STUDI KAPASITAS TIANG BOR BERDASARKAN METODE *PILE DRIVING ANALYZER* (PDA) DAN *LOAD CELL*

Livia¹ dan Andryan Suhendra²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: liviaipi@gmail.com

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: andryansuhendra@yahoo.com

ABSTRAK

Pondasi tiang bor adalah pondasi yang pengerjaannya dengan cara mengebor tanah sampai kedalaman tertentu kemudian diisi dengan tulangan dan dicor beton. Pelaksanaan pondasi tiang bor harus dilaksanakan dengan cermat karena pelaksanaan berpengaruh dengan kapasitas yang dapat didukung oleh pondasi. Kapasitas dukung pondasi dapat diketahui dengan uji lapangan (*Pile Driving Analyzer*, *Loading Test*) dan/atau perhitungan manual. Penelitian ini bertujuan mengetahui perbandingan nilai kapasitas dukung tiang bor menggunakan perhitungan manual (metode Reese&Wright, Meyerhof, Decourt, Kulhawy, Tomlinson) serta hasil tes PDA dan/atau *Load Cell*. Penelitian ini terdapat 6 data tanah yang berlokasi di Jakarta. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai rata-rata persentase perbedaan daya dukung pondasi tiang bor antara hasil perhitungan manual dengan hasil dari PDA dan *load cell*: metode Reese& Wright untuk tanah kohesif dan non-kohesif sekitar 30%, dengan metode Meyerhof untuk tanah kohesif sekitar 19% dan untuk tanah non-kohesif sekitar 30%, dengan metode Decourt untuk tanah kohesif dan non-kohesif sekitar 20%, dengan metode Kulhawy untuk tanah kohesif dan non-kohesif sekitar 40% dan dengan metode Tomlinson untuk tanah kohesif sekitar 20% sedangkan untuk tanah non-kohesif sekitar 30%.

Kata Kunci: pondasi tiang bor, kapasitas dukung tiang, tes PDA, *Load Cell*.

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pondasi merupakan bagian dari struktur yang berfungsi menopang bangunan yang ada di atasnya untuk diteruskan secara merata ke lapisan tanah. Dalam merencanakan suatu pondasi, beban yang diterima oleh pondasi tidak boleh lebih besar dari pada kapasitas daya dukungnya.

Penentuan jenis pondasi harus disesuaikan dengan keadaan tanah disekitar bangunan dan besar beban yang direncanakan. Untuk beban yang besar, biasanya perencana memilih penggunaan pondasi dalam. Pondasi dalam yang umum ditemui adalah tiang bor dan tiang pancang. Pondasi *bored pile* dipakai apabila tanah dasarnya mempunyai daya dukung yang jauh dari permukaan tanah serta keadaan sekitar tanah bangunan sudah banyak berdiri bangunan – bangunan besar seperti gedung – gedung bertingkat sehingga dikhawatirkan dapat menimbulkan retak pada bangunan yang sudah ada akibat getaran – getaran yang ditimbulkan oleh kegiatan pemancangan apabila dipakai pondasi tiang pancang.

Ada dua metode dalam menentukan kapasitas daya dukung pada pondasi *bored pile*, yaitu metode statis dan dinamis. Pada umumnya, untuk menentukan daya dukung pondasi digunakan metode *standard penetration test* (SPT), menentukan daya dukung dari data parameter tanah dan metode *loading test* yang termasuk metode statis. Sedangkan untuk metode dinamis, metode *pile driving analyzer* (PDA) merupakan salah satu metode dinamis. Melalui studi ini, akan dianalisa perbedaan daya dukung yang dihasilkan oleh metode *standard penetration test* (SPT), data parameter tanah, *loading test* dan metode *pile driving analyzer* (PDA).

Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang, tujuan dari penelitian ini adalah menghitung kapasitas daya dukung pondasi *bored pile* dari hasil SPT, dan data parameter kuat geser tanah ; membandingkan hasil perhitungan daya dukung tiang bor dengan hasil dari *pile driving analyzer* dan/atau *load cell* ; menganalisa perhitungan kapasitas daya dukung pondasi *bored pile*.

Pondasi

Pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang berasal dari struktur atas. Untuk menentukan apakah suatu jenis pondasi tepat digunakan, perencana perlu mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Kondisi tanah di lokasi berdirinya bangunan.
2. Besar beban yang ditimbulkan oleh struktur di atasnya.
3. Keadaan daerah di sekitar lokasi pembangunan.
4. Waktu dan biaya pekerjaan.

Pondasi *Bored Pile*

Ada beberapa alasan digunakannya pondasi *bored pile* dalam konstruksi :

1. *Bored pile* tunggal dapat digunakan pada tiang kelompok atau pile cap.
2. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
3. *Bored pile* dapat didirikan sebelum penyelesaian tahapan selanjutnya.
4. Ketika proses pemancangan dilakukan, getaran tanah akan mengakibatkan kerusakan pada bangunan yang ada di dekatnya, tetapi dengan penggunaan pondasi *bored pile* hal ini dapat dicegah.
5. Pada pondasi tiang pancang, proses pemancangan pada tanah lempung akan membuat tanah bergelombang dan menyebabkan tiang pancang sebelumnya bergerak ke samping. Hal ini tidak terjadi pada konstruksi pondasi *bored pile*.

Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal

Rumus daya dukung dapat diperoleh dari persamaan:

$$Q_u = Q_s + Q_b \quad (1)$$

$$Q_{all} = Q_u / SF \quad (2)$$

Keterangan :

Q_u = daya dukung *ultimate*

Q_s = daya dukung selimut

Q_b = daya dukung ujung

Q_{all} = daya dukung ijin

SF = faktor keamanan, biasanya diambil 2,5-4.

Metode Reese & Wright

Daya dukung ujung pondasi *bored pile* (*end bearing*) berdasarkan metode Reese & Wright dinyatakan dengan rumus :

$$Q_{all} = q_p \times A_p \quad (3)$$

Keterangan :

q_p = Tahanan ujung per satuan luas (ton/m^2).

A_p = Luas penampang *bored pile* (m^2).

Tahanan ujung per satuan luas dapat diperoleh sebagai berikut :

a. Untuk tanah kohesif

$$q_p = 9 c_u \quad (4)$$

b. Untuk tanah non-kohesif

Untuk $N \leq 60$ maka,

$$q_p = 7 N \text{ (t/m}^2\text{)} < 400 \text{ (t/m}^2\text{)} \quad (5)$$

Untuk $N > 60$ maka,

$$q_p = 400 \text{ (t/m}^2\text{)} \quad (6)$$

Keterangan :

N = Nilai rata – rata SPT

Daya dukung selimut *bored pile* (*skin friction*) berdasarkan metode Reese & Wright dinyatakan dengan rumus :

$$Q_s = f \times L_i \times A_{st}$$

Keterangan :

f = Tahanan satuan *skin friction* (ton/m^2).

A_{st} = Keliling penampang *bored pile* (m).

L_i = Panjang lapisan tanah (m).

Tahanan satuan *skin friction* (f) dapat diperoleh sebagai berikut :

a. Pada tanah kohesif

$$f = \alpha \times c_u \quad (7)$$

Keterangan :

α = Faktor adhesi.

Berdasarkan penelitian Reese & Wright (1977) $\alpha = 0,55$

c_u = Kohesi tanah (ton/m²).

b. Pada tanah non kohesif

$$\text{Untuk } N < 53 \text{ maka, } f = 0,32N \text{ (ton/m}^2\text{)} \quad (8)$$

$$\text{Untuk } 53 < N \leq 100 \text{ maka, } f = \left(\frac{N-53}{450} \right) \times \left(\frac{1}{0,3048^2} \right) \quad (9)$$

Keterangan:

N = Nilai N-SPT rata rata

Metode Meyerhof

Daya dukung ujung pondasi (*end bearing*) berdasarkan data pengujian SPT dihitung dengan persamaan Meyerhof (Bowles,1997), yaitu :

$$Q_p = q_p \times A_p \quad (10)$$

Keterangan :

$q_p = 20 N_b$ untuk tanah kohesif (ton/m²)

$= 40 N_b$ untuk tanah non-kohesif (ton/m²)

untuk tanah non kohesif $q_p \leq 400 \text{ t/m}^2$

N_b = Nilai rata – rata SPT pada zona 8D keatas dan 3D dibawah ujung tiang.

Daya dukung selimut (*skin friction*) berdasarkan data pengujian SPT dihitung dengan persamaan Meyerhof (Bowles,1997), yaitu:

$$Q_s = X_m \cdot N_i \times A_{st} \quad (11)$$

Keterangan :

X_m = Untuk tiang bor nilai $X_m = 0,5$; Nilai $X_m \cdot N_i$ memiliki nilai maksimum, yaitu 10 t/m².

N_i = Nilai N-SPT rata rata.

Metode Decourt

Daya dukung ujung pondasi (*end bearing*) dapat dinyatakan dengan rumus:

$$Q_p = K_b \times N_b \times A_p \quad (12)$$

Keterangan :

K_b = Faktor korelasi menurut Decourt. (faktor korelasi dapat dilihat di Tabel 1)

N_b = Rata – rata nilai NSPT di ujung tiang.

Tabel 1. Faktor Korelasi Menurut Decourt (K_b) (Canadian Geotechnical Society, 2006)

Soil Type	Displacement Piles	Non-Displacement Piles
Sand	325	165
Sandy silt	205	115
Clayey silt	165	100
Clay	100	80

Daya dukung selimut (*skin friction*) dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_s = \alpha (2,8 N_{60} + 10) \times A_{st} \quad (13)$$

Keterangan :

$\alpha = 1$ untuk tiang bor untuk jenis tanah apa saja.

N_{60} = Rata – rata nilai NSPT sepanjang poros tiang.

Metode Kulhawy

Untuk mendapatkan daya dukung ujung (*end bearing*) dapat menggunakan rumus:

$$Q_p = q_p \times A_p \quad (14)$$

Tahanan ujung per satuan luas dapat diperoleh sebagai berikut :

a. Untuk tanah kohesif

$$q_p = 9 c_u \quad (15)$$

b. Untuk tanah non kohesif

$$q_p = \sigma_v' \times N_q \quad (16)$$

Keterangan :

c_u = Kohesi tanah (ton/m²).

σ_v' = Tegangan vertikal efektif tanah (ton/m²).

N_q = Faktor daya dukung.

Faktor daya dukung (N_q) dapat dilihat di Tabel 2.

Tabel 2. Faktor Daya Dukung (Das, 2007)

ϕ'	N_e	N_q	N_γ	ϕ'	N_e	N_q	N_γ
0	5.14	1.00	0.00	26	22.25	11.85	12.54
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.20	14.47
2	5.63	1.20	0.15	28	25.80	14.72	16.72
3	5.90	1.31	0.24	29	27.86	16.44	19.34
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.40	22.40
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	25.99
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.22
7	7.16	1.88	0.71	33	38.64	26.09	35.19
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.30	48.03
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31
11	8.80	2.71	1.44	37	55.63	42.92	66.19
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	78.03
13	9.81	3.26	1.97	39	67.87	55.96	92.25
14	10.37	3.59	2.29	40	75.31	64.20	109.41
15	10.98	3.94	2.65	41	83.86	73.90	130.22
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	85.38	155.55
17	12.34	4.77	3.53	43	105.11	99.02	186.54
18	13.10	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.64
19	13.93	5.80	4.68	45	133.88	134.88	271.76
20	14.83	6.40	5.39	46	152.10	158.51	330.35
21	15.82	7.07	6.20	47	173.64	187.21	403.67
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	496.01
23	18.05	8.66	8.20	49	229.93	265.51	613.16
24	19.32	9.60	9.44	50	266.89	319.07	762.89
25	20.72	10.66	10.88				

Untuk mendapatkan daya dukung selimut (*skin friction*) dapat dinyatakan dengan rumus :

$$Q_s = f \times L_i \times A_{st} \quad (17)$$

Keterangan :

f = Tahanan satuan *skin friction* (ton/m²).

Tahanan satuan *skin friction* (f) dapat diperoleh sebagai berikut :

a. Pada tanah kohesif

$$f = \alpha \times c_u \quad (18)$$

b. Pada tanah non kohesif

$$f = K_0 \times \sigma_v' \times \tan \phi \quad (19)$$

Keterangan:

$K_0 = 1 - \sin \phi$

α = Faktor adhesi.

σ_v' = Tegangan *vertical* efektif tanah (ton/m²).

c_u = Kohesi tanah (ton/m²).

Kulhawy menyatakan bahwa faktor adhensi pada tanah kohesif tergantung pada kuat geser tanah (Gambar 1).

Gambar 1. Faktor Adhesi Menurut Kulhawy
(Sumber: Kulhawy, 1991)

Metode Tomlinson

Menurut Tomlinson, perhitungan daya dukung ujung pondasi (*end bearing*) dapat dinyatakan dengan rumus berikut:

1. Pada tanah kohesif

$$Q_p = A_p \times C_u \times N_c$$

$$Q_p = A_p \times C_u \times N_c \quad (20)$$

2. Pada tanah non kohesif

$$Q_p = A_p \times \sigma_v' \times N_q \quad (21)$$

Keterangan :

C_u = Kohesi tanah yang terdapat pada ujung tiang bor.

σ_v' = Tegangan vertikal efektif tanah (ton/m²).

N_c = Faktor daya dukung di bawah ujung tiang bor; Nilai N_c dapat diambil sebesar 9.

N_q = Faktor daya dukung (Nilai N_q bisa diperoleh dari Tabel 2)

Untuk perhitungan daya dukung selimut (*skin friction*) dapat dinyatakan dengan rumus berikut:

$$Q_s = f \times L_i \times A_{st} \quad (22)$$

Nilai tahanan satuan *skin friction* antara tanah kohesif dan non kohesif berbeda, dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

- a. Pada tanah kohesif

$$f = \alpha \times C_u \quad (23)$$

- b. Pada tanah non kohesif

$$f = K_0 \times \sigma_v' \times \tan \phi \quad (24)$$

Keterangan:

$K_0 = 1 - \sin \phi$

α = Faktor adhesi.

σ_v' = Tegangan *vertical* efektif tanah (ton/m²).

C_u = Kohesi tanah (ton/m²).

Faktor adhesi menurut Tomlinson dapat diperoleh dari Gambar 2 sebagai berikut:

Gambar 2. Faktor Adhesi Menurut Tomlinson
(Sumber: Tomlinson, 1994)

Load Cell

Load cell adalah suatu rangkaian alat ukur elektronik yang terdiri dari sejumlah komponen yang secara bersama-sama digunakan untuk melakukan suatu pengukuran dan mencatat hasilnya.

Tujuan digunakan alat *load cell* dalam *loading test* adalah untuk mendapatkan besar gaya yang diterima oleh tiang dengan lebih teliti dan mendapatkan suatu perbandingan antara besar gaya yang diterima tiang melalui *hydraulic jack* dan alat *load cell*.

Pile Driving Analyzer

Pile driving analyzer (PDA) adalah alat uji untuk mengevaluasi daya dukung tiang pondasi, baik berupa tiang pancang maupun tiang bor.

PDA merekam regangan dan percepatan gelombang yang terjadi akibat tumbukan dari palu yang dijatuhkan diatas kepala tiang dari ketinggian tertentu. Daya dukung tiang dari hasil PDA akan dianalisa lebih lanjut dengan menggunakan program CAPWAP (*Case Pile Wave Analysis Program*), yaitu metoda untuk menentukan persamaan

gelombang berdasarkan parameter tanah aktif akibat beban *impact*, yang dikembangkan di *Case Western Reserve University*. *Pile driving analyzer* (PDA) atau uji beban dinamis memiliki beberapa keuntungan antara lain (Mhaiskar, SY. Dkk, 2010 dan Vaidya, Ravikiran dkk, 2006) :

1. Dalam satu hari dapat dilakukan *test* beberapa tiang sehingga menghemat waktu.
2. PDA membutuhkan ruang *relative* kecil.
3. PDA dapat mengevaluasi daya dukung dan integritas *structural* tiang.
4. PDA dapat mengevaluasi penurunan (*settlement*) tiang.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan untuk pengumpulan data penelitian ini adalah teknik dokumentasi dokumentasi yaitu pengumpulan data dari dari berbagai proyek. Data data yang berhubungan dengan topik yang dibahas kemudian dikumpulkan dan dilakukan perhitungan secara manual untuk mencari daya dukung pondasi tiang bor. Setelah mencari daya dukung pondasi tiang bor akan dilakukan perbandingan dengan daya dukung yang dihasilkan dari hasil uji PDA dan *load cell*.

Metode Analisis Data

Metode analisis yang digunakan untuk menganalisa data menggunakan microsoft excel untuk mengolah data. Sebelum dilakukannya analisis data, perlu adanya studi *literature* dengan mencari dasar – dasar teori dan sumber data seperti journal, buku referensi untuk mendapatkan rumus – rumus untuk mendapatkan daya dukung pondasi tiang bor.

2. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan, Perbandingan dan Analisa Perhitungan Teoritis dengan Pengukuran di Lapangan

Data Tanah Roxy Mas Business Center

Hasil perhitungan dan perbandingan daya dukung di Proyek Roxy Mas Business Center dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan dan Perbandingan Daya Dukung di Proyek Roxy Mas Business Center

Metode	Daya Dukung Ujung (ton)	Daya Dukung Selimut (ton)	Daya Dukung Total (ton)
PDA (P-7)	36,5	176,5	212,9
PDA (P-20)	50,1	187,4	237,5
Reese & Wright	23,866	85,690	109,559
Meyerhof	86,429	93,150	179,578
Decourt	43,214	115,86	159,072
Kulhawy	23,866	107,8	131,647
Tomlinson	23,866	149,41	173,275

Data Tanah Bintaro Icon

Hasil perhitungan dan perbandingan daya dukung di Proyek Bintaro Icon BH-1 dan BH-2 dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Hasil Perhitungan dan Perbandingan Daya Dukung di Proyek Bintaro Icon BH-1

Metode	Daya Dukung Total (ton)
Load Cell (BP-61)	884
Reese & Wright	985,374
Meyerhof	1327,378
Decourt	909,452
Kulhawy	687,876
Tomlinson	871,393

Tabel 5. Hasil Perhitungan dan Perbandingan Daya Dukung di Proyek Bintaro Icon BH-2

Metode	Daya Dukung Ujung (ton)	Daya Dukung Selimut (ton)	Daya Dukung Total (ton)
PDA (BP-09)	214,7	606,1	820,8
Reese & Wright	113,14	564,166	677,309
Meyerhof	383,163	598,249	981,565
Decourt	153,33	496,22	649,547
Kulhawy	113,14	367,205	480,348
Tomlinson	113,14	525,95	639,090

Data Tanah Apartemen Emerald Bintaro

Hasil perhitungan dan perbandingan daya dukung di Proyek Apartemen Emerald Bintaro BH-2 dan BH-3 dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Hasil Perhitungan dan Perbandingan Daya Dukung di Proyek Apartemen Emerald Bintaro BH-2

Metode	Daya Dukung Ujung (ton)	Daya Dukung Selimut (ton)	Daya Dukung Total (ton)
PDA (TP I)	116,4	613	729,4
Reese & Wright	68,96	354,709	423,669
Meyerhof	201,143	528,971	730,114
Decourt	162,55	450,97	613,521
Kulhawy	201,143	250,75	451,893
Tomlinson	265,769	339,9	605,654

Tabel 7. Hasil Perhitungan dan Perbandingan Daya Dukung di Proyek Apartemen Emerald Bintaro BH-3

Metode	Daya Dukung Total (ton)
Load Cell (TP II)	440
Reese & Wright	532,164
Meyerhof	725,701
Decourt	619,484
Kulhawy	579,005
Tomlinson	672,84

Data Tanah Ciputra World 2 Jakarta (Phase 3) Serviced Apartment and Condominium

Hasil perhitungan dan perbandingan daya dukung di Proyek Ciputra World 2 Jakarta (Phase 3) tiang BP 194 dan tiang BP 205 dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Hasil Perhitungan dan Perbandingan Daya Dukung di Proyek Ciputra World 2 Jakarta (Phase 3) Tiang BP 194

Metode	Daya Dukung Ujung (ton)	Daya Dukung Selimut (ton)	Daya Dukung Total (ton)
PDA	29,9	1185,3	1215,3
Reese & Wright	102,536	681,877	784,413
Meyerhof	349,643	795,04005	1144,683
Decourt	139,86	648,741	788,60
Kulhawy	102,536	483,884	586,419
Tomlinson	102,535	730,74	833,273

Tabel 9. Hasil Perhitungan dan Perbandingan Daya Dukung di Proyek Ciputra World 2 Jakarta (Phase 3) Tiang BP 205

Metode	Daya Dukung Total (ton)
Load Cell	1193
Reese & Wright	786,114
Meyerhof	1146,8515
Decourt	790,338
Kulhawy	589,205
Tomlinson	834,85

Data Tanah Gd. AJB Bumi Putera 1912, TB. Simatupang

Hasil perhitungan dan perbandingan daya dukung di Proyek Gd. AJB Bumi Putera 1912, TB. Simatupang dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Perhitungan dan Perbandingan Daya Dukung di Proyek Gd. AJB Bumi Putera 1912, TB. Simatupang

Metode	Daya Dukung Ujung (ton)	Daya Dukung Selimut (ton)	Daya Dukung Total (ton)
Load Cell (BP 39)			1132
PDA (BP 24)	95,8	1236	1331,8
Reese & Wright	133,33	773,102	906,398
Meyerhof	557,857	788,078	1345,935
Decourt	278,93	692,97	971,903
Kulhawy	133,33	534,086	667,382
Tomlinson	133,33	723,84	857,135

Data Tanah High Rise Building, SCBD

Hasil perhitungan dan perbandingan daya dukung di Proyek High Rise Building, SCBD BH-05 dan BH-07 dapat dilihat pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Hasil Perhitungan dan Perbandingan Daya Dukung di Proyek High Rise Building, SCBD BH-05

Metode	Daya Dukung Ujung (ton)	Daya Dukung Selimut (ton)	Daya Dukung Total (ton)
PDA	450	1607,7	2057,7
Reese & Wright	236,75	2509,157	2745,909
Meyerhof	521,211	2480,996	3002,208
Decourt	208,48	2270,1	2478,544
Kulhawy	236,75	1326,297	1563,049
Tomlinson	236,75	1866	2102,72

Tabel 12. Hasil Perhitungan dan Perbandingan Daya Dukung di Proyek High Rise Building, SCBD BH-07

Metode	Daya Dukung Total (ton)
Load Cell	2410
Reese & Wright	1743,396
Meyerhof	2577,866
Decourt	1864,866
Kulhawy	1023,215
Tomlinson	1625,593

Berdasarkan data tanah yang didapat, tanah kohesif terdiri dari proyek Roxy Mas Business Center, proyek Bintaro Icon, proyek Ciputra World 2 Jakarta (Phase 3), proyek Gd. AJB Bumi Putera 1912 – TB. Simatupang, dan proyek High Rise Building – SCBD. Dan untuk tanah non-kohesif terdapat proyek Apartemen Emerald Bintaro.

Dari hasil perhitungan dan perbandingannya, dapat dihitung persentase perbedaan daya dukung antara berbagai metode perhitungan manual dengan *load cell* dan/atau *pile driving analyzer*.

Tabel 13. Nilai Rata-rata Persentase Perbedaan Daya Dukung Antara Perhitungan Manual dengan Hasil Daya Dukung dari PDA

Metode \ Jenis Tanah	Tanah Kohesif	Tanah Non-Kohesif
Reese & Wright	36,789 %	41,915 %
Meyerhof	18,733 %	0,098 %
Decourt	26,959 %	15,887 %
Kulhawy	41,648 %	38,046 %
Tomlinson	22,843 %	16,965 %

Tabel 14. Nilai Rata-rata Persentase Perbedaan Daya Dukung Antara Perhitungan Manual dengan Hasil Daya Dukung dari *Load Cell*

Metode \ Jenis Tanah	Tanah Kohesif	Tanah Non-Kohesif
Reese & Wright	23,291 %	20,946 %
Meyerhof	19,972 %	64,932 %
Decourt	18,348 %	40,792 %
Kulhawy	42,846 %	31,592 %
Tomlinson	22,069 %	52,917 %

Tabel 15. Nilai Rata-rata Persentase Perbedaan Daya Dukung Antara Perhitungan Manual dengan Hasil Daya Dukung dari *Load Cell* dan PDA

Metode \ Jenis Tanah	Tanah Kohesif	Tanah Non-Kohesif
Reese & Wright	31,39 %	31,431 %
Meyerhof	19,229 %	32,515 %
Decourt	23,515 %	28,339 %
Kulhawy	42,127 %	34,819 %
Tomlinson	22,533 %	34,941 %

3. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari hasil analisis dalam penelitian ini yaitu:

1. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan terdapat perbedaan antara hasil daya dukung dari perhitungan manual dengan hasil daya dukung dari PDA dan/atau *load cell*.
2. Nilai rata-rata persentase perbedaan daya dukung pondasi tiang bor antara perhitungan manual dengan hasil dari PDA untuk tanah kohesif dan non-kohesif paling besar menggunakan metode Reese & Wright yaitu sekitar 36% dan 41% sedangkan yang paling kecil menggunakan metode Meyerhof yaitu sekitar 18% dan 0,09%.
3. Nilai rata-rata persentase perbedaan daya dukung pondasi tiang bor antara perhitungan manual dengan hasil dari *load cell* untuk tanah kohesif paling besar menggunakan metode Kulhawy yaitu sekitar 42% dan paling kecil menggunakan metode Decourt yaitu sekitar 18%. Sedangkan untuk tanah non-kohesif paling besar

menggunakan metode Meyerhof yaitu sekitar 64% dan paling kecil menggunakan Reese & Wright yaitu sekitar 20%.

4. Nilai rata-rata persentase perbedaan daya dukung pondasi tiang bor secara keseluruhan untuk tanah kohesif dan non-kohesif paling besar menggunakan metode Kulhawy yaitu sekitar 42% dan 34% sedangkan yang paling kecil untuk tanah kohesif menggunakan metode Meyerhof yaitu sekitar 19%, untuk tanah non-kohesif menggunakan metode Decourt yaitu sekitar 28%.
5. Perbedaan hasil daya dukung pondasi tiang bor dapat disebabkan oleh beberapa faktor baik faktor dari lapangan maupun faktor secara teori.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E. (1997). *Foundation Analysis and Design fifth edition*. Mc Graw Hill.
- Canadian Geotechnical. (2006). *Canadian Foundation Engineering Manual*, 4th edition.
- Das, B.M. (2007). *Principles of Foundation Engineering*, 6th edition. PWS Kent.
- Kulhawy, F.H. (1991). *Drilled Shaft Foundation*, Chapter 14 in *Foundation Engineering Handbook*, 2nd Edition. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Reese, L.C. & Wright, S.J. (1977). *Drilled Shaft Design and Construction Guidelines Manual*, Vol.1. Washington D.C: U.S. Departement of Transportation.
- Tomlinson, M.J. and Woodward, J. (1994). *Pile Design and Construction Practice fourth edition*. Taylor & Francis, Inc.