

PREDIKSI SETTLEMENT PONDASI TIANG CARA HAND METHOD VS PILE DRIVING ANALYSIS (PDA) DI KOTA PALEMBANG

Livian Teddy

Praktisi & Dosen Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Palembang

Abstract — Foundation reduction calculation end bearing and friction pilehand Boussinesq theory based simplification method soil mechanics theory . To determine the level of accuracy of the hand calculation method is compared with a decrease pole PDA Test results . Assuming the existence of a positive correlation between the decrease in mast StaticLoad Test results and PDAs Test , so that the settlement can be considered to replace the PDA Test results of settlement of Static Load Test.

Comparison reduction method borepilehand foundation Boussinesq theory and PDAs Test performed 3 locations in the city of Palembang hand calculation method showed moderate Boussinesq theory can predict a decline in the third pile location . Besides practical calculations are based on the settlement pole ultimate load reduction column so each column can be estimated so that the differential settlement can be predicted

Keywords : PDA , Static Load Test , settlement , differential settlement , hand method , the Boussinesq

Abstrak — Perhitungan penurunan pondasi end bearing dan friction pilehand method teori Boussinesq didasarkan penyederhanaan teori mekanika tanah. Untuk mengetahui tingkat keakurasian perhitungan hand method ini diperbandingkan dengan penurunan tiang hasil PDA Test. Dengan asumsi dengan adanya korelasi positif antara penurunan tiang hasil StaticLoad Test dan PDA Test, sehingga hasil settlement PDA Test dapat dianggap menggantikan hasil settlement dari Static Load Test.

Perbandingan penurunan pondasi borepile hand method teori Boussinesq dan PDA Test yang dilakukan 3 lokasi di Kota Palembang menunjukkan perhitungan hand method teori

Boussinesq secara moderat dapat memprediksi penurunan pondasi tiang di ketiga lokasi. Selain itu perhitungan praktis settlement tiang ini didasarkan pada beban ultimit kolom sehingga penurunan masing-masing kolom dapat estimasi sehingga differential settlement dapat diprediksi

Kata Kunci : PDA, Static Load Test, settlement, differential settlement, hand method, Boussinesq

1. PENDAHULUAN

Poulos (1989), untuk mengestimasi penurunan pondasi tiang dapat diklasifikasi dalam 3 kategori : a). Metode empirik, pada umumnya tidak didasarkan prinsip-prinsip mekanika tanah, b). Metode *hand analysis* (praktis), didasarkan pada prinsip-prinsip mekanika tanah tetapi dengan menggunakan penyederhanaan teori, c). metode *computer analysis*, didasarkan pada prinsip-prinsip mekanika tanah dan pada umumnya untuk menyelesaikan masalah-masalah khusus di lapangan.

Pada tulisan ini akan membandingkan penurunan pondasi tiang hasil metode empirik (PDA Test) dan metode praktis berdasarkan teori Canonica (1991) dan Wesley (2012) yang diterapkannya untuk tanah di Indonesia. Untuk data-data *Conus Penetration Test* (CPT) hasil *soil investigation* dan data-data PDA Test di dapatkan dari beberapa proyek di Kota Palembang.

Salah satu metode empirik yang terpercaya untuk menghitung kapasitas daya dukung dan penurunan pondasi tiang yaitu *load test* (tes beban skala penuh) tetapi memiliki beberapa kekurangan yaitu membutuhkan biaya yang besar, waktu yang relatif lama dan bahaya bagi pekerja karena tumpukan blok-blok beton yang digunakan untuk pengujian (Setio dkk, 2000). Untuk mengatasi hal tersebut kini berkembang uji beban dinamis *High Strain Dynamics Pile Tests* (HSDPT) atau sering disebut *Pile Driving Analyzer* (PDA) Test. Uji

beban dinamis memiliki beberapa keuntungan antara lain (Mhaiskar dkk, 2010 dan Vaidya dkk, 2006) : dalam satu hari dapat dilakukan test beberapa tiang sehingga menghemat waktu, HSDPT membutuhkan ruang relatif kecil, mengevaluasi daya dukung dan integritas struktural tiang, dan mengevaluasi penurunan (*settlement*) tiang.

Banyak studi yang dilakukan yang tidak hanya membandingkan daya dukung batas (*ultimate*) hasil *Static Load Test* dan *PDA Test* tetapi juga *settlement* pondasi tiang hasil *Static Load Test* dan *PDA Test* seperti Goldemberg, Hernán & Goldemberg, Juan J (2000), H. Hussein & T. Slash (2009), Mhaiskar dkk (2010), Basarkar dkk (2011). Dari hasil studi tersebut memperlihatkan korelasi yang positif tidak hanya antara daya dukung batas pondasi tiang hasil *Static Load Test* dan *PDA Test* tetapi juga *settlement* yang dihasilkan kedua tes tersebut. Dengan korelasi yang positif ini, diasumsikan hasil *settlement* *PDA Test* dapat dianggap menggantikan hasil *settlement* dari *Static Load Test* sehingga nantinya digunakan untuk dibandingkan dengan hasil perhitungan *settlement* pondasi tiang metode *hand analysis*.

2. Teori tentang PDA dan Output PDA

Pengujian tiang cara dinamis dilakukan dengan menempatkan 2 pasang sensor secara berlawanan. Satu pasang sensor terdiri dari pengukur regangan (*strain transducer*) dan pengukur percepatan (*accelerometer*) yang dipasang dibawah kepala tiang (minimum jarak dari kepala tiang ke transducer $1,5D - 2D$, dimana D adalah diameter tiang) sehingga ada jarak bebas pada saat tumbukan.

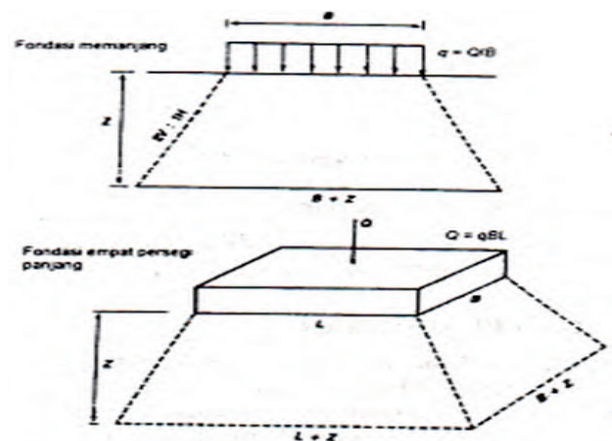
Akibat tumbukan hammer pada kepala tiang, sensor akan menangkap gerakan yang timbul dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang kemudian di rekam dan diproses dengan *Pile Driving Analyzer* (PDA) model PAX. Hasil rekaman PDA dianalisa lebih lanjut dengan *software* CAPWAP.

CAPWAP (*Case Pile Wave Analysis Program*) adalah program aplikasi analisa numerik yang menggunakan masukan data gaya (*force*) dan kecepatan (*velocity*) yang diukur oleh PDA. Kegunaan program ini adalah untuk memperkirakan distribusi dan besarnya gaya perlawanan tanah total sepanjang tiang

berdasarkan modelisasi sistem tiang-tanah yang dibuat dan memisahkannya menjadi bagian perlawanan dinamis dan statis. Output yang dihasilkan CAPWAP antara lain : daya dukung aksial tiang (R_u - ton), integritas tiang / keutuhan tiang (BTA - %) dan penurunan maksimum tiang (D_x - mm). Yang terakhir ini, nantinya akan dibandingkan dengan perhitungan *settlement* pondasi tiang metode *hand analysis*.

3. Teori Perhitungan Penurunan Pondasi Tiang

Perhitungan *settlement* pondasi tiang yang dikembangkan oleh Canonica (1991) dan Wesley (2012), didasarkan atas *teori Boussinesq*. Metode ini merupakan salah satu cara pendekatan yang sangat sederhana untuk menghitung penyebaran tegangan akibat pembebanan. Caranya dengan membuat garis penyebaran beban $2V : 1H$. Dalam cara ini, beban pondasi Q dianggap didukung piramid yang mempunyai kemiringan sisi $2V : 1H$ (Hary, 2002)

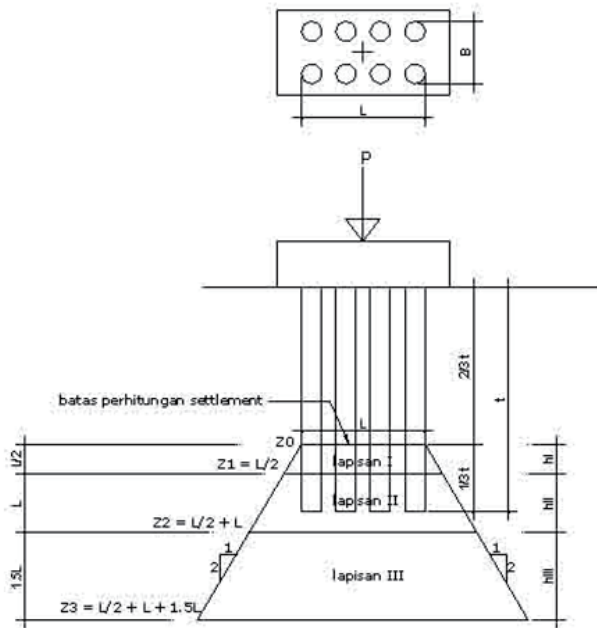


Gambar 1. Cara Penyebaran Tegangan $2V:1H$ (Hary, 2002)

Teori Boussinesq ini kemudian dikembangkan oleh Canonica (1991) dan Wesley (2012) untuk menghitung penurunan pondasi kelompok tiang yaitu :

1. *Settlement* pada *End Bearing Pile*

Pada perhitungan *settlement* kelompok tiang dengan tahanan ujung (*end bearing pile*) tegangan pada tanah akibat berat bangunan dapat diperhitungkan merata pada kedalaman $2/3 t$ (panjang tiang) dan disebarkan dengan sudut penyebaran $2V : 1H$. Pembagian lapisan tanah dibawah garis batas Z_0 sampai dengan Z_3 didasarkan nilai tegangan pondasinya kurang dari 20% atau lebih.



Gambar 2. Diagramatik Penurunan Kelompok End Bearing Pile

$$Z_0 = 0 \quad \rightarrow \Delta\sigma_{Z_0} = \frac{P}{(B + Z_0)(L + Z_0)}$$

$$Z_1 = L/2 \quad \rightarrow \Delta\sigma_{Z_1} = \frac{P}{(B + Z_1)(L + Z_1)}$$

$$Z_2 = L/2 + L \quad \rightarrow \Delta\sigma_{Z_2} = \frac{P}{(B + Z_2)(L + Z_2)}$$

$$Z_3 = L/2 + L + 1,5L \quad \rightarrow \Delta\sigma_{Z_3} = \frac{P}{(B + Z_3)(L + Z_3)}$$

$$\text{Lapisan I (} h_I \text{)} \quad \rightarrow \Delta\bar{\sigma}_{Z_I} = (\Delta\sigma_{Z_0} + \Delta\sigma_{Z_1})/2$$

$$\text{Lapisan II (} h_{II} \text{)} \quad \rightarrow \Delta\bar{\sigma}_{Z_{II}} = (\Delta\sigma_{Z_1} + \Delta\sigma_{Z_2})/2$$

$$\text{Lapisan III (} h_{III} \text{)} \quad \rightarrow \Delta\bar{\sigma}_{Z_{III}} = (\Delta\sigma_{Z_2} + \Delta\sigma_{Z_3})/2$$

$$\text{Penurunan lapisan I} \quad : \frac{\Delta\bar{\sigma}_{Z_I}}{E_I} \times h_I = \Delta h_I$$

$$\text{Penurunan lapisan II} \quad : \frac{\Delta\bar{\sigma}_{Z_{II}}}{E_{II}} \times h_{II} = \Delta h_{II}$$

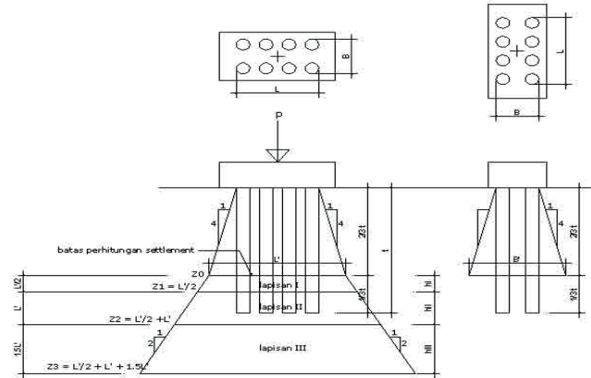
$$\text{Penurunan lapisan III} \quad : \frac{\Delta\bar{\sigma}_{Z_{III}}}{E_{III}} \times h_{III} = \Delta h_{III}$$

$$\text{Penurunan total} = \Delta h_I + \Delta h_{II} + \Delta h_{III}$$

2. Settlement pada Friction Pile

Pada perhitungan settlement kelompok tiang dengan tahanan friksi (*friction pile*), pondasi tersebut dianggap ekuivalen dengan pondasi tanpa tiang pada kedalaman $2/3t$ dimana t adalah panjang tiang yang menyalurkan beban tiang tersebut ke dalam tanah melalui gesekan kulit.

Dianggap pada jarak tersebut beban disebarakan oleh tiang melalui gesekannya pada sudut $4V : 1H$. Selanjutnya disebarakan dengan sudut penyebaran $2V : 1H$. Pembagian lapisan tanah dibawah garis batas Z_0 sampai dengan Z_3 didasarkan nilai tegangan pondasinya kurang dari 20% atau lebih.



Gambar 3. Diagramatik Penurunan Kelompok Friction Pile

$$Z_0 = 0 \quad \rightarrow \Delta\sigma_{Z_0} = \frac{P}{(B' + Z_0)(L' + Z_0)}$$

$$Z_1 = L'/2 \quad \rightarrow \Delta\sigma_{Z_1} = \frac{P}{(B' + Z_1)(L' + Z_1)}$$

$$Z_2 = L'/2 + L' \quad \rightarrow \Delta\sigma_{Z_2} = \frac{P}{(B' + Z_2)(L' + Z_2)}$$

$$Z_3 = L'/2 + L' + 1,5L' \quad \rightarrow \Delta\sigma_{Z_3} = \frac{P}{(B' + Z_3)(L' + Z_3)}$$

$$\text{Lapisan I (} h_I \text{)} \quad \rightarrow \Delta\bar{\sigma}_{Z_I} = (\Delta\sigma_{Z_0} + \Delta\sigma_{Z_1})/2$$

$$\text{Lapisan II (} h_{II} \text{)} \quad \rightarrow \Delta\bar{\sigma}_{Z_{II}} = (\Delta\sigma_{Z_1} + \Delta\sigma_{Z_2})/2$$

$$\text{Lapisan III (} h_{III} \text{)} \quad \rightarrow \Delta\bar{\sigma}_{Z_{III}} = (\Delta\sigma_{Z_2} + \Delta\sigma_{Z_3})/2$$

$$\text{Penurunan lapisan I} \quad : \frac{\Delta\bar{\sigma}_{Z_I}}{E_I} \times h_I = \Delta h_I$$

$$\text{Penurunan lapisan II} \quad : \frac{\Delta\bar{\sigma}_{Z_{II}}}{E_{II}} \times h_{II} = \Delta h_{II}$$

$$\text{Penurunan lapisan III} \quad : \frac{\Delta\bar{\sigma}_{Z_{III}}}{E_{III}} \times h_{III} = \Delta h_{III}$$

$$\text{Penurunan total} = \Delta h_I + \Delta h_{II} + \Delta h_{III}$$

Poulos (1992), untuk memprediksi penurunan pondasi tiang, kunci parameter geoteknikal yang dibutuhkan adalah *Modulus Young / modulus deformasi tanah* (E). *Parameter modulus young* (E) tanah, didapatkan dari hasil uji triaksial, *konsolidasi*, *oedometer* dan lain-lainnya. Atau bisa juga korelasi antara *Young Modulus* (E)

dengan *Conus Penetration Test* (CPT) seperti tabel dibawah ini :

TABEL 1.
TABEL KORELASI NILAI YOUNG MODULUS
DAN CPT (SUMBER : POULOS, 1992)

SOIL TYPE	CORRELATION	REMARKS
Clays & Silts	$E_s = 21.0q_c^{1.09}$	Various pile types E_s & q_c in MN/m^2
	$E_s = 15q_c$	
Silica Sands	$E_s = \alpha q_c$	$\alpha = 20-40$ E_s & q_c in MN/m^2 Dynamic modulus value
	$E_{st} = 53q_c^{0.61}$	
Unspecified	$E_{st} = \alpha q_c$	$\alpha = 24-30$ Dynamic modulus value
	$E_s = 10.8 + 6.6q_c$	

Notes: E_s = secant Young's modulus
 E_{st} = initial tangent Young's modulus.

Rumus settlement pondasi tiang diatas, didasarkan atas penurunan tiang kelompok. Untuk mendapatkan penurunan tiang tunggal dapat digunakan settlement ratio method :

$$S_g = R_s \cdot S_1$$

S_g = Penurunan kelompok tiang
 R_s = Rasio penurunan
 S_1 = penurunan tiang tunggal

Sedangkan :

$$R_s = n$$

Dimana :

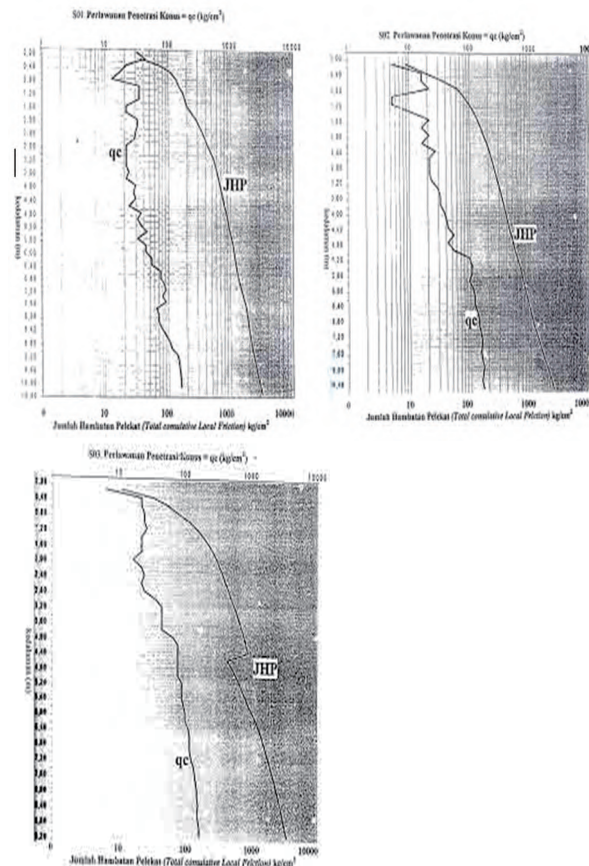
n = jumlah tiang
= eksponen, umumnya antara 0,2 – 0,6

Poulos (1989), menyarankan angka untuk tujuan praktis yaitu :

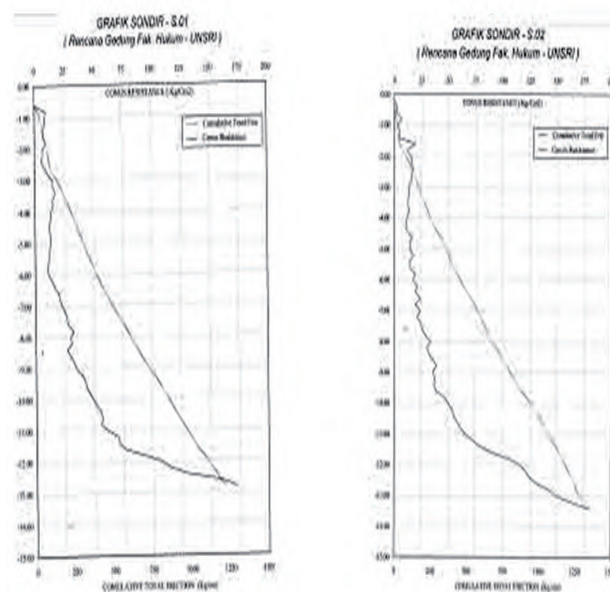
- pondasi tiang di lempung : = 1/2
- pondasi tiang di pasir : = 1/3

Data Conus Penetration Test (CPT), Boring Log dan Pile Driving Analysis (PDA) test

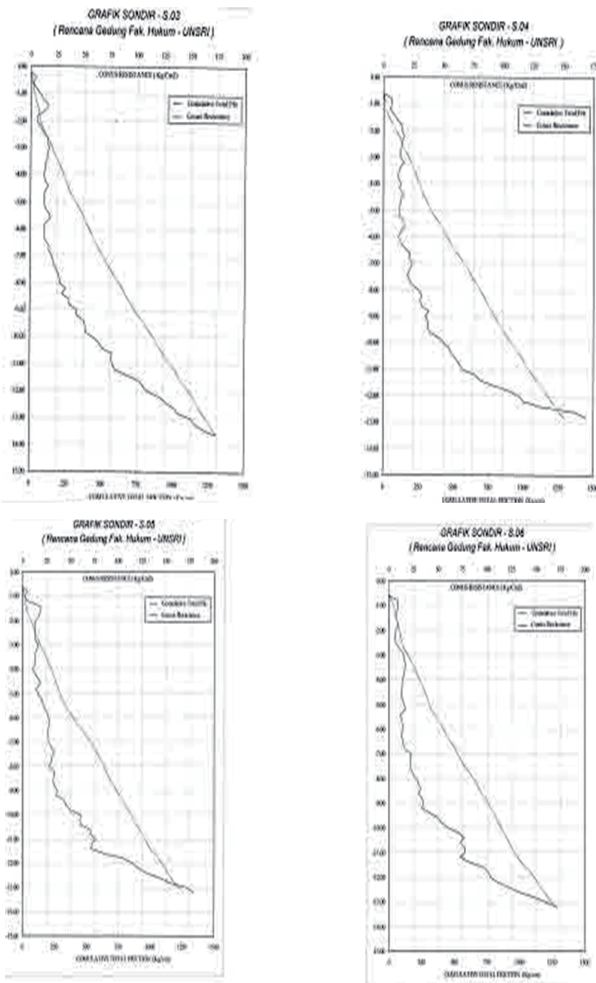
1. Data CPT Lokasi Demang Lebar Daun (Gedung Rawat Inap RS. Bunda)



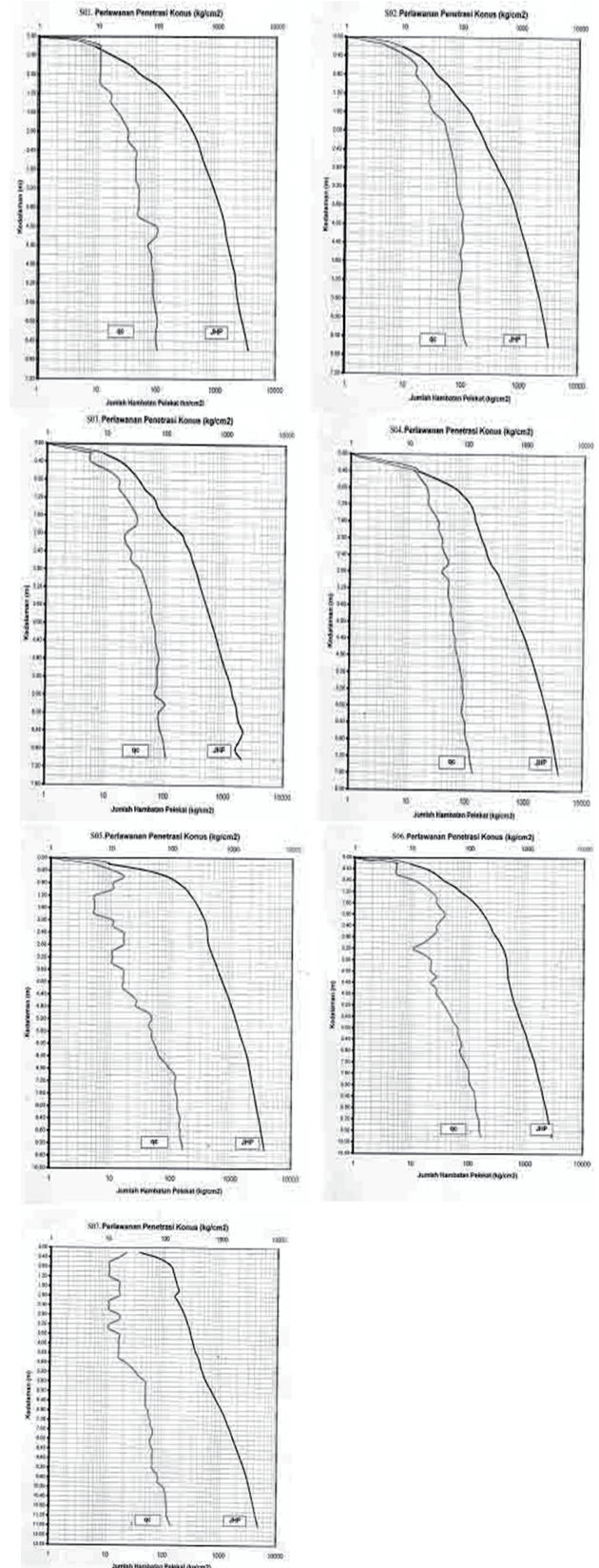
2. Data CPT & BORING LOG lokasi Bukit Besar (Gedung Fakultas Hukum UNSRI)



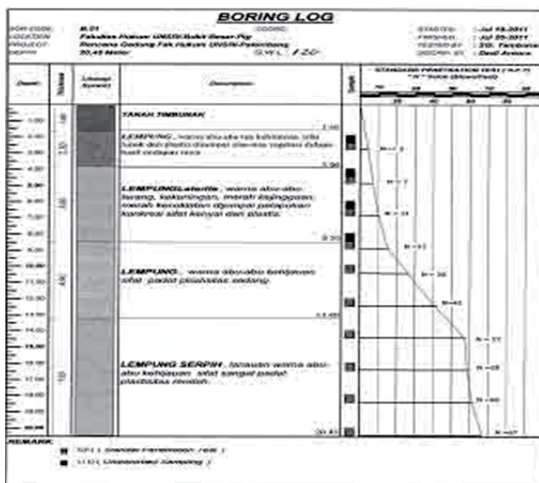
3. Data CPT & BORING LOG lokasi Bukit Besar (Gedung Pendidikan POLSRI)



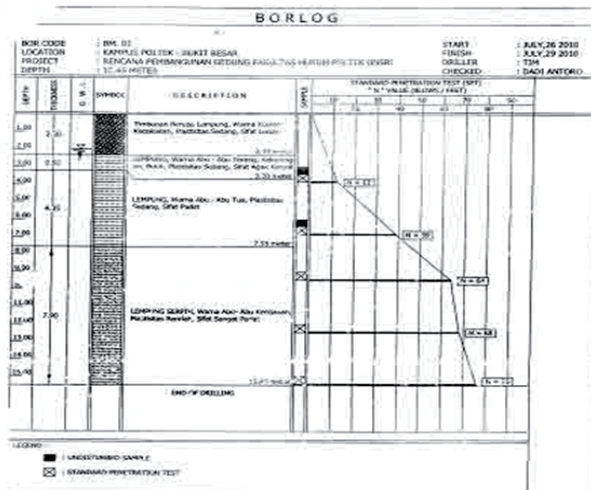
Gambar 5. Grafik S01 s/d S06 Data CPT Lokasi FH. UNSRI



Gambar 7. Grafik S01 s/d S07 Data CPT Lokasi Gdg. Pendidikan POLSRI



Gambar 6. Data Borlog Lokasi FH. UNSRI



Gambar 8. Data Borlog Lokasi Gdg. Pendidikan POLSRI

4. Data Penurunan Tiang Pondasi *Borepile* hasil Tes PDA

TABEL 2.
DATA PENURUNAN TIANG PONDASI BOREPILE HASIL TES PDA

No.	Lokasi	Data As Titik	Diameter Tiang (cm)	Panjang Tiang (m)	Penurunan Max. Tiang Tunggal Hasil Tes PDA (Dx - cm)
1	RS. Bunda	2 - A	Ø 80	9	1.61
2	FH. Unsri	C - 2	Ø 60	13	0.43
3	Polsri	A - 4	Ø 60	12	0.33

4. Perhitungan dan Pembahasan

1. Perhitungan hand analysis penurunan pondasi borepile Lokasi Demang Lebar Daun (Gedung Rawat Inap RS. Bunda)

Beban ultimit kolom 2-A : $P_u = 383.200 \text{ Kg}$

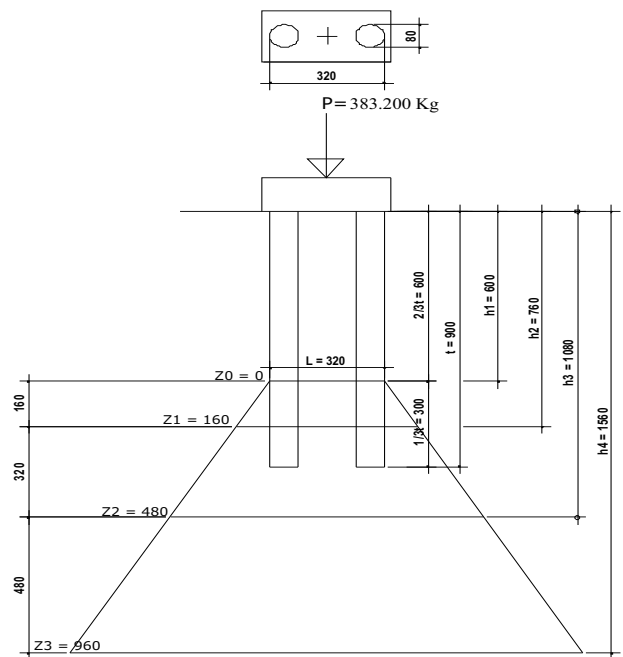
$B = 0,8 \text{ m} = 80 \text{ cm}$

$L = 3,2 \text{ m} = 320 \text{ cm}$

$L/2 = 1,6 \text{ m} = 160 \text{ cm}$

$1,5L = 4,8 \text{ m} = 480 \text{ cm}$

$\text{pile} = 0,8 \text{ m}$



Gambar 9. Diagrammatik Penurunan Kelompok Borepile Gdg. Rawat Inap RS. Bunda (Sumber : Analisa)

$$Z_0 = 0 \quad \rightarrow \Delta\sigma_{Z_0} = \frac{383.200}{(80 + 0)(320 + 0)} = 14,97 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Z_1 = 160 \text{ cm} \quad \rightarrow \Delta\sigma_{Z_1} = \frac{383.200}{(80 + 160)(320 + 160)} = 3,33 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Z_2 = 480 \text{ cm} \quad \rightarrow \Delta\sigma_{Z_2} = \frac{383.200}{(80 + 480)(320 + 480)} = 0,86 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Z_3 = 960 \text{ cm} \quad \rightarrow \Delta\sigma_{Z_3} = \frac{383.200}{(80 + 960)(320 + 960)} = 0,29 \text{ Kg/cm}^2$$

Lapisan I (h_I) $\rightarrow \Delta\bar{\sigma}_{Z_I} = (\Delta\sigma_{Z_0} + \Delta\sigma_{Z_1})/2 = (14,97 + 3,33)/2 = 9,15 \text{ Kg/cm}^2$

Lapisan II (h_{II}) $\rightarrow \Delta\bar{\sigma}_{Z_{II}} = (\Delta\sigma_{Z_1} + \Delta\sigma_{Z_2})/2 = (3,33 + 0,86)/2 = 2,095 \text{ Kg/cm}^2$

Lapisan III (h_{III}) $\rightarrow \Delta\bar{\sigma}_{Z_{III}} = (\Delta\sigma_{Z_2} + \Delta\sigma_{Z_3})/2 = (0,86 + 0,29)/2 = 0,575 \text{ Kg/cm}^2$

Modulus Young (E):

Lapisan I (lempung teguh) : $E_I = \bar{q}c_{6-7,6m} \times 15 = 61,53 \text{ kg/cm}^2 \times 15 = 922,95 \text{ Kg/cm}^2$

Lapisan II (lempung kenyal) : $E_{II} = \bar{q}c_{7,6-10,8m} \times 15 = 119,84 \text{ kg/cm}^2 \times 15 = 1797,5 \text{ Kg/cm}^2$

Lapisan III (lempung kenyal) : $E_{III} = \bar{q}c_{10,8-15,6m} \times 15 = 159,43 \text{ kg/cm}^2 \times 15 = 2391,5 \text{ Kg/cm}^2$

Penurunan lapisan I : $\Delta h_I = \frac{\Delta\bar{\sigma}_{Z_I}}{E_I} \times h_I = \frac{9,15 \text{ Kg/cm}^2}{922,95 \text{ Kg/cm}^2} \times 160 \text{ cm} = 1,59 \text{ cm}$

Penurunan lapisan II : $\Delta h_{II} = \frac{\Delta\bar{\sigma}_{Z_{II}}}{E_{II}} \times h_{II} = \frac{2,095 \text{ Kg/cm}^2}{1997,5 \text{ Kg/cm}^2} \times 320 \text{ cm} = 0,37 \text{ cm}$

Penurunan lapisan III : $\Delta h_{III} = \frac{\Delta\bar{\sigma}_{Z_{III}}}{E_{III}} \times h_{III} = \frac{0,575 \text{ Kg/cm}^2}{2391,5 \text{ Kg/cm}^2} \times 480 \text{ cm} = 0,12 \text{ cm}$

Jadi Penurunan total kelompok tiang (S_g) = $h_I + h_{II} + h_{III} = 1,59 + 0,37 + 0,12 = 2,08$ cm

Sedangkan untuk perhitungan tiang tunggal yaitu : $S_1 = S_g / n$ dimana : = $\frac{1}{2}$ (tanah lempung), n (jumlah tiang) = 2

$$= 2,08 / 2,05 = 1,47 \text{ cm}$$

Jadi penurunan tiang tunggal-nya = 1,47 cm

2. Perhitungan hand analysis penurunan pondasi borepile lokasi Bukit Besar (Gedung Fakultas Hukum UNSRI)

Beban ultimit kolom C-2 : $P_u = 366.200$ Kg

$$B = 1,8 \text{ m} = 180 \text{ cm}$$

$$B = 1,8 \text{ m} = 180 \text{ cm}$$

$$L = 3 \text{ m} = 300 \text{ cm}$$

$$L/2 = 1,5 \text{ m} = 150 \text{ cm}$$

$$1,5L = 4,5 \text{ m} = 450 \text{ cm}$$

$$\text{pile} = 0,6 \text{ m}$$

$$Z_0 = 0 \rightarrow \Delta\sigma_{Z_0} = \frac{366.200}{(300+0)(180+0)} = 6,78 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Z_1 = 150 \text{ cm} \rightarrow \Delta\sigma_{Z_1} = \frac{366.200}{(300+150)(180+150)} = 2,47 \text{ Kg/cm}^2$$

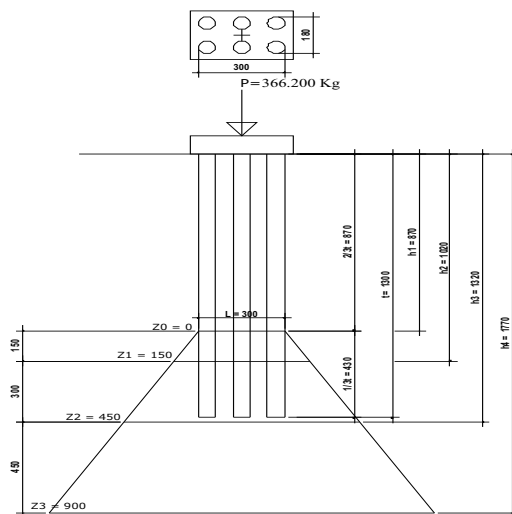
$$Z_2 = 450 \text{ cm} \rightarrow \Delta\sigma_{Z_2} = \frac{366.200}{(300+450)(180+450)} = 0,78 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Z_3 = 960 \text{ cm} \rightarrow \Delta\sigma_{Z_3} = \frac{366.200}{(300+960)(180+960)} = 0,255 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan I (} h_I \text{)} \rightarrow \Delta\bar{\sigma}_{Z_1} = (\Delta\sigma_{Z_0} + \Delta\sigma_{Z_1})/2 = (6,78 + 2,47)/2 = 4,625 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan II (} h_{II} \text{)} \rightarrow \Delta\bar{\sigma}_{Z_{II}} = (\Delta\sigma_{Z_1} + \Delta\sigma_{Z_2})/2 = (2,47 + 0,78)/2 = 1,625 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan III (} h_{III} \text{)} \rightarrow \Delta\bar{\sigma}_{Z_{III}} = (\Delta\sigma_{Z_2} + \Delta\sigma_{Z_3})/2 = (0,78 + 0,255)/2 = 0,518 \text{ Kg/cm}^2$$



Gambar 10. Diagramatik Penurunan Kelompok Borepile Gdg. Fakultas Hukum UNSRI (Sumber : Analisa)

Modulus Young (E) :

$$\text{Lapisan I (lempung teguh)} : E_I = \bar{q}_{c_{8,7-10,2 \text{ m}}} \times 15 = 50,77 \text{ kg/cm}^2 \times 15 = 761,55 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan II (lempung kenyal)} : E_{II} = \bar{q}_{c_{10,2-13,2 \text{ m}}} \times 15 = 121,84 \text{ kg/cm}^2 \times 15 = 1827,6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan III (lempung kenyal)} : E_{III} = \bar{q}_{c_{13,2-17,7 \text{ m}}} \times 15 = 172,12 \text{ kg/cm}^2 \times 15 = 2581,8 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Penurunan lapisan I} : \Delta h_I = \frac{\Delta\bar{\sigma}_{Z_I}}{E_I} \times h_I = \frac{4,625 \text{ Kg/cm}^2}{761,55 \text{ Kg/cm}^2} \times 150 \text{ cm} = 0,91 \text{ cm}$$

$$\text{Penurunan lapisan II} : \Delta h_{II} = \frac{\Delta\bar{\sigma}_{Z_{II}}}{E_{II}} \times h_{II} = \frac{1,625 \text{ Kg/cm}^2}{1827,6 \text{ Kg/cm}^2} \times 300 \text{ cm} = 0,27 \text{ cm}$$

$$\text{Penurunan lapisan III} : \Delta h_{III} = \frac{\Delta\bar{\sigma}_{Z_{III}}}{E_{III}} \times h_{III} = \frac{0,518 \text{ Kg/cm}^2}{2581,8 \text{ Kg/cm}^2} \times 450 \text{ cm} = 0,09 \text{ cm}$$

Jadi Penurunan total kelompok tiang (S_g) = $h_I + h_{II} + h_{III} = 0,91 + 0,27 + 0,09 = 1,27$ cm

Sedangkan untuk perhitungan tiang tunggal yaitu : $S_1 = S_g / n$ dimana : = $\frac{1}{2}$ (tanah lempung), n (jumlah tiang) = 6

$$= 1,27 / 6,05 = 0,52 \text{ cm}$$

Jadi penurunan tiang tunggal-nya = 0,52 cm

3. Perhitungan hand analysis penurunan pondasi borepile lokasi Bukit Besar (Gedung Pendidikan POLSRI)

Beban ultimit kolom A-4 : $P_u = 99.800$ Kg

$$B = 1,8 \text{ m} = 180 \text{ cm}$$

$$L = 1,8 \text{ m} = 180 \text{ cm}$$

$$L/2 = 0,9 \text{ m} = 90 \text{ cm}$$

$$1,5L = 2,7 \text{ m} = 270 \text{ cm}$$

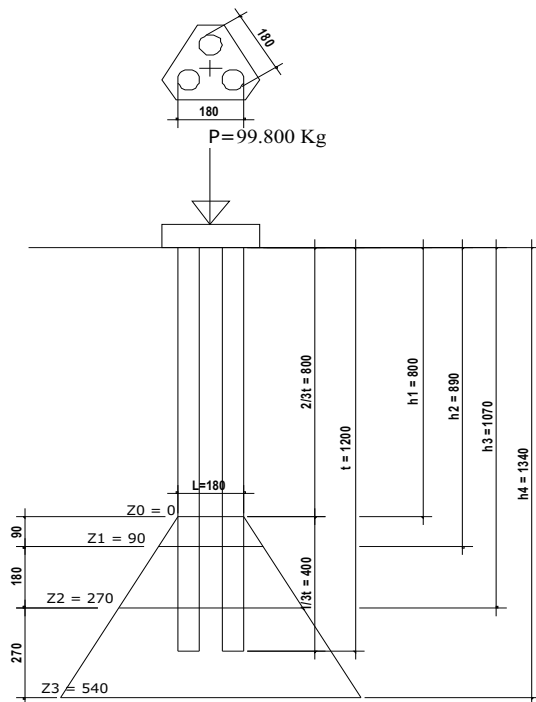
$$\text{pile} = 0,6 \text{ m}$$

$$Z_0 = 0 \rightarrow \Delta\sigma_{Z_0} = \frac{99.800}{(180+0)(180+0)} = 3,08 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Z_1 = 90 \text{ cm} \rightarrow \Delta\sigma_{Z_1} = \frac{99.800}{(180+90)(180+90)} = 1,37 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Z_2 = 270 \text{ cm} \rightarrow \Delta\sigma_{Z_2} = \frac{99.800}{(180+270)(180+270)} = 0,49 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Z_3 = 540 \text{ cm} \rightarrow \Delta\sigma_{Z_3} = \frac{99.800}{(180+540)(180+540)} = 0,19 \text{ Kg/cm}^2$$



Gambar 11. Diagramatik Penurunan Kelompok Borepile Gdg. Pendidikan POLSRI (Sumber : Analisa)

$$\text{Lapisan I (} h_I \text{)} \rightarrow \Delta \bar{\sigma}_{Z1} = (\Delta \sigma_{Z0} + \Delta \sigma_{Z1})/2 = (3,08 + 1,37)/2 = 2,225 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan II (} h_{II} \text{)} \rightarrow \Delta \bar{\sigma}_{Z2} = (\Delta \sigma_{Z1} + \Delta \sigma_{Z2})/2 = (1,37 + 0,49)/2 = 0,93 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan III (} h_{III} \text{)} \rightarrow \Delta \bar{\sigma}_{Z3} = (\Delta \sigma_{Z2} + \Delta \sigma_{Z3})/2 = (0,49 + 0,19)/2 = 0,34 \text{ Kg/cm}^2$$

Modulus Young (E) :

$$\text{Lapisan I (lempung teguh)} : E_I = \bar{q}_{C_{8,0-8,9m}} \times 15 = 61,52 \text{ kg/cm}^2 \times 15 = 922,8 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan II (lempung kenyal)} : E_{II} = \bar{q}_{C_{8,9-10,7m}} \times 15 = 88,28 \text{ kg/cm}^2 \times 15 = 1324,2 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Lapisan III (lempung kenyal)} : E_{III} = \bar{q}_{C_{10,7-13,4m}} \times 15 = 125,73 \text{ kg/cm}^2 \times 15 = 2086,5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Penurunan lapisan I} : \Delta h_I = \frac{\Delta \bar{\sigma}_{Z1} \times h_I}{E_I} = \frac{2,225 \text{ Kg/cm}^2 \times 90 \text{ cm}}{922,8 \text{ Kg/cm}^2} = 0,22 \text{ cm}$$

$$\text{Penurunan lapisan II} : \Delta h_{II} = \frac{\Delta \bar{\sigma}_{Z2} \times h_{II}}{E_{II}} = \frac{0,93 \text{ Kg/cm}^2 \times 180 \text{ cm}}{1324,2 \text{ Kg/cm}^2} = 0,13 \text{ cm}$$

$$\text{Penurunan lapisan III} : \Delta h_{III} = \frac{\Delta \bar{\sigma}_{Z3} \times h_{III}}{E_{III}} = \frac{0,34 \text{ Kg/cm}^2 \times 270 \text{ cm}}{2086,5 \text{ Kg/cm}^2} = 0,04 \text{ cm}$$

Jadi Penurunan total kelompok tiang (Sg) = $h_I + h_{II} + h_{III} = 0,22 + 0,13 + 0,04 = 0,39 \text{ cm}$

Sedangkan untuk perhitungan tiang tunggal yaitu : $S1 = Sg / n$ dimana : $n = 1/2$ (tanah lempung), n (jumlah tiang) = 3
 $= 0,39/30,5 = 0,23 \text{ cm}$

Jadi penurunan tiang tunggal-nya = 0,23 cm

Hasil rekapitulasi penurunan tiang tunggal pondasi borepile di ketiga lokasi dapat dilihat pada tabel 3 :

TABEL 3.
TABEL REKAPITULASI PENURUNAN TIANG TUNGGAL HASIL TES PDA & HAND METHOD (SUMBER : ANALISA)

No.	Lokasi	Data As Titik	Diameter Tiang (cm)	Panjang Tiang (m)	Penurunan Max. Tiang Tunggal Hasil Tes PDA (Dx - cm)	Penurunan Max. Tiang Tunggal Hasil Hand Method (S1 - cm)	Perbandingan S1/Dx
1	RS. Bunda	2-A	Ø 80	9	1,61	1,47	91%
2	FH. Unsri	C-2	Ø 60	13	0,43	0,52	121%
3	Polsri	A-4	Ø 60	12	0,33	0,23	70%

Dari tabel diatas terlihat terdapat perbedaan antara *settlement* hasil tes PDA dan *Hand Method* dengan tingkat akurasi 70 s/d 121%. Atau dapat dikatakan perhitungan *settlement* kelompok tiang teori *Boussinesq* secara moderat dalam memprediksi penurunan pondasi tiang. Sebagaimana yang dikatakan oleh Lucio (1991) : “Perhitungan *settlement* ini hanya merupakan estimasi kasar apa yang akan terjadi dengan pembebanan pada tanah. Disini yang sangat diperlukan ialah memutuskan apakah *settlement* yang akan terjadi 2 atau 3 cm, dan bukannya 10 atau 15 cm. Maksudnya ialah bahwa titik berat perhitungan tersebut adalah nilai kasar (*range*) *settlement* yang akan terjadi dan bukannya angka yang betul-betul tepat”.

5. Kesimpulan dan Saran

Perbandingan penurunan pondasi tiang *hand method* teori *Boussinesq* dan PDA *Test* yang dilakukan 3 lokasi di Kota Palembang menunjukkan perhitungan *hand method* teori *Boussinesq* secara moderat dapat memprediksi penurunan pondasi tiang di ketiga lokasi. Selain itu perhitungan praktis *settlement* tiang ini

didasarkan pada beban ultimit kolom sehingga penurunan masing-masing kolom dapat estimasi sehingga *differential settlement* dapat diprediksi.

Tetapi perhitungan *hand method* ini, masih banyak kekurangannya dikarenakan kurangnya data CPT, *Boring Log* dan PDA (hanya 3 lokasi di Palembang), jenis pondasi hanya *borepile* dan jenis tanah di Palembang yang cenderung *uniform* dari lempung lunak s/d lempung sangat padat sehingga belum diketahui tingkat keakurasiannya jika jenis pondasi tiang pancang dan jenis tanah berbeda-beda (lempung, pasir, lanau dll) sehingga perlu kajian lanjutan.

Walaupun demikian untuk perhitungan penurunan pondasi *borepile* di Palembang, perhitungan *hand method* teori *Boussinesq* bisa dipertimbangkan.

6. Daftar Pustaka

- [1] Basarkar, S.S., Kumar, Manish,&Vaidya, Ravikiran (2011), "High Strain Dynamic Pile Testing Practices In India – Favourable Situations And Correlation Studies", Proceedings of Indian Geotechnical Conference Kochi (Paper No.Q- 303) .
- [2] Canonica, Lucio (1991), " Memahami Mekanika Tanah", Penerbit Angkasa, Bandung.
- [3] Christiadi H, Hary (2002), "Teknik Pondasi 1", Penerbit Beta Offset, Yogyakarta.
- [4] Goldemberg, Hernán & J. Goldemberg, Juan (2000), "Correlation Between DLT And SLT - Case Histories, Proceedings of the GeoEng conference, Melbourne
- [5] H. Hussein,Hussein & T. Slash, Kais (2009), "A Correlation Between Dynamic and Static Pile Load Test Result ", Eng. & Tech. Journal Vol. 27 No. 15, Baghdad, Iraq.
- [6] Mhaiskar, SY, G Khare, Makarand, Vaidya, Ravikiran (2010), "High Strain Dynamic Pile Testing and Static Load Test – A correlation Study ", Indian Geotechnical Conference, IGS Mumbai Chapter & IIT Bombay, India.
- [7] Poulos, H.G. (1989), "Pile Behaviour - Theory and Application". 29th Rankine Lecture. Geotechnique, Vol. 39, No. 3, pp. 365-415.
- [8] Poulos, H.G. (1992), "Pile Foundation Settlement Prediction - Hand and Computer Methods". Int. Conf. on New Tech. for Foundn. Eng. Hanoi, Vietnam, Vol. 1, pp. 287-31
- [9] Setio, HD, Setio, S, Martha,D, Kamal, B.r dan Nasution, S (2000), "Analisis Daya Dukung Tiang Pancang dengan Metode Dinamik", Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan IV, INDO-GEO 2000 HATTI, Jakarta, V27 V35.
- [10] Wesley, Laurence D (2012), "Mekanika Tanah – Untuk Tanah Endapan dan Residu", Penerbit Andi, Yogyakarta.