

ANALISIS FONDASI TIANG BOR BERDASARKAN DATA SPT PADA PROYEK RUMAH SAKIT BHAYANGKARA NGANJUK

Achmad Nur Chafidl¹, Novita Anggraini², Medi Efendi³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³

Email: anchafidl2312@gmail.com¹, novitaanggraini@polinema.ac.id², medi.efendi@polinema.ac.id³,

ABSTRAK

Proyek pembangunan gedung Rumah Sakit Bhayangkara Nganjuk terdiri dari 6 lantai dengan fungsi bangunan lantai dengan fondasi eksisting berupa fondasi *spunpile*. Penelitian ini akan membahas mengenai beban aksial yang dihasilkan dari program RSAP 2021, besar daya dukung, penurunan, dan RAB terhadap pemakaian fondasi tiang bor pada pembangunan Rumah Sakit Bhayangkara Nganjuk. Fondasi tiang bor yang direncanakan memiliki variasi kedalaman -14 m, -15 m, -16 m dan variasi diameter 0,4 m, 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m, 0,8 m. Metode perhitungan daya dukung ijin tiang tunggal berdasarkan data SPT dengan metode Luciano Decourt (1996) dan Reese and Wright (1977). Perhitungan pembebanan struktur atas yang dianalisis menggunakan program RSAP 2021 didapatkan gaya aksial pada kolom K2 sebesar 1384,79 kN, kolom K3 sebesar 1740,97 kN, dan kolom K4 sebesar 3613,52 kN. Setelah dilakukan perhitungan daya dukung tiang tunggal berdasarkan data SPT dan efisiensi tiang tunggal, fondasi tiang bor yang digunakan untuk acuan perhitungan daya dukung tiang kelompok dan penurunan menggunakan diameter 0,8 m dan panjang 15 m dengan daya dukung ijin sebesar 986,545 kN pada metode Reese and Wright (1977). Berdasarkan hasil analisis daya dukung tiang kelompok didapatkan 3 jenis *pile cap* dengan nilai daya dukung tiang kelompok pada PC1 sebesar 1941,431 kN, PC2 sebesar 2912,147 kN, dan PC3 sebesar 3819,549 kN. Hasil analisis penurunan tanah menunjukkan telah memenuhi syarat ijin sebesar 15,58 cm dengan penurunan pada PC1 sebesar 4,43 cm, PC2 sebesar 6,25 cm, dan PC 3 sebesar 7,83 cm.

Kata kunci : fondasi tiang bor, daya dukung, penurunan, RSAP

ABSTRACT

The Bhayangkara Nganjuk Hospital building construction project consists of 6 floors with floor building functions with the existing foundation in the form of a *spunpile* foundation. This research will discuss the axial load resulting from the 2021 RSAP program, the amount of bearing capacity, settlement, and RAB for the use of drilled pile foundations in the construction of the Bhayangkara Nganjuk Hospital. The planned drilled pile foundations have depth variations of -14 m, -15 m, -16 m and diameter variations of 0.4 m, 0.5 m, 0.6 m, 0.7 m, 0.8 m. The method for calculating the carrying capacity of a single pile permit is based on SPT data using the method of Luciano Decourt (1996) and Reese and Wright (1977). Calculations of the upper structure loads analyzed using the RSAP 2021 program showed that the axial force in column K2 was 1384.79 kN, column K3 was 1740.97 kN, and column K4 was 3613.52 kN. After calculating the carrying capacity of a single pile based on SPT data and single pile efficiency, the bored pile foundation used as a reference for calculating the carrying capacity of group piles and settlement uses a diameter of 0.8 m and a length of 15 m with a permitted bearing capacity of 986.545 kN using the Reese and Wright (1977). Based on the results of the group pile bearing capacity analysis, 3 types of pile caps were obtained with group pile bearing capacity values at PC1 of 1941.431 kN, PC2 of 2912.147 kN, and PC3 of 3819.549 kN. The results of the land subsidence analysis show that the permit requirements have been met at 15.58 cm with a decrease in PC1 of 4.43 cm, PC2 of 6.25 cm, and PC 3 of 7.83 cm.

Keywords : bore pile foundation, bearing capacity, settlement, RSAP

1. PENDAHULUAN

Fondasi tiang bor merupakan salah satu jenis fondasi dalam yang metode pelaksanaannya harus dilakukan pengeboran tanah terlebih dahulu. Perencanaan fondasi tiang harus diperhitungkan dengan tepat dan sesuai dengan mempertimbangkan syarat-syarat daya dukung dan penurunan tanah yang sudah disyaratkan. Daya dukung fondasi tiang yang diijinkan harus lebih besar daripada beban struktur atas yang diterima fondasi ($Q_{all} > P$) dengan mempertimbangkan daya dukung yang diijinkan merupakan perbandingan dari daya dukung ultimit dan nilai faktor keamanan (Q_{ult}/SF). Penurunan tanah menurut SNI 8460:2017 tidak boleh melebihi persamaan $15 \text{ cm} + b/600$ (b adalah panjang fondasi dalam satuan cm).

Proyek pembangunan gedung Rumah Sakit Bhayangkara Nganjuk akan menjadi objek penelitian pada skripsi ini dengan data sebagai berikut, memiliki 6 lantai dengan fungsi bangunan lantai 1–2 berfungsi sebagai area ruang parkir, lantai 3–5 sebagai ruang pelayanan kesehatan, dan lantai 6 sebagai ruang fungsional pejabat rumah sakit. Proyek ini menggunakan fondasi eksisting berjenis *spun pile* dengan diameter 0,6 m memiliki spesifikasi mutu beton K-600, dan ketebalan 100 mm. Fondasi eksisting dipasang pada kedalaman 28 meter berdasarkan data boring mencapai 30 meter. Penelitian ini akan membahas mengenai besar daya dukung, penurunan, dan RAB terhadap pemakaian fondasi tiang bor pada pembangunan Rumah Sakit Bhayangkara Nganjuk. Selain itu, peneliti akan menghitung nilai beban aksial yang terjadi pada struktur atas bangunan menggunakan program *Robot Structural Analysis Professional 2021* untuk membandingkan kesesuaian antara daya dukung ijin dan beban aksial yang terjadi. Metode perhitungan analitis daya dukung tiang tunggal maupun tiang kelompok menggunakan metode pada data SPT dan CPT, kemudian penurunan tanah di bawah fondasi menggunakan metode penurunan tanah total. Peneliti juga menghitung besar biaya yang dikeluarkan berdasarkan acuan Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kabupaten Nganjuk untuk mengetahui besar biaya yang dikeluarkan pada pekerjaan fondasi.

2. METODE

Fondasi Tiang Bor

Fondasi dalam merupakan fondasi yang membutuhkan pengeboran atau pemancangan dalam karena lapisan tanah keras berada di kedalaman cukup dalam, seperti fondasi pada bangunan jembatan (Widjoko, Lilies, 2015). Fondasi tiang bor (*bored pile*) adalah fondasi tiang yang pelaksanaannya melalui upaya dicetak lubang pada tanah, berwujud serupa tiang, selanjutnya dalam lubang tersebut dicampurkan dalam adonan beton. Fondasi tiang bor diciptakan melalui upaya membor tanah dan selanjutnya di cor beton (Hardiyatmo, 2010 dalam Hashfi, 2022).

Pembebanan Struktur Atas

Analisis pembebanan struktur atas dilakukan untuk mendapatkan nilai beban yang diterima fondasi (P) sehingga dapat ditentukan besar daya dukung ijin (Q_{all}) dan dimensi

yang digunakan pada sebuah fondasi. Pembebanan struktur atas dikalkulasikan dengan program *Robot Structural Analysis Professional 2020* (RSAP 2020). Standar pembebanan menggunakan beberapa aturan yang sering digunakan.

- SNI 1727:2020 digunakan sebagai acuan perhitungan beban minimum yang digunakan, termasuk kombinasi beban yang digunakan dalam perhitungan.
- SNI 1726:2019 digunakan sebagai acuan perhitungan beban gempa yang terjadi.

Daya Dukung Tiang Berdasarkan Data SPT

- Metode *Luciano Decourt* (1996)

Nilai daya dukung tiang ultimit (Q_u) berdasarkan metode *Luciano Decourt* (1996) dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini.

Untuk perhitungan daya dukung ujung tiang dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q_p = A_p \times N_p \times K$$

Keterangan:

- Q_u = Daya dukung ujung tiang (ton)
 A_p = Luas penampang tiang (m^2)
 N_p = Nilai rata-rata dari SPT mulai dari 4D di bawah ujung tiang hingga 4D di atas ujung tiang
 K = Koefisien jenis tanah

Tabel 1 Koefisien Jenis Tanah

Jenis Tanah	K (t/m^2)
Lempung	12
Lanau berlempung	20
Lanau berpasir	25
Pasir	40

Untuk perhitungan daya dukung selimut tiang dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut ini:

$$Q_s = \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) A_s$$

Keterangan:

- Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)
 A_s = Luas selimut tiang (m^2)
 N_s = Nilai rata-rata dari SPT sepanjang tiang, dengan batasan $3 \leq N \leq 50$

- Metode *Reese and Wright* (1977)

Untuk menguji kapasitas daya dukung ujung tiang berdasarkan metode ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

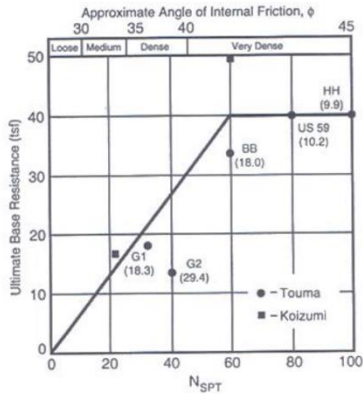
$$Q_p = q_p \cdot A_p$$

Dimana:

- Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)
 q_p = Tahanan ujung ultimit (t/m^2)

A_p = Luas penampang tiang bor (m^2)

Pada tanah yang bersifat kohesif, tahanan ujung per satuan luas, dapat diambil sebesar 9 kali kohesi dalam keadaan *undrained* ($q_p = 9.C_u$). pada tanah bersifat non-kohesif, nilai q_p diperoleh melalui pembacaan korelasi yang terlihat pada **Gambar 1** sesuai dengan N-SPT pada ujung tiang.



Gambar 1 Grafik Korelasi Nilai q_p Berdasarkan N-SPT

Untuk daya dukung selimut tiang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q_s = f_s \times l \times p$$

Keterangan:

- Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)
- f_s = Tahanan gesek selimut tiang (t/m^2)
- l = Tinggi lapisan tanah (m)
- p = Keliling penampang tiang (m)

Tahanan gesek ultimit selimut tiang dipengaruhi oleh besar nilai kohesi dan N-SPT sesuai dengan jenis tanah.

- Tanah kohesif

Tahanan gesek selimut tiang pada tanah kohesif dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini.

$$F_s = \alpha \cdot C_u$$

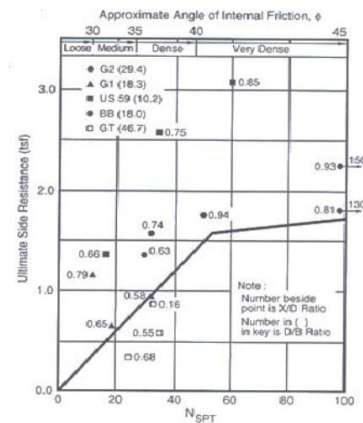
$$C_u = \frac{2}{3} \times N - SPT \times 10$$

Keterangan

- α = Faktor adhesi, diambil 0,55
- C_u = Kohesi dasar tiang rencana

- Tanah Non-Kohesif

Tingginya nilai f_s dapat diambil dari nilai korelasi dengan nilai N-SPT pada grafik, seperti pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Grafik Korelasi Nilai Tahanan Gesek Selimut Tiang Berdasarkan N-SPT

Daya Dukung Tiang Berdasarkan Data CPT

a. Metode Begemann (1965)

Begemann menyarankan bahwa biasanya diambil rata-rata q_c dari ujung tiang ke atas sejauh 8D dan untuk lapis yang bawah diambil 4D di bawah ujung tiang. Adapun daya dukung ijin fondasi tiang berdasarkan metode *Begemann* dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{all} = \frac{q_c \cdot A_p}{3} + \frac{JHL \cdot p}{5}$$

Keterangan:

- q_c = Tahanan ujung sondir
- A_p = Luas penampang tiang (m^2)
- JHL = Jumlah hambatan lekat
- p = Keliling penampang tiang (m)
- 3 = Faktor aman untuk daya dukung ujung tiang
- 5 = Faktor aman untuk daya dukung selimut tiang

b. Metode Aoki de Alencar (1975)

Perhitungan daya dukung ujung tiang berdasarkan metode *Aoki and De Alencar* menggunakan persamaan berikut:

$$Q_p = \frac{q_c(\text{base})}{F_b} A_p$$

Keterangan:

- Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)
- $q_c(\text{base})$ = Perlawanan konus rata-rata 1,5D di atas ujung tiang dan 1,5D di bawah ujung tiang (t/m^2)
- F_b = Faktor empirik tahanan ujung tiang tergantung pada jenis tanah
- A_p = Luas penampang tiang (m^2)

Perhitungan daya dukung selimut tiang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q_s = q_c(\text{side}) \frac{\sigma_s}{F_s} A_s$$

Keterangan:

- Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)
- $q_c(\text{side})$ = Perlawanan konus lapisan sepanjang tiang (t/m^2)

F_s = Faktor empirik tahanan selimut tiang tergantung pada jenis tanah
 A_s = Luas selimut tiang (m^2)
 σ_s = Nilai faktor empirik tipe tanah
 Untuk mengetahui nilai faktor empirik tahanan pada ujung tiang (F_b) dan selimut tiang (F_s) dapat dilihat berdasarkan **Tabel 2**

Tabel 2 Nilai Faktor Empirik Tahanan

Tipe Tiang	F_b	F_s
Tiang Bor	3,5	7,0
Baja	1,75	3,5
Beton Pratekan	1,75	3,5

Untuk mencari nilai faktor empirik berdasarkan tipe tanah (σ_s) dapat dilihat pada **3**

Tabel 3 Faktor Empirik Berdasarkan Tipe Tanah

Tipe Tanah	σ_s (%)	Tipe Tanah	σ_s (%)	Tipe Tanah	σ_s (%)
Pasir	1,4	Pasir berlanau	2,2	Lempung berpasir	2,4
Pasir kelanauan	2,0	Lempung berpasir dengan lanau	2,8	Pasir kelanauan dengan lempung	2,4
Lanau	3,0	Lempung berlanau dengan pasir	3,0	Pasir berlempun g dengan lanau	2,8
Lanau berlempun g dengan pasir	3,0	Lempung berlanau	4,0	Lempung	6,0
Pasir berlanau dan berlempun g	2,8				

Daya Dukung Ijin Tiang Kelompok

Perhitungan daya dukung ijin kelompok dapat dihitung menggunakan rumus berikut ini:

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

Dimana:

η = Efisiensi tiang tunggal (%)

n = Jumlah tiang dalam satu *pile cap*

Q_{all} = Daya dukung ijin tiang tunggal (kN)

Perhitungan efisiensi tiang kelompok (η) dapat dihitung menggunakan rumus *Converse-Labarre* berikut ini:

$$\eta = 1 - \theta \cdot \frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{90 \cdot m \cdot n}; \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{D}{s} \right)$$

Dimana:

m = jumlah baris tiang pada satu *pile cap*

n = jumlah tiang dalam satu baris

θ = sudut dalam derajat

s = jarak pusat ke pusat antar tiang

D = diameter tiang

$$n = \frac{P}{Q_{all}}$$

Dimana:

P = Reaksi aksial (kN)

Q_{all} = Daya dukung ijin tiang tunggal (kN)

Penurunan Fondasi Dalam

Penurunan pada fondasi disebabkan oleh pembebanan dan tanah yang mendukung fondasi tiang untuk memikul bangunan. Secara umum, penurunan pada fondasi dibagi menjadi dua, yaitu penurunan elastis dan penurunan konsolidasi

Penurunan tiang total dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$S_{tot} = S_g + S_c < S_{ijin}$$

dengan:

S_{tot} = penurunan total tiang kelompok (cm)

S_g = penurunan elastik tiang kelompok (cm)

S_c = penurunan konsolidasi tiang kelompok (cm)

S_{ijin} = penurunan yang diijinkan (cm)

Menurut SNI 8460:2017 Pasal 9.2.4.3 tentang penurunan izin, besar penurunan total harus kurang dari 15 cm + $b/600$ (b dalam satuan cm) untuk bangunan tinggi dan bisa dibuktikan struktur masih aman. Beda penurunan yang diperkirakan harus dicek untuk menjamin bahwa beda penurunan masih memenuhi kriteria dan kemampulayanan sebesar 1/300.

a. Penurunan Elastik Tiang Kelompok

$$S_{g(e)} = \frac{Q_{(g)all} \times h}{A \times E_p}$$

Dengan,

$S_{g(e)}$ = penurunan elastik tiang kelompok (m)

$Q_{(g)all}$ = Daya dukung ijin tiang kelompok (kN)

h = Panjang tiang (m)

A = Luas penampang tiang (m)

E_p = Modulus elastisitas material tiang (kN/m^2)

b. Penurunan Konsolidasi Tiang Kelompok

$$\Delta S_c = \left[\frac{C_{s(i)} \cdot H_i}{1 + e_{0(i)}} \right] \log \left[\frac{P_{0(1)} + \Delta P_{(i)}}{P_{0(i)}} \right]$$

Dengan,

ΔS_c = penurunan konsolidasi tiang (m)

C_s = indeks pengembangan tanah

H = tinggi lapisan (m)

P_0 = tegangan overburden (kN/m^2)

ΔP = tegangan tanah (kN/m^2)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembebanan Struktur Atas

Dari hasil output RSAP 2021 didapatkan reaksi gaya dalam sebagai berikut:

Tabel 4 Hasil analisis program RSAP pada kombinasi beban ASD

No. Kolom	Kombinasi ASD = DL+LL				
	Fz (kN)	Fy (kN)	Fx (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
D-6	1384,79	-2,4	6,08	23,78	53,90
F'-3	1740,97	-0,77	23,49	11,50	-23,90
B-3	3613,52	6,88	-6,27	-22,34	-36,00

Tabel 5 Hasil analisis program RSAP pada kombinasi beban LRFD

No. Kolom	Kombinasi LRFD = 1,2DL + 1,6LL + 0,5Lr				
	Fz (kN)	Fy (kN)	Fx (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
D-6	1928,14	1,88	7,38	1,54	4,37
F'-3	2031,16	-0,46	14,93	64,25	15,56
B-3	4884,07	-14,64	-0,93	35,23	83,39

Perhitungan Daya Dukung Tiang Tunggal Berdasarkan Data SPT

Pada perhitungan daya dukung tiang tunggal fondasi tiang bor berdasarkan data SPT menggunakan dua metode yaitu metode *Luciano Decourt* (1996) dan metode *Reese and Wright* (1977). Berdasarkan hasil analisis data SPT menunjukkan bahwa lapisan tanah dominan berjenis tanah kohesif. Pada perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT, fondasi tiang bor direncanakan memiliki variasi kedalaman 14m, 15m, dan 16m. Selain itu, dimensi juga menjadi variasi perencanaan dengan diameter 0,4m; 0,5m; 0,6m; 0,7m; dan 0,8 m. Batas atas penetrasi fondasi tiang bor berada pada -1,50m sehingga batas bawah ujung fondasi tiang bor dihitung berdasarkan penjumlahan antara batas atas penetrasi fondasi tiang bor dan variasi kedalaman. Contoh perhitungan menggunakan fondasi tiang bor diameter 0,4 m dengan kedalaman -14 m.

a. Metode Luciano Decourt (1996)

Berikut merupakan contoh perhitungan daya dukung tiang tunggal menggunakan metode *Luciano Decourt* (1996):

Data perencanaan:

D	= 0,4 m
L	= 14 m, penetrasi ujung fondasi 15,5m
Ap	= $1/4\pi D^2 = 1/4 (22/7)(0,4)^2 = 0,125m^2$
As	= $2\pi r^2 t = 2(22/7)(0,2)^2(14) = 3,518 m^2$
Batas atas	= $L - 4D = 15,5 - 4(0,4) = 13,9m$
Batas bawah	= $L + 4D = 15,5$
Np	= $(23,9+24+22+21)/4 = 22,73$
Ns	= $(3+4+6+10+13+16+24+23)/8 = 12,38$
K	= $20 t/m^2$

Perhitungan daya dukung ujung tiang:

$$\begin{aligned} Q_p &= A_p \times N_p \times K \\ &= 0,125 \times 22,73 \times 20 \\ &= 57,114 t = 571,14 kN \end{aligned}$$

Perhitungan daya dukung selimut tiang

$$\begin{aligned} Q_p &= (N_s/3+1)A_s \\ &= (12,38/3+1)3,518 \\ &= 18,032 t = 180,32 kN \end{aligned}$$

Perhitungan daya dukung ultimit tiang bor

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 571,14 + 180,32 \\ &= 751,46 kN \end{aligned}$$

Perhitungan daya dukung ijin tiang bor

$$\begin{aligned} Q_{all} &= Q_u/SF \\ &= 751,46/3 \\ &= 250,49 kN \end{aligned}$$

Tabel 6 Hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal metode *Luciano Decourt* (1996)

L (m)	Qall (kN)				
	D= 0,4m	D= 0,5m	D= 0,6m	D= 0,7m	D= 0,8m
14	250,49	378,63	540,51	729,02	937,45
15	259,39	405,30	593,06	817,49	1081,14
16	255,21	407,49	593,06	817,49	1081,14

Sumber: Hasil Analisis Pribadi

b. Metode Reese and Wright (1977)

Berikut merupakan contoh perhitungan daya dukung tiang tunggal menggunakan metode *Reese and Wright* (1977):

Data perencanaan:

D	= 0,4 m
L	= 14 m, penetrasi ujung fondasi 15,5m
Ap	= $1/4\pi D^2 = 1/4 (22/7)(0,4)^2 = 0,125m^2$
p	= $4\pi D = 4(22/7)(0,4) = 5,026m^2$
α	= 0,55
Fs	= 2,035
Cu	= 3,7

Perhitungan daya dukung ujung tiang:

$$\begin{aligned} Q_p &= 9 \times C_u \times A_p \\ &= 9 \times 3,7 \times 0,125 \\ &= 0,526 t \end{aligned}$$

Perhitungan daya dukung selimut tiang

$$\begin{aligned} Q_s &= f_s \times l \times p \\ &= 2,035 \times 14 \times 5,026 \\ &= 143,206 t \end{aligned}$$

Perhitungan daya dukung ultimit tiang bor

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 0,526 + 143,206 \\ &= 143,732 t \end{aligned}$$

Perhitungan daya dukung ijin tiang bor

$$\begin{aligned} Q_{all} &= Q_u/SF \\ &= 143,732/3 \\ &= 47,910 \text{ t} = 479,10 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 7 Hasil perhitungan daya dukung tiang tunggal metode *Reese and Wright* (1977)

L (m)	Qall (kN)				
	D= 0,4m	D= 0,5m	D= 0,6m	D= 0,7m	D= 0,8m
14	479,10	600,97	724,90	851,81	982,75
15	479,34	601,55	726,10	854,03	986,54
16	479,15	601,08	725,14	852,25	983,51

Sumber: Hasil Analisis Pribadi

Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok Fondasi

Tiang Bor

Berdasarkan perhitungan daya dukung fondasi tunggal menggunakan data SPT data CPT serta pertimbangan kesesuaian spesifikasi dan dimensi fondasi pada bangunan eksisting, maka fondasi tiang bor akan dianalisa pada Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Nganjuk adalah tiang bor berdiameter 0,8 meter dan panjang 15 meter menggunakan data SPT pada metode *Reese and Wright* (1977) dengan daya dukung tiang tunggal sebesar 986,544 kN. Berikut merupakan hasil analisis perhitungan daya dukung tiang kelompok pada tiap kolom untuk dipilih satu jenis pada tiap kolom yang digunakan untuk penentuan jenis *pile cap*. Contoh perhitungan daya dukung tiang kelompok menggunakan *pile cap* PC1 dengan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} D &= 0,4 \text{ m} \\ L &= 14 \text{ m, penetrasi ujung fondasi } 15,5 \text{ m} \\ P &= 1384,79 \text{ kN} \\ Q_{all} &= 986,54 \text{ kN} \\ \eta &= 0,968 = 96,80\% \\ n &= 2 \\ Q(g)_{allPC1} &= \eta \times n \times Q_{all} \\ &= 96,80\% \times 2 \times 986,54 \\ &= 1941,431 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 8 Hasil analisis daya dukung tiang kelompok

Jenis PC	Kolom	Jumlah tiang (n)	P (kN)	Q(g)all (kN)	Syarat, Q(g)all > P
PC 1	D-6	2	1384,79	1941,431	AMAN
PC 2	F'-3	3	1740,97	2912,147	AMAN
PC 3	B-3	4	3613,52	3819,547	AMAN

Sumber: Hasil Analisis

Perhitungan Penurunan Fondasi Tiang Bor

Pada subbab ini akan dibahas mengenai perhitungan fondasi tiang bor menggunakan analisis perhitungan manual. Analisis perhitungan fondasi tiang bor secara manual dibagi menjadi perhitungan elastic tiang tunggal atau yang biasa disebut dengan penurunan segera (S_e), penurunan elastik tiang kelompok $S_{(g)e}$, dan penurunan konsolidasi kelompok tiang $S_{(g)c}$. Ketiga perhitungan tersebut akan dijumlahkan sehingga menjadi penurunan total fondasi kelompok tiang $S_{(g)}$. Kemudian, dari hasil penurunan fondasi kelompok tiang tersebut disesuaikan dengan syarat yang ada pada SNI 8460:2017 yaitu penurunan yang diizinkan tidak boleh melebihi $15\text{cm} + b/600$ (dengan b = bentang *pile cap*). Contoh perhitungan penurunan menggunakan *pile cap* PC1.

- Perhitungan penurunan ijin

$$\begin{aligned} S_{ijin} &= 15 + b/600 \\ &= 15 + 720/600 \\ &= 15,583 \text{ cm} \end{aligned}$$
- Perhitungan penurunan elastik

$$\begin{aligned} S_{(g)e} &= (Q_{(g)all} \times h)/(A \times E_p) \\ &= (1941,431 \times 15)/(0,502 \times 27081137,347) \\ &= 0,00214 \text{ m} = 0,214 \text{ cm} \end{aligned}$$
- Perhitungan perbedaan tegangan

$$\begin{aligned} \Delta P &= Q_{(g)all} (B_g + z_i \times L_g + z_i) \\ \Delta P_1 &= 1941,43 (7,2 + 0,5 \times 2,4 + 0,5) \\ &= 86,943 \text{ kN/m}^2 \\ \Delta P_2 &= 35,247 \text{ kN/m}^2 \\ \Delta P_3 &= 10,512 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$
- Perhitungan tegangan overburden

$$\begin{aligned} P_o &= \sum \gamma_i \cdot h_i \\ P_{o1} &= 220,060 \text{ kN/m}^2 \\ P_{o2} &= 278,770 \text{ kN/m}^2 \\ P_{o3} &= 412,462 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$
- Penentuan nilai OCR

$$\begin{aligned} OCR &= 0,193(N/P_o) \\ OCR_1 &= 11,401 > 1 \text{ (overconsolidated soil)} \\ OCR_2 &= 11,077 > 1 \text{ (overconsolidated soil)} \\ OCR_3 &= 10,372 > 1 \text{ (overconsolidated soil)} \end{aligned}$$
- Perhitungan penurunan konsolidasi

$$\begin{aligned} \Delta S_{(g)c} &= \left[\frac{C_{s(i)} \cdot H_i}{1 + e_{o(i)}} \right] \log \left[\frac{P_{o(i)} + \Delta P_{(i)}}{P_{o(i)}} \right] \\ S_{(g)c1} &= \left[\frac{0,174 \times 0,5}{1 + 1,107} \right] \log \left[\frac{220,060 + 86,143}{220,060} \right] \\ S_{(g)c1} &= 0,59 \text{ cm} \\ S_{(g)c2} &= 1,68 \text{ cm} \\ S_{(g)c3} &= 1,12 \text{ cm} \\ S_{(g)c \text{ total}} &= 3,98 \text{ cm} \end{aligned}$$
- Perhitungan penurunan konsolidasi

$$S_{total} = S_{(g)e} + S_{(g)c \text{ total}}$$

$$= 0,214 + 3,981$$

$$= 4,428 \text{ cm}$$

Tabel 9 Rekapitulasi perhitungan penurunan total

Jenis PC	Se (cm)	Sc (cm)	S(g) total (cm)	S ijin (cm)	S ijin > S(g) total
----------	---------	---------	-----------------	-------------	---------------------

PC 1	0,231	3,981	4,428	15,583	OK
PC 2	0,320	5,579	6,251	15,583	OK
PC 3	0,420	6,951	7,832	15,583	OK

4. KESIMPULAN

- Berdasarkan analisis perhitungan dengan analisis 3D diperoleh gaya aksial terbesar pada kolom B-3 sebesar 3613,52 kN untuk kombinasi ASD dan sebesar 4884,07 kN untuk kombinasi LRFD.
- Fondasi tiang yang digunakan untuk perencanaan menggunakan diameter 0,6 meter dengan kedalaman 15 meter pada perhitungan daya dukung tiang tunggal berdasarkan data SPT menurut metode *Reese and Wright* (1977) dan daya dukung ijin tiang tunggal sebesar 726,104 kN. Dari daya dukung tiang tunggal tersebut, didapatkan nilai daya dukung tiang kelompok pada tiap *pile cap* didapatkan dengan hasil seperti berikut:
 - Nilai daya dukung pada *pile cap* tipe PC 1 sebesar 1405,609 kN.
 - Nilai daya dukung pada *pile cap* tipe PC 2 sebesar 2108,413 kN.
 - Nilai daya dukung pada *pile cap* tipe PC 3 sebesar 2811,217 kN.
- Penurunan total tiang kelompok pada tiap *pile cap* telah memenuhi syarat penurunan izin sesuai dengan SNI yang telah dihitung sebesar 15,58 cm. Masing-masing *pile cap* memiliki penurunan total sebesar:
 - Pada PC1 penurunan total sebesar 6,98 cm.
 - Pada PC2 penurunan total sebesar 8,60 cm.
 - Pada PC 3 penurunan total sebesar 11,66 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bowles, J. E., 1982. *Alih Bahasa : Analisis dan Desain Fondasi Edisi Keempat Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- [2] Das, B. M. (2011). *Geotechnical Engineering Handbook*. Fort Lauderdale: J.Ross.
- [3] Das, B. M. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1 Alih Bahasa oleh Ir. Noor E. Mochtar. M. Sc* (Doctoral dissertation, Ph. D. dan Ir. Indrasurya B. Mochtar M. Sc., Ph. D. Jakarta: Erlangga).
- [4] Das, B. M., 2019. *Principles of Foundation Engineering 9th ed.*. 9th ed. Maryland: Brookes and Cole.
- [5] Dirgananta, M. F. (2018). *Perencanaan Ulang Fondasi Tiang bor Dengan Variasi Diameter Menggunakan Metode Meyerhoff. Aoki & De Alencar, dan Luciano Decourt (Redesign Pile Foundation With Dimentional Variation Using Meyerhoff, Aoki & De Alencar, and Luciano Decourt Method. Tugas Akhir. Fakultas Teknik Sipil. Universitas Islam Indonesia*.
- [6] Fahmi, K. (2022). *ANALISA PERBANDINGAN DAYA DUKUNG FONDASI TIANG DENGAN METODE MAYERHOFF, LUCIANO DECOURT, REESE AND WRIGHT, DAN ELEMEN HINGGA (PLAXIS)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- [7] Hardiyatmo, H. C., 2011. *Analisis dan Perancangan Fondasi Bagian 1 dan 2*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- [8] Umum, K. P., & Rakyat, P. (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan*
- [9] Yunaefi, Sholeh, M. & Novianto, D., 2012. *Modul Ajar Rekayasa Fondasi 1*. Malang: Departemen Pendidikan Nasional Politeknik Negeri Malang Jurusan Teknik Sipil.
- [10] Yunaefi, Sholeh, M., Novianto, D. & Supiyono, 2011. *Buku Ajar Mekanika Tanah II*. Malang: Kementrian Pendidikan Nasional Politeknik Negeri Malang Jurusan Teknik Sipil.
- [11] Zain, R., Azizi, A., & Al Fathoni, M. A. S. (2021). *Analisis Daya Dukung Dan Penurunan Fondasi Tiang Bor Pada Proyek Pembangunan Gedung K Universitas Muhammadiyah Purwokerto. CIVeng: Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, 2(2)*.