

**ANALISIS DEFORMASI TANAH DAN SHEET PILE AKIBAT
PEMANCANGAN TIANG PADA TANAH LUNAK**

Maryono

**Magister Teknik Sipil
Univeristas Katolik Parahyangan
maryono@atrya.co.id**

ABSTRAK

Pada dasarnya pemancangan tiang akan merubah struktur tanah dan akan terjadi pembentukan ulang pada tanah disekitarnya. Pada makalah ini akan meninjau sejauh mana efek desakan tanah akibat pemancangan di tanah lunak.

Penelitian ini dilakukan di daerah Jakarta Utara dimana pada proyek tersebut dilakukan pemancangan kurang lebih 5000 titik pada tanah lunak, dan untuk memonitor pergerakan horizontal dari tanah dipasang inclino meter sebanyak 3 titik, dan pengukuran pergerakan caping beam pada turap beton. Dalam penelitian ini dilakukan analisis dengan menggunakan program plaxis 2D.

Berdasarkan hasil monitoring baik itu inclino meter maupun caping beam, selama pemancangan telah terjadi pergerakan pada tanah dan dari hasil monitoring tersebut dilakukan perhitungan kemudian dibuat suatu grafik displacement ratio (Rahardjo, 2013) terhadap displacement sehingga dapat diketahui seberapa jauh jarak yang berpengaruh terhadap suatu bangunan/struktur akibat pemancangan di tanah lunak. Dari hasil perhitungan dan analisis dengan menggunakan program plaxis dapat disimpulkan bahwa jarak yang berpengaruh akibat pemancangan ditentukan oleh urutan dari pemancangan itu sendiri.

Kata kunci : pemancangan tiang, pergerakan sheet pile, tanah lunak

Abstract

Basically pile driving will change soil structure and will remolding of the surrounding soil. This research, the effect on soil pressure due to pile driving in soft soil.

This research was conducted in North Jakarta, where there were project is carried out pile driving more than 5000 pile were driven, along 300 meters length in an area of about 3 Ha. To monitor horizontal movement of the soil, 3 inclino meter were used at 3 points, and to monitor movement of caping beam on sheet piles.

Base on the monitoring results using inclino meter and on the caping beam, soil movement and based on the monitoring result and calculation a graphs were produced of the cumulative displacement versus displacement ratio (Rahardjo, 2013) to know the distance of influence of pile driving to the exisiting building due to pile driving in soft soil. From the calculation result based on the field observation and from the analysis using Plaxis 2D computer program, it can be concluded that the influence distance of pile driving in soft soil is determined by the number of pile driving and by the sequence of pile driving.

Key word : Pile driving, sheet pile movement, soft soil

PENDAHULUAN

Pada dasarnya pemancangan tiang akan mengganggu struktur dari tanah dan akan terjadi pembentukan ulang pada tanah disekitarnya. Pemancangan tiang akan mempengaruhi tanah yang berada dekat dengan tiang pancang. Pemancangan pada tanah kohesif akan menekan secara radial dan pada tanah berbutir akan menaikkan kepadatan relatif (relative density) disekitar tiang.

Pemancangan pada tanah kohesif

Akibat pemancangan, tanah akan terganggu di sekeliling tiang pada radius satu diameter tiang, dimana tanah akan menjadi lunak atau biasanya pada tanah lempung akan terjadi konsolidasi. Pemancangan pada tanah lempung kaku jenuh akan menutup retakan/celah dan hilangnya stress history di dekat tiang (Vesic 1969)

Pemancangan pada lempung jenuh.

Tanah akan terganggu dan terjadi tekanan secara radial pada tiang sehingga terjadi peningkatan tekanan air pori, dan untuk sementara akan mengurangi kekuatan geser tanah dan kapasitas daya dukung tiang. Setelah pemancangan, seiring dengan waktu, tekanan air pori akan menurun (terdisipasi), yang menyebabkan naiknya kekuatan geser tanah dan daya dukung tiang. Efek tersebut disebut pemadatan tanah (soil preeze)

Pemancangan pada lempung tidak jenuh.

Pemancangan pada lempung tidak jenuh tidak menghasilkan tekanan air pori yang besar dan mungkin tidak akan terjadi pemadatan tanah (soil preeze).

Pemancangan pada tanah berbutir

Kapasitas daya dukung, pada tanah berbutir tergantung kepada kepadatan relatif. Pemancangan akan meningkatkan kepadatan relatif dan perpindahan lateral satu atau dua kali diameter tiang.

Pemancangan pada pasir padat dan kerikil (gravel).

Pemancangan pada pasir padat dan kerikil dapat menurunkan tekanan air pori dan untuk sementara waktu kekuatan geser tanah dan daya dukung tanah meningkat. Kekuatan geser tanah dapat meningkat cukup besar dan dapat melebihi kapasitas alat pancangnya. Tekanan air pori meningkat setelah pemancangan dan menyebabkan menurunnya kekuatan geser tanah dan menurunnya daya dukung tiang. Efek tersebut disebut relaksasi tanah (soil relaxation)

Pemancangan pada tanah lanau berbutir jenuh (saturated cohesionless silt).

Pemancangan pada tanah lanau berbutir jenuh akan terjadi peningkatan tekanan air pori, sehingga untuk sementara mengurangi kekuatan geser tanah dan kapasitas daya dukung tiang. Setelah pemancangan, seiring dengan waktu tekanan air pori akan menurun (terdisipasi), yang menyebabkan naiknya kekuatan geser tanah dan daya dukung tiang. Efek tersebut disebut pemadatan tanah (soil preeze) seperti dijelaskan di atas, akan tetapi dapat terjadi lebih cepat dibanding pada tanah lempung, karena permeabilitas lanau lebih besar.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah akan meneliti sejauh mana besarnya desakan tanah akibat efek suatu pemancangan tiang terhadap pergerakan turap atau pada tanah lunak.

Pergerakan lateral pada tanah

Data dari eksperimen tentang pergerakan tanah yang timbul akibat dari pemancangan tiang dalam model test telah dilakukan oleh Francescon(1983) dan Steenfelt et al. (1981). Tes tersebut menunjukkan pengukuran gerakan horizontal di sekitar tiang pada saat pemancangan kedalam tanah lempung jenuh, sesuai dengan prediksi dari teori ekspansi rongga silinder. Hal tersebut juga

menunjukkan dengan modifikasi yang sederhana dari teori tersebut, bisa digunakan untuk tiang pancang selain dari perpindahan tiang maksimum, misalnya pemancangan pada tiang pipa baja. Persamaan berikut untuk perpindahan radial ρ_r , di usulkan oleh carter dkk (1979) :

$$\rho_r = (r^2 + \beta r_0^2)^{1/2} - r \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

r = jarak radial dari titik pemancangan

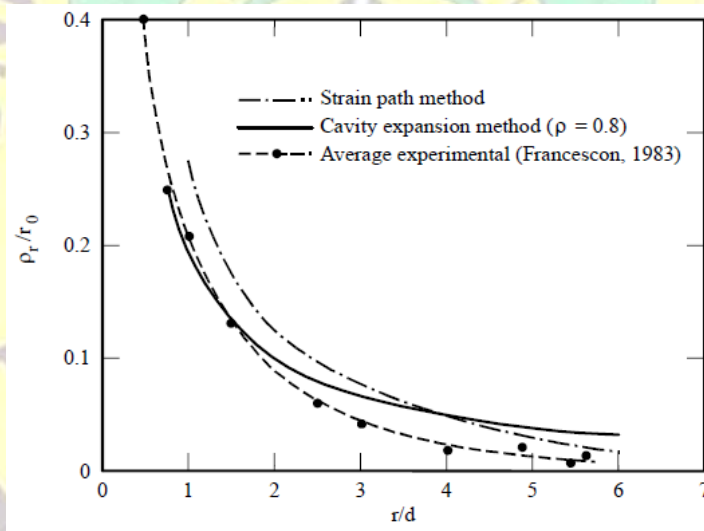
r_0 = adalah jari-jari dari titik pemancangan

β = rasio perpindahan yang merupakan rasio bersih terhadap luas kotor (brutto) pada daerah pemancangan ($\beta = 1$ untuk solid pile), Francescon (1983) menemukan bahwa nilai $\beta = 0,8$ memberikan hasil yang sesuai dengan data model laboratorium pada yang dilakukannya.

Meskipun telah berhasil menghitung gerakan radial tanah dengan persamaan (1), di dalam memprediksi gerakan horizontal pada tanah, setidaknya terdapat dua keterbatasan

1. Hanya berlaku untuk titik-titik dalam tanah pada elevasi yang sama dengan bagian dari tiang yang sudah di pancang (yaitu dimana model ekspansi ronggasilinder bisa relevan)
2. Tidak memberikan prediksi gerakan vertikal tanah.

Gambar. 1 membandingkan perkiraan perpindahan tanah dalam arah radial dari solusi Baligh dan dari solusi perluasan rongga (pers.1) dengan data rata-rata eksperimental model pile tes dilakukan oleh Francescon (1983).



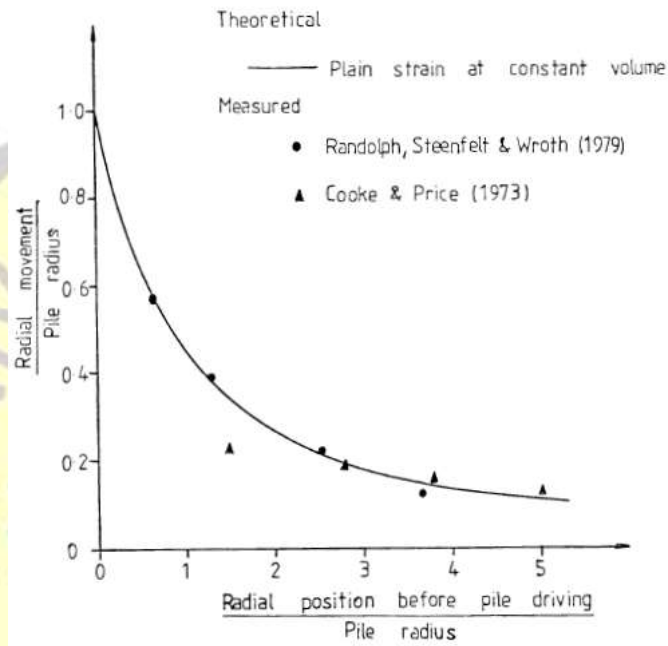
Gambar 1. Perpindahan radial dalam tanah akibat pemancangan tiang, (Poulos 1994)

Pergerakan lateral juga di teliti oleh Hagerty dan Peck (1971) serta Adam dan Hanna (1971) akan tetapi tidak ada penekanan khusus yang diberikan pada efek ini. Adam dan Hanna (1971) mengamati terjadinya gerakan lateral yang cukup kecil pada permukaan tanah yang terjadi pada jarak 5 feet (1.5 meter) dari ujung grup tiang H .

Pergerakan lateral tanah ketika sebuah tiang terangkat pada london clay, dilaporkan oleh Cooke dan Price (1973). Probe horizontal dipasang 2 meter dibawah permukaan tanah yang digunakan untuk mengukur gerakan. Ekstrapolasi dari hasil tersebut menunjukkan beberapa pergerakan horisontal tiang terjadi dengan jarak 8 kali radius tiang dari as tiang. Perbandingan hasil pengukuran dan teoritis, pergerakan tanah secara radial selama pemancangan (gambar. 2) dilakukan oleh Randolph, Carter dan

Wroth (1979) . Mereka menggunakan model tiang dari Randolph, Steenfelt dan Wroth (1979) untuk mengukur pergerakan radial pada tanah, bersamaan dengan beberapa pengukuran yang dilakukan oleh Cooke dan Price (1979). Kedua set data cocok dengan prediksi teoritis dengan mengasumsikan “plan strain” dan terjadi deformasi secara radial pada volume konstan yang dinyatakan oleh Randolph, Steenfelt dan Wroth (1979). Perpindahan radial, v , partikel tanah pada jarak radial awal R , yang menjauh dari as tiang dengan ujung tertutup sebelum pemancangan diberikan oleh ,

$$\frac{v}{R_o} = \left[\left(\frac{R}{R_o} \right)^2 + 1 \right]^{1/2} - \frac{R}{R_o} \dots\dots\dots(2)$$



Gambar 2. Perbandingan antara hasil pengukuran dan teori, perpindahan radial tanah, (Randolph, Carter dan Wroth, 1979)

Dimana, R_o adalah radius luar dari tiang. Rasio area ρ , didefinisikan oleh Carter, Randolph dan Wroth (1980) sebagai berikut $1-(R_1/R_o)^2$, diaman R_1 adalah radius diameter dalam. Persamaan di atas kemudian di ubah untuk berbagai macam rasio luas, sebagai berikut,

$$\frac{v}{R_o} = \left[\left(\frac{R}{R_o} \right)^2 + \rho \right]^{1/2} - \frac{R}{R_o} \dots\dots\dots(3)$$

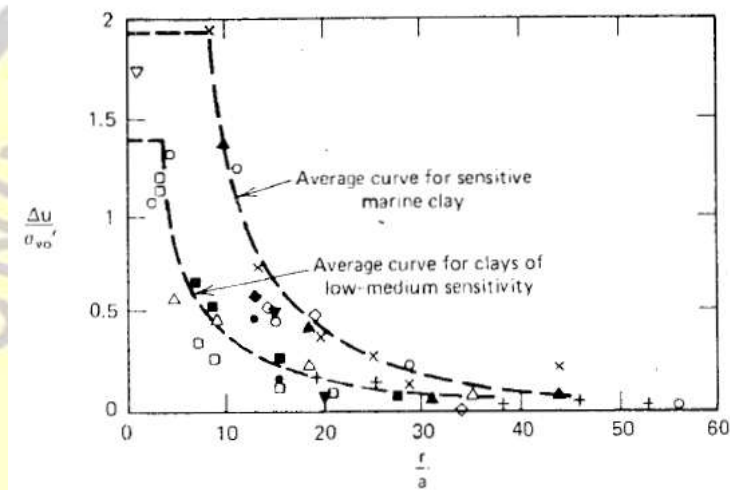
Untuk model dalam tes, digunakan dengan ujung tiang tertutup sehingga kurva teoritis di plot $\rho = 1$. Steenfelt, Randolph dan Wroth (1981) berusaha mencoba beberapa kajian di laboratorium yang canggih menggunakan teknik x-ray, untuk mengukur perpindahan tanah akibat instalasi tiang. Contoh tanah dengan perbedaan rasio overkonsolidasi dibuat dari kaolin speswhite. Contoh dibuat bermacam-macam dari tanah yang normal konsolidasi sampai yang over konsoidasi dengan rasio lebih dari 8. Pergerakan radial yang diakibatkan oleh pemancangan ditemukan sampai sekitar 12 radius tiang dari axis pada model pondasi tiang. Kondisi ini berlaku untk tiang tunggal.

Tekanan air pori yang timbul selama pemancangan.

Fenomena timbulnya (terjadinya) tekanan air pori akibat pemancangan telah lama dipelajari. Diketahui bahwa disipasi pada tekanan air pori merupakan faktor yang berpengaruh terhadap daya dukung pondasi. Poulos dan Davis (1980) telah menyajikan ringkasan terjadinya tekanan air pori eksek akibat pemancangan dari 11 kasus dilampirkan (lihat gambar 3)

Legend:

- Wallaceburg (Lo and Stermac, 1965)
- △ Ghost River (Lo and Stermac, 1965)
- Wabi River (Lo and Stermac, 1965)–(29 ft depth)
- Wabi Riber (Lo and Stermac, 1965)–(37 ft depth)
- × Marine Clay (Bjerrum and Johannessen, 1960)–(7.5 m depth)
- ▲ Marine Clay (Bjerrum and Johannessen, 1960)–(10 m depth)
- ▽ Firm Clay (Airhart et al., 1969)–(40 ft depth)
- + Boston Blue Clay (D'Appolonia and Lambe, 1970)
- Varved Clay (Soderman and Milligan, 1961)–(20 ft depth)
- ▼ Varved Clay (Soderman and Milligan, 1961)–(25 ft depth)
- ◇ Varved Clay (Soderman and Milligan, 1961)–(30 ft depth).



Gambar 3. Ringkasan pengukuran tekanan air pori (Poulos dan Davis, 1980)

Tekanan air pori eksek Δu dinyatakan tanpa dimensi $\Delta u / \sigma'_{vo}$, di mana σ'_{vo} adalah tegangan efektif vertikal in-situ sebelum pemancangan, sedangkan r jarak radial dari tiang, dan radius tiang dinyatakan dalam a . Terdapat titik-titik yang menyebar, di dalam gambar ini dihasilkan sebagian besar dari perbedaan jenis tanah, tekanan pori yang lebih besar dikaitkan dengan tanah yang lebih sensitif.

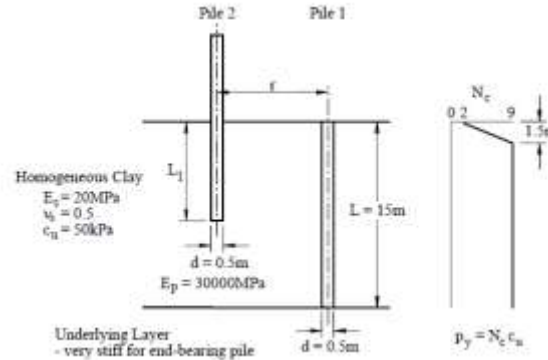
Disekitar tiang terjadi tekanan air pori eksek yang terjadi sangat besar. Dalam beberapa kasus, mendekati 1.5 sampai 2.0 kali tegangan efektif vertikal insitu.

Gambar 3. adalah indikasi untuk tanah lempung sensitif dari rendah sampai sedang (normal) melebihi jarak 4 kali radius tiang atau sekitar 8 kali radius tiang untuk tanah lempung sensitif dan terjadi penurunan pada tekanan air pori yang cepat, sehingga pada jarak 30 kali radius tiang tekanan air porinya kecil. Untuk tanah lempung sensitif, tekanan air pori eksek pada jari-jari yang besar, lebih kecil dari 12% dan tanah lempung sensitif rendah sampai sedang lebih kecil dari 6%.

Pemancangan yang berdekatan dengan tiang pancang eksisting

Pemancangan tiang akan menimbulkan perpindahan yang disebabkan oleh pergerakan tanah disekitar tiang. Gerakan-gerakan tersebut akan berinteraksi dengan tiang eksisting yang berada di dekatnya yang disebabkan oleh penambahan gaya, tekanan dan perpindahan pada tiang tersebut. Gambar 4. memperlihatkan masalah dasar yang harus dipertimbangkan, dengan tiang eksisting yang

berjarak r dari sumbu tiang yang baru dipancang. Dua tiang tersebut panjangnya 15 m dengan diameter 0.5 m. Diasumsikan dipancang sedalam 15 meter pada lapisan tanah lempung homogen dengan bagian ujung tiang berdiri pada lapisan lempung yang kaku. Tiang no 1 sudah selesai dipancang, sedang tiang no 2 sedang dipancang



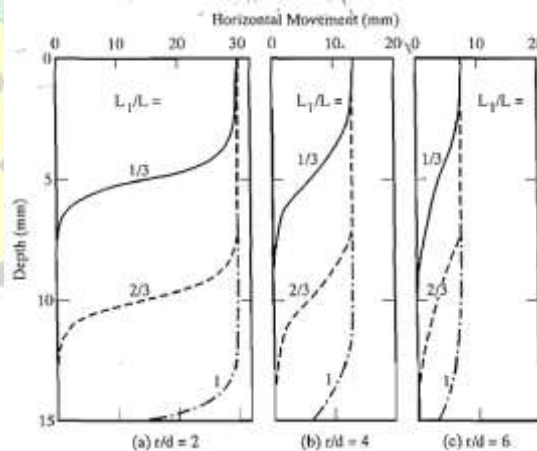
Gambar 4. Analisa masalah dasar, c_u : kuat geser undrained, E : Modulus young dari tiang, N_c : factor kapasitas daya dukung lateral, p_y : gaya tekan lateral ultimit, (Poulos)

Respon dari tiang

Poulos (1994) menyajikan serangkaian solusi untuk respon tiang pada saat pemancangan untuk satu atau lebih tiang yang berdekatan.

Gambar 5. menunjukan perhitungan gerakan horisontal akibat pemancangan nomor 2. Gambar tersebut menjelaskan, sebagai berikut

- (i) Pegerakan horisontal relatif seragam pada kedalaman sekitar $0.8L_1$, dimana L_1 adalah kedalam penetrasi tiang pada saat pemancangan.
- (ii) Pergerakan tanah dibawah ujung tiang menurun secara cepat sesuai dengan kedalamannya dan,
- (iii) Gerakan maksimum (yang diluar) tidak tergantung pada kedalam penetrasi dan menurun sesuai dengan jaraknya dari tiang.



Gambar 5. Perhitungan gerakan horisontal tanah akibat pemancangan tiang. $L=15$ meter; $d=0.5$ meter, (Poulos 1994)

Turap

Dinding turap adalah dinding vertikal relatif tipis yang berfungsi untuk menahan tanah juga berfungsi untuk menahan masuknya air ke dalam lubang galian . Karena pemasangan yang mudah dan biaya pelaksanaan yang relatif murah, turap banyak digunakan pada pekerjaan-pekerjaan, seperti: penahan tebing, galian sementara, bangunan-bangunan di pelabuhan, dinding penahan tanah, bendungan elak dan lain-lain.

METODA PENELITIAN

Metoda yang digunakan pada penelitian ini adalah berdasarkan metoda analitis. Pada metoda analitis, perhitungan besarnya desakan tanah akan dihitung dengan menggunakan program komputer plaxis.

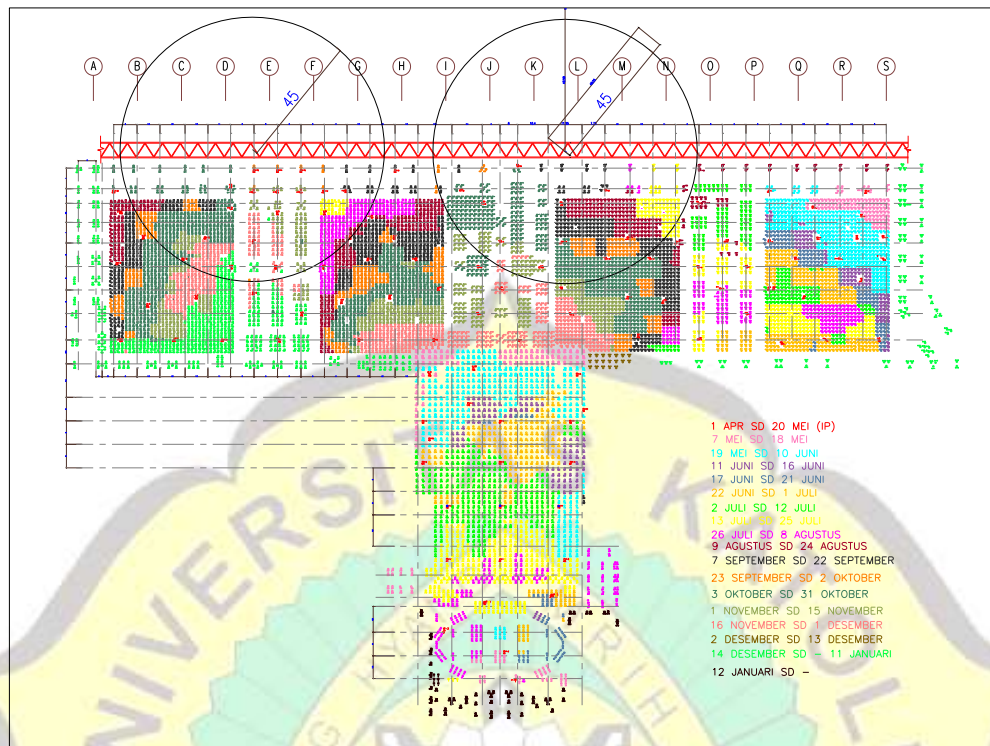
Dari hasil analisa perhitungan dengan program plaxis tersebut akan dibuat suatu pemodelan sehingga diperoleh gambaran besaran pergerakan dari turap tersebut. Pengaruh pemancangan diasumsikan dipengaruhi oleh displacement ratio (Rahardjo et al, 2013) yaitu perbandingan antara luas penampang tiang pancang dengan luas lingkaran dimana jari-jarinya sama dengan jarak tiang ke titik yang ditinjau.



Gambar 6. Ilustrasi definisi displacement ratio berdasarkan Rahardjo et al, 2013

Data pemancangan

Berdasarkan dari data pemancangan, dilakukan pemetaan titik pancang berdasarkan waktu pelaksanaan pemancangan di lapangan, seperti gambar dibawah ini,



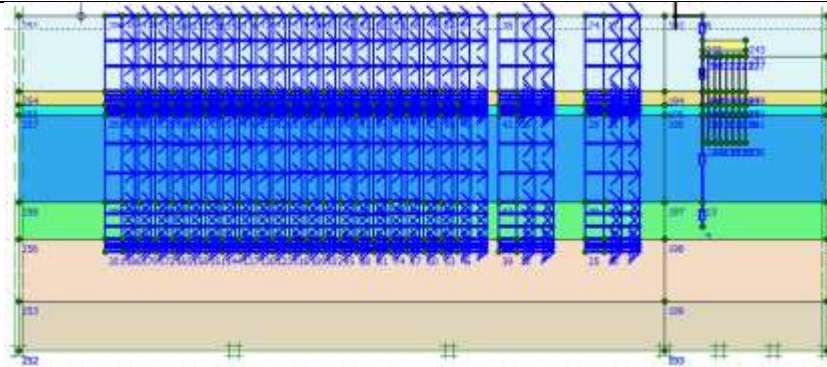
Gambar 7. Lay out pemancangan berdasarkan waktu

Dari data pemancangan diasumsikan tiang pancang yang menyebabkan penggerak tanah adalah pada radius kira-kira 45 meter, sehingga untuk analisa perhitungan pada metoda analisis digunakan tiang pancangan pada radius 45 meter.

Metoda Analitis

Pada metoda analisis untuk analisisnya akan digunakan program Plaxis, dan untuk pemodelan dalam analisis ini akan menggunakan Model Mohr-Coulomb dimana model tersebut adalah model elastis-plastis yang terdiri dari lima buah parameter, yaitu E dan ν untuk memodelkan elastisitas tanah; ϕ dan c untuk memodelkan plastisitas tanah dan ψ sebagai sudut dilatasi. Model Mohr-Coulomb merupakan suatu pendekatan "ordo pertama" dari perilaku tanah atau batuan.

Geometri model dapat dilihat pada gambar 3.25. Model plaxis dibuat dengan dimensi 27 x 65 meter, menggunakan model plan strain dengan elemen 15 titik nodal yang dimodelkan dengan regangan bidang. Satuan yang digunakan untuk panjang, gaya dan waktu adalah m, kN dan hari. Geometri penuh digambarkan dengan menggunakan pilihan garis geometri. Untuk model sheet pile dimodelkan sebagai pelat dengan menggunakan angkur dan dibagian depan sheet pile terdapat cerucuk, matras bambu dan batu, untuk pemodelannya cerucuk dimodelkan sebagai node to node anchor dan untuk matras bambu dan batu dimodelkan sebagai cluster, sedangkan pemancangan tiang dilakukan dengan urutan dari belakang ke depan (dari darat ke arah laut) yaitu dengan memberikan perpindahan tertentu sebesar 20 cm disepanjang kedalaman tiang. Jepit standar digunakan untuk mendefinisikan kondisi batas.

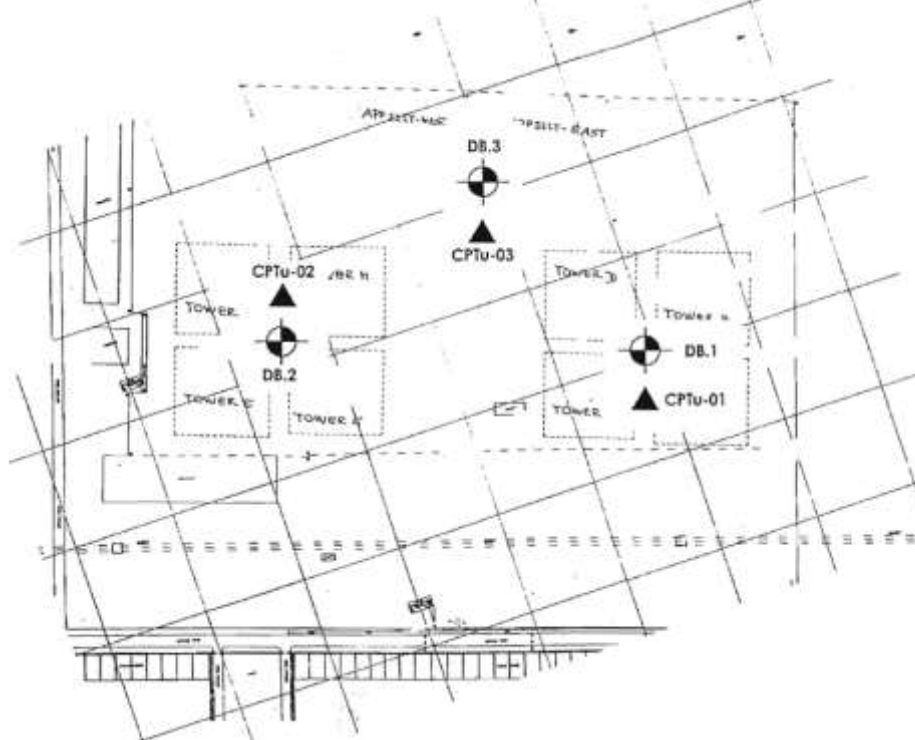


Gambar 8. Pemodelan Plaxis

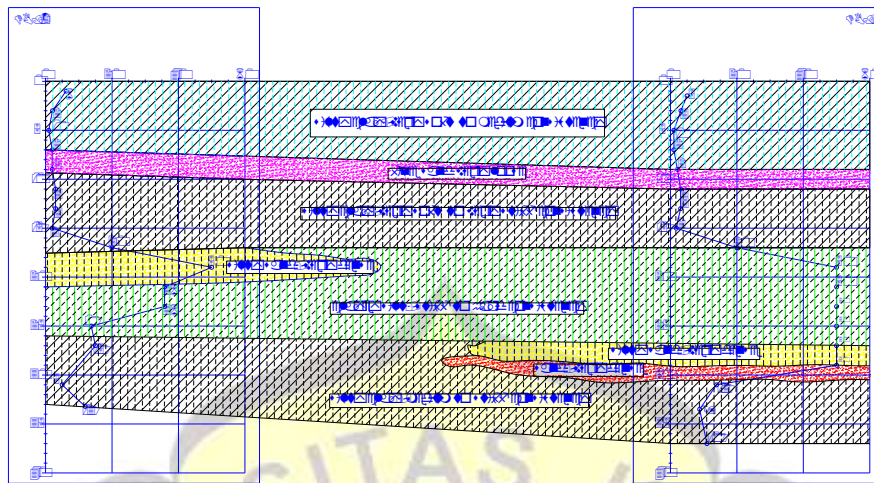
HASIL DAN PEMBAHASAN

Metoda Analitis

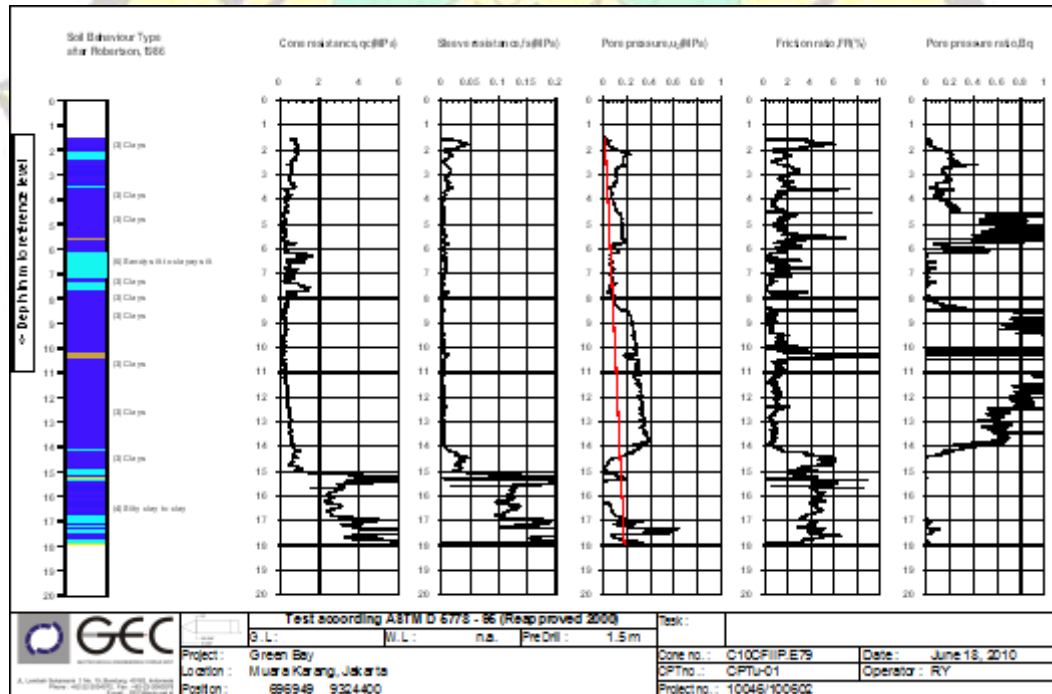
Pada proyek ini dilakukan penyelidikan tanah berupa pemboran teknis (bor dalam) dengan SPT (standard penetration test) dan uji CPTu, masing-masing sebanyak 3 buah pengujian.



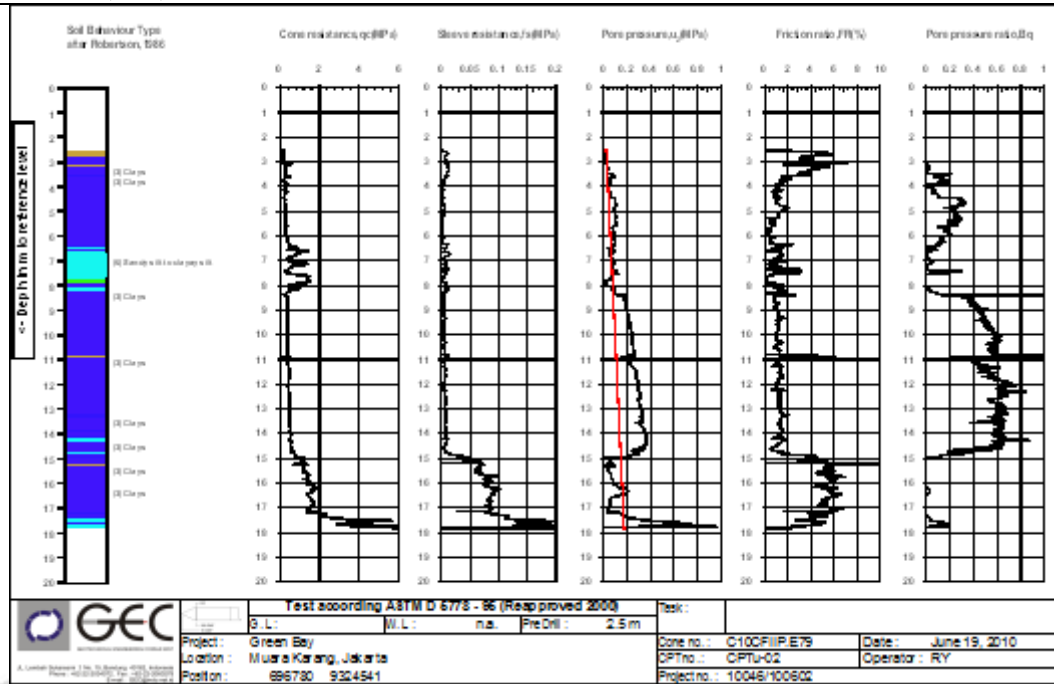
Gambar 9. Titik lokasi penyelidikan tanah



Gambar 10. Perkiraan pelapisan tanah dan SPT DB1 dan DB2



Gambar 11. CPTu-1

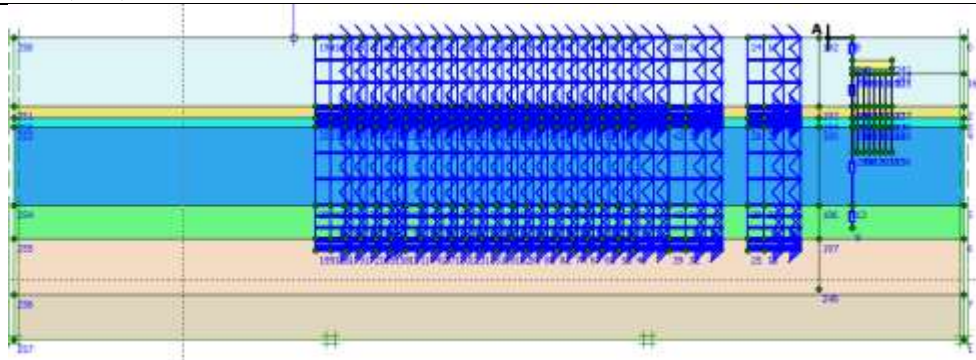


Gambar 12. CPTu-2

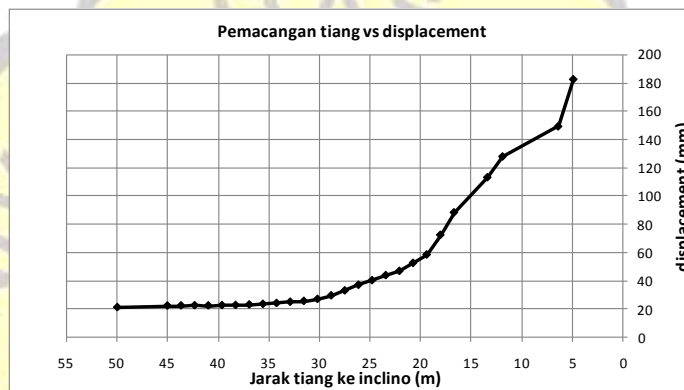
Perhitungan displacement dan heave untuk data tanah pada CPTu-01 dan DB-1

Tabel 1. Parameter tanah

Depth [m]	CPTu	qc [MPa]	soil type	su [kN/m ²]	ϕ	E [3000kN/m ²]	ν [pore pressure ratio]	f [kN/m ²]	ku [kN/m ²]	ky [kN/m ²]
0.00		0.45	clay 1	28.13	-	8437.50	0.35	1.47	0.000004	0.000004
0.10		0.68	slightly silt to clay silt	17.30	-	7054.55	0.30	1.50	0.000000	0.000000
7.50		0.70	clay 2	47.50	-	14250.00	0.35	1.51	0.000004	0.000004
8.00		0.4	clay 3	25.00	-	7500.00	0.35	1.47	0.000004	0.000004
15.00		3.91	silty clay to clay	244.30	-	73312.50	0.20	1.85	0.000004	0.000004
18.00	40		Clayey silt 1	260.00	-	70000.00	0.20	2.25	0.000000	0.000000
23.00	50		Clayey silt 2	325.00	-	57500.00	0.20	2.30	0.000000	0.000000
27.00			Blank		10	1700.00	0.3	0.05	0.000000	0.000000

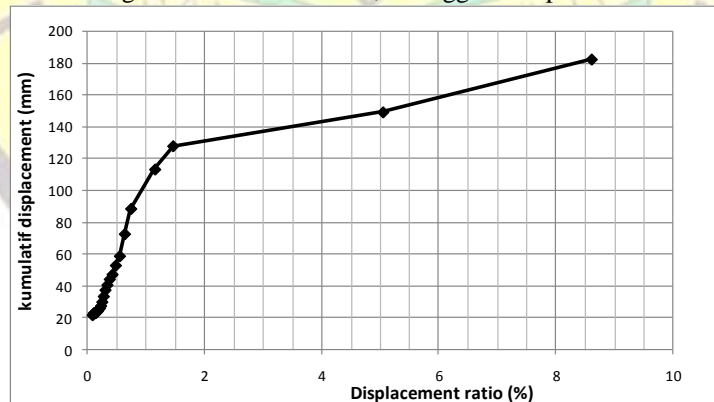


Gambar 13. Titik peninjauan displacement dan heave pada titik A

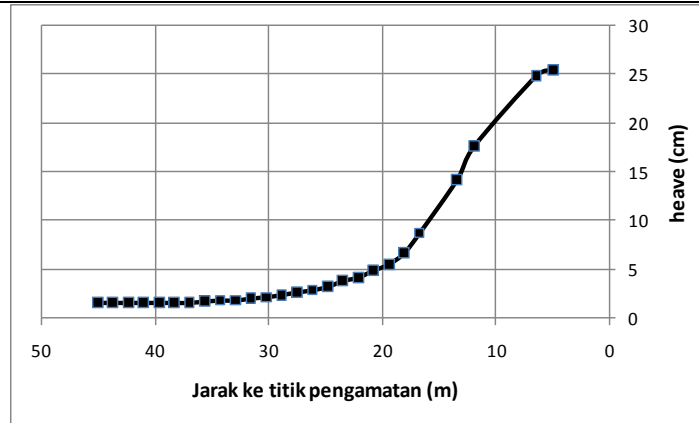


Gambar 14. Pemancangan tiang vs displacement pada titik A (berdasarkan analisis MEH)

Dibawah ini adalah gambar displacement ratio dengan asumsi panjang yang berpengaruh adalah 45 meter dan jarak antar tiang 2.5 D atau 1.25 meter, sehingga didapat 26 baris tiang pancang,



Gambar 15. Displacement ratio vs displacement pada titik A (berdasarkan analisis MEH)

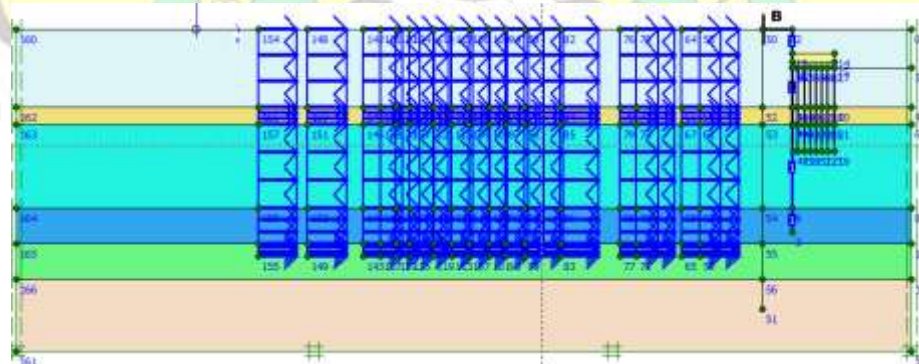


Gambar 16. Pemancangan tiang vs heave pada titik A (berdasarkan analisis MEH)

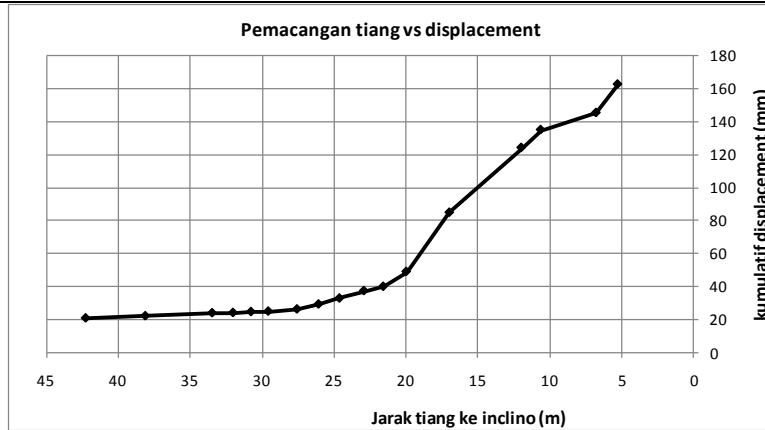
Perhitungan displacement dan heave untuk data tanah pada CPTu-02 dan DB-2

Tabel 2. Parameter tanah

Depth (m)	SPT (blows)	qc (kN/m ²)	soil type	su (kN/m ²)	ϕ	E (100kN/m ²)	v (poulos ratio)	γ (kN/m ³)	ku (kN/m ²)	kv (kN/m ²)
0.00		0.34	clay 1	21.25	-	6375.00	0.35	1.46	0.00064	0.00064
6.05		0.9	clay 2		17.7136	7704.55	0.30	1.52	0.264000	0.264000
7.45		0.59	clay 3	36.28	-	11062.50	0.35	1.49	0.00064	0.00064
15.00		5.13	Clayey silt to silty clay	320.63	-	96187.50	0.35	1.99	0.00064	0.00064
18.00	35		Silty Sand	227.50	-	62750.00	0.20	2.25	0.003640	0.264000
21.00	50		Clayey silt	325.00	-	97500.00	0.20	2.36	0.003640	0.003640
27.00										

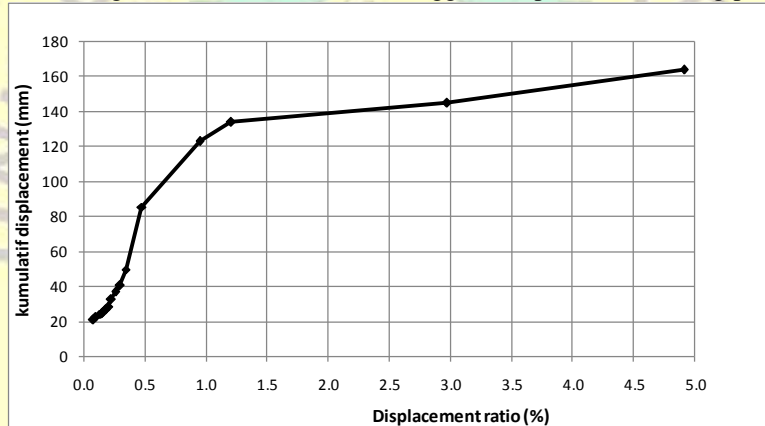


Gambar 17. Titik peninjauan displacement dan heave pada titik B

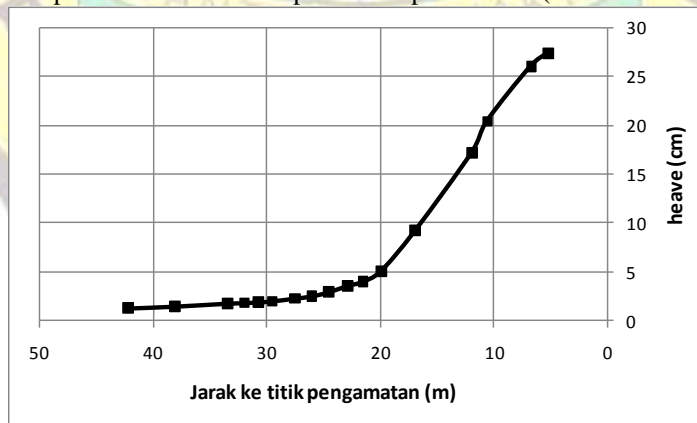


Gambar 18. Pemancangan tiang vs displacement pada titik B (berdasarkan analisis MEH)

Di bawah ini adalah gambar displacement ratio dengan asumsi panjang yang berpengaruh adalah 45 meter dan jarak antar tiang 2.5 D atau 1.25 meter, sehingga didapat 17 baris tiang pancang.



Gambar 19. Displacement ratio vs displacement pada titik B (berdasarkan analisis MEH)



Gambar 20. Pemancangan tiang vs heave pada titik B (berdasarkan analisis MEH)

KESIMPULAN

Dengan konfigurasi pemancangan tiang pada penelitian ini maka :

1. Berdasarkan dari perhitungan metoda analisis dengan menggunakan MEH untuk data tanah pada CPTu-1 dan DB-1, pergerakan tanah mulai meningkat pada saat pemancangan jarak 30 meter terhadap posisi di titik A, dengan displacement maksimum 18.25 cm sehingga menyebabkan pergerakan pada shet pile.
2. Berdasarkan hasil perhitungan metoda analisis dengan menggunakan MEH untuk data tanah CPTu-1 dan DB-1, terjadi heave yang mulai meningkat cukup signifikan pada jarak 20 meter terhadap posisi titik A dengan nilai maksimum 25.51 cm
3. Berdasarkan dari perhitungan metoda analisis dengan menggunakan MEH untuk data tanah pada CPTu-2 dan DB-2, pergerakan tanah mulai meningkat pada saat pemancangan jarak 20 meter terhadap posisi di titik B, dengan displacement maksimum 16.23 cm sehingga menyebabkan pergerakan pada shet pile.
4. Berdasarkan hasil perhitungan metoda analisis dengan menggunakan MEH untuk data tanah CPTu-2 dan DB-2, terjadi heave yang mulai meningkat pada jarak 20 meter terhadap posisi titik B dengan nilai maksimum 27.50 cm



DAFTAR PUSTAKA

- Clark, J.I and Meyerhof, G. G. June 22, 1972, "The Behavior of Piles Driven in Clay. I. An Investigation of Soil Stress and Pore Water Pressure as Related to Soil", Can Geotech J.
- Cooke, RW and Price, G 1973. "Strains and displacements around friction pile ". Proceedings of the 8th . International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Moscow, Vol. 2.1, pp 53-60.
- Francescon, M. 1983. "Model pile tests in clay: stresses and displacements due to installation and axial loading". Ph.D. thesis, Cambridge University, Cambridge, U.K.
- GEC Unpar 2008, "Penyelidikan Geoteknik dengan uji in-situ", editor Prof Paulus Pramono Rahardjo Ph.D, diktat kuliah.
- Gue, See Sew 1984. "Ground Heave Around Driven Pile in Clay.", Thesis of Doctor Philosophy at University Oxford
- Hagerty, D.J., and Peck, R.B. 1971. "Heave and lateral movements due to pile driving. ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division", 97(SM11): 15 13-1532.
- Plaxis B.V, Tutorial Manual Version 8.
- Poulos, H.G and Davis, E.H 1980. "Pile Foundations Analysis and Desain". Newyork, John Wiley.
- Poulos, H.G, 1994, "Effect of pile driving on adjacent piles in clay" .Can. Geot. Jnl, Vol. 31, No. 6, 856-867
- Poulos, H.G 2005, "The Influence of Construction Side Effects On Existing Pile Foundations", Geotechnical Engineering 36(1) : 51-67
- Rahardjo P P, 2013, "Potential Damage of Buildings and Other Infrastructures Due To Excess Pore Pressures and Ground Movement During Pile Instalation in Soft Soil." editor Depankar Choudhury dan Budijanto Widjaja, Peceedings of the international conference on "State pile driving on adjacent of the art of pile foundation and pile case histories.
- Sardjono, HS 1984, Pondasi tiang pancang, Sinar Wijaya Surabaya.
- SNI 3404 2008. "Tata cara pemasangan inclinometer dan pemantauan pergerakan horizontal tanah" , Badan Standarisasi Nasional.
- Swan, C.C, "Changes in Soil During Pile Driving". Instructor, 53:139 Foundation Engineering The University of Iowa.
- Vesic, A. S 1972. "Experiment with Instrumented Pile Group Sand." ASTM, STP 444: 177 -222.
- Wesley Laurence D, 2010, "Fundamental of soil mecjanic for sedimentary and residual soils", John Wiley & Sons, Inc.