

ANALISIS PENGARUH VARIASI DIAMETER DAN KEDALAMAN TIANG BOR TERHADAP KINERJA PONDASI BERDASARKAN DATA SPT TANAH

Shafa Naura Meilani¹, Dyah Ayu Rahmawati Cupasindy², Moch. Sholeh³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang^{2,3},

shafanaura0529@gmail.com¹, dyahayu.rahmawati@polinema.ac.id², moch.sholeh@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Pondasi tiang bor merupakan salah satu jenis pondasi dalam yang berfungsi menyalurkan beban struktur ke lapisan tanah yang memiliki daya dukung memadai. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi diameter dan kedalaman tiang bor terhadap kinerja pondasi berdasarkan data Standard Penetration Test (SPT) pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit Muhammadiyah Babat. Analisis daya dukung dilakukan menggunakan metode Meyerhof, Vesic, dan Coyle & Castello, sedangkan analisis penurunan dilakukan secara manual dan diverifikasi menggunakan PLAXIS 3D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai daya dukung izin (Qall) meningkat dari 1.251,39 kN pada diameter 0,5 m dan kedalaman 23 m menjadi 7.235,92 kN pada diameter 0,7 m dan kedalaman 35 m. Sebaliknya, penurunan total menurun dari 152,53 mm menjadi 58,85 mm, dan seluruh variasi masih memenuhi batas penurunan izin menurut SNI 8460:2017. Perbandingan metode manual dan PLAXIS 3D menghasilkan penurunan elastis sebesar 152,53 mm dan 30,46 mm, serta penurunan konsolidasi sebesar 159,10 mm dan 38,94 mm. Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan pondasi tiang bor dan pile cap menghasilkan total biaya sebesar Rp2.909.748.466,00.

Kata kunci : pondasi tiang bor, daya dukung, N-SPT, tanah lempung, PLAXIS 3D

ABSTRACT

Bored pile foundations are deep foundations used to transfer structural loads to soil layers with sufficient bearing capacity. This study investigates the effect of bored pile diameter and depth variations on foundation performance based on Standard Penetration Test (SPT) data from the Muhammadiyah Babat Hospital Construction Project. Bearing capacity was analyzed using the Meyerhof, Vesic, and Coyle & Castello methods, while settlement was calculated manually and verified using PLAXIS 3D. The results show that the allowable bearing capacity (Qall) increased from 1,251.39 kN for a 0.5 m diameter pile with a 23 m depth to 7,235.92 kN for a 0.7 m diameter pile with a 35 m depth. Conversely, the total settlement decreased from 152.53 mm to 58.85 mm, with all variations remaining below the allowable settlement limit specified in SNI 8460:2017. The comparison between manual calculations and PLAXIS 3D produced elastic settlements of 152.53 mm and 30.46 mm, respectively, and consolidation settlements of 159.10 mm and 38.94 mm, respectively. The estimated cost for bored pile foundation and pile cap construction was IDR 2,909,748,466.00.

Keywords : bored pile foundation, bearing capacity, SPT-N value, clay soil, PLAXIS 3D

1. PENDAHULUAN

Pembangunan Rumah Sakit Muhammadiyah Babat merupakan proyek konstruksi bangunan bertingkat yang memiliki fungsi vital sebagai fasilitas pelayanan kesehatan. Bangunan rumah sakit dirancang untuk menahan beban struktur yang relatif besar serta harus memenuhi aspek keselamatan dan kenyamanan yang tinggi. Oleh karena itu,

perencanaan struktur dan fondasi menjadi bagian yang sangat penting dalam menjamin keamanan dan keberlanjutan bangunan.

Pada pelaksanaan pembangunan, terjadi perubahan desain struktur atap gedung di pertengahan proses konstruksi yang mengakibatkan adanya perubahan besaran dan distribusi beban yang bekerja pada struktur bangunan, khususnya beban yang diteruskan ke elemen struktur bawah seperti

kolom dan pondasi. Kondisi ini berpotensi mempengaruhi kinerja pondasi yang telah direncanakan sebelumnya. Selain adanya perubahan desain struktur, kondisi tanah di lokasi proyek juga menjadi faktor penting dalam perencanaan pondasi. Lapisan tanah permukaan di lokasi pembangunan diduga memiliki daya dukung yang relatif rendah, sehingga digunakan pondasi dalam berupa pondasi tiang bor untuk meneruskan beban bangunan ke lapisan tanah yang lebih keras dan stabil.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perlu dilakukan penelitian terkait analisis daya dukung tanah pondasi tiang bor pada Pembangunan Rumah Sakit Muhammadiyah Babat. Analisis ini dilakukan menggunakan data tanah dan metode perhitungan yang sesuai dengan teori mekanika tanah dan peraturan yang berlaku

2. METODE

Penelitian ini dilakukan pada proyek pembangunan Rumah Sakit Muhammadiyah Babat dengan menggunakan data penyelidikan tanah berupa nilai Standard Penetration Test (SPT) pada titik bor DB2 serta data struktur bangunan. Beban struktur atas diperoleh melalui pemodelan menggunakan perangkat lunak Tekla Structural Designer sesuai standar pembebanan yang berlaku. Hasil reaksi perletakan yang diperoleh kemudian digunakan sebagai dasar perencanaan fondasi.

Analisis daya dukung fondasi tiang bor dilakukan menggunakan metode Meyerhof, Vesic, dan Coyle and Castello untuk memperoleh nilai daya dukung ultimit dan daya dukung izin. Selanjutnya dilakukan analisis daya dukung kelompok tiang dengan mempertimbangkan efisiensi kelompok tiang. Evaluasi penurunan fondasi dilakukan melalui perhitungan manual yang meliputi penurunan elastis dan konsolidasi serta dibandingkan dengan hasil pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak PLAXIS 3D.

Berikut merupakan persamaan dasar yang digunakan dalam penelitian ini.

Daya dukung tiang tunggal

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

- Q_u = daya dukung tiang ultimit (batas)
 Q_p = daya dukung ujung tiang
 Q_s = daya dukung gesekan selimut tiang

Daya dukung ujung tiang (Q_p)

Tabel 1. Rumus Daya Dukung Ujung Tiang

Metode	Tanah
--------	-------

	Pasir	Lempung
Mayerhof	$Q_p = 4 \cdot p_a \cdot N_{60}$	$Q_p = 9 \cdot c_u \cdot A_p$
Vesic	$Q_p = A_p \cdot \overline{\sigma'_0} \cdot N_c^*$	$Q_p = A_p \cdot c_u \cdot N_c^*$
Coye and Castello	$Q_p = q' \cdot N_q \cdot A_p$	-

Dimana.

p_a = tekanan atmosfer (= 100 kN/m²)

N_{60} = nilai rata-rata angka penetrasi standar di dekat titik tiang pancang

A_p = luas penampang tiang (m²)

c_u = kohesi tanah lempung diujung tiang (kN/m³)

$\overline{\sigma'_0}$ = tegangan efektif rata-rata di bagian bawah ujung tiang

$N_c^* N_q^*$ = Faktor kapasitas daya dukung

Daya dukung selimut tiang

$$Q_s = \sum p \cdot \Delta L \cdot f \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

p = keliling penampang tiang

ΔL = panjang tiang

f = satuan perlawanan geser pada setiap kedalaman z

Daya dukung tiang kelompok

$$n = \frac{Q_v}{Q_{all}} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

n = Jumlah tiang (tiang)

Q_v = Beban aksial maksimum struktur atas (kN)

Q_{all} = Kapasitas daya dukung tiang izin (kN)

untuk mencari efisiensi kelompok tiang bisa menggunakan saran Converse Labarre Formula, dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta = 1 - \theta \cdot \frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{90 \cdot m \cdot n} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

η = efisiensi kelompok tiang

m = jumlah baris tiang

n = jumlah tiang dalam satu baris

θ = sudut dalam derajat

Rumus untuk mencari kapasitas daya dukung ultimit kelompok tiang

$$Q_p = E_g \times n \times Q_u \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

E_g = efisiensi kelompok tiang

n = jumlah tiang dalam kelompok

Q_u = daya dukung ultimit (kN)

Penurunan Pondasi Dalam

a. Penurunan pondasi tiang tunggal

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \dots \dots \dots (6)$$

Dimana.

$S_{e(1)}$ = Penurunan elastis *bored pile* (m)

$S_{e(2)}$ = Penurunan elastis akibat beban pada ujung tiang (m)

$S_{e(3)}$ = Penurunan elastis *bored pile* akibat beban yang di distribusikan sepanjang selimut *bored pile* (m)

b. Penurunan tiang kelompok

$$S_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} S_e \dots \dots \dots (7)$$

Dimana.

$S_{g(e)}$ = Penurunan elastis kelompok tiang

B_g = Lebar kelompok tiang

D = Diameter setiap tumpukan dalam kelompok

S_e = Penurunan elastis setiap tumpukan beban kerja yang sebanding

c. Penurunan konsolidasi

$$\Delta S_{c(g)} = \Sigma \Delta S_{c(i)} \dots \dots \dots (8)$$

$$\Delta S_i = \left(\frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \right) \log \left(\frac{\sigma'_{0} + \Delta \sigma'}{\sigma'_{0}} \right) \dots \dots \dots (9)$$

Dimana.

$\Delta S_{c(g)}$ = penurunan total konsolidasi pada kelompok tiang (m)

ΔS_i = penurunan konsolidasi pada lapisan ke-i (m)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembebanan struktur atas

Pembebanan struktur atas dilakukan menggunakan Tekla Structural Designer dengan mengacu pada SNI 1727-2020 untuk beban mati dan hidup, serta SNI 1726-2019 untuk beban gempa. Hasil analisis menunjukkan beban aksial maksimum (P_u) sebesar 6.101,6 kN dan momen maksimum (M_u) sebesar 2.071,79 kNm.

B. Daya dukung tiang tunggal

Perhitungan daya dukung tiang tunggal dilakukan dengan tiga metode : Mayerhof, Vesic, dan Coyle & Castello. Hasil perhitungan untuk berbagai variasi diameter dan kedalaman tiang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Q_u dan Q_{all}

Diameter (m)	Metode Mayerhof		Metode Vesic		Metode Coyle dan Castello	
	Q_u	Q_{all}	Q_u	Q_{all}	Q_u	Q_{all}
Kedalaman (m) = 23						
0.5	2331.5	777.2	2683.8	894.6	6247.1	2083.36
0.6	3076.8	1025.6	3782.2	1260.7	9749.1	3249.71
0.7	3965.1	1321.6	5112.6	1704.2	14370.2	4790.1
Kedalaman (m) = 35						
0.5	4302.6	1434.2	10572.4	3524.1	16919.5	5639.8
0.6	4644.5	1548.1	15007.3	5002.4	26665.7	8888.5
0.7	6083.4	2027.8	20310.7	6770.2	38729.0	12909.6

Nilai yang akan digunakan untuk perhitungan selanjutnya adalah nilai rata rata ketiga metode sehingga diperoleh nilai yang dianggap lebih representatif dalam menggambarkan kondisi daya dukung tanah pada lokasi penelitian.

Tabel 3. Rekapitulasi Nilai Rata Rata Q_u dan Q_{all}

Diameter (m)	Q_u (kN)	Q_{all} (kN)
Kedalaman (m) = 23		
0.5	3754.170	1251.39
0.6	5536.075	1845.36
0.7	7815.992	2605.33
Kedalaman (m) = 35		
0.5	10598.215	3532.74
0.6	15439.180	5146.39
0.7	21707.758	7235.92

C. Daya dukung kelompok tiang

Perhitungan daya dukung kelompok tiang dilakukan dengan konfigurasi 6 tiang (3x2) dengan jarak antar tiang 1,5 m (3D). Efisiensi kelompok tiang menggunakan formula Converse-Labarre diperoleh sebesar 82,62%. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4

Tabel 4. Rekapitulasi Nilai Daya Dukung Tiang Kelompok

Diameter (m)	n pakai (bh)	d	Efisiensi pile (Eg)	Q_u (g) (kN)	Q_{all} (g) (kN)
Kedalaman (m) = 23					
0.5	6	1.5	82.62%	18610.064	6203.355
0.6	4	1.8	85.64%	18964.014	6321.338
0.7	3	2.1	92.93%	21789.372	7263.124
Kedalaman (m) = 35					
0.5	2	1.5	94.69%	20071.924	6690.641
0.6	2	1.8	94.69%	29240.213	9746.738
0.7	2	2.1	94.69%	41112.251	13704.084

D. Penurunan pondasi

Perhitungan penurunan dilakukan untuk memastikan pondasi tiang bor tidak turun melebihi batas aman. Analisis meliputi penurunan elastis, penurunan kelompok tiang, dan penurunan konsolidasi. Batas penurunan izin berdasarkan SNI 8460-2017 sebesar 185 mm Berikut ditampilkan hasil perhitungan penurunan pondasi tiang tunggal dari setiap diameter dan kedalamannya :

Tabel 5. Rekapitulasi Nilai Penurunan Pondasi Tunggal

Diameter (m)	Se 1 (m)	Se 2 (m)	Se 3 (m)	Se total (m)
Kedalaman (m) = 23				

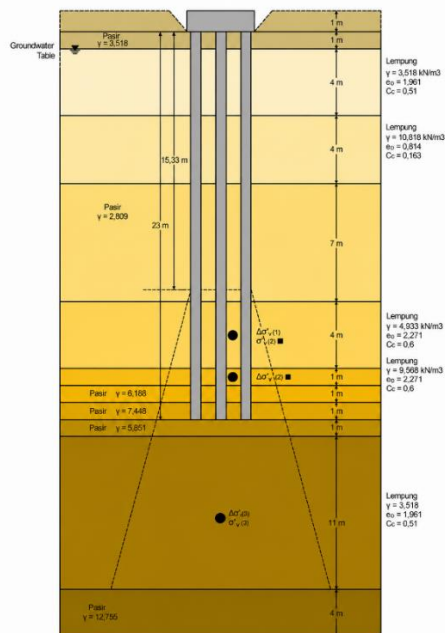
0.5	0.0326	0.0340	0.0016	0.0682
0.6	0.0225	0.0368	0.0019	0.0613
0.7	0.0166	0.0380	0.0023	0.0568
Kedalaman (m) = 35				
0.5	0.0481	0.0152	0.0007	0.0640
0.6	0.0327	0.0164	0.0007	0.0499
0.7	0.0242	0.0167	0.0008	0.0418

Penurunan tiang kelompok dihitung menggunakan rumus mayerhof. Berikut merupakan hasil perhitungan penurunan pondasi tiang kelompok dari setiap diameter dan kedalamannya :

Tabel 6. Rekapitulasi Nilai Penurunan Tiang Kelompok

Diameter	Sg (e)		
	m	cm	mm
Kedalaman (m) = 23			
0.5	0.153	15.253	152.534
0.6	0.137	13.710	137.096
0.7	0.074	7.442	74.418
Kedalaman (m) = 35			
0.5	0.091	9.050	90.505
0.6	0.068	6.757	67.570
0.7	0.055	5.473	54.731

Perhitungan penurunan konsolidasi tanah akibat beban yang diteruskan oleh pondasi dilakukan untuk memastikan bahwa penurunan yang terjadi masih berada dalam batas yang diizinkan



Gambar 1. Gambar Penurunan Konsolidasi

Berikut hasil perhitungan penurunan konsolidasi dari setiap diameter dan kedalamannya,

Tabel 7. Rekapitulasi Penurunan Konsolidasi

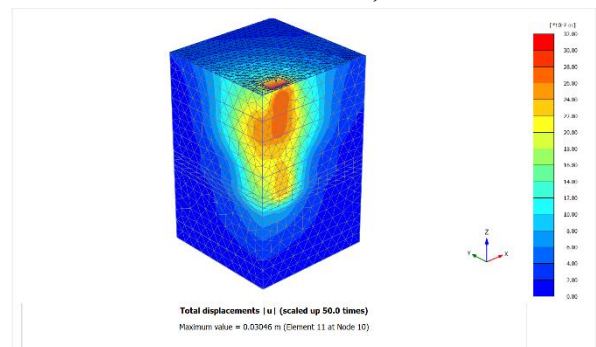
Diameter (m)	Sc (m)	S total (m)	S izin (m)	Kontrol
Kedalaman (m) = 23				
0.5	0.007	0.159	0.185	OK
0.6	0.007	0.144	0.185	OK
0.7	0.008	0.082	0.185	OK
Kedalaman (m) = 35				
0.5	0.002	0.093	0.185	OK
0.6	0.003	0.071	0.185	OK
0.7	0.004	0.059	0.185	OK

Berdasarkan hasil analisis penurunan elastis dan penurunan konsolidasi pada berbagai variasi diameter dan kedalaman tiang bor, diperoleh bahwa seluruh nilai penurunan total (Stot) masih berada di bawah batas penurunan izin sebesar 0,185 m sehingga memenuhi kriteria keamanan. Selain itu, hasil analisis menunjukkan bahwa semakin besar diameter dan semakin dalam kedalaman tiang bor, maka nilai penurunan total cenderung semakin meningkat. Hal tersebut disebabkan oleh bertambahnya pengaruh deformasi tanah akibat peningkatan dimensi dan panjang tiang, meskipun seluruh nilai penurunan masih berada dalam batas yang diizinkan.

E. Permodelan PLAXIS 3D

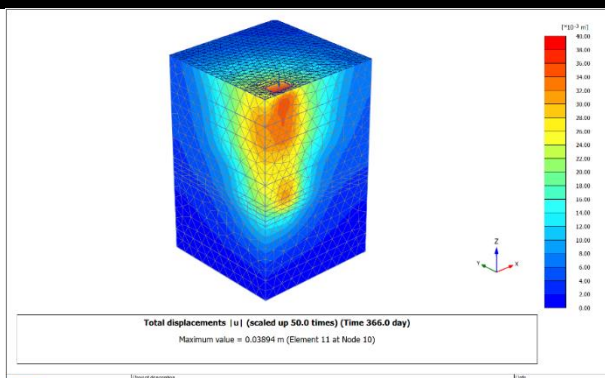
Pemodelan numerik menggunakan PLAXIS 3D dilakukan untuk memvalidasi hasil perhitungan manual. Model terdiri dari lapisan tanah berdasarkan data SPT, kelompok tiang bor (4 tiang), dan pile cap dengan beban aksial dari struktur atas. Hasil analisis PLAXIS 3D menunjukkan:

- Penurunan elastis maksimum: 30,46 mm



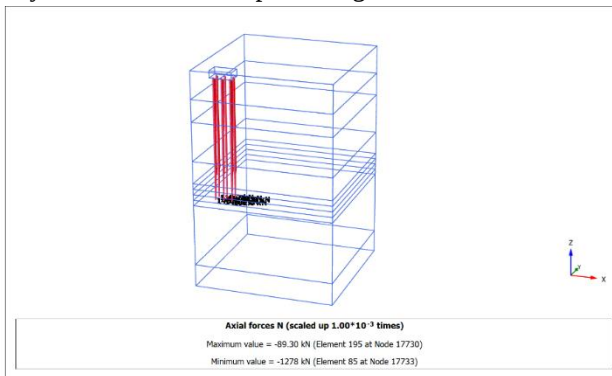
Gambar 1 Gambar Penurunan Tiang Elastis

- Penurunan konsolidasi setelah 365 hari: 38,94 mm



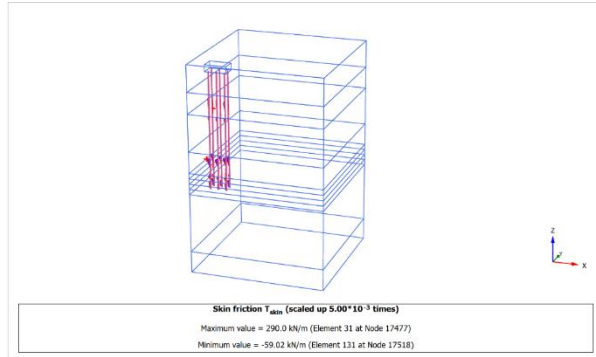
Gambar 2 Penurunan Tiang Konsolidasi

- Gaya aksial maksimum pada tiang: 1.278 kN



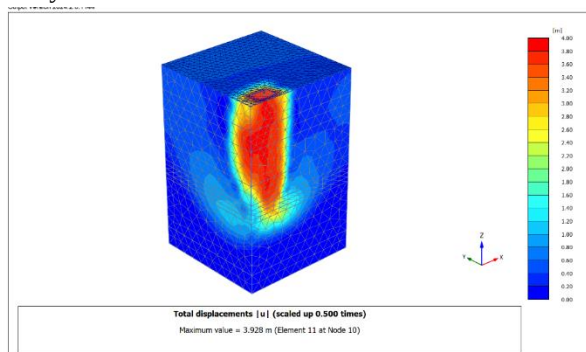
Gambar 3 Gaya Aksial Maksimum

- Tahanan selimut maksimum: 290 kN/m



Gambar 4 Tahanan Selimut

- Safety Factor : 3.928 m



Perbandingan hasil manual dan PLAXIS 3D disajikan pada Tabel 3.6

Tabel 3. 1 Perbandingan Hasil Manual dan PLAXIS 3D

Parameter	Manual	PLAXIS 3D
Penurunan Elastis (mm)	152,5	30,4
Penurunan Konsolidasi (mm)	159,1	38,9

Perbedaan hasil disebabkan oleh perbedaan metode analisis. Perhitungan manual menggunakan pendekatan teoritis dengan asumsi penyederhanaan, sedangkan PLAXIS 3D menggunakan metode elemen hingga (FEM) yang mampu memodelkan perilaku tanah secara lebih rinci.

F. Perencanaan penulangan

Perencanaan penulangan dilakukan berdasarkan SNI 2847:2019 dengan mutu beton $f'_c=35$ MPa dan mutu baja $f_y=420$ MPa.

- Tiang Bor ($D=0,5$ m, $L=23$ m):
 - Tulangan utama: 6 D22
 - Tulangan transversal (spiral): P10-250 mm
 - Rasio tulangan: 1,16% (memenuhi syarat 1%-8%)
 - Eksentrisitas: 243,81 mm $> e_{min} = 30$ mm (OK)
- Pile Cap ($2,5 \times 2,5 \times 1,25$ m):
 - Tulangan bawah: D22-100 mm
 - Tulangan atas: D22-200 mm
 - Tebal pile cap: 1,25 m
 - Kontrol geser: $\phi V_c = 1.461,5$ ton $> \Sigma P_u = 896,3$ ton (OK)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pada Proyek Pembangunan Rumah Sakit Muhammadiyah Babat, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- Beban struktur atas pada Rumah Sakit Muhammadiyah Babat yang dimodelkan menggunakan software Tekla Structural Designer menghasilkan beban aksial maksimum (P_u) sebesar 6101,6 kN dan Momen maksimum (M_u) sebesar 2.071,79 kNm
- Variasi diameter dan kedalaman tiang bor memberikan pengaruh terhadap kapasitas daya dukung pondasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin besar diameter dan semakin dalam kedalaman tiang bor, maka kapasitas daya dukung pondasi semakin meningkat. Pada penelitian ini, daya dukung izin (Q_{all}) terkecil diperoleh pada variasi diameter 0,5 m dan kedalaman 23 m, yaitu sebesar 1251,39 kN, sedangkan daya

dukung izin terbesar diperoleh pada variasi diameter 0,7 m dan kedalaman 35 m, yaitu sebesar 7235,92 kN. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan diameter dan kedalaman tiang bor mampu meningkatkan kemampuan pondasi dalam menahan beban.

3. Variasi diameter dan kedalaman tiang bor juga memengaruhi besarnya penurunan pondasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin besar diameter dan semakin dalam kedalaman tiang bor, maka nilai penurunan elastis, penurunan konsolidasi, dan penurunan total cenderung meningkat. Penurunan total terkecil terjadi pada variasi diameter 0,5 m dan kedalaman 23 m, yaitu sebesar 34 mm, sedangkan penurunan total terbesar terjadi pada variasi diameter 0,7 m dan kedalaman 35 m, yaitu sebesar 73 mm. Meskipun demikian, seluruh variasi masih memenuhi batas penurunan izin berdasarkan SNI 8460:2017.

Muhammadiyah Purwokerto. CIVeng, Volume 2, p.59-68.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anggraini, Novianto, Sholeh. (2021). Modul Ajar Rekayasa Fondasi II. Malang: Politeknik Negeri Malang.
- [2] Arfilian Permana Putra, Dandung Novianto, Gerard Apono. (2021). Perencanaan Fondasi Tiang Bor pada
- [3] Bangunan 12 Lantai Gedung Attic Showroom Surabaya. JOS - MRK, Volume 2, pp. 44-49.
- [4] B. M. Das. (1985). Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis). Jakarta: Erlangga.
- [5] B. M. Das and N. Sivakugan. (2017). Principles of Foundation Engineering. Boston: Cengage Learning.
- [6] Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. Jakarta: BSN.
- [7] Badan Standarisasi Nasional. (2020). SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: BSN.
- [8] Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: BSN.
- [9] Bowles, J. E. (1984). Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Jakarta: Erlangga.
- [10] Edina Disa, Moch. Sholeh, Gerard Aponno. (2021). Studi Alternatif Perencanaan Fondasi Tiang Bor
- [11] Fakultas Farmasi Universitas Airlangga Surabaya. JOS - MRK, Volume 2, pp. 137-142.
- [12] Hardiyatmo, H. C. (2010). Mekanika Tanah II. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [13] Rizqa Zain, Amris Azizi, M. Agus Salim. (2021). Analisis Daya Dukung dan Penurunan Fondasi Tiang Bor pada Proyek Pembangunan Gedung K Universitas