



ANALISIS PARAMETRIK ALTERNATIF FONDASI PADA DAERAH TANAH LUNAK (STUDI KASUS: KANTOR BUPATI KAB. ROKAN HILIR, RIAU)

Alfi Fadillah^{1*}, Budi Susilo Soepandji²

^{1*,2} Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia Pondok Cina, Beji, Depok, Jawa Barat 16424

Alamat E-mail: alfi.fadillah1704@gmail.com

Info Artikel

Abstrak

Sejarah artikel:

Diterima: Nov 2023
Disetujui: April 2024
Dipublikasikan: Juni 2024

Keywords:

Daya dukung, Penurunan, Bored pile, Tiang Pancang

Fondasi adalah suatu bagian dari sistem rekayasa yang bekerja dengan cara meneruskan beban yang ditopangnya dan beratnya sendiri kedalam tanah atau batuan yang terletak dibawahnya. Pada penelitian ini penulis merencanakan membandingkan pondasi *bored pile* yang sudah di terapkan dibangunan tersebut dengan alternatif pondasi lain yaitu fondasi tiang pancang 1 dengan dalam 38meter dengan diameter 0.8 meter, Serta tiang pancang 2 dengan dalam 38meter dengan diameter 1meter dari sisi kapasitas daya dukung dan besaran terjadi penurunan. Kemudian dilakukanlah perhitungan daya dukung pondasi dengan metode Meyerhof (1976), McClelland (1974), Skempton (1966), dan Reese & O'Neill (1999). Penurunan tiang tunggal dengan metode Vesic (1977) dan Poulos & Davis (1980) serta menggunakan program Plaxis v.20. Selanjutnya dari hasil perhitungan dibandingkan antara fondasi *bored pile* dengan tiang pancang model 1 dan 2. Didapat bahwa fondasi *bored pile* dan fondasi tiang pancang 1 tidak memenuhi batas izin penurunan fondasi hanya fondasi tiang pancang 2 yang memenuhi batas tersebut yakni penurunan lebih kecil dari 10% diameter fondasi.

Kata Kunci: Daya dukung, Penurunan, Bored pile, Tiang Pancang

Abstract

A foundation is a part of an engineering system that works by transmitting the load it supports and its own weight into the soil or rock beneath it. In this research, the author plans to compare the bored pile foundation that has been applied to the building with other alternative foundations, namely pile foundation 1 with a depth of 38 meters with a diameter of 0.8 meters, and pile 2 with a depth of 38 meters with a diameter of 1 meter in terms of bearing capacity and the magnitude of the decline that occurred.

Then the foundation bearing capacity was calculated using the Meyerhof (1976), McClelland (1974), Skempton (1966), and Reese & O'Neill (1999). Single pole reduction using the Vesic (1977) and Poulos & Davis (1980) methods and using the Plaxis v.20 program. Furthermore, the results of the calculations compared the bored pile foundation with pile models 1 and 2. It was found that the bored pile foundation and pile foundation 1 did not meet the permit limit for foundation settlement, only pile foundation 2 met the limit, namely a decrease of less than 10% of the foundation diameter.

✉ Alamat korespondensi:

Pondok Cina, Beji, Depok, Jawa Barat 16424

E-mail: alfi.fadillah1704@gmail.com

ISSN 2527-7073

PENDAHULUAN

Kantor Bupati Kabupaten Rokan Hilir dibangun dengan menggunakan biaya Pemerintah Daerah Rokan Hilir dengan tujuan untuk memfasilitasi kebutuhan akan sarana gedung perkantoran Bupati yang belum memadai. Gedung tersebut menggunakan struktur rangka beton bertulang dengan 8 lantai bertingkat dan 1 lantai basement. Direncanakan gedung tersebut difungsikan sebagai gedung perkantoran bupati di lantai 2 sampai 8, unit lobi dilantai pertama dan 1 unit basement sebagai lahan parkir kendaraan. Serta memiliki kubah besar ditengah-tengah bangunan dengan tinggi mencapai 20 meter.

Dalam Proyek pembangunan gedung, biasanya pekerjaan terbagi menjadi 2 bagian, yaitu struktur atas seperti balok, kolom, plat, dan lain-lain. Kemudian struktur bawah yaitu konstruksi fondasi. Fondasi ialah struktur bagian bawah bangunan yang terletak dibawah permukaan tanah yang berfungsi memikul beban bagian bangunan lain diatasnya [4].

Untuk merencanakan pembangunan pondasi, perlu dilakukan analisa rancangan dengan menguji kedalaman dan diameter tertentu untuk mencapai daya dukung tanah yang diperlukan untuk menopang beban yang didistribusikan pada setiap pondasi, misalnya seperti pada saat membangun Kantor Bupati Kabupaten Rokan Hilir. Data uji sondir, borlog dan data laboratorium sangat diperlukan dalam analisis daya dukung dan penurunan yang terjadi pada masing-masing pondasi [2] [14].

Bangunan kantor bupati menggunakan fondasi *bored pile* dengan kedalaman 38 meter, dan diameter 0.8 meter, namun kondisi bangunan gedung kantor bupati tersebut mengalami kerusakan akibat dari penurunan fondasi yang terjadi. Kerusakan yang terjadi yakni kerusakan pada bagian aksesoris bangunan dan terjadi pada bangunan gedung kantor bupati ini mengalami penurunan yang cukup signifikan terjadi yang berlangsung selama 8 tahun, Besaran terjadinya penurunan ialah sebesar ± 0.6 meter.

Dengan hal yang telah terjadi peneliti ingin membandingkan fondasi *bored pile* yang sudah diterapkan di bangunan tersebut dengan alternatif fondasi lain yaitu fondasi tiang pancang 1 dengan kedalaman 38 meter, dengan diameter 0.8 meter, Serta tiang pancang 2 dengan kedalaman 38 meter, dengan diameter 1 meter.

Dalam hal ini peneliti mempelajari dan mencoba menganalisis daya dukung dan besaran penurunan gedung yang terjadi pada masing-masing pondasi tersebut. Untuk melihat apakah ada perbedaan teknis dalam perhitungannya.

PARAMETER TANAH SEBAGAI PENDUKUNG PONDASI

Perilaku mekanis dari tanah pada dasarnya dapat dimodelkan menggunakan piranti lunak seperti PLAXIS dengan memasukkan berbagai parameter tanah yang diperlukan dan sesuai dengan jenis tanahnya itu sendiri. Berbagai jenis kondisi tanah seperti *Drained* dan *Undrained* pun dapat dikondisikan untuk mengetahui tegangan dan regangan yang sangat berpengaruh terhadap deformasi atau penurunan akibat pembebanan pada tanah dengan menggunakan model formulasi *couple* dua dimensi [1] [18].

Parameter - parameter yang mempengaruhi tersebut adalah nilai kohesi, sudut geser, tegangan geser dan tegangan normal yang terjadi. Tanah pasir dan lanau anorganik nilai c adalah sama dengan nol. Untuk tanah lempung yang terkonsolidasi normal, harga c juga dapat dianggap sama dengan nol. Sedangkan pada tanah lempung terkonsolidasi-lebih mempunyai harga $c > 0$ [3] [5].

Definisi serta istilah-istilah yang dipakai untuk menyatakan sifat umum tanah adalah sebagai berikut:

Tabel 1: Istilah-istilah dalam tanah

Sifat	Istilah inggris	Simbol	Definisi
Berat volume tanah	Unit waight density	W_s	Perbandingan antara berat tanah seluruhnya dengan volume tanah seluruhnya
Berat isi butiran	Unit waight particels	W_w	Perbandingan antara berat butiran dengan volume butiran
Berat isi kering	Dey density	γ	Perbandingan antara Berat partikel padat tanah dengan volume tanah seluruhnya
Berat isi air	Unit weight of water	γ_w	Perbandingan antara berat air dengan volume air
Kadar air	Water content/moisture content	w	Perbandingan antara berat air dengan berat partikel padat tanah
Angka pori	Void ratio	E	Perbandingan antara volume pori dengan volume partikel padat tanah
porositas	Porosity	N	Perbandingan antara volume pori dengan volume tanah seluruhnya
Berat jenis	Specific gravity	G	Perbandingan antara rasio berat tanah dengan volume tanah
Derajat kejenuhan	Degree of saturation	S_r	Perbandingan antara volume air pori dengan velume pori

Kondisi Tanah *Undrained*

Kondisi tanah *undrained* ialah pada saat air tidak mampu keluar masuk tanah saat waktu tertentu dimana tanah akan terjadi perubahan isi (*load*), dimana perubahan ini yang akan mengakibatkan terjadi perubahan tegangan air (*water pressure*) pada void di tanah dikarenakan air tidak mampu keluar atau pun masuk secara bebas saat isi void berubah. Kondisi *Undrained* bisa nya disebut dengan kondisi jangka pendek [7].

Analisis *undrained* menggunakan parameter tegangan efektif c' dan ϕ' . Pada kondisi ini dapat dilakukan analisa dengan tegangan efektif, akan tetapi tegangan air pori yang terjadi (Δu) akibat perubahan tegangan harus diketahui. Kondisi tanah *Undrained* saling berhubungan dengan kasus stabilitas jangka pendek utamanya pada tanah yang permeabilitasnya kecil seperti lempung.

Kondisi Tanah *Drained*

Sedangkan kondisi tanah *drained* ialah dimana air mampu untuk keluar masuk pada tanah dengan jangka waktu tertentu dimana tanah akan mengalami perubahan isi (*load*), perubahan tersebut tidak mengakibatkan perubahan pada tegangan air (*water pressure*) pada void tanah karena air akan dapat keluar masuk secara bebas ketika volume pada void mengecil dan membesar dalam merespon dari perubahan isi (*load*) tanah. Kondisi ini biasa disebut dengan kondisi jangka panjang [6].

Untuk analisis kondisi tanah *drained* digunakan untuk tanah yang granular, seperti tanah pasir dan tanah berbatu. Sebenarnya dapat jugak digunakan untuk perilaku jangka panjang dari tanah lempung. Kondisi *drained* dapat diasumsikan bahwa tahanan air pori telah terdisipasi sepenuhnya ($u_e = 0$), oleh karena itu volume dari tanah akan berubah.

Fondasi *Bored pile*

Fondasi "*Bored Pile*" adalah fondasi dalam yang proses pemasangannya dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu. Kemudian setelah dilakukan pengeboran tanah selanjutnya di masukkan tulangan yang telah dirangkai kemudian di cor dengan beton. Setelah tanah dilubangi sebelumnya dimasukkan pipa besi (*temporary casing*) agar dapat menahan tanah yang mengandung air agar dinding lubang tidak longsor, namun pada saat pengecoran pipa ini akan di keluarkan [11].

Fondasi Tiang Pancang

Fondasi Tiang Pancang (*Pile Foundation*) yaitu fondasi yang berfungsi untuk memberikan dukungan bagi struktur ketika kekerasan lapisan bawah tanah ditemukan pada tingkat yang sangat rendah. Fondasi ini berisi susunan tiang yang ditancapkan jauh ke dalam tanah yang direncanakan dan menggunakan alat HSPD (*Hydraulic Static Pile Driver*) atau *Drop Hammer*. Penggunaan alat

HSPD dan *Drop Hammer* biasanya menyesuaikan biaya dan juga lingkungan disekitar proyek berlangsung [11].

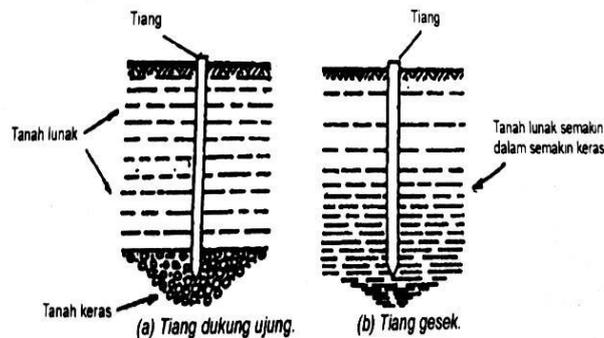
Kapasitas Dukung Fondasi

1. Tiang dukung ujung (*end bearing pile*)

Tiang dukung ujung (*end bearing pile*) adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tiang dukung ujung berada dalam zone tanah yang lunak yang berada di atas tanah keras.

2. Tiang geser

Tiang geser adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan geser antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya.



Gambar 1: Tiang Ditinjau dari Cara Mendukung Bebannya

Daya dukung pondasi tiang bor adalah besarnya merupakan penjumlahan dari tahanan ujung dan tahanan selimut tiang (gesekan kulit tiang dengan tanah) [9] [10] [11] [18].

Pada tabel dibawah dapat dilihat beberapa metode menentukan kapasitas daya dukung fondasi tiang tunggal.

Tabel 2: Metode-metode menentukan kapasitas daya dukung fondasi tunggal.

Metode	Tahanan Ujung	Rumus		Keterangan
		Keterangan	Tahanan Friksi	
Skempton (1966)	$Q_b = \mu A_b c_b N_C$	$N_c = 9$ $\mu =$ Faktor koreksi, dengan $\mu = 0,8$ untuk $d < 1$ m, dan $\mu = 0,75$ untuk $d > 1$ m	$Q_s = \alpha c_u A_s$	$\alpha = 0,45$
Reese & O'Neill (1999)	$Q_b = A_b c_b N_C'$	$N_C' = 6(1 + 0,2 \frac{L}{d_b}) \leq 9$	$Q_s = \alpha c_u A_s$	$\alpha = 0,55$ ($c_u < 150$ kPa)
Meyerhof (1976)	$Q_b = qp \times A_b$	$qp = 380 \times N\text{-SPT}$ (rata-rata)	$Q_s = \alpha c_u A_s$	$\alpha = 0,50$ (Faktor Adhesi)

McClelland (1974)	$Q_b = A_b \times c_b \times N_c + p_b$	cb = kohesi pada kondisi tak terdrainase (undrained) teretak dibawah ujung tiang $N_c = 9$ P_b = tekanan overbudan ujung bawah tiang	$Q_s = \alpha c_u A_s$	α = faktor adhesi (Grafik McClelland, 1974)
------------------------------	---	--	------------------------	--

DATA TEKNIS PROYEK

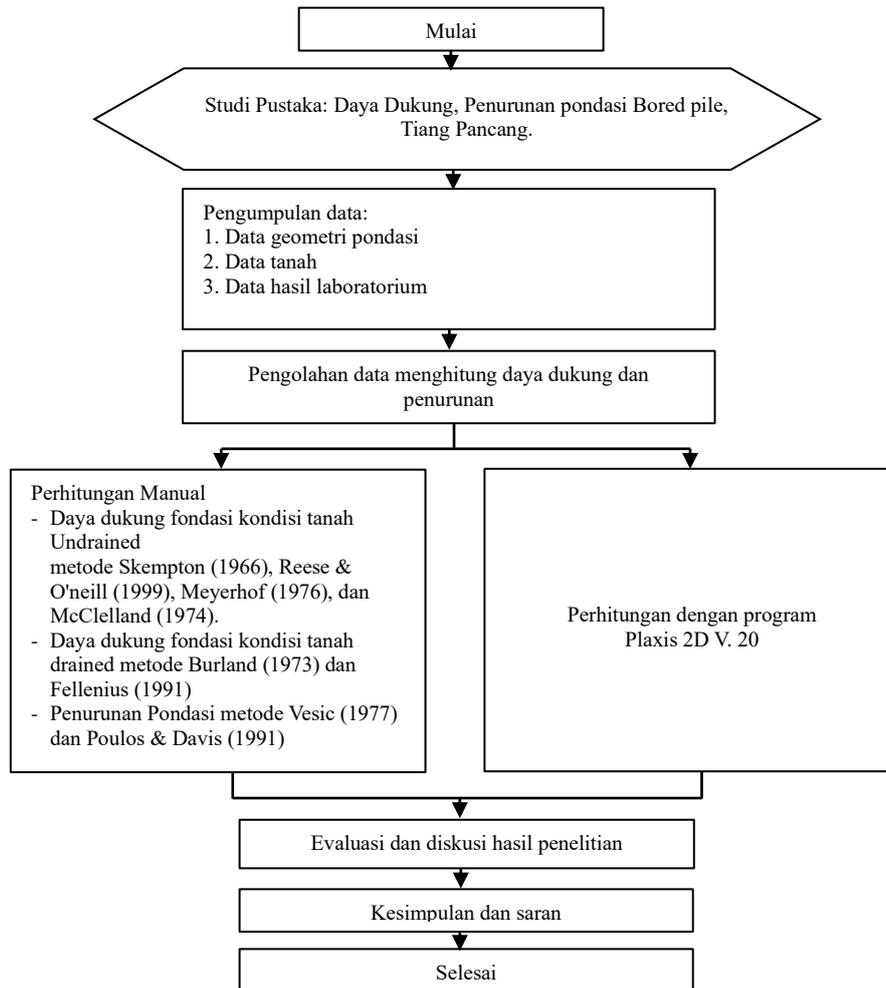
Untuk data teknis dari pembangunan Gedung Kantor Bupati Kab. Rokan Hilir, berdasarkan hasil dari perhitungan konsultan perencanaan, misalnya:

1. Jenis Fondasi = *Bored Pile*
2. Dimensi Fondasi = D80
3. Kedalaman Fondasi = 38 m
4. Mutu Beton Fondasi = K-350

Setelah mendapatkan data teknis, penulis akan melakukan perbandingan dengan data teknis yang penulis rencanakan, berdasarkan perencanaan penulis, misalnya:

1. Jenis Fondasi = Tiang Pancang 2 Model
2. Dimensi Fondasi = D80 dan D100
3. Kedalaman Fondasi = 38 m
4. Mutu Beton Fondasi = K-500

BAGAN ALIR PENELITIAN:



PARAMETER TANAH

Dalam penelitian menggunakan parameter tanah saebagai berikut:

Tabel 3: Parameter Tanah

Parameter	Nama	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Lapisan 4	Satuan
		Silty Clay 0 - 7 m	Sandy Caly 7 - 18 m	Clay 18 - 28 m	Silty Sand 28 - 50 m	
<i>Material Model</i>	<i>Model</i>	MC	MC	MC	MC	-
<i>Type Of material Behaviour</i>	<i>Type</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	-
<i>Dry soil unit weight</i>	<i>γ_{dry}</i>	9.78	10.3	10.8	14.55	kN/m ³
<i>Saturated soil unit weight</i>	<i>γ_{sat}</i>	13.84	14.2	14.76	18.49	kN/m ³
<i>Young's Modulus constant</i>	<i>E</i>	3800	6100	10000	19000	kN/m ²
<i>Poisson's Ratio</i>	<i>ν</i>	0.25	0.3	0.3	0.35	-

<i>Cohession Undrained</i>	c_u	9.41	9.8	10.78	4.12	kN/m ²
<i>Friction Angle</i>	ϕ	5	6	7	30	...°
<i>Dilatancy Angle</i>	ψ	0	0	0	0	...°

Data parameter tanah diatas merupakan data yang diambil dari hasil uji tanah di kantor bupati kabupaten rokan hilir dan beberapa data didapat dari hasil korelasi oleh penulis [13] [17].

HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

Dalam pembahasan analisa dan perhitungan adalah menganalisa data yang telah penulis dapatkan dari *shop drawing* dan *as build drawing* serta data tanah pada Gedung Kantor Bupati Kabupaten Rokan hilir, yang berlokasi di Kelurahan Bagan Punak Pesisir Kecamatan Bangko Kabupaten Rokan hilir, Riau. Pada perencanaan dan pelaksanaan fondasi gedung kantor bupati kabupaten rokan hilir menggunakan jenis fondasi *bored pile* berdiamater 0.8 meter, dan memiliki panjang 38 meter. Untuk analisa ulang sebagai perbandingan perametrik penggunaan tipe fondasi yaitu dengan fondasi tiang pancang 1 dengan diameter 0.8 meter, dan panjang 38 meter, serta fondasi tiang pancang 2 dengan diameter 1meter dan panjang 38 meter. Data yang digunakan untuk menghitung daya dukung dan penurunannya ialah data penyelidikan tanah (SPT) dan dilakukan analisa secara manual menggunakan metode *skempton (1966)*, *Reese & O'Neill (1999)*, *Meyerhof (1976)*, *McClelland (1974)*, *Vesic (1977)*, *Poulos & Davis (1980)* serta mennggunakan *software Palxis 2d v.20* [9] [10] [11] [12] [15] [16] [19] [20].

HASIL DAYA DUKUNG TIANG TUNGGAL

Setelah dilakukan perhitungan secara manual maka diperoleh nilai yang paling aman. Hasil untuk hitungan daya dukung tiang tunggal lebih aman dan efisien memakai fondasi Tiang pancang 2 dari pada fondasi *Bored Pile* dan tiang pancang 1. Perhatikan Tabel 4:

Tabel 4: Hasil Daya Dukung Tiang Tunggal

Jenis Fondasi	Metode	L(m)	Qp (kN)	Qs (kN)	Qult (kN)	Qa(kN)
Bored Pile	<i>Skempton (1966)</i>	38	144.69	1718.2	1404.71	468.23
	<i>Reese & O'Neill (1999)</i>	38	180.86	2100	1822.71	607.56
Pancang 1	<i>Meyerhof (1976)</i>	38	1040.47	2100	2682.32	894.11
	<i>McClelland (1974)</i>	38	333.25	2603.9	2478.96	826.32
Pancang 2	<i>Meyerhof (1976)</i>	38	1625.73	2625.04	3792.6	1264.2

<i>McClelland (1974)</i>	38	663.31	3254.88	3059.66	1019.88
--------------------------	----	--------	---------	---------	---------

Sumber: Penulis, 2023

HASIL ANALISA PERHITUNGAN DAYA DUKUNG TIANG KELOMPOK

Perhitungan secara manual dilakukan maka di peroleh nilai yang paling aman. Hasil dari perhitungan yang telah dilakukan maka didapat fondasi tiang pancang 1 dan 2 lebih aman dari pada fondasi *bored pile*. Perhatikan tabel 5:

Tabel 5: Hasil Daya Dukung Tiang Kelompok

Jenis Fondasi	Metode	Jumlah Tiang	Efisiensi (Eg)	Beban Total (kN)	Qa _(group) (kN)	Hasil Perhitungan
<i>Bored Pile</i>	<i>Converse Labarre Formula</i>	3	0.8181	2250.5	1491.01	Tidak Aman
Tiang Pancang 1	<i>Converse Labarre Formula</i>	3	0.8181	2250.5	2027.84	Tidak Aman
Tiang Pancang 2	<i>Converse Labarre Formula</i>	3	0.7797	2250.5	2385.52	Aman

Sumber: Penulis, 2023

HASIL ANALISA PERHITUNGAN PENURUNAN PADA TIANG TUNGGAL

Setelah dilakukan perhitungan secara manual maka diperoleh nilai yang paling aman. Hasil untuk hitungan penurunan tiang tunggal lebih aman penurunannya memakai fondasi Tiang Pancang 2 dari pada *Bored Pile* dan tiang pancang 1 [20]. Perhatikan Tabel 6 :

Tabel 6: Hasil Analisa Penurunan Tiang Tunggal.

Jenis Fondasi	Metode	L(m)	D (m)	Se _(single) (cm)
Bored Pile	<i>Vesic (1977)</i>	38	0.8	23.10
	<i>Poulos & Davis (1980)</i>	38	0.8	23.28
	Plaxis 2D V.20	38	0.8	23.44
Pancang 1	<i>Vesic (1977)</i>	38	0.8	7.84
	<i>Poulos & Davis (1980)</i>	38	0.8	7.88
	Plaxis 2D V.20	38	0.8	7.87
Pancang 2	<i>Vesic (1977)</i>	38	1	3.96
	<i>Poulos & Davis (1980)</i>	38	1	4.10
	Plaxis 2D V.20	38	1	4.18

Sumber: Penulis, 2023

HASIL ANALISA PERHITUNGAN PENURUNAN PADA TIANG KELOMPOK

Setelah dilakukan perhitungan secara manual maka diperoleh nilai yang paling aman. Hasil untuk hitungan penurunan tiang kelompok lebih aman penurunannya memakai fondasi Tiang Pancang 2 dari pada *Bored Pile* dan tiang pacang 1. Perhatikan tabel 7:

Tabel 7: Hasil Analisa Penurunan Tiang Kelompok

Jenis Fondasi	Metode	L(m)	D (m)	S _e (cm)	S _{e (izin)} (cm)
Bored Pile	<i>Vesic (1977)</i>	38	0.8	56.58	8
	Plaxis 2D V.20	38	0.8	57.79	8
Pancang 1	<i>Vesic (1977)</i>	38	0.8	18.61	8
	Plaxis 2D V.20	38	0.8	18.59	8
Pancang 2	<i>Vesic (1977)</i>	38	1	9.20	10
	Plaxis 2D V.20	38	1	7.66	10

Sumber: Penulis, 2023

SIMPULAN

- Berdasarkan hasil analisa pada gedung kantor bupati kabupaten rokan hilir yang menggunakan fondasi *Bored Pile* dengan diameter 0.8meter dengan kedalaman 38 meter, setelah di lakukan perhitungan manual menggunakan beberapa metode yang diterapkan jugak menguji dengan tanah yang divariasikan, mau pun menggunakan aplikasi palxis ditemukan bahwa terjadinya penurunan pondasi yang besar mengakibatkan bangunan tersebut mengalami penurunan gedung.
- Berdasarkan hasil analisa perbandingan daya dukung dan penurunan fondasi yang menggunakan metode manual dan aplikasi plaxis, didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa model ke-3 atau Tiang pancang 2 lah yang menjadi model yang memenuhi syarat untuk fondasi yaitu penurunan izin terpenuhi sesuai dengan yang telah dianalisa. Perbedaan daya dukung dan penurunan fondasi bisa disebabkan dikarenakan penggunaan jenis metode berbeda dan juga diameter dan dimensi dari tiang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asror, H, dan Adji, M. W. 2023. *Analisa Perbandingan Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi Mini Pile Dengan Bored Pile Pada Gedung Fakultas Farmasi Universitas Wahid Hasyim Semarang*. Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- [2] Azizi A, Salim M.A Dan Ramadhon G. (2020). “*Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang Proyek Gedung DPRD Kabupaten Pemalang*”. Jurnal Teknik Sipil: Rancang Bangun. Volume 06 Nomor 02 (2020): Halaman 50-52
- [3] Bogeman, M. L. 1965. *Teknologi Mekanika*. Jakarta: Erlangga.
- [4] Bowles, J. E .1997. *Foundation Analysis and Design Fifth Edition*. New York: Mc Graw-Hill Companies.
- [5] Bowless, J. E. 1991. *Sifat-sifat Fisik dan Geoteknik Tanah*. Jakarta : Erlangga.
- [6] Das, B. M. 1991. *Principle of Foundation Engineering Fourth Edition*. California State University : Sacramento.
- [7] Das, B. M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rakayasa Geoteknik)*. Indonesia : Airlangga.
- [8] Das, B.M. 2011. *Principle of Foundation Engineering edisi 7*. Cengange Learning, Stamford USA.
- [9] Hardiyatmo, H. C. 2002. *Teknik Pondasi 1*. Edisi kedua. Yogyakarta: Beta Offset.
- [10] Hardiyatmo, H. C. 2007. *Mekanika Tanah 2*. Edisi keempat. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- [11] Hardiyatmo, H. C. 2010. *Analisis dan Perancangan Fondasi bagian II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [12] H. G Poulos dan E. H. Davis. 1980. *Pile Foundation Analysis and Design*. John Wiley and Sons, New York.
- [13] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga. 2019. *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi*. Jakarta.
- [14] Maciej Serda, Becker, dan F. G., Cleary. 2017. *Analisa Penurunan Bangunan Pondasi Tiang Pancang Dan Rakit Pada Proyek Pembangunan Apartement Surabaya Central Business District*. Jurnal Karya Teknik Sipil, 6(2), 166–179.
- [15] Meyerhof, G.G. 1965. *Shallow Foundation*. *Journal of The Soil Mechanics and Foundations Devision*. ASCE. Vol. 91. No. SM2. Pp 21-23.
- [16] Meyerhof, G.G. 1963. *Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations*. ASCE Journal of Geotechnical Engineering. Div. Vol102, No.GT3, pp.197-228.
- [17] Riswaka, 2001. *Farmasi, Farmasis, dan Farmasi Sosial*. Jurnal Majalah Farmasi Indonesia, 12(3), 128-134.
- [18] Terzaghi, K. 1943. *Theoretical Soil Mechanics*. New York.
- [19] Tomlinson, M., and Wordward, J. 2015. *Pile Design Construction Practice 6th ed*. CRC Press Taylor & Francis Group Press Book. London, New York.
- [20] Vesic, A. S. 1977. *Design of Pile Foundation*. NCHRRP Synthesis not Practice, No.42. Transportation Research Board. Washington DC.