

## PENILAIAN DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI AKIBAT PERUBAHAN DESAIN PONDASI PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG KANTOR OTORITAS JASA KEUANGAN YOGYAKARTA

Faruq Yoga Pratama<sup>1</sup>, Dwi Sat Agus Yuwana<sup>2</sup>, Dedy Firmansyah<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

<sup>2</sup>Tenaga Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

<sup>3</sup>Tenaga Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

Jl. Kapten Supratman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Magelang, Jawa Tengah 56116

Email: [pfaruqyoga@gmail.com](mailto:pfaruqyoga@gmail.com)<sup>1</sup>, [dwisatagus@untidar.ac.id](mailto:dwisatagus@untidar.ac.id)<sup>2</sup>, [dedy@untidar.ac.id](mailto:dedy@untidar.ac.id)<sup>3</sup>

### ABSTRAK

Proses pembangunan seringkali terjadi masalah pelaksanaan, khususnya pada pengerjaan tiang pancang. Terjadinya permasalahan kegagalan pemancangan tiang pada tanah berpasir di Proyek Pembangunan Kantor Otoritas Jasa Keuangan Yogyakarta yang menyebabkan pergantian pondasi menjadi *bored pile*. Tujuan penelitian ini mengetahui besarnya daya dukung pondasi, besarnya penurunan dan perbandingan penurunan pondasi antara perhitungan manual dengan *software*.

Penelitian dilakukan dengan melaksanakan pemodelan SAP 2000 untuk mendapatkan besarnya beban setiap joint. Perhitungan daya dukung memakai 4 metode yaitu Reese & Wright, Mayerhof, Decourt, dan Tomlinson. Perhitungan efisiensi kelompok tiang memakai *Converse-Labarre Formula* untuk mendapatkan kapasitas dukung kelompok tiang. Penurunan elastik memakai metode Vesic *single pile*. Perhitungan beban total yang diterima *pile cap* digunakan untuk mengetahui beban maksimum yang diterima satu tiang kemudian dimasukkan pada pemodelan *software* PLAXIS 2D untuk mendapatkan penurunan pondasi. Terakhir membandingkan penurunan perhitungan manual (Vesic) dengan *software* PLAXIS 2D.

Hasil penelitian didapat bahwa beban SAP 2000 dari total 47 joint diambil 2 joint yaitu joint 375 untuk *pile cap* 2 dan joint 341 untuk *pile cap* 4. Perhitungan daya dukung diambil nilai terkecil yaitu metode Tomlinson daya dukung *ultimatenya* 270,052 ton. Hasil penurunan Vesic *single pile* 22,55 mm, sedangkan penurunan PLAXIS 2D *single pile* pada *pile cap* 2 sebesar 4,887 mm, *pile cap* 4 sebesar 4,748 mm dan 1,530 mm. Hasil penurunan ijin Vesic *single pile* 60 mm, sedangkan penurunan ijin PLAXIS 2D *single pile* 19,93 mm. Perbandingan penurunan *single pile* Vesic dengan penurunan pondasi *single pile* PLAXIS 2D didapatkan selisih penurunan 17,663 mm–21,02 mm dan selisih penurunan ijinnya 40,07 mm.

---

**Kata Kunci:** *Bored Pile*, Daya Dukung Pondasi, Penurunan, PLAXIS 2D

### ABSTRACT

*In the development process, implementation problems often occur, especially in the construction of piles. There was a problem of pile driving failure on sandy soil in the Yogyakarta Financial Services Authority Office Development Project which caused the change of the foundation to be bored pile. The purpose of this study is to determine the magnitude of the bearing capacity of the foundation, the magnitude of the settlement and the comparison of the settlement of the foundation between manual calculations and software.*

*The research was conducted by implementing SAP 2000 modeling to obtain the magnitude of the load for each joint. The calculation of carrying capacity uses 4 methods, namely Reese & Wright, Mayerhof, Decourt, and Tomlinson. The pile group efficiency calculation uses the Converse-Labarre Formula to obtain the pile group bearing capacity. Elastic settlement using the Vesic single pile. Calculation of the total load received by the pile cap is used to determine the*

*maximum load received by one pile and then entered in the software PLAXIS 2D. Lastly, compare manual calculation reduction (Vesic) with software PLAXIS 2D.*

*The results showed that the SAP 2000 load from a total of 47 joints was taken 2 joints, namely joint 375 for pile cap 2 and joint 341 for pile cap bearing capacity ultimate of 270.052 tons. The results of the decrease in Vesic single pile 22.55 mm, while the decrease in PLAXIS 2D single pile on pile cap 2 is 4.887 mm, pile cap 4 is 4.748 mm and 1.530 mm. The result of the decrease in the permit for Vesic single pile 60 mm, while the decrease in the permit for PLAXIS 2D single pile 19.93 mm. Comparison of single pile Vesic single pile the difference in settlement is 17,663 mm 21.02 mm and the difference in clearance is 40.07 mm.*

---

**Keywords:** Bored Pile, Foundation Bearing Capacity, Settlement, PLAXIS 2D

---

## PENDAHULUAN

Peningkatan perekonomian Indonesia berdampak ke berbagai bidang ekonomi. Bidang ekonomi tersebut salah satunya pada bidang pembangunan, terutama Teknik Sipil yang berkembang pesat per tahunnya [6].

Aman tidaknya suatu bangunan sangat dipengaruhi kuat dari struktur atas serta struktur bawah. Pembangunan struktur bawah ini dibangun di bawah permukaan tanah dan peletakkannya disebut pondasi. Pondasi memiliki banyak jenis yang bisa dipergunakan, namun dalam menentukan jenis pondasi disesuaikan dengan kebutuhannya berdasar besar beban diterima serta tipe susunan tanah untuk peletakan pondasi [9].

Fungsi pondasi yaitu sebagai pernerus berat struktur atas serta berat sendiri pondasi menuju susunan tanah bawah dengan tidak diiringi keruntuhan disebabkan bergesernya tanah serta penyusutan tanah ataupun muatan berlebih dari bangunan. Pondasi ialah bagian penghubung bangunan dengan tanah. Pondasi bertugas sebagai penerima beban mati serta hidup setelah itu menyebarkannya ke dalam tanah [9].

Proses pelaksanaan pada proyek seringkali terjadi beberapa masalah pada proyek pembangunan terutama di dalam pengerjaan pondasi tiang pancang. Masalah yang terjadi bergantung dari perencanaan, koordinasi, dan pengendalian dari faktor konstruksi yang berjalan baik [5].

Proyek Pembangunan Gedung Kantor Otoritas Jasa Keuangan Daerah Istimewa Yogyakarta yang berlokasi di Jalan Jendral Sudirman No. 32 Yogyakarta, pada perencanaan awal pondasi yang digunakan pondasi tiang pancang dan kemudian dilakukan penggantian jenis pondasi menjadi pondasi *bored pile*. Penggantian pondasi tersebut dipengaruhi faktor jenis tanah pasir karena tanah pasir yang cukup padat yang

mengakibatkan kuat geser tanah meningkat, sehingga dapat berpengaruh terhadap semakin tingginya kesulitan dalam pemancangan tiang sehingga dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pemancangan pondasi tiang pancang yang ditekan menggunakan alat *jack pile* di Proyek Pembangunan Gedung Kantor Otoritas Jasa Keuangan Daerah Istimewa Yogyakarta.

## TINJAUAN PUSTAKA, LANDASAN TEORI

Penelitian terdahulu, hasil beban *ultimate* pondasi *bored pile* dengan metode Reese & Wright sebesar 513,33 ton dengan penurunan elastik metode Vesic sebesar 54 mm dan penurunan ijin 120 mm [3]. Penelitian selanjutnya, penelitian ini menghasilkan beban *ultimate* pondasi *bored pile* dengan metode Reese & Wright beban *ultimate* sebesar 3349,62 ton dengan penurunan 55,03 mm, metode O'neil & Reese beban *ultimate* sebesar 2526,93 ton dengan penurunan 49,44 mm, metode *software* PLAXIS 2D beban *ultimate* sebesar 4500,21 ton dengan penurunan 127,3 mm, dan metode *loading test* beban *ultimate* sebesar 3939,9 ton dengan penurunan 141,54 mm [7].

Penelitian ini merupakan analisis perhitungan daya dukung pondasi *bored pile* memakai 4 metode yaitu Reese & Wright, Mayerhof, Decourt, dan Tomlinson, serta analisis penurunan memakai metode Vesic dan metode *software* PLAXIS 2D yang kemudian antara kedua metode penurunan dibandingkan besarnya penurunan yang terjadi.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini berlokasi di Proyek Pembangunan Gedung Kantor Otoritas Jasa Keuangan Yogyakarta terletak di Jalan Jendral Sudirman No. 32 Yogyakarta. Lokasi penelitian bisa dilihat pada Gambar 1 berikut:



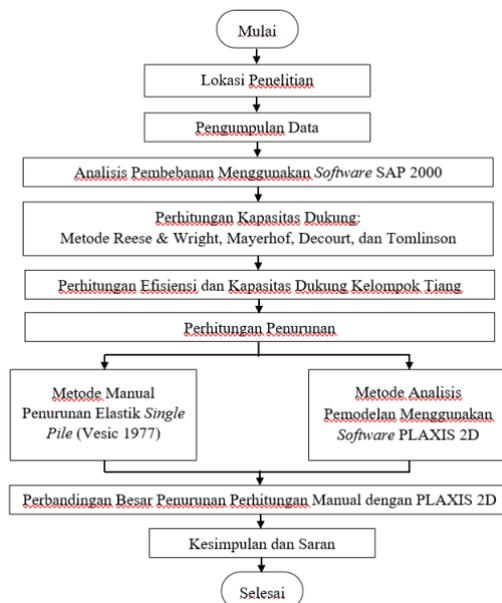
Gambar 1 Lokasi Penelitian

### A. Alat

Alat yang dipakai saat penelitian ini adalah *software* SAP 2000 dan *software* PLAXIS 2D.

### B. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian yang dikerjakan dalam penelitian bisa dilihat di Gambar 2 berikut:



Gambar 2 Diagram Alir

### C. Tahapan Penelitian

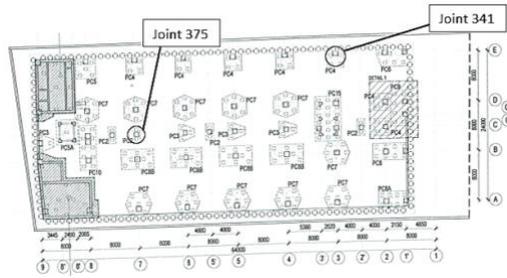
Tahapan penelitian yang dikerjakan pada penelitian ini yaitu:

1. Pengumpulan data yang digunakan berupa data sekunder seperti studi literatur yaitu jurnal serta buku, dan data lapangan yaitu gambar struktur dan laporan penyelidikan tanah Kantor Otoritas Jasa Keuangan Yogyakarta yang diperoleh dari PT. Adhi Karya (Persero) Tbk.
2. Memodelan struktur memakai SAP 2000 untuk mendapatkan besarnya beban pada setiap *joint*.
3. Melakukan perhitungan kapasitas daya dukung memakai 4 metode yaitu Reese & Wright, Mayerhof, Decourt, dan Tomlinson untuk mendapatkan nilai daya dukung ujung, daya dukung selimut, daya dukung *ultimate* dan daya dukung ijin.
4. Melakukan perhitungan efisiensi kelompok tiang memakai *Converse-Labarre Formula* untuk mendapatkan kapasitas dukung kelompok tiang.
5. Melakukan perhitungan penurunan dengan 2 metode yaitu penurunan elastik memakai metode *Vesic single pile* dan memakai metode *software* PLAXIS 2D *single pile*. Pemodelan *software* PLAXIS 2D ini memerlukan perhitungan beban maksimum yang diterima oleh satu tiangnya terlebih dahulu.
6. Melakukan perbandingan besarnya penurunan antara perhitungan penurunan elastik memakai metode *Vesic single pile* dengan *software* PLAXIS 2D *single pile*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Analisis Pemodelan SAP 2000

Hasil besarnya beban di setiap *joint* yang dihasilkan dalam pemodelan di SAP 2000 didapatkan jumlah *joint* yang ada yaitu 47, kemudian dipakai 2 *joint* sebagai *sample* yaitu pada *joint* 375 di *pile cap* 2 dengan besar beban 128,798 ton dan *joint* 341 di *pile cap* 4 dengan besar beban 150,898 ton. Pemilihan kedua *joint* tersebut untuk melihat seberapa perbedaan penurunan antara *joint* di tengah bangunan dan di sisi samping bangunan. Lebih jelasnya terkait letak *joint* yang akan dipakai dilihat di Gambar 3 berikut:



Gambar 3 Letak Joint Dipakai

## B. Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Pondasi Bored Pile

Hasil hitung daya dukung dari 4 metode bisa dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Hasil perhitungan daya dukung dari 4 metode

Metode	Daya Dukung Ujung ( $Q_u$ )	Daya Dukung Selimut ( $Q_s$ )	Daya Dukung Ultimate ( $Q_u$ )	Daya Dukung Ijin ( $Q_{all}$ )
	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)
Reese&Wright	78,448	668,472	746,92	298,768
Mayerhof	507,59	78,4	585,99	195,33
Decourt	257,247	2592,45	2849,697	949,899
Tomlinson	108,94	161,112	270,052	90,017

Ringkasan dari Tabel 1 dapat diambil nilai daya dukung pondasi yang terkecil, karena digunakan untuk analisa jumlah pondasi yang dipakai, jumlah tiang pondasi yang banyak dikarenakan daya dukung pondasi *single pile* yang rendah serta sebaliknya dan dijadikan rujukan perhitungan penurunan pondasi. Hasil daya dukung pondasi terkecil yaitu memakai metode Tomlinson yang hasil daya dukung *ultimate* yaitu 270,052 ton.

## C. Efisiensi dan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Pondasi

Hasil hitung efisiensi dan daya dukung kelompok tiang pondasi bisa dilihat di Tabel 2 berikut:

Tabel 2 Hasil Perhitungan Efisiensi dan Daya Dukung Kelompok Tiang Pondasi

Tipe Pondasi	S	m	n'	Efisiensi	n	$Q_{all}$ (single)	$Q_g$ (group)
	(m)			(%)		(ton)	(ton)
PC 2	1,5	1	2	87,9 %	2	90,017	158,25
PC 4	1,5	2	2	75,8 %	4	90,017	272,932

## D. Penurunan Elastik Pondasi Bored Pile

Hasil perhitungan penurunan elastik pondasi tiang tunggal (*single pile*) dan tiang

grup (*group pile*) bisa dilihat di Tabel 3 berikut:

Tabel 3 Hasil Perhitungan Penurunan Elastik *Single Pile* dan *Group Pile*

Penurunan	Perhitungan Manual		
	Vesic ( <i>Single Pile</i> )	Vesic ( <i>Group Pile</i> )	
		<i>Pile Cap 2</i>	<i>Pile Cap 4</i>
Penurunan Pondasi	22,55 mm	31,89 mm	47,84 mm
Penurunan Ijin	60 mm	60 mm	60 mm

Besar dari penurunan elastis pada pondasi grup *bored pile* bergantung pada jenis tanah dan persebaran tekanan pondasi ke tanah di bawahnya. Perencanaan pondasi pada penelitian ini memakai beban maksimal di setiap tipe pondasi grup dan didapatkan hasil penurunan yang cukup besar, tapi hasil tersebut merupakan hasil penurunan terbesar di antara nilai pondasi grup yang lainnya.

## E. Perhitungan Beban Total yang Diterima *Pile Cap*

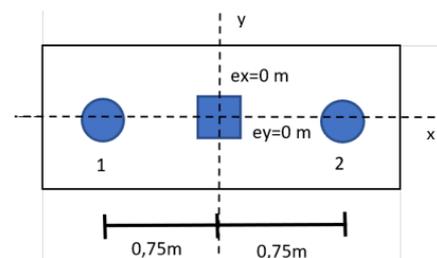
Hasil perhitungan beban sendiri dan beban total diterima *pile cap* bisa dilihat di Tabel 4 berikut:

Tabel 4 Perhitungan Beban Sendiri dan Beban Total yang Diterima *Pile Cap*

Tipe	Beban Sendiri <i>Pile Cap</i>	Beban Total diterima <i>Pile Cap</i>
<i>Pile Cap 2</i>	9,36 ton	138,158 ton
<i>Pile Cap 4</i>	12,96 ton	163,858 ton

## F. Perhitungan Beban Maksimum yang Diterima Satu Tiang

Hasil perhitungan beban maksimum yang diterima satu tiang untuk *pile cap 2* bisa dilihat di Gambar 4 dan Tabel 5 berikut:

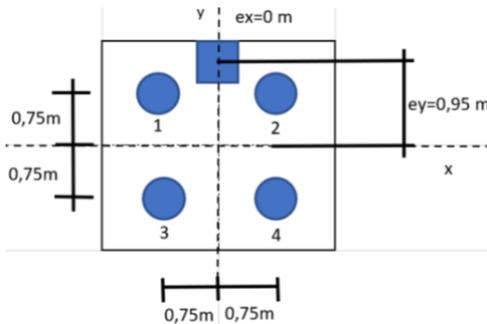


Gambar 4 *Pile Cap 2* Jarak  $e_x$  dan  $e_y$

Tabel 5 Beban Maksimum yang Diterima Satu Tiang pada *Pile Cap 2*

Tiang	x	y	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	q (ton)
1	-0,75	0	0,563	0	69,079
2	0,75	0	0,563	0	69,079
	Σ		1,126	0	138,158

Hasil perhitungan beban maksimum yang diterima satu tiang untuk *pile cap 4* bisa dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 6 berikut:



Gambar 5 *Pile Cap 4* Jarak  $e_x$  dan  $e_y$

Tabel 6 Beban Maksimum yang Diterima Satu Tiang pada *Pile Cap 4*

Tiang	x	Y	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	q (ton)
1	-0,75	0,75	0,563	0,563	66,886
2	0,75	0,75	0,563	0,563	66,886
3	-0,75	-0,75	0,563	0,563	15,043
4	0,75	-0,75	0,563	0,563	15,043
	Σ		2,252	2,252	163,858

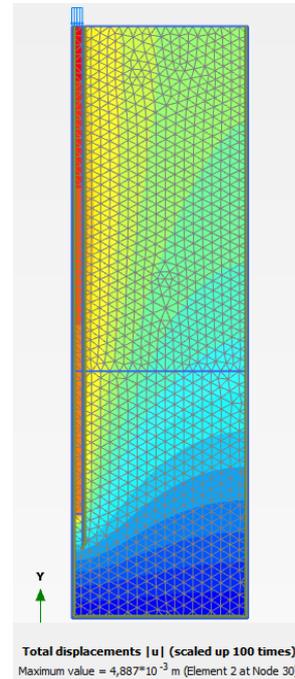
### G. Perhitungan Penurunan dengan Software PLAXIS 2D

Hasil penurunan dan penurunan ijin pondasi *bored pile* untuk *single pile* menggunakan software PLAXIS 2D bisa dilihat pada Tabel 7 berikut:

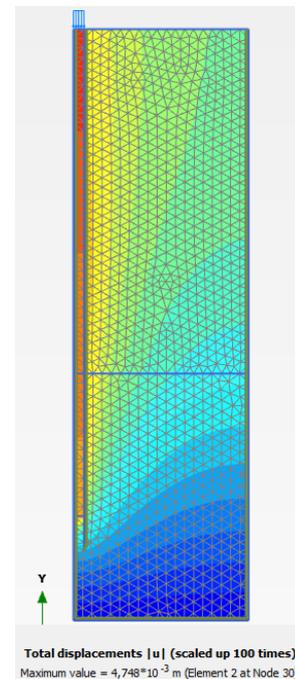
Tabel 7 Hasil Penurunan Pondasi Bor *Single Pile* pada PLAXIS 2D

Tipe Pondasi ( <i>Single Pile</i> )	Penurunan Pondasi
<i>Pile Cap 2</i> q1 dan q2	4,887 mm
<i>Pile Cap 4</i> q1 dan q2	4,748 mm
<i>Pile Cap 4</i> q3 dan q4	1,530 mm
Penurunan Ijin	19,93 mm

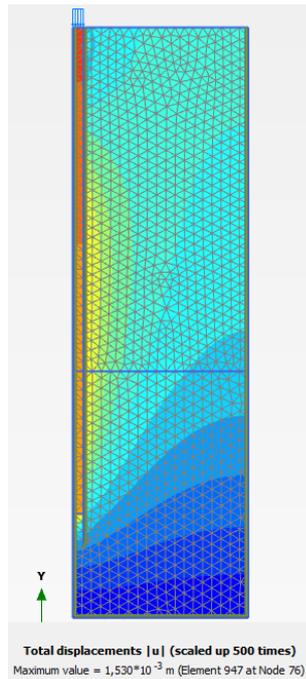
Gambar hasil penurunan pondasi *bored pile* memakai software PLAXIS 2D bisa dilihat di Gambar 6 berikut:



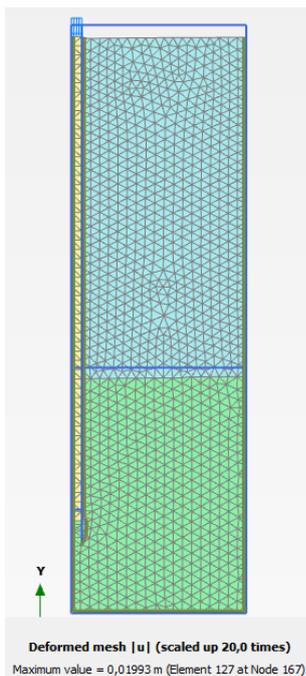
(a) Penurunan *Pile Cap 2* Tiang q1 dan q2



(b) Penurunan *Pile Cap 4* Tiang q1 dan q2



(c) Penurunan *Pile Cap* 4 Tiang q3 dan q4



(d) Penurunan *Pile Cap* 4 Tiang q1 dan q2  
Gambar 6 Penurunan pada *Pile Cap* 2 dan 4 serta Penurunan Ijin

#### H. Perbandingan Penurunan Pondasi *Bored Pile* antara Perhitungan Vesic dengan *Software* PLAXIS 2D

Hasil perbandingan penurunan pondasi *bored pile* antara perhitungan Vesic dengan

*software* PLAXIS 2D bisa dilihat pada Tabel 8 berikut:

Tabel 8 Hasil Perbandingan Penurunan Metode Vesic dengan *Software* PLAXIS 2D

Penurunan	Perhitungan Manual	Perhitungan <i>Software</i> PLAXIS 2D		
	Vesic ( <i>Single Pile</i> )	<i>Pile Cap</i> 2 q1 dan q2	<i>Pile Cap</i> 4 q1 dan q2	<i>Pile Cap</i> 4 q3 dan q4
Penurunan Pondasi	22,55 mm	4,887 mm	4,748 mm	1,53 mm
Penurunan Ijin	60 mm	19,93 mm	19,93 mm	19,93 mm

Perbandingan perhitungan penurunan *single pile* secara manual dengan metode Vesic (1977) dengan penurunan pondasi *single pile* memakai *software* PLAXIS 2D didapatkan hasil penurunan dengan selisih 17,663 mm – 21,02 mm dan penurunan ijinnya selisih perbedaannya 40,07 mm. Penurunan dari metode Vesic (1977) dan *software* PLAXIS 2D ini memiliki perbedaan yang lumayan tinggi dikarenakan untuk metode Vesic (1977) memakai beban maksimal sehingga terjadilah penurunan yang cukup besar, sedangkan penurunan dengan *software* PLAXIS 2D telah disesuaikan dengan eksisting dan keadaan tanah pada lapangan sehingga lebih detail. Penurunan dari ke dua metode tersebut telah memenuhi syarat dikarenakan tidak melebihi penurunan ijinnya, sehingga bisa dikatakan aman.

#### KESIMPULAN

Hasil dari perhitungan yang dilakukan pada proyek Gedung Kantor Otoritas Jasa Keuangan Yogyakarta didapatkan kesimpulan hasil hitung berikut ini:

1. Hasil perhitungan daya dukung memakai 4 metode manual yaitu:
  - a. Metode Reese & Wright menghasilkan daya dukung ujung ( $Q_b$ ) 78,448 ton, daya dukung selimut ( $Q_s$ ) 668,472 ton, daya dukung *ultimate* ( $Q_u$ ) 746,92 ton, dan daya dukung ijin ( $Q_{all}$ ) 298,768 ton.
  - b. Metode Mayerhof menghasilkan daya dukung ujung ( $Q_b$ ) 507,59 ton, daya dukung selimut ( $Q_s$ ) 78,4 ton, daya

- dukung *ultimate* ( $Q_u$ ) 585,99 ton, dan daya dukung ijin ( $Q_{all}$ ) 195,33 ton.
- c. Metode Decourt menghasilkan daya dukung ujung ( $Q_b$ ) 257,247 ton, daya dukung selimut ( $Q_s$ ) 2592,45 ton, daya dukung *ultimate* ( $Q_u$ ) 2849,697 ton, dan daya dukung ijin ( $Q_{all}$ ) 949,899 ton.
  - d. Metode Tomlinson menghasilkan daya dukung ujung ( $Q_b$ ) 108,94 ton, daya dukung selimut ( $Q_s$ ) 161,112 ton, daya dukung *ultimate* ( $Q_u$ ) 270,052 ton, dan daya dukung ijin ( $Q_{all}$ ) 90,017 ton.
2. Perhitungan penurunan pondasi *bored pile* berdasar perhitungan manual dan *software* PLAXIS 2D:
    - a. Perhitungan penurunan elastik pondasi (*single pile*) menurut Vesic didapatkan hasil penurunan total 22,55 mm, sedangkan pemodelan *software* PLAXIS 2D didapatkan hasil penurunan untuk *single pile* pada *Pile Cap* 2 tiang  $q_1$  dan  $q_2$  4,887 mm, *Pile Cap* 4 tiang  $q_1$  dan  $q_2$  4,748 mm, dan *Pile Cap* 4 tiang  $q_3$  dan  $q_4$  1,530 mm.
    - b. Perhitungan penurunan elastik pondasi (*single pile*) menurut Vesic didapatkan hasil penurunan ijin 60 mm, sedangkan pemodelan *software* PLAXIS 2D didapatkan hasil penurunan ijin untuk *single pile* 19,93 mm.
  3. Perbandingan perhitungan penurunan *single pile* secara manual dengan metode Vesic (1977) dengan penurunan pondasi *single pile* memakai *software* PLAXIS 2D didapatkan hasil penurunan dengan selisih 17,663 mm–21,02 mm dan penurunan ijinnya selisih perbedaannya 40,07 mm.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afriyanto, A., 2017. Analisa Perbandingan Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Berbagai Macam Metode Pada Proyek Apartemen The Frontage Surabaya. In: *Tugas Akhir*. Surabaya: s.n., p. 11.
- [2] Agung, P., A., M., Djuwari, K., W., & Andanawarih, M., F., 2017. Tinjauan Ulang Daya Dukung dan Penurunan Pondasi Bored Pile pada Pembangunan Jalan Layang Kapt. Tendean–Blok M–Cileduk, Paket Santa Section P10–P11. *POLITEKNOLOGI*, Volume 16, p. 18.
- [3] Fadilah, U., N., & Tunafiah, H., 2018. Analisa Daya Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data N-SPT Menurut Rumus Reese & Wright dan Penurunan. *Jurnal IKRA-ITH ISSN 2580-4308*, Volume 2.
- [4] Livia & Suhendra, A., 2018. Studi Kapasitas Tiang Bor Berdasarkan Metode Pile Driving Analyzer (PDA) dan Load Cell. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, Volume 1, pp. 83-86.
- [5] Octaviandi, Z., I., I., & Priyanto, B., 2019. *Pergantian Metode Pondasi Tiang Pancang ke Pondasi Bored Pile Akibat Tanah Pasir di Proyek Pembangunan Kantor Otoritas Jasa Keuangan Yogyakarta*, p. 194.
- [6] Panggabean, H., N., & Prijasambada, 2021. Analisa Pondasi Yang Efisien Untuk Proyek Pembangunan Gedung Tower KBG Menggunakan Borepile Dan Tiang Pancang. *Jurnal IKRA-ITH TEKNOLOGI*, Volume 5, p. 82.
- [7] Rustiani, S., & Sukardi, F., F., 2017. Daya Dukung Pondasi Tiang Bor Dalam Tanah Berpasir (Cemented) dan Lanau.
- [8] Santoso, H., T., & Hartono, J., 2020. Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Uji SPT dan Pengujian Dinamis. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil Universitas Sebelas Maret ISSN: 2579-7999*, Volume Vol. 4, p. 32.
- [9] Surendro, B., 2015. In: *Rekayasa Fondasi; Teori dan Penyelesaian Soal*. Magelang: GRAHA ILMU, p. 1.