

PERENCANAAN FONDASI TIANG BOR PADA PROYEK GEDUNG CREATIVE A ITS SURABAYA

Muhammad Hisham Atafalah¹, Novita Anggraini²

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang²
atafalah24@gmail.com¹, novita.anggraini@polinema.ac.id²

ABSTRAK

Proyek pembangunan Gedung Creative A ITS Surabaya menggunakan fondasi tiang pancang (*spun pile*) sebagai sistem fondasi bawah. Namun, pelaksanaan pemancangan dengan metode diesel hammer menimbulkan getaran dan kebisingan yang signifikan, menyebabkan gangguan terhadap lingkungan sekitar, termasuk keretakan kaca pada bangunan di sekitarnya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merencanakan ulang fondasi menggunakan sistem fondasi tiang bor (*bore pile*) yang lebih ramah terhadap lingkungan sekitar. Analisis dilakukan terhadap beberapa aspek, yaitu pembebanan struktur atas, daya dukung fondasi tiang bor, penurunan, dan dimensi fondasi. Data yang digunakan meliputi data SPT, dan data laboratorium tanah. Analisis menggunakan metode Meyerhof dan Vesic untuk perhitungan daya dukung tiang tunggal dan Meyerhof untuk penurunan tiang tunggal dan kelompok. Berdasarkan perhitungan program RSAP 2024, didapatkan beban vertikal sebesar 3374,11 kN (ASD) dan 6187,71 (LRFD). Pada kondisi eksisting menggunakan diameter 0,3 meter dan 0,6 meter dengan kedalaman 22 meter. Terdapat tiga tipe pile cap yaitu PC1, PC2, dan PC3. masing-masing menggunakan 3, 2, dan 1 tiang bor dengan diameter 0,6 m dan 0,4 m dengan panjang 22 m. Daya dukung kelompok tiang mencapai 3376,87 kN, 2251,32 kN dan 698,92 kN dengan penurunan yang masih dalam batas izin menurut SNI 8460:2017. Dengan pendekatan ini, sistem fondasi tiang bor diharapkan mampu meminimalkan dampak lingkungan sekaligus memberikan efisiensi struktur.

Kata kunci : Tiang Bor, Daya Dukung, Penurunan.

ABSTRACT

The construction project of the ITS Surabaya Creative A Building uses a spun pile foundation as the bottom foundation system. However, the implementation of piling with the diesel hammer method causes significant vibration and noise, causing disturbances to the surrounding environment, including glass cracks in the surrounding buildings. Therefore, this study aims to re-plan the foundation using a bore pile foundation system that is more friendly to the surrounding environment. Analysis was carried out on several aspects, namely the loading of the upper structure, the bearing capacity of the drill pile foundation, the descent, and the dimensions of the foundation. The data used includes tax return data, and soil laboratory data. The analysis used the Meyerhof and Vesic methods for the calculation of the carrying capacity of single mast and Meyerhof for single mast and group descent. Based on the calculations of the 2024 RSAP program, the vertical load was obtained at 3374.11 kN (ASD) and 6187.71 (LRFD). In the existing condition, it uses a diameter of 0.3 meters and 0.6 meters with a depth of 22 meters. There are three types of pile caps, namely PC1, PC2, and PC3. They use 3, 2, and 1 drill piles with a diameter of 0.6 m and 0.4 m with a length of 22 m, respectively. The carrying capacity of the pole group reached 3376.87 kN, 2251.32 kN and 698.92 kN with a decrease that was still within the permit limit according to SNI 8460:2017. With this approach, the drill pile foundation system is expected to be able to minimize environmental impact while providing structural efficiency.

Keywords : Bore Pile, Bearing Capacity, Settlement.

1. PENDAHULUAN

Perencanaan struktur dalam konstruksi meliputi struktur atas dan struktur bawah, yang harus dirancang sesuai standar agar bangunan kuat, aman, dan ekonomis. Fondasi sebagai bagian dari struktur bawah berperan penting dalam menyalurkan

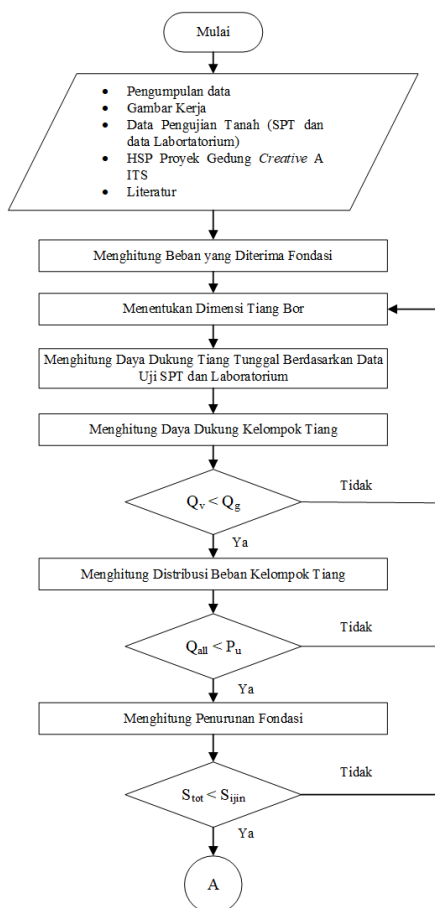
beban ke tanah pendukung. Pada proyek Gedung Creative A ITS Surabaya, digunakan fondasi tiang pancang (*spun pile*) dengan metode pemancangan menggunakan diesel hammer. Namun, metode ini menimbulkan getaran dan kebisingan yang menyebabkan kerusakan pada bangunan sekitar, seperti

pecahnya kaca di gedung terdekat, serta gangguan kenyamanan lingkungan. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan perencanaan ulang fondasi dengan sistem tiang bor (*bore pile*) yang lebih ramah lingkungan, terutama karena kondisi tanah dominan berupa lempung yang memerlukan perhatian khusus terhadap potensi penurunan. Penelitian ini difokuskan pada aspek perhitungan daya dukung, metode pelaksanaan, dan estimasi biaya fondasi tiang bor sebagai solusi alternatif yang lebih aman dan minim gangguan terhadap lingkungan sekitar.

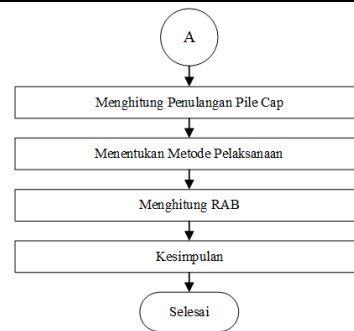
Kondisi eksisting menggunakan fondasi *spun pile* berukuran 0,3 dan 0,6 meter dengan kedalaman 22 meter. Bangunan ini dirancang memiliki 3 lantai dengan kondisi tanah dominan lempung. Pada penelitian ini perhitungan fondasi tiang bor menggunakan variasi diameter 0,3; 0,4 ; dan 0,6 meter dengan variasi kedalaman 18, 22, dan 26 meter.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun metode yang digunakan pada tahapan penelitian ini dijelaskan dalam diagram alir sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Analisis Data Tanah

Analisis data tanah adalah proses pengumpulan data tentang sifat fisik, mekanik, dan kimia tanah di lokasi konstruksi. Hasil yang didapat di lapangan kemudian dianalisis di laboratorium mekanika tanah guna merencanakan perhitungan fondasi untuk memastikan bahwa fondasi yang dirancang dapat menopang beban struktur secara aman dan efisien. Fungsi utama dari menganalisis data tanah dalam perhitungan fondasi:

1. Menentukan sifat tanah yang terkait dengan perancangan struktur yang akan dibangun di atasnya.
2. Menentukan kapasitas dukung tanah.
3. Menentukan kedalaman dan pemilihan jenis fondasi.
4. Mengetahui dan menghitung besarnya penurunan (*settlement*).

Pembebanan

Menurut SNI 1727-2020 [1], beban adalah gaya atau aksi lainnya yang diperoleh dari berat seluruh bahan bangunan, penghuni, barang-barang yang ada di dalam bangunan, serta efek lingkungan, selisih perpindahan, dan gaya kekangan akibat perubahan dimensi.

Analisis Struktur

Penelitian dilakukan dengan pendekatan studi kasus. Data pembebanan struktur diperoleh dari pemodelan 3D pada software RSAP 2024, kemudian memasukkan beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa berdasarkan SNI 1727-2020 tentang desain beban minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung. Serta memasukkan beban gempa berdasarkan SNI 1726-2019 [2] tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung.

Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal

Menurut Braja M. Das 2019 [3], kapasitas daya dukung merupakan potensi tanah untuk memberikan dukungan berupa beban terbesar dari bangunan atasnya. Kapasitas daya dukung tiang tunggal dapat dihitung dengan metode Meyerhof (1976) sebagai berikut.

1. Qp Persamaan Meyerhof (1976)

- Tanah Kohesif (*Clay*)

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p \quad (1)$$

Dimana :

Qp = daya dukung ujung tiang (kN)

cu = kohesi tanah lempung diujung tiang

Ap = luas ujung tiang (m²)

Metode ini dikemukakan oleh Tomlinson untuk tanah lempung dengan harga perlawanan geser kulit (f) sebagai berikut.

2. Qs Persamaan α (α)

$$Q_s = p \times \Delta L \times f_{av} \quad (2)$$

Dimana :

Qs = daya dukung selimut tiang (kN)

cu = kohesi tanah lempung diujung tiang

p = keliling tiang (m)

L = panjang pemancangan tiang (m)

fav = friksi tiang rata-rata (kN/m²)**Efisiensi Kelompok Tiang**

Menurut Braja M. Das (2019), perhitungan efisiensi kelompok tiang yang disarankan oleh *Converse-Labarre Formula* dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$E_g = 1 - \theta \times \frac{(n-1) \times m + (m-1) \times n}{90 \times m \times n} \quad (3)$$

dimana:

 η = efisiensi kelompok tiang

m = jumlah baris tiang

n = jumlah tiang dalam satu baris

 θ = sudut dalam derajat ; $\tan^{-1}(D/S)$

s = jarak pusat ke pusat antar tiang (m)

D = diameter tiang (m)

Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang

Kapasitas daya dukung kelompok tiang pada jenis tanah berpasir dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$Q_{u(g)} = E_g \times n \times Q_u \quad (4)$$

$$Q_{all(g)} = Q_{u(g)} / SF \quad (5)$$

Dimana:

Q_{u(g)} = Kapasitas daya dukung kelompok tiang (kN)Q_{all(g)} = Kapasitas daya dukung izin kelompok tiang (kN)SF = Faktor keamanan (*Safety Factor*)**Penurunan Tiang Tunggal**

Dalam [4] perhitungan penurunan tiang tunggal yang disarankan oleh Vesic (1977) dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini.

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \zeta \cdot Q_{ws}) \cdot L}{A_p \cdot E_p} \quad (6)$$

$$S_2 = \frac{q_{wp} \cdot C_p}{D \cdot q_p} \quad (7)$$

$$S_3 = \frac{Q_{wp} \cdot C_s}{L \cdot q_p} \quad (8)$$

Dimana:

S₁ = penurunan yang terjadi sepanjang tiang (m)Q_{wp} = beban yang diterima pada ujung tiang (N)Q_{ws} = beban yang diterima sepanjang kulit tiang (N)A_p = luas penampang tiang (m²)

L = panjang tiang (m)

E_p = modulus elastisitas material tiang

q_{wp} = beban yang diterima pada ujung tiang per satuan luas/unit = Q_{wp} / A_p (kN)

C_p = koefisien empiris (**Tabel 12.14** Braja M. Das)

D = diameter tiang

$$C_s = (0,93 + 0,16 \sqrt{(L/D)}) \cdot C_p \quad (9)$$

Penurunan Kelompok Tiang

Mayerhof (1976) memberikan rumus tentang penurunan elastik kelompok tiang sebagai berikut:

$$q = Q_g / (L_g \times B_g) \quad (10)$$

$$I = 1 - L/8B_g \geq 0,5 \quad (11)$$

$$S_{g(e)} = \frac{0,96 q \sqrt{B_g I}}{N_{60}} \quad (12)$$

Penurunan Izin [5]

$$S_{g(izin)} = 15 + \frac{B}{600} \quad (13)$$

dimana :

L_g = panjang kelompok tiang (m)B_g = lebar kelompok tiang (m)

N₆₀ = rata-rata N-SPT (*standart penetration test*) dasar fondasi N

B = lebar bangunan

I = faktor pengaruh,

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyelidikan tanah pada titik bor BH-2 hingga kedalaman 30 meter menunjukkan variasi tanah berupa lempung dan lanau dengan kondisi mulai dari sangat lunak hingga keras. Setiap lapisan dicatat dalam log bor berdasarkan kedalaman, jenis, warna, plastisitas, dan kekerasannya.

Tabel 1 Konsistensi Tanah

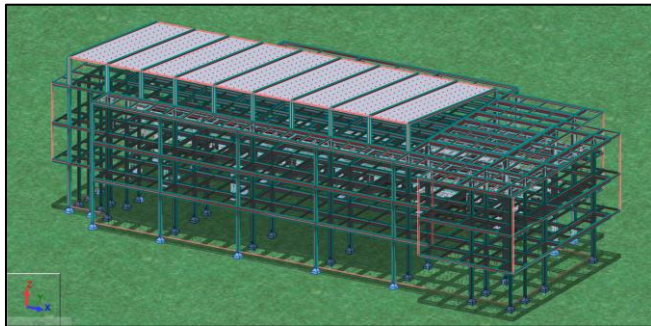
No	Depth (kedalaman)	N-SPT	Konsistensi Tanah
----	-------------------	-------	-------------------

	m			m		
1	0	-	3	1		Sangat lunak
2	3	-	11	1		Sangat lunak
3	11	-	15	9		Sedang
4	15	-	20	19 - 41		Sedang - Kaku
5	20	-	27	24 - 41		Sangat Kaku - Keras
6	27	-	30	31 - >60		Sangat Kaku - Keras

Berdasarkan hasil uji SPT, kondisi tanah pada lokasi penelitian menunjukkan variasi karakteristik sesuai kedalaman. Pada kedalaman 0–11 meter, tanah tergolong sangat lunak dengan nilai N-SPT = 1, yang menandakan kekuatan geser sangat rendah dan tidak layak menahan beban tanpa perkuatan. Mulai kedalaman 11–15 meter, nilai N-SPT meningkat menjadi 9 dengan konsistensi sedang, sedangkan pada kedalaman 15–20 meter nilai N-SPT berada di kisaran 19–41, menunjukkan tanah dengan konsistensi sedang hingga kaku yang mulai memiliki daya dukung lebih baik.

Pada lapisan yang lebih dalam, yakni 20–30 meter, nilai N-SPT mencapai 24 hingga >60, menandakan kondisi tanah sangat kaku hingga keras dengan daya dukung tinggi dan deformasi rendah. Dengan demikian, tanah di lokasi ini merupakan tanah lempung, dan fondasi disarankan ditanam pada kedalaman >20 meter agar mencapai lapisan tanah keras yang mampu menjamin stabilitas struktur bangunan.

Hasil analisis perhitungan beban struktur atas dengan dua kombinasi yaitu, kombinasi ASD dan LRFD menggunakan program RSAP 2024 adalah sebagai berikut.



Gambar 3 Permodelan Struktur Atas Gedung Tower 3 ITS Surabaya

Sumber : RSAP 2024

Dari kombinasi beban ASD yang dianalisis diperoleh hasil sebagai berikut:

Beban Aksial	(Fz)	= 3374,11 kN
Momen	(Mx)	= 138,3 kNm
Momen	(My)	= 7,28 kNm

Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal Metode Meyerhof (1976)

Perhitungan kapasitas daya dukung tiang tunggal metode Meyerhof (1976) pada diameter 0,60 m kedalaman 20 m adalah sebagai berikut:

1. Kapasitas Daya Dukung Ujung Tiang (Qp)

Ujung tiang berada pada tanah berjenis tanah lempung (tanah kohesif).

Contoh Perhitungan (20 – 22 m):

$$A_p = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot [0,6]^2 = 0,283 \text{ m}^2$$

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p$$

$$= 9 \cdot (273) \cdot (0,283)$$

$$= 695,548 \text{ kN}$$

2. Kapasitas Daya Dukung Selimut Tiang (Qs)

$$P = \pi \cdot D$$

$$= \pi \cdot 0,6$$

$$= 1,885 \text{ m}$$

$$Q_s = \alpha \cdot c_u \cdot p \cdot \Delta L$$

$$Q_{s1} = (0,99) \cdot (6) \cdot (1,885) \cdot (3)$$

$$= 33,726 \text{ kN}$$

$$Q_{s2} = (0,93) \cdot (57) \cdot (1,885) \cdot (8)$$

$$= 800,144 \text{ kN}$$

$$Q_{s3} = (0,99) \cdot (160) \cdot (1,885) \cdot (4)$$

$$= 772,078 \text{ kN}$$

$$Q_{s4} = (0,99) \cdot (273) \cdot (1,885) \cdot (7)$$

$$= 1356,749 \text{ kN}$$

$$Q_{stot} = 2962,697 \text{ kN}$$

3. Kapasitas Daya Dukung Ultimit Tiang (Qu)

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

$$= 695,548 + 2962,70$$

$$= 3658,25 \text{ kN}$$

4. Kapasitas Daya Dukung Izin Tiang (Qall)

$$Q_{all} = Q_u / SF$$

$$= 3658,25 / 3$$

$$= 1219,415 \text{ kN}$$

Tabel 2 Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal

Depth	Diameter	Qu (kN)	SF	Qall (kN)
18	0.3	925.97	3	308.656
	0.4	1289.29		429.762
	0.6	2097.92		699.307
22	0.3	1655.24	3	551.745
	0.4	2284.26		761.421
	0.6	3658.25		1219.415
26	0.3	2716.15	3	905.384
	0.4	3679.97		1226.656
	0.6	5695.25		1898.418

Efisiensi Kelompok Tiang

$$\eta = 1 - \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \times m \times n}$$

$$= 1 - \frac{(2-1)1,5 + (2-1)1,5}{90 \times 1,5 \times 2}$$

$$= 99,67\%$$

Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang

$$Qg(u) = \eta \times n \times Q_{all}$$

$$= 99,67\% \times 3 \times 1125,69$$

$$= 3376,871 \text{ kN}$$

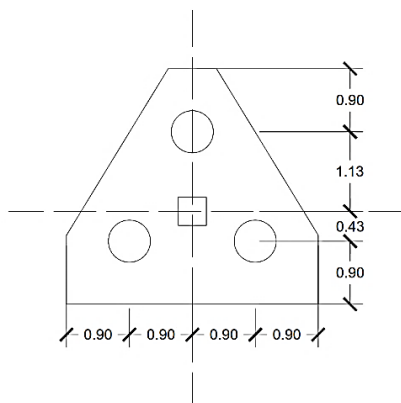
Distribusi Beban Tiang

$$Q_i = \frac{Q_v}{n} + \frac{M_y \cdot x}{\sum(y^2)} + \frac{M_x \cdot y}{\sum(x^2)}$$

$$Q_{i1} = \frac{3374,11}{1} + \frac{7,28 \cdot (-0,9)}{(1,629^2)} + \frac{138,32 \cdot (1,09)}{(1,62^2)} = 1178,96 \text{ kN}$$

$$Q_{i2} = \frac{3374,11}{1} + \frac{7,28 \cdot (0)}{(1,629^2)} + \frac{138,32 \cdot (-0,47)}{(1,62^2)} = 1100,23 \text{ kN}$$

$$Q_{i3} = \frac{3374,11}{1} + \frac{7,28 \cdot (0,9)}{(1,629^2)} + \frac{138,32 \cdot (-0,47)}{(1,62^2)} = 1102,73 \text{ kN}$$

**Gambar 4** Distribusi beban tiang bor**Tabel 3** Rekapitulasi Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang

Depth (m)	22		
D (m)	0.3	0.4	0.6
n	2	2	2
m	1,5	1,5	1,5
Qu (kN)	1514.7	2096.8	3377.1
Qg (tunggal)	6058.6	8387.3	13508
N	3	3	3
Eg (%)	99.9%	99.99%	99.99%
Qall	504.9	698.9	1125.7
Qg (kelompok)	1514.6	2096.7	3376.9
Qv	3374.11		
Syarat	NO OK	NO OK	OK
Qi1 (kN)	1178.8		
Qi2 (kN)	1100.2		
Qi3 (kN)	1102.7		

Penurunan Tiang Tunggal

$$S_1 = \frac{(QWP + \zeta QWS) \times L}{A_p \times E_p}$$

$$= \frac{(695,549 + ((0,67) \cdot (2681,541)) \cdot 22}{0,283 \cdot (2,1 \cdot 10^6)}$$

$$= 0,092 \text{ m}$$

$$S_2 = \frac{q_{wp} \cdot D}{E_s} \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{wp}$$

$$= \frac{(2460) \cdot (0,6)}{30.000} \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 0,85$$

$$= 0,038 \text{ m}$$

$$S_3 = \left(\frac{Q_{wp}}{p \cdot L} \right) \cdot \frac{D}{E_s} \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot I_{ws}$$

$$= \left(\frac{2460}{(1,885) \cdot (22)} \right) \cdot \frac{0,6}{30.000} \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 0,85$$

$$= 0,0001 \text{ m}$$

Penurunan Elastik Total Tiang Tunggal

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

$$= 0,092 + 0,038 + 0,0001$$

$$= 0,131 \text{ m} = 13,17 \text{ cm}$$

Penurunan Elastik Kelompok Tiang (Meyerhof 1976)

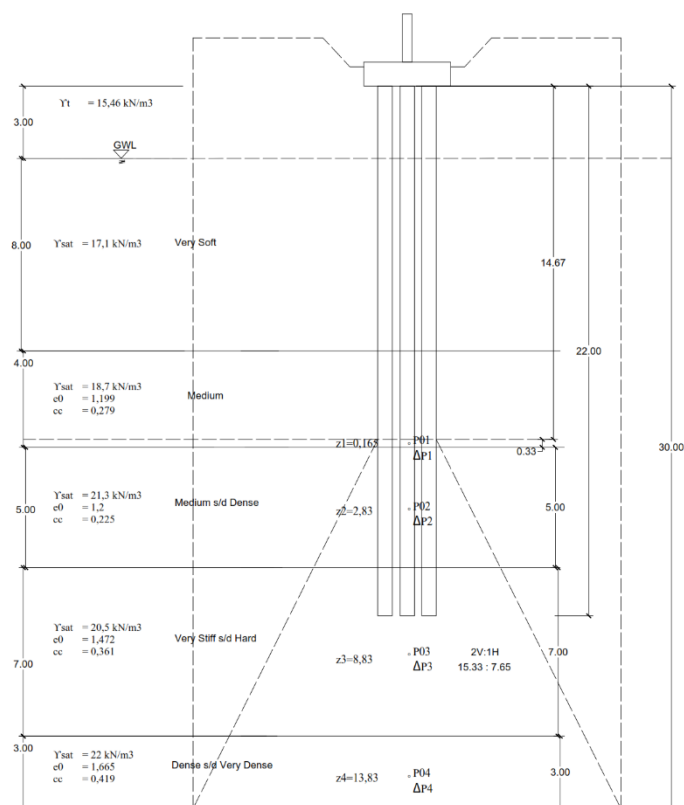
$$S_{g(e)} = S_g(e) = \frac{0,96 q \sqrt{B_g l}}{N_{60}}$$

$$\frac{0,96(601,301) \sqrt{2,3(0,871)}}{41}$$

$$= 1,878 \text{ cm}$$

Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi merupakan dari penambahan volume tanah jenuh sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.

**Gambar 5** Penurunan Konsolidasi kelompok tiang

$$\begin{aligned}
 Q_g &= 3374,11 \text{ kN} \\
 B_g &= 2,34 \text{ m} \\
 L_g &= 2,4 \text{ m} \\
 z_i &= 0,165 \text{ m} \\
 \text{Lapis 1} \\
 P_{01} &= (Y1.h1)+(Y2.h2)+(Y3.h3) \\
 &= ((3).(15,46))+(10,32.(8))+(4-0,165).(11,31)) \\
 &= 172,34 \text{ kN} \\
 \Delta P_1 &= \frac{Q_g}{(B_g+z_i).(L_g+z_i)} \\
 &= \frac{3.376}{(2,34+0,165).(2,4+0,165)} \\
 &= 525,56 \text{ kN} \\
 \Delta s_i &= \left[\frac{C_{c(i)}.H_i}{1+e_{o(i)}} \right] \log \left[\frac{P_{0(i)}+\Delta p(i)}{P_{0(i)}} \right] \\
 &= \left[\frac{(0,2787).(0,165)}{1+1,199} \right] \log \left[\frac{172,34+525,56}{172,34} \right] \\
 &= 0,013 \text{ m} \\
 &= 1,3 \text{ cm} \\
 \text{Lapis 2} \\
 z_i &= 2,83 \text{ m} \\
 P_{02} &= (Y1.h1)+(Y2.h2)+(Y3.h3)+(Y4.h4) \\
 &= ((3).(15,46))+(10,32.(8))+(11,31.(4))+(12,19.(5/2)) \\
 &= 204,68 \text{ kN} \\
 \Delta P_2 &= \frac{Q_g}{(B_g+z_i).(L_g+z_i)} \\
 &= \frac{3.376}{(2,34+2,83).(2,4+2,83)} \\
 &= 124,89 \text{ kN} \\
 \Delta s_2 &= \left[\frac{C_{c(i)}.H_i}{1+e_{o(i)}} \right] \log \left[\frac{P_{0(i)}+\Delta p(i)}{P_{0(i)}} \right] \\
 &= \left[\frac{(0,225).(5)}{1+1,2} \right] \log \left[\frac{204,68+124,89}{204,68} \right] \\
 &= 0,106 \text{ m} \\
 &= 10,6 \text{ cm} \\
 \text{Lapis 3} \\
 z_i &= 8,83 \text{ m} \\
 P_{03} &= (Y1.h1)+(Y2.h2)+(Y3.h3)+(Y4.h4)+(Y5.h5) \\
 &= ((3).(15,46))+(10,32.(8))+(11,31.(4))+(12,19.(5)) \\
 &\quad + (12,19.(7/2)) \\
 &= 285,72 \text{ kN} \\
 \Delta P_3 &= \frac{Q_g}{(B_g+z_i).(L_g+z_i)} \\
 &= \frac{3.376}{(2,34+8,83).(2,4+8,83)} \\
 &= 26,92 \text{ kN} \\
 \Delta s_3 &= \left[\frac{C_{c(i)}.H_i}{1+e_{o(i)}} \right] \log \left[\frac{P_{0(i)}+\Delta p(i)}{P_{0(i)}} \right] \\
 &= \left[\frac{(0,361).(7)}{1+1,472} \right] \log \left[\frac{26,92+285,72}{285,72} \right] \\
 &= 0,04 \text{ m} \\
 &= 4 \text{ cm} \\
 \text{Lapis 4} \\
 z_i &= 13,83 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{04} &= (Y1.h1)+(Y2.h2)+(Y3.h3)+(Y4.h4)+(Y5.h5)+(Y6.h6) \\
 &= ((3).(15,46))+(10,32.(8))+(11,31.(4))+(12,19.(5)) \\
 &\quad + (12,19.(7))+(12,19.(3/2)) \\
 &= 304 \text{ kN} \\
 \Delta P_4 &= \frac{Q_g}{(B_g+z_i).(L_g+z_i)} \\
 &= \frac{3.376}{(2,34+13,83).(2,4+13,83)} \\
 &= 12,87 \text{ kN} \\
 \Delta s_4 &= \left[\frac{C_{c(i)}.H_i}{1+e_{o(i)}} \right] \log \left[\frac{P_{0(i)}+\Delta p(i)}{P_{0(i)}} \right] \\
 &= \left[\frac{(0,419).(3)}{1+1,665} \right] \log \left[\frac{12,87+304}{304} \right] \\
 &= 0,008 \text{ m} \\
 &= 0,8 \text{ cm} \\
 S_c \text{ total} &= 1,3 + 10,6 + 4 + 0,8 = 17,97 \text{ cm} \\
 \text{Penurunan Ijin} \\
 S_{\text{total}} &= S_c + S_e \\
 &= 16,7 + 1,878 \\
 &= 18,58 \text{ cm} \\
 S_{\text{ijin}} &= 15 \text{ cm} + \frac{b}{600} \\
 &= 15 \text{ cm} + \frac{2825}{600} \\
 &= 19,7 \text{ cm} \\
 \text{Syarat} &= S_{\text{total}} < S_{\text{ijin}} \\
 &= 18,58 \text{ cm} < 19,7 \text{ cm (OK)}
 \end{aligned}$$

KESIMPULAN

1. Beban struktur atas pada Gedung Creative A ITS Surabaya yang dimodelkan menggunakan software Robot Structural Analysis Professional 2024 menghasilkan beban vertikal maksimum (Fz) sebesar 3374,11 kN (ASD) dan 6187,71 kN (LRFD) yang harus dipikul oleh sistem fondasi.
2. Perencanaan menghasilkan tiga tipe pile cap dengan diameter 0,6 m dan 0,4 m serta kedalaman 22 m.
 - 1) PC1 berisi 3 tiang, diameter 0,6 dengan kedalaman 22 meter
 $Q_g = 3376,907 \text{ kN} > F_z = 3374,11 \text{ kN}$
 - 2) PC2 berisi 2 tiang, diameter 0,6 dengan kedalaman 22 meter
 $Q_g = 2251,32 \text{ kN} > F_z = 1695,36 \text{ kN}$
 - 3) PC3 berisi 1 tiang, diameter 0,4 dengan kedalaman 22 meter
 $Q_g = 698,92 \text{ kN} > F_z = 672,55 \text{ kN}$
3. Penurunan total yang terjadi pada tiap kelompok tiang masih berada dalam batas aman:
 - 1) PC1 berisi 3 tiang, diameter 0,6 dengan kedalaman 22 meter

$$S_{\text{tot}} = 18,58 \text{ cm} < S_{\text{ijin}} = 19,7 \text{ cm}$$

- 2) PC2 berisi 2 tiang, diameter 0,6 dengan kedalaman 22 meter

$$S_{\text{tot}} = 16,32 \text{ cm} < S_{\text{ijin}} = 19,7 \text{ cm}$$

- 3) PC3 berisi 1 tiang, diameter 0,4 dengan kedalaman 22 meter

$$S_{\text{tot}} = 15,30 \text{ cm} < S_{\text{ijin}} = 19,7 \text{ cm}$$

4. Eksisting

- PC1 = 3 tiang, Ø 0,6 m, kedalaman 22 m
- PC2 = 2 tiang, Ø 0,6 m, kedalaman 22 m
- PC3 = 1 tiang, Ø 0,6 m, kedalaman 22 m

Desain

- PC1 = 3 tiang, Ø 0,6 m, kedalaman 22 m
- PC2 = 2 tiang, Ø 0,6 m, kedalaman 22 m
- PC3 = 1 tiang, Ø 0,4 m, kedalaman 22 m

Perbandingan antara kondisi eksisting dan desain menunjukkan bahwa konfigurasi PC1 dan PC2 tetap sama (100%), sedangkan pada PC3 terjadi pengurangan diameter tiang dari 0,6 m menjadi 0,4 m sehingga luas penampang berkurang menjadi sekitar 44,5% dari kondisi eksisting. Secara keseluruhan, luas penampang total tiang pada desain baru adalah 1,541 m², atau sekitar 90,8% dari kondisi eksisting sebesar 1,698 m². Dengan demikian, desain fondasi memberikan efisiensi material tanpa mengurangi keamanan daya dukung dan penurunan yang masih dalam batas izin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SNI 1727:2020, "Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain."
- [2] SNI 1726:2019, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung".
- [3] Braja M. Das, "Principles of Foundation Engineering SI Edition 9th," 2019.
- [4] Novita Anggraini, Dandung Novianto, and Moch. Sholeh, "MODUL AJAR REKAYASA PONDASI II," 2019.
- [5] SNI 8460:2017, "Persyaratan Perancangan Geoteknik".