

ANALISIS DAYA DUKUNG FONDASI *ENLARGED BASE* BERDASARKAN DATA N-SPT DENGAN PROGRAM *MICROSOFT EXCEL*

Renaldi Caecario¹ dan Andryan Suhendra²

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

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

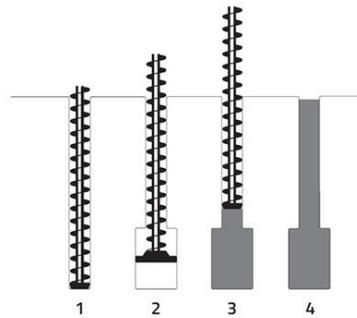
ABSTRAK

Secara umum fungsi fondasi adalah untuk meneruskan gaya yang diterimanya ke tanah dasar fondasi. Fondasi dalam digunakan apabila lapisan tanah keras terletak sangat dalam, untuk itu tipe fondasi yang cocok adalah tiang tahanan ujung sebagai penerus beban melalui ujungnya ke lapisan keras yang memiliki kuat dukung tinggi. Pada penulisan ini yang akan dibahas adalah tiang bor yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium. Berbeda dengan tiang bor lurus, tiang bor yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium akan memiliki daya dukung ujung lebih besar, karena pada prinsipnya bagian ujung fondasi dalam yang memiliki bentuk trapesium sama seperti fondasi dangkal. Jadi fondasi tiang bor yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium adalah fondasi dangkal yang diteruskan ke dalam tanah sampai mencapai tanah keras. Pada penulisan ini akan dilakukan analisis daya dukung vertikal dan penurunan seketika mengenai fondasi yang ujungnya diperbesar atau fondasi *enlarged base*. Karena perhitungan fondasi *enlarged base* lebih rumit dan sulit dibandingkan dengan menghitung fondasi tiang bor lurus, untuk mempermudah perhitungan akan dibuat dalam bentuk spreadsheet dengan program *Microsoft Excel*, yang akan menghasilkan perhitungan daya dukung selimut, daya dukung ujung, daya dukung ultimit, daya dukung ijin, dan penurunan seketika fondasi *enlarged base*. Dan untuk mengetahui apakah hasil perhitungan *spreadsheet* tersebut dapat di andalkan, akan dilakukan perbandingan dengan *software* komputer lain.

Kata kunci: fondasi tiang bor, daya dukung dan penurunan seketika fondasi *enlarged base*.

1. PENDAHULUAN

Menurut Coduto, Kitch dan Yeung (2016: 4), tidak mungkin struktur atas bangunan menjadi kuat dan handal, apabila tidak di bangun di atas struktur bawah (fondasi) yang baik. Jika fondasi gagal, maka struktur di atasnya akan ikut gagal. Dan terkadang fondasi dalam memerlukan biaya yang sangat mahal, sehingga bangunan gedung menjadi tidak efisien. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan dan pemilihan yang tepat untuk jenis fondasi yang akan digunakan, di sesuaikan dengan jenis tanah dan beban dari struktur di atasnya. Berbagai macam jenis fondasi yang berkembang saat ini, memiliki tujuan yaitu untuk mendapatkan jenis fondasi yang paling efisien, karena tidak ada fondasi yang baik/unggul di semua aspek. Gedung bertingkat di perkotaan, umumnya menggunakan tiang bor (*bore pile*) karena alasan lahan yang berdekatan dengan gedung yang sudah ada, karena tiang bor saat pembuatan tidak mengeluarkan suara yang besar dan tidak menimbulkan getaran yang berlebihan. Salah satu jenis fondasi tiang bor yang mengandalkan daya dukung ujungnya adalah fondasi ujung diperbesar atau fondasi *enlarged base*. Akan tetapi pembuatan fondasi *enlarged base* di lapangan lebih rumit dan sulit dibandingkan dengan fondasi bor lurus biasa. Selain pembuatannya di lapangan yang sulit, fondasi *enlarged base* juga lebih sulit untuk dihitung/didesain. Dengan teknologi yang semakin berkembang, pelaksanaan konstruksi untuk fondasi *enlarged base* bukan lagi hal yang mustahil. Seperti pada contoh Gambar 1, merupakan ilustrasi proses pengeboran dan pengecoran fondasi *enlarged base* yang dilakukan oleh suatu perusahaan konstruksi di Australia.



Gambar 1. Ilustrasi pengeboran dan pengecoran fondasi *enlarged base*

Akan tetapi untuk mendesain fondasi *enlarged base* memerlukan waktu yang lebih lama karena perhitungannya yang lebih sulit dan rumit dibandingkan dengan fondasi bor lurus biasa. Oleh sebab itu, untuk mempercepat dan mempermudah perhitungan daya dukung dan penurunan fondasi *enlarged base*, akan dibuat suatu lembar kerja atau *spreadsheet* dengan bantuan program *Microsoft Excel*.

Batasan masalah

- Fondasi *enlarged base* dianggap hanya menahan gaya aksial saja, gaya lateral dan gaya gempa diabaikan. Serta hanya mencakup tiang tunggal *free head* dan *end bearing*.
- Pembahasan tidak mencakup pembesian fondasi, fondasi juga dianggap tidak memiliki kemiringan, tertimbun seluruhnya dibawah permukaan tanah dan berada pada permukaan tanah yang rata.
- *Spreadsheet* yang akan dibuat tidak memperhatikan kekuatan dari bahan, sehingga saat mendesain perlu mengecek kekuatan bahan tiang *enlarged base*. Serta segala kemungkinan kegagalan selama proses konstruksi diabaikan.
- Data tanah yang tersedia hanya sampai kedalaman 30 meter dan bentuk pembesaran fondasi dianggap miring dengan kemiringan 1V:1H.

Maksud dan tujuan

Maksud dan tujuan dibuatnya penulisan ini adalah untuk mempermudah perhitungan daya dukung fondasi *enlarged base* baik di tanah non-kohefif (pasir) dan kohefif (lempung/lanau) dengan *spreadsheet* dan hasilnya dibandingkan dengan *software* komputer. Dan juga untuk mempermudah perhitungan penurunan seketika dari fondasi *enlarged base* dengan *spreadsheet* yang hasilnya juga akan dibandingkan dengan *software* komputer.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Moch. Sholeh (2008), berbagai tipe fondasi tiang sangat tergantung pada beban yang bekerja pada fondasi tersebut, kondisi tanah sekitar, bahan fondasi yang ada dan cara-cara pelaksanaan yang tersedia. Beberapa perbedaan tipe fondasi tiang dilihat dari cara tiang meneruskan bebannya adalah yang pertama tiang tahanan ujung (*end bearing pile*) yaitu tiang yang meneruskan beban melalui ujungnya ke lapisan tanah keras/baik dengan kuat dukung tinggi, kedua tiang gesekan (*friction pile*) yaitu tiang yang meneruskan beban melalui gesekan antara permukaan tiang dengan tanah sekelilingnya, ketiga tiang lekatan (*adhesive pile*) yaitu tiang yang meneruskan beban melalui lekatan antara permukaan tiang dengan tanah sekelilingnya. Setelah ditemukan fondasi tiang bor, seorang *belgian engineer* yaitu Edgard Fankiegnoul pada tahun 1909 berhasil menemukan metode baru yaitu *expanded pile* yang telah diakui oleh dunia. Teknologi yang terus berkembang membuat saat ini ditemuka metode yang memiliki kemiripan dengan *frankie pile* yaitu fondasi ujung diperbesar atau fondasi *enlarged base*.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penulisan ini dilakukan beberapa tahapan yang dapat diuraikan sebagai berikut:

Tahapan pertama adalah melakukan pengumpulan data berupa data tanah (hasil tes boring log dan buku referensi maupun jurnal yang terkait).

Tahapan kedua adalah membuat *spreadsheet* dalam program *Microsoft Excel* berupa korelasi tanah dan membuat analisis daya dukung dan penurunan fondasi *enlarged base*.

Tahapan ketiga adalah membuat contoh hasil daya dukung dan penurunan fondasi *enlarged base*, baik dari *spreadsheet* ataupun *software* komputer lain.

Tahapan keempat adalah melakukan analisis perbandingan antara hasil perhitungan daya dukung selimut, ujung, ultimit dan penurunan dari contoh fondasi *enlarged* antara *spreadsheet* dengan *software* komputer lain.
Tahapan kelima adalah menarik kesimpulan berdasarkan hasil perbandingan pada tahap keempat, untuk mengetahui apakah perhitungan dari *spreadsheet* dapat diandalkan/tidak.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data tanah yang digunakan didapat dari hasil test tanah yang dilakukan oleh suatu perusahaan konstruksi, terdiri dari 3 borlog dari proyek yang berlokasi di Tangerang Selatan, 1 borlog dari proyek yang berlokasi di Jakarta Pusat dan 1 borlog dari proyek yang berlokasi di Sumatra Utara. Hasil test tanah sudah disederhanakan seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Lapisan Tanah

LOKASI:	TANGERANG SELATAN						JAKARTA PUSAT		SUMATRA UTARA	
	BL 1	MAT = -1.40	BL 2	MAT = -1.30	BL 3	MAT = -1.20	BL 1	MAT = -2.5	BL 1	MAT = 0
Depth (m)	N	Soil	N	Soil	N	Soil	N	Soil	N	Soil
0	0.0		0.0		0.0		7.0	Fill Material	0	-
1	9.0		4.5		3.0		7.0		0	-
2	18.0	Sandy Silt	9.0	Clay	6.0	Clay	7.0		11	Silt
3	34.0		22.0		6.5		7.0		11	
4	50.0		35.0		7.0		7.0		34	
5	50.0		42.5		8.0		3.0		34	Sand
6	50.0		50.0		9.0		3.0		34	
7	50.0	Cemented Silt	50.0	Sand with Coral	29.5		3.0		8	
8	50.0		50.0		50.0		3.0		8	
9	35.0		50.0	Coarse Sand	50.0	Cemented Sand	3.0		8	
10	20.0		50.0		50.0		3.0		8	
11	24.5	Silt	50.0	Fine Sand	50.0	Coarse Sand	3.0		8	
12	29.0		50.0		50.0		3.0		8	
13	24.0		50.0	Coarse Sand with Coral	50.0	Fine Sand	7.0		8	Sandy Silt
14	19.0		50.0		50.0		7.0		8	
15	34.5	Organic Silt	50.0	Coarse Sand	50.0	Sandy Silt	7.0		8	
16	50.0		50.0		50.0		7.0		8	
17	50.0	Silt	50.0	Coarse Sand	50.0		5.0		8	
18	50.0		50.0		50.0		5.0		8	
19	50.0	Fine Sand	50.0	Coarse Sand	50.0		5.0		8	
20	50.0		50.0		50.0		5.0		8	
21	47.5	Clayey Sand	50.0	Fine Sand	50.0		5.0		50	
22	45.0		50.0		50.0		5.0		50	
23	47.5		42.0	Coarse Sand	47.5	Fine Sand	5.0	Clay	50	Silty Sand
24	50.0		34.0		45.0		19.0		50	
25	50.0	Sandy Silt	42.0	Silty Clay	43.5		19.0		50	
26	50.0		50.0		42.0		19.0			
27	50.0	Coarse Sand with Gravel	50.0	Fine Sand	44.5	Silt	19.0	Silty Clay	19.0	
28	50.0		50.0		47.0		19.0			
29	50.0	Clayey Silt	42.5	Silty Clay with Coral	41.0		19.0			
30	50.0		35.0		35.0		19.0			

Analisis kapasitas tiang yang dilakukan menggunakan metode sebagai berikut; daya dukung ujung fondasi *enlarged base* menggunakan metode dari buku dari Braja M.Das (2011), daya dukung selimut fondasi *enlarged base* menggunakan metode Bowles (1992) dan analisis penurunan tiang menggunakan metode semi empiris.

Daya dukung ijin fondasi *enlarged base*

Estimasi kapasitas daya dukung ultimit dan ijin dari fondasi *enlarged base*, yaitu:

$$Q_{all} = \frac{Q_p}{SF} + \frac{Q_s}{SF} \quad (1)$$

Dengan Q_{all} = daya dukung ijin fondasi (*allowable*), Q_p = daya dukung ujung fondasi, Q_s = daya dukung selimut fondasi, SF = faktor keamanan (diambil 3 untuk daya dukung ujung dan daya dukung selimut fondasi).

Daya dukung ujung fondasi *enlarged base*

Daya dukung ujung fondasi *enlarged base* pada tanah non-koheisif dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_p = A_p \times [q' \times (N_q - 1) \times F_{qs} \times F_{qd} \times F_{qc}] \quad (2)$$

Dengan A_p = luas penampang dasar fondasi, q' = tekanan vertikal efektif di dasar fondasi, N_q = faktor *bearing capacity*, F_{qs} = faktor bentuk fondasi, F_{qd} = faktor kedalaman fondasi, F_{qc} = faktor kompresibilitas.

Dan besar nilai daya dukung ujung fondasi *enlarged base* pada tanah non-koheisif memiliki batasan yang didapat dari metode Mayerhof, sehingga nilai Q_p pada tanah non-koheisif tidak boleh lebih besar nilainya dari yaitu persamaan:

$$Q_p = A_p \times 0,5 \times P_a \times N_q \times \tan \phi' \quad (3)$$

Dengan P_a = tekanan atmosfer (100 kN/m^2), ϕ' = sudut geser dalam efektif.

Daya dukung ujung fondasi *enlarged base* pada tanah koheisif dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_p = A_p \times c_u \times N_q \times F_{cs} \times F_{cd} \times F_{cc} \quad (4)$$

Dengan c_u = kohesi tak teralir, N_q = faktor *bearing capacity*, F_{cs} = faktor bentuk fondasi, F_{cd} = faktor kedalaman fondasi, F_{cc} = faktor kompresibilitas.

Daya dukung selimut fondasi *enlarged base*

Daya dukung selimut fondasi *enlarged base* dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q_s = p \sum f_i \times L_i \quad (5)$$

Dengan p = keliling penampang tiang, f_i = tahanan selimut tiang bor, L_i = tebal lapisan tahanan selimut.

Penurunan seketika fondasi *enlarged base*

Penurunan fondasi *enlarged base* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$S_e = S_s + S_p + S_{ps} \quad (6)$$

Dengan S_e = penurunan elastis total fondasi tiang tunggal, S_s = penurunan akibat deformasi aksial tiang tunggal, S_p = penurunan dari ujung tiang, S_{ps} = penurunan tiang akibat beban yang dialihkan sepanjang tiang.

Penurunan akibat deformasi aksial tiang tunggal dapat dihitung dengan persamaan:

$$S_s = \frac{(Q_p + \alpha \cdot Q_s) \cdot L}{A_p \cdot E_p}$$

Dengan α = koefisien yang bergantung pada distribusi gesekan selimut sepanjang fondasi tiang, E_p = modulus elastisitas tiang.

Penurunan dari ujung tiang dapat dihitung dengan persamaan:

$$S_p = \frac{C_p \cdot Q_p}{D \cdot q_p} \quad (8)$$

Dengan C_p = koefisien empiris, q_p = tahanan ujung tiang.

Penurunan akibat deformasi aksial tiang tunggal dapat dihitung dengan persamaan:

$$S_{ps} = \left(\frac{Q_{ws}}{p \cdot L} \right) \cdot \frac{D}{E_s} \cdot (1 - v_s^2) \cdot I_{ws} \quad (9)$$

Dengan p = keliling tiang, v_s = angka Poisson tanah, I_{ws} = faktor pengaruh, $\frac{Q_{ws}}{p \cdot L}$ = gesekan rata-rata sepanjang tiang.

5. HASIL ANALISIS

Pada hasil analisis, akan dilakukan perbandingan antara perhitungan daya dukung dan penurunan yang dihasilkan oleh *spreadsheet* yang telah dibuat dan dengan *software* komputer lain. Perbandingan hasil perhitungan fondasi *enlarged base* dilakukan untuk mengetahui apakah *spreadsheet* yang telah dibuat dapat diandalkan atau tidak untuk menghitung daya dukung selimut (Q_s), daya dukung ujung (Q_p), daya dukung ultimit (Q_{ult}) dan penurunan seketika (S_{total}) dari fondasi *enlarged base*. Oleh sebab itu, dibuat 7 jenis fondasi *enlarged base* dari 5 borlog yang berbeda sebagai contoh perbandingan hasil perhitungan yang dilakukan oleh *spreadsheet* dengan *software* komputer lain. Pada tabel 2 dapat dilihat seperti apa spesifikasi fondasi *enlarged base* yang akan dibuat (pada ke-7 contoh fondasi *enlarged base* diabaikan kekuatan bahannya). Pada tabel 3 dapat dilihat hasil perhitungan fondasi *enlarged base* tabel 2, dari *spreadsheet* dan *software* komputer. Sehingga selisih perhitungan daya dukung selimut, ujung, ultimit dan penurunan seketika antara *spreadsheet* dan *software* komputer dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 2. Spesifikasi fondasi sebagai contoh perhitungan

Tiang No.	Panjang Tiang Total	Panjang Tiang Sebelum Pembesaran	Panjang Tiang Sesudah Pembesaran	Diameter Tiang Sebelum Pembesaran	Diameter Tiang Sesudah Pembesaran	Data Tanah
	(H)	(H _s)	(H _b)	(D _s)	(D _b)	
1	6 m	5 m	1 m	0,3 m	0,6 m	Tangerang Selatan (BL2)
2	10 m	9 m	1 m	0,3 m	0,6 m	Tangerang Selatan (BL3)
3	12 m	11 m	1 m	0,3 m	0,6 m	Tangerang Selatan (BL2)
4	22 m	21 m	1 m	0,3 m	0,6 m	Sumatra Utara (BL1)
5	24 m	23 m	1 m	0,3 m	0,6 m	Tangerang Selatan (BL1)
6	26 m	25 m	1 m	0,3 m	0,6 m	Tangerang Selatan (BL3)
7	29 m	28 m	1 m	0,3 m	0,6 m	Jakarta Pusat (BL2)

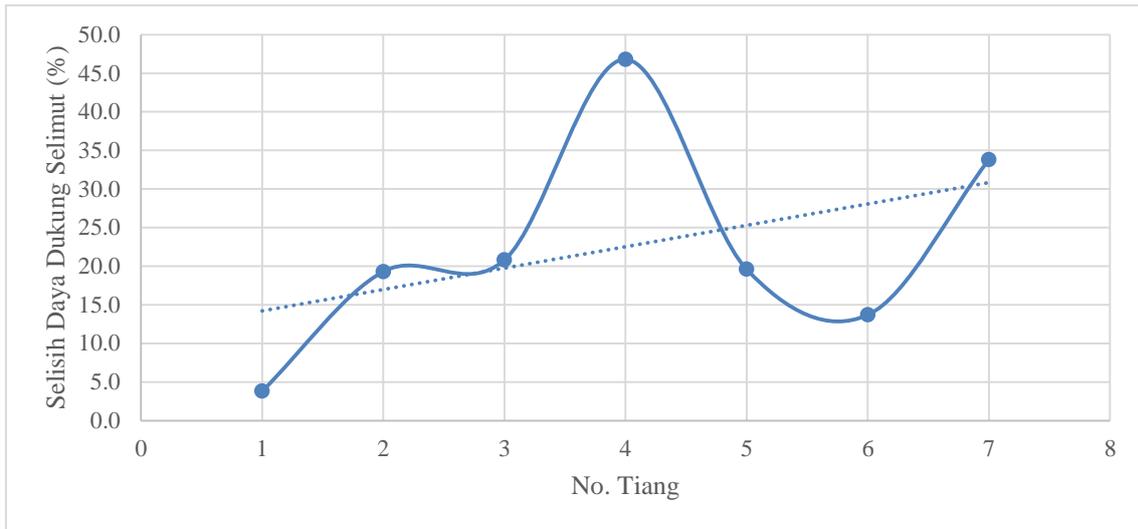
Tabel 3. Hasil perhitungan dari *spreadsheet* dan *software* komputer

Tiang No.	<i>Spreadsheet</i>				<i>Software</i> Komputer			
	Q_s	Q_p	Q_{ult}	S_{total}	Q_s	Q_p	Q_{ult}	S_{total}
1	165.9 kN	437.91 kN	603.81 kN	2.2 cm	159.548 kN	479.668 kN	639.216 kN	1.6 cm
2	299.11 kN	757.3 kN	1056.41 kN	6.6 cm	241.328 kN	812.878 kN	1054.206 kN	5.5 cm
3	515.15 kN	757.3 kN	1272.44 kN	6.7 cm	650.353 kN	812.875 kN	1463.228 kN	5.1 cm
4	622.94 kN	757.3 kN	1380.24 kN	7 cm	331.44 kN	812.878 kN	1144.318 kN	6.3 cm
5	1286.61 kN	757.3 kN	2043.91 kN	7.6 cm	1034.664 kN	812.878 kN	1847.542 kN	9 cm
6	1229.5 kN	387.83 kN	1617.33 kN	6 cm	1061.541 kN	481.195 kN	1542.736 kN	2.8 cm
7	635.64 kN	234.26 kN	869.9 kN	2.7 cm	420.913 kN	285.765 kN	706.678 kN	2.1 cm

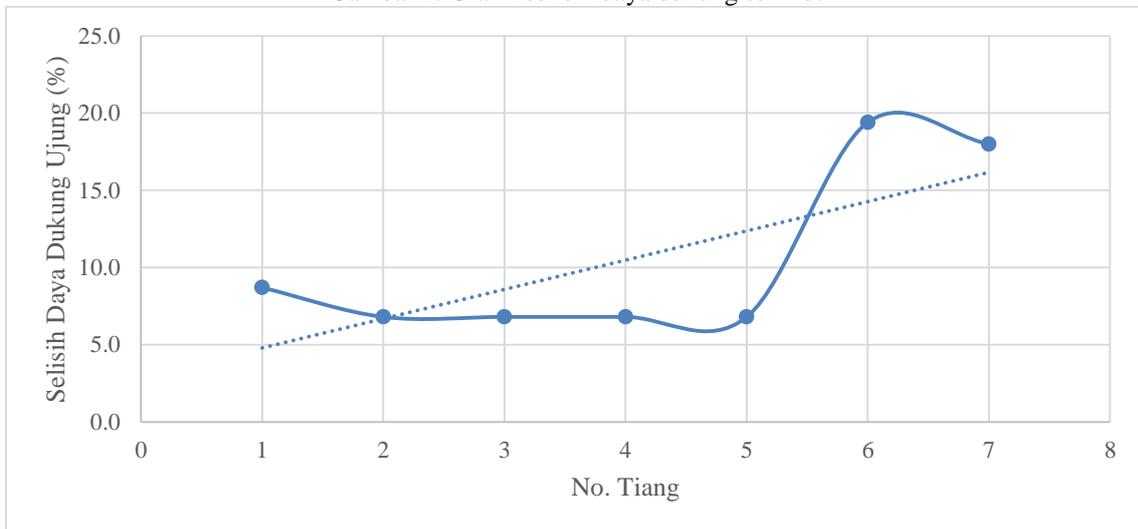
Tabel 4. Besar selisih perhitungan dari *spreadsheet* dan *software* komputer

Tiang No.	Panjang Tiang	Selisih Q_s	Selisih Q_p	Selisih Q_{ult}	Selisih S_{total}
1	6 m	3.8 %	8.7 %	5.5 %	27.3 %
2	10 m	19.3 %	6.8 %	0.2 %	16.7 %
3	12 m	20.8 %	6.8 %	13 %	23.9 %
4	22 m	46.8 %	6.8 %	17.1 %	10 %
5	24 m	19.6 %	6.8 %	9.6 %	15.6 %
6	26 m	13.7 %	19.4 %	4.6 %	53.3 %
7	29 m	33.8 %	18 %	18.8 %	22.2 %

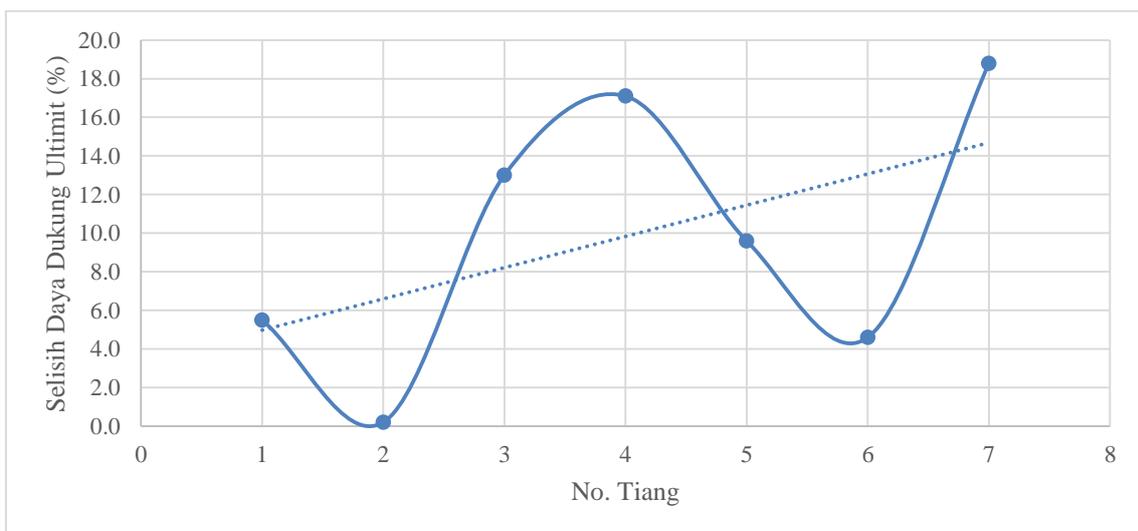
Dari tabel 4, dibuat grafik agar dapat diketahui bagaimana *trendline* yang dihasilkan dari perbandingan yang dilakukan. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 2, gambar 3, gambar 4 dan gambar 5.



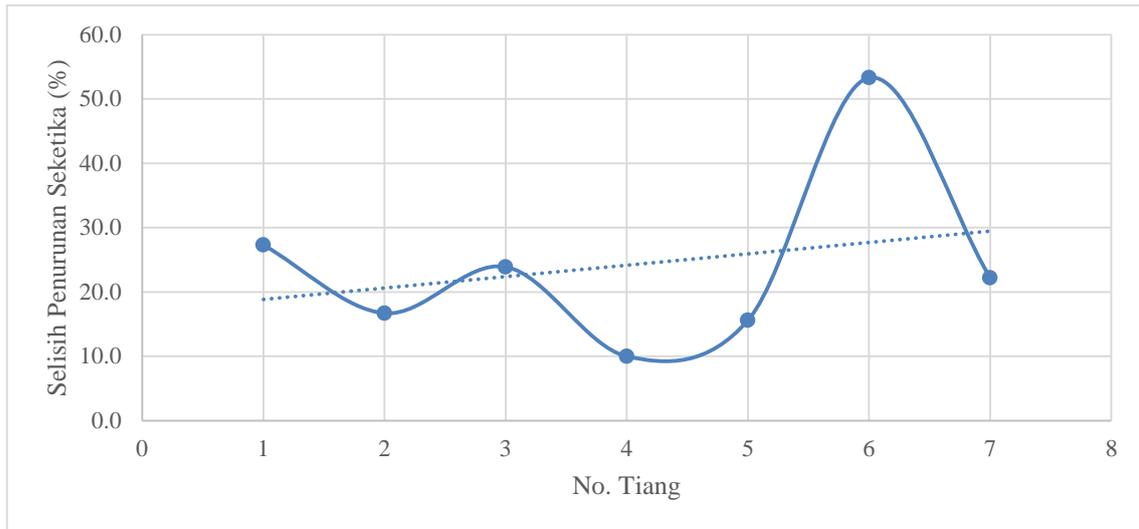
Gambar 2. Grafik selisih daya dukung selimut



Gambar 3. Grafik selisih daya dukung ujung



Gambar 4. Grafik selisih daya dukung ultimit



Gambar 5. Grafik selisih penurunan seketika

Pada gambar 2, grafik selisih daya dukung selimut antara perhitungan dari *spreadsheet* dengan *software* komputer antara 14% sampai 31%. Sementara pada gambar 3, grafik selisih daya dukung ujung antara perhitungan dari *spreadsheet* dengan *software* komputer antara 5% sampai 16%. Dan pada gambar 4, grafik selisih daya dukung ultimit antara perhitungan dari *spreadsheet* dengan *software* komputer antara 5% sampai 15%. Terakhir pada gambar 5, menunjukkan grafik selisih penurunan seketika antara perhitungan dari *spreadsheet* dengan *software* komputer antara 19% sampai 29%. Salah satu faktor terbesar penyebab selisih antara perhitungan dari *spreadsheet* dengan *software* komputer adalah jenis tanah di ujung dan sekitar selimut fondasi *enlarged base*. Karena pada jenis tanah seperti lempung, lanau dan pasir bisa terjadi perbedaan hasil korelasi parameter tanah, dan juga dapat terjadi perbedaan cara menghitung daya dukung dan penurunan fondasi *enlarged base*. Oleh sebab itu, pada tabel 5 dapat dilihat bagaimana kondisi tanah pada sekitar selimut dan ujung fondasi *enlarged base* yang digunakan sebagai contoh.

Tabel 5. Keterangan kondisi tanah pada contoh fondasi *enlarged base*

Tiang No.	Jenis Tanah Sekitar Selimut Tiang	Jenis Tanah pada Ujung Tiang
1	Lempung lunak-keras	Lempung keras
2	Pasir keras	Lempung lunak
3	Pasir keras	Lanau lunak
4	Pasir keras	Lanau sedang-keras
5	Pasir keras	Lanau sedang-keras
6	Lanau keras	Lempung dan lanau sedang-keras
7	Lempung sedang	Lanau lunak

6. KESIMPULAN

Dari analisis perbandingan perhitungan fondasi *enlarged base* pada *spreadsheet* dengan *software* komputer pada point 5, diperoleh kesimpulan bahwa untuk perhitungan daya dukung ujung fondasi nilai selisih berbeda tergantung dari jenis tanah pada ujung fondasi, pada tanah pasir diperoleh selisih hanya 6.8% pada ke empat contoh fondasi (dapat dilihat pada tabel 4), sedangkan pada tanah lempung dan lanau besar selisih yang diperoleh antara 8% sampai 19%.

Dan untuk perhitungan daya dukung selimut fondasi *enlarged base*, hasilnya cukup besar karena ada perbedaan asumsi bagian mana saja yang memberikan daya dukung selimut, akan tetapi faktor jenis tanah juga mempengaruhi besar perbedaan yang diperoleh. Selanjutnya diperoleh selisih daya dukung selimut untuk tanah pasir dan lempung berkisar 3% sampai 20% dan pada tanah lanau selisihnya lebih besar yaitu 19% sampai 46%. Pada tanah lanau selisihnya lebih besar juga dapat disebabkan asumsi pada korelasi tanah yang berbeda, yaitu pada lanau tidak di

anggap 100% tanah kohesif, jadi dianggap memiliki besar sudut geser dalam. Lalu untuk perhitungan daya dukung ultimit fondasi *enlarged base*, dari point 5 menunjukkan hasil yang lebih baik, yaitu berkisar 0% sampai 18%. Dan untuk penurunan seketika besar selisihnya antara 10% sampai 27%, akan tetapi pada fondasi yang ujung tanahnya lanau memiliki besar selisih 53%. Sehingga dari analisis perbedaan hasil perhitungan daya dukung dan penurunan seketika fondasi *enlarged* pada *spreadsheet* dan pada *software* komputer, dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan *spreadsheet* dapat diandalkan untuk menghitung daya dukung ultimit dan penurunan fondasi *enlarged base*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E. (1992). *Analisis dan Desain Pondasi (Edisi Keempat Jilid 1)*. Erlangga, Jakarta.
- Coduto, D. P., Kitch, W. A., dan Yeung, M. R. (2016). *Foundation Design: Principles and Practices (Third Edition)*. Pearson, California.
- Deep Foundation Research Institute. (2013). *Manual Pondasi Tiang Edisi 4*. Geotechnical Engineering Center, Bandung.
- Das, B. M. (2011). *Principles of Foundation Engineering (Seventh Edition)*. Cengage Learning, United States of America.
- Moch., S. (2008). *Buku Bahan Ajar Rekayasa Pondasi*. Politeknik Negeri, Malang.