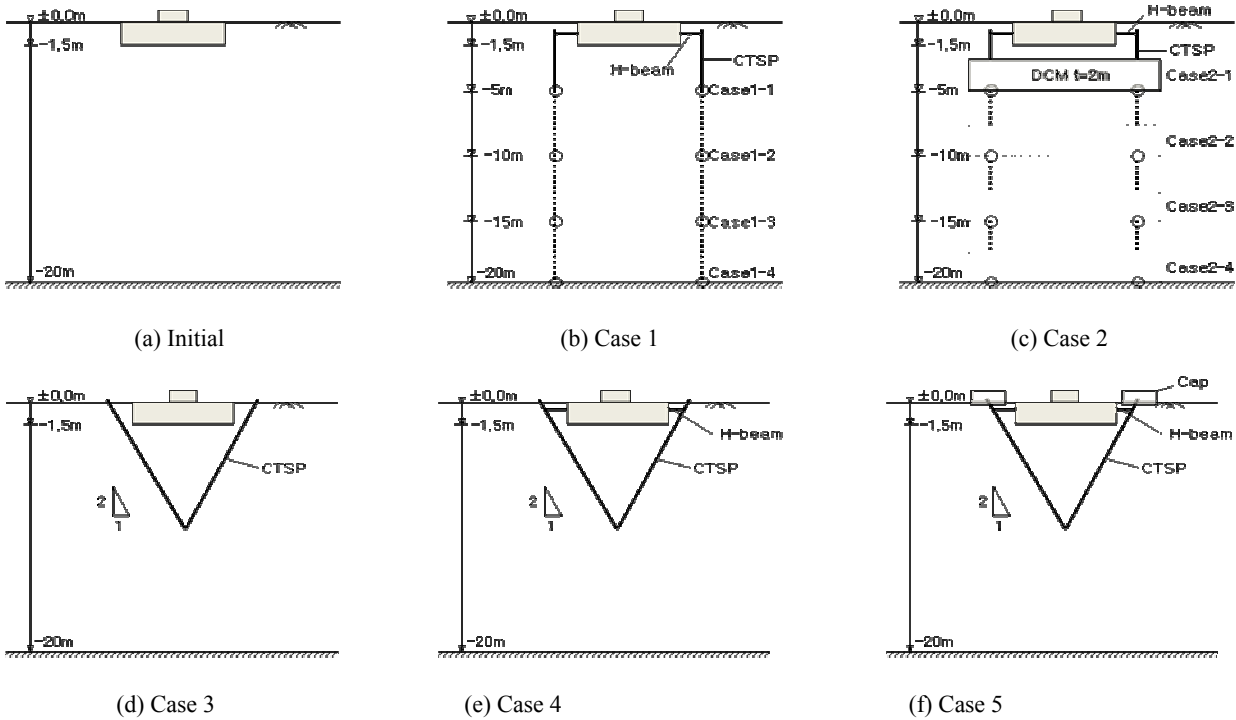
$$\sigma_n = \sigma_{yy} \cos \theta + \sigma_{xx} \sin \theta + \sigma_{yx} \sin \theta + \sigma_{xy} \cos \theta \quad (1)$$

$$\tau = \sigma_{yy} \sin \theta - \sigma_{xx} \cos \theta - \sigma_{yx} \cos \theta + \sigma_{xy} \sin \theta \quad (2)$$

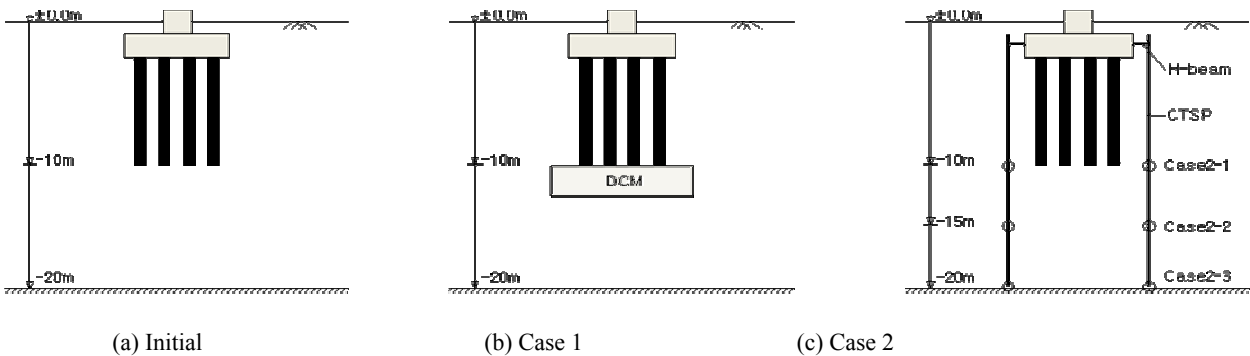
Sedangkan gaya penahan, P , yang timbul sepanjang *sheet pile* adalah sebagai berikut (lihat Gambar 5):

$$P = (\sigma_n \tan \phi_u - \tau) \times L \quad (3)$$

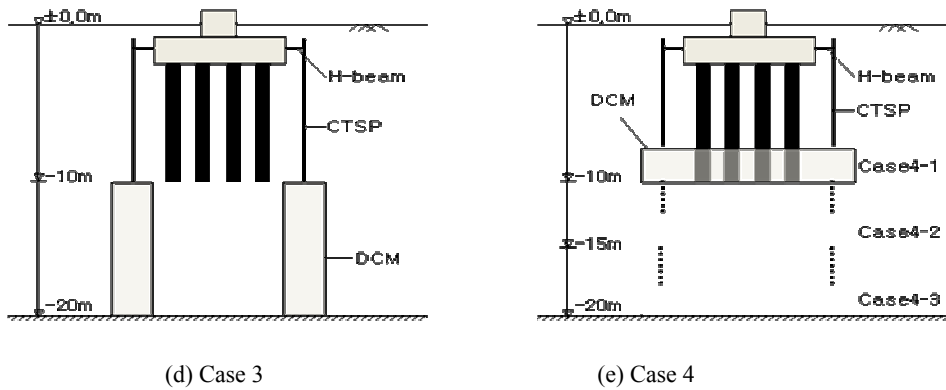
Dimana, ϕ_u adalah sudut geser antara *sheet pile* dengan tanah. Sedangkan komponen vertikal dari gaya P ($P \sin$) yang akan menahan gaya vertikal dan berkontribusi dalam peningkatan daya dukung serta mengurangi penurunan.



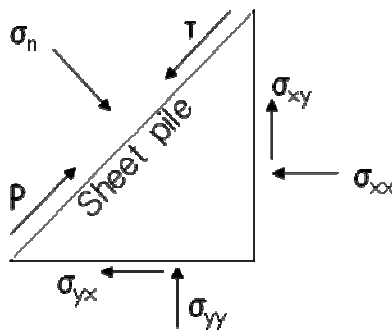
Gambar 3. Konfigurasi Tipe Perkuatan untuk Pondasi Footing



Gambar 4a. Konfigurasi Tipe Perkuatan untuk Pondasi Tiang



Gambar 4b. Konfigurasi Tipe Perkuatan untuk Pondasi Tiang (lanjutan)



Gambar 5. Diagram Interaksi Sheet Pile-Tanah

Perilaku Deformasi dari Pondasi

Dalam penelitian ini, dilakukan studi perbandingan beberapa tipe perkuatan pondasi lama yang telah disebutkan di atas. Pada Tabel 3 dan 4, dapat dilihat nilai *horizontal* dan *vertical displacement* dari pondasi footing dan pondasi tiang. Pengaruh dari pemasangan beberapa tipe perkuatan pondasi ditunjukkan dari persentase pengurangan *horizontal* dan *vertical displacement* seperti terlihat pada Gambar 6 dan 7. Persentase pengurangan tersebut dapat diperoleh dengan rumus di bawah ini:

$$P = \frac{d_i - d_r}{d_i} \times 100(\%) \quad (4)$$

Dimana :

P = persentase pengurangan penurunan

d_i = penurunan pada kondisi awal

d_r = penurunan pada saat pondasi diperkuat

Sedangkan hubungan antara *horizontal* dan *vertical displacement* dan variasi kedalaman dari CTSP dapat dilihat pada Gambar 8 (case 2 dan 3 untuk pondasi footing, dan case 2 dan 4 untuk pondasi tiang).

Faktor Keamanan

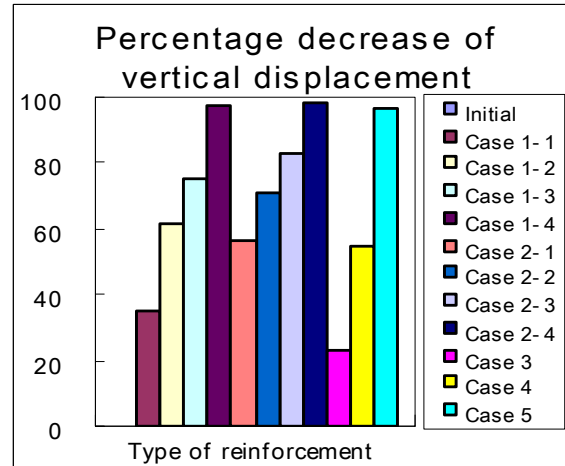
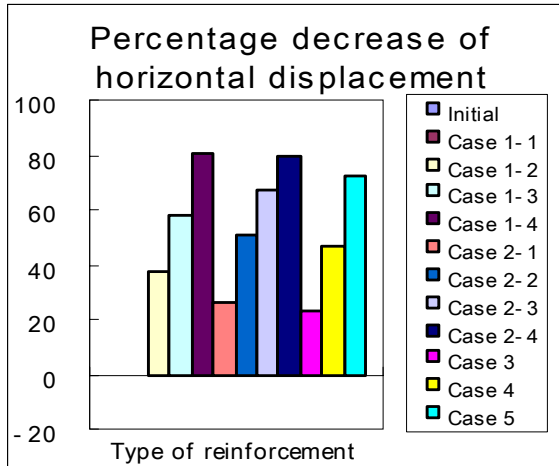
Nilai faktor keamanan dari beberapa variasi perkuatan pada pondasi bangunan lama untuk pondasi *footing* dan pondasi tiang dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 3. *Horizontal* dan *Vertical Displacement* pada Pondasi Footing

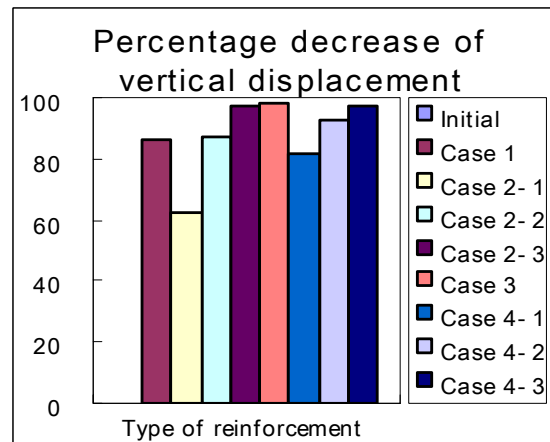
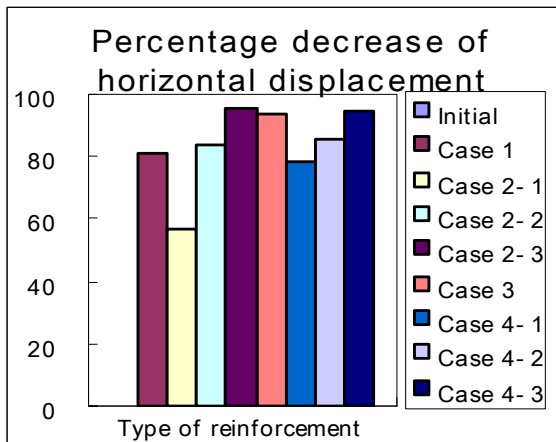
Case	Reinforcement type	Horizontal displacement (m)	% decrease of horizontal displacement	Vertical displacement (m)	% decrease of vertical displacement
Initial	Without reinforcement	6.00E-02	0	3.19E-01	0
1-1	CTSP	6.03E-02	-0.42	2.06E-01	35.26
1-2	CTSP	3.73E-02	37.80	1.22E-01	61.77
1-3	CTSP	2.5E-02	58.34	7.90E-02	75.23
1-4	CTSP	1.18E-02	80.39	8.99E-03	97.18
2-1	CTSP+DCM	4.43E-02	26.15	1.39E-01	56.26
2-2	CTSP+DCM	2.95E-02	50.84	9.18E-02	71.22
2-3	CTSP+DCM	1.96E-02	67.37	5.38E-02	83.12
2-4	CTSP+DCM	1.24E-02	79.34	4.57E-03	98.57
3	CTSP(60°)	4.63E-02	22.81	2.45E-01	23.25
4	CTSP(60°)+H-beam	3.21E-02	46.61	1.44E-01	54.80
5	CTSP(60°)+H-beam+Strut	1.68E-02	72.08	1.13E-02	96.46

Tabel 3. *Horizontal dan Vertical Displacement* pada Pondasi Tiang

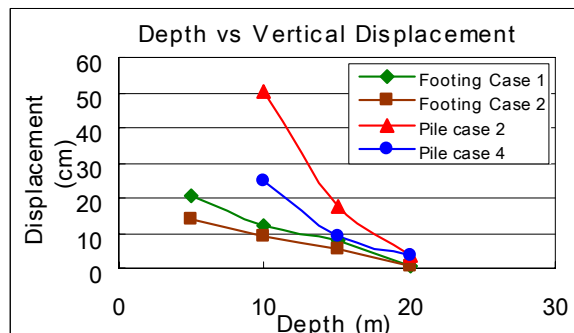
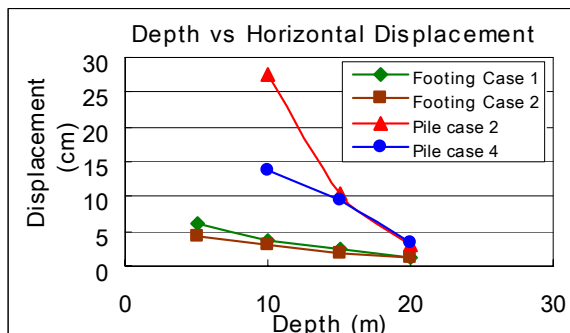
Case	Reinforcement type	Horizontal displacement (m)	% decrease of horizontal displacement	Vertical displacement (m)	% decrease of vertical displacement
Initial	Without reinforcement	6.39E-01	0	1.34E-00	0
1	DCM	1.21E-01	81.13	1.85E-01	86.16
2-1	CTSP	2.77E-01	56.67	5.01E-01	62.64
2-2	CTSP	1.05E-01	83.62	1.75E-01	86.93
2-3	CTSP	2.97E-02	95.35	3.85E-02	97.13
3	CTSP+DCM	4.04E-02	93.67	2.72E-02	97.97
4-1	CTSP+DCM	1.38E-01	78.40	2.49E-01	81.42
4-2	CTSP+DCM	9.41E-02	85.26	9.34E-02	93.03
4-3	CTSP+DCM	3.82E-02	94.86	3.39E-02	97.47



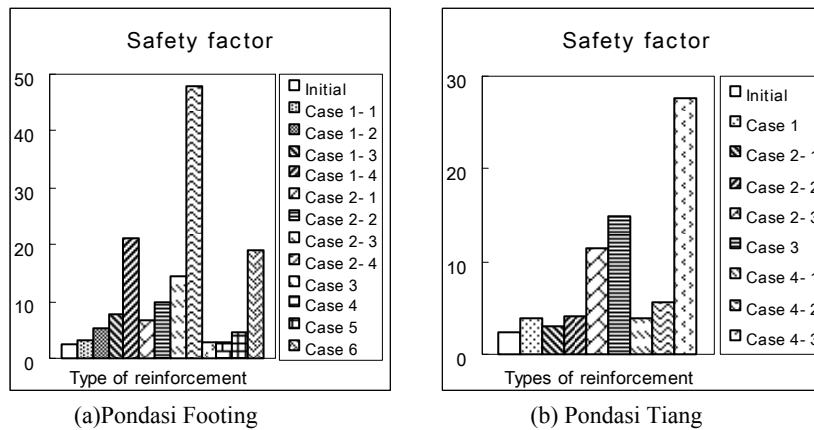
Gambar 6. Persentasi Pengurangan *Horizontal dan Vertical Displacement* dari Pondasi Footing



Gambar 7. Persentasi Pengurangan *Horizontal dan Vertical Displacement* dari Pondasi Tiang



Gambar 8. Persentasi Pengurangan *Horizontal dan Vertical Displacement* dari Pondasi Footing dan Tiang



Gambar 9. Faktor Keamanan dari Variasi Sistem Perkuatan Pondasi

ANALISA DAN DISKUSI

Berdasarkan data-data yang ada pada Gambar dan Tabel di atas, pemasangan CTSP pada pondasi bangunan lama akan mengurangi penurunan dari pondasi footing. Hasil output dari PLAXIS menunjukkan persentasi pengurangan *horizontal displacement* berkisar antara 72-80 % dan *vertical displacement* berkisar antara 96-98 % untuk case 1, 2, dan 5. Kedalaman lapisan tanah keras menjadi suatu acuan dalam menentukan metode alternatif perkuatan pondasi bangunan lama. Apabila lokasi kedalaman tanah keras relatif dangkal, maka case 1 dan 2 bisa menjadi alternatif perkuatan pondasi yang baik, akan tetapi apabila kedalaman tanah keras relatif dalam, maka case 1 dan 2 menjadi tidak ekonomis lagi. Dalam hal ini, case 5 merupakan satu pilihan yang baik untuk perbaikan pondasi bangunan lama dimana lokasi tanah keras terletak pada kedalaman yang cukup dalam. Hal ini ditunjukkan dari nilai persentasi pengurangan *horizontal displacement* sebesar 72% dan *vertical displacement* sebesar 96%. Pengurangan *displacement* yang signifikan ini juga disebabkan adanya penambahan CTSP cap dan H beam.

Pada pondasi tiang, pemasangan CTSP pada pondasi bangunan lama juga secara signifikan mengurangi penurunan. Hasil output dari case 2 – 4, persentasi pengurangan *horizontal displacement* berkisar antara 93-95 % dan *vertical displacement* berkisar antara 97 %. Pada kasus pondasi tiang, apabila kedalaman tanah keras relatif dalam, maka case 1 dapat dijadikan alternatif yang baik dan ekonomis untuk perbaikan pondasi bangunan lama, dimana persentasi pengurangan *horizontal displacement* sebesar 81% dan *vertical displacement* sebesar 86%.

Pemasangan CTSP dan DCM pada pondasi bangunan lama juga akan meningkatkan faktor keamanan pondasi lama tersebut. Nilai faktor keamanan tertinggi ada pada case 2-4 untuk pondasi footing dan case 4-3 pada pondasi tiang sebesar 47 dan 27.

KESIMPULAN

Beberapa metode perkuatan pondasi bangunan lama telah ditampilkan dalam makalah ini beserta dengan dampak positif yang dihasilkan dengan adanya perkuatan pondasi yang dilakukan, baik untuk pondasi footing maupun untuk pondasi tiang. Berdasarkan analisa dan diskusi yang telah dilakukan, maka beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penelitian ini adalah:

1. Pemasangan CTSP dan DCM pada pondasi bangunan lama akan secara signifikan mengurangi penurunan yang terjadi pada pondasi *footing* dan pondasi tiang.

2. Lokasi dari lapisan tanah keras menjadi suatu hal yang harus diperhatikan pada saat menentukan / memilih sistem perkuatan pondasi bangunan lama.
3. Pemasangan CTSP dan DCM pada pondasi bangunan lama akan meningkatkan nilai dari faktor keamanan pondasi tersebut.
4. Pemasangan CTSP cap dan H beam akan memberikan pengaruh positif bagi penurunan pondasi, khususnya untuk pondasi footing.

DAFTAR PUSTAKA

- Shvets, V.B., Feklin, V.I., and Ginzburg, L.K. (1996). *Reinforcement and Reconstruction of Foundations*, A.A. Balkema/ Brookfield, Rotterdam.
- Kimura, M., Arap Too, J.K., Isobe, K., and Nishiyama Y. (2003). "Offshore Construction of Bulkhead Waste Facilities by H-Joint Steel Pipe Sheet Piles." *BGA International Conference on Foundations*, British Geotechnical Association.
- Murthy, B.R.S., Babu, G.L.S., and Srinivas. A. (2002). "Analysis of bearing capacity reinforcement using micropiles." *Ground Improvement* 6, No.3, 121-128.
- Brinkgreve, R.B.J. (2002). *PLAXIS 2D-Version 8*, A.A. Balkema Publishers.