

ANALISIS PERBANDINGAN SPUN PILE DAN BORED PILE PADA PROYEK RUMAH SAKIT MITRA KELUARGA SIDOARJO

Siti Mutaqwaroh¹, Fuji Asema²

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

Koresponden*, Email: ¹sitimutaqwarohh@gmail.com, ²fuji.asema@polinema.ac.id

ABSTRAK

Gedung RS Mitra Keluarga Sidoarjo merupakan bangunan setinggi 29,5 m dengan 8 lantai, berdiri di atas tanah dominan lempung dengan eksisting menggunakan fondasi spun pile berdiameter 0,50 m dan kedalaman 45 m. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi alternatif desain fondasi yang lebih efisien serta mampu menahan beban struktur. Perhitungan struktur atas dilakukan menggunakan RSAP 2023 sesuai SNI 1727:2020, sementara kapasitas daya dukung fondasi ditentukan melalui data uji SPT. Analisis menggunakan Metode Mayerhoff (1976) untuk spun pile dan Metode Luciano Decourt (1982) untuk bored pile, kemudian dibandingkan berdasarkan daya dukung, penurunan fondasi, serta Rencana Anggaran Biaya (RAB). Hasil menunjukkan kapasitas daya dukung tiang dengan panjang 45 m dan diameter 40 cm adalah $Q_{all} = 447,56$ kN (Mayerhoff) dan $Q_{all} = 361,59$ kN (Luciano Decourt), dengan kebutuhan jumlah tiang sama, yaitu 6 pada pile cap interior dan 4 pada eksterior. Penurunan total pada spun pile tercatat 14,10 cm (interior) dan 13,03 cm (eksterior), sedangkan bored pile sebesar 13,87 cm (interior) dan 12,79 cm (eksterior). Estimasi biaya menunjukkan kebutuhan Rp 30.029.817.606,00 untuk spun pile dan Rp 29.205.486.669,00 untuk bored pile.

Kata Kunci: fondasi; spun pile; bored pile

ABSTRACT

The Mitra Keluarga Hospital building in Sidoarjo is an eight-floor structure with a total height of 29.5 m, constructed on clay-dominated soil using spun pile foundations to existing with a diameter of 0.50 m and a depth of 45 m in its existing condition. This study aims to evaluate an alternative foundation design that is both more efficient and structurally reliable. The superstructure analysis was carried out using RSAP 2023 in accordance with SNI 1727:2020, while the foundation bearing capacity was determined based on Standard Penetration Test (SPT) data. The foundation design was analyzed using the Mayerhoff Method (1976) for spun piles and the Luciano Decourt Method (1982) for bored piles, with comparisons made in terms of bearing capacity, settlement, and cost estimation. The results indicate that pile foundations with a length of 45 m and a diameter of 40 cm yield ultimate capacities of $Q_{all} = 447.56$ kN (Mayerhoff) and $Q_{all} = 361.59$ kN (Luciano Decourt). Both alternatives require the same number of piles per pile cap: six for interior caps and four for exterior caps. The total settlement recorded for spun piles is 14.10 cm (interior) and 13.03 cm (exterior), while for bored piles it is 13.87 cm (interior) and 12.79 cm (exterior). The cost estimation shows that spun piles require Rp 30,029,817,606.00, whereas bored piles require Rp 29,205,486,669.00.

Keywords: foundations; spun pile; bored pile

1. PENDAHULUAN

Fondasi adalah bagian struktur bangunan yang berada di bawah dan bersentuhan langsung dengan tanah, berfungsi menopang beban seluruh bagian bangunan di atasnya. Dalam perhitungannya, fondasi harus dirancang agar mampu menjamin kestabilan bangunan terhadap beban sendiri, beban dari isi bangunan, serta pengaruh faktor eksternal seperti tekanan angin, gempa, dan lainnya. Selain itu, penurunan permukaan fondasi tidak boleh melampaui batas

yang telah ditentukan [1]. Penyelidikan tanah bertujuan untuk mengetahui jenis fondasi yang sesuai bagi suatu bangunan. Melalui kegiatan ini, dapat ditentukan perlakuan yang tepat terhadap tanah sehingga daya dukungnya mampu menopang konstruksi yang akan dibangun [2].

Rumah Sakit Mitra Keluarga Sidoarjo adalah salah satu fasilitas kesehatan di Kabupaten Sidoarjo yang mulai dibangun pada pertengahan tahun 2023. Proyek ini direncanakan memiliki luas bangunan sebesar 14.330 m² di

atas lahan seluas 11.439 m², dengan total 7 lantai (termasuk atap dan atap LMR/tangga). Struktur fondasinya menggunakan tiang pancang berdiameter 500 mm dengan panjang 45 m, serta dilengkapi pekerjaan preboring berdiameter 450 mm pada kedalaman antara 6 – 12 m.

Penggunaan fondasi spun pile pada proyek Rumah Sakit Mitra Keluarga Sidoarjo tergolong memiliki biaya tinggi. Selain itu, lokasi proyek yang dikelilingi permukiman padat penduduk dengan jarak bangunan yang berdekatan mengakibatkan terjadinya kenaikan tanah di area sekitar proyek.

Oleh karena itu, untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan oleh pekerjaan struktur fondasi di kawasan padat penduduk, penulis melakukan studi perbandingan dengan fondasi *bored pile* untuk menilai alternatif yang lebih efektif dari segi teknis maupun biaya. Berdasarkan hal tersebut, penulis menetapkan judul penelitian “**Analisis Perbandingan Spun Pile dan Bored Pile pada Proyek Rumah Sakit Mitra Keluarga Sidoarjo**”.

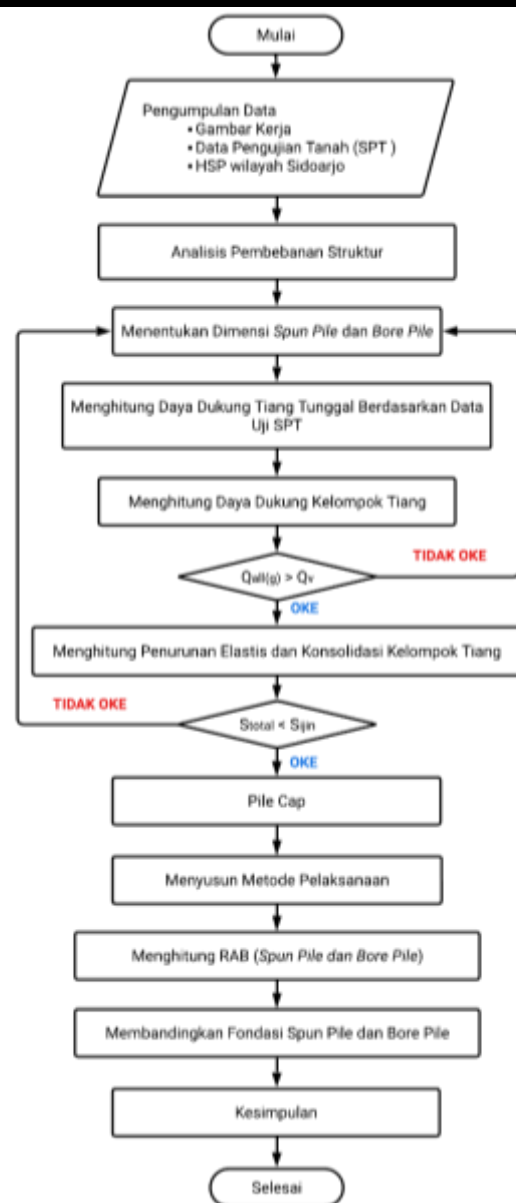
2. METODE

Dalam penyusunan skripsi ini, metode penelitian disusun secara sistematis agar dapat mendukung tercapainya tujuan penelitian serta memperoleh hasil yang valid, berikut beberapa metode yang digunakan pada antara lain:

1. Analisis statika dan pemodelan 3D gedung RS Mitra Keluarga Sidoarjo menggunakan *Software Robot Structural Analysis Professional 2023*
2. Perhitungan pembebanan berdasarkan SNI 1727 – 2020 untuk beban desain minimum dan kriteria untuk bangunan gedung dan struktur lainnya. Beban angin dihitung oleh RSAP (2023) [3]
3. Perhitungan gempa menggunakan peraturan SNI 1726 – 2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non Gedung [4]
4. Perhitungan daya dukung dan penurunan fondasi tiang berdasarkan data SPT (*Standart Penetration Test*) pada proyek RS Mitra Keluarga Sidoarjo
5. RAB fondasi menggunakan HSPK pada tahun yang sama dengan pelaksanaan proyek yaitu HSPK Surabaya tahun 2024

Diagram Alir

Untuk memperjelas alur penelitian, digunakan diagram alir yang mengacu pada tujuan dan metode penelitian. Diagram ini memberikan gambaran umum mengenai langkah-langkah yang ditempuh mulai dari pengumpulan data, analisis perhitungan, hingga kesimpulan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

Perencanaan Fondasi

1) Spun Pile

Metode *Mayerhof* (1976) dipilih untuk menghitung daya dukung tiang spun pile karena merupakan metode semi-empiris yang umum digunakan dalam perencanaan fondasi. Pendekatan ini memanfaatkan data dinamis yang diperoleh dari proses pemancangan tiang serta nilai hasil uji SPT [5].

a. Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p)

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

Dimana:

A_p = Luas penampang ujung tiang [m²]

c_u = Kohesi tanah lempung diujung tiang

b. Daya Dukung Selimut Tiang (Q_s)

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

Dimana:

p = Keliling penampang tiang

ΔL = Panjang tiang

f_{av} = Satuan perlawanan geser pada setiap kedalaman z

c. Daya Dukung Tiang Tunggal (Q_{all})

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (3)$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} \quad (4)$$

Dimana:

Q_u = Daya dukung tiang ultimit (batas)

Q_{all} = Daya dukung ijin tiang

FS = Faktor keamanan (*Factor of Safety*)

d. Daya Dukung Tiang Kelompok ($Q_{all(g)}$)

$$n = \frac{Q_v}{Q_{all}} \quad (5)$$

Dimana:

n = Jumlah tiang

Q_v = Gaya aksial yang terjadi

Q_{all} = Daya dukung ijin tiang tunggal

Untuk menghitung daya dukung kelompok tiang, perlu ditentukan terlebih dahulu faktor efisiensi tiang dengan menggunakan *Metode Converse-Lambarre* seperti rumus berikut:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad (6)$$

Dimana:

E_g = Efisiensi kelompok tiang

$\theta = \tan^{-1}(D/s)$ (derajat)

D = Diameter tiang (m)

s = Jarak pusat ke pusat tiang (m)

m = Jumlah tiang dalam 1 kolom

n = Jumlah tiang dalam 1 baris

Sehingga daya dukung kelompok tiang dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_{all(g)} = E_g \times N_p \times Q_{all} \quad (7)$$

$$Q_{all(g)} > Q_v \quad (8)$$

Dimana:

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

E_g = Efisiensi kelompok tiang

Q_{all} = Daya dukung tiang Tunggal

Q_v = Gaya aksial yang terjadi

2) Bored Pile

Metode Luciano Decourt (1982) digunakan untuk menghitung daya dukung bored pile karena praktis dan berbasis empiris. Pendekatan ini cocok dijadikan acuan pembandingan, terutama saat data uji laboratorium tanah terbatas. Selain itu, metode ini dikembangkan berdasarkan kondisi tanah tropis, sehingga sesuai untuk karakteristik tanah di Indonesia [6].

a. Daya Dukung Ujung Tiang (Q_p)

$$Q_p = \alpha \times N_p \times k \times A_p \quad (9)$$

Dimana:

α = Koefisien dasar tiang, nilai koefisien dasar tiang merujuk pada buku Rahmawati (2018).

N_p = Rata - rata nilai SPT 8D di atas hingga 4D di bawah dasar tiang

k = Koefisien tanah untuk Metode Lucciano Decourt (kN/m^2), nilai koefisien tanah merujuk pada buku Rahmawati (2018).

A_p = Luas penampang ujung tiang (m^2)

b. Daya Dukung Selimut Tiang (Q_s)

$$Q_s = \beta \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) A_s \quad (10)$$

Dimana:

β = Koefisien selimut tiang, nilai koefisien selimut tiang merujuk pada buku Rahmawati (2018).

N_s = Nilai rata-rata SPT sepanjang tiang yang telah dikoreksi

A_s = Keliling penampang tiang bor (m)

c. Daya Dukung Tiang Tunggal (Q_{all})

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (11)$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} \quad (12)$$

Dimana:

Q_u = Daya dukung tiang ultimit (batas)

Q_{all} = Daya dukung ijin tiang tunggal

FS = Faktor keamanan (*Factor of Safety*)

d. Daya Dukung Tiang Kelompok ($Q_{all(g)}$)

$$n = \frac{Q_v}{Q_{all}} \quad (13)$$

Dimana:

n = Jumlah tiang

Q_v = Gaya aksial yang terjadi

Untuk menghitung daya dukung kelompok tiang, perlu ditentukan terlebih dahulu faktor efisiensi tiang dengan menggunakan *Metode Converse-Lambarre* seperti rumus berikut:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \quad (14)$$

Dimana:

E_g = Efisiensi kelompok tiang

$\theta = \tan^{-1}(D/s)$ (derajat)

D = Diameter tiang (m)

s = Jarak pusat ke pusat tiang (m)

m = Jumlah tiang dalam 1 kolom

n = Jumlah tiang dalam 1 baris

Sehingga daya dukung kelompok tiang dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_{all(g)} = E_g \times N_p \times Q_{tiang} \quad (15)$$

$$Q_{all(g)} > Q_v \quad (16)$$

Dimana:

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

E_g = Efisiensi kelompok tiang

Q_{tiang} = Daya dukung tiang Tunggal

Q_v = Gaya aksial yang terjadi

Penurunan Fondasi

Penurunan pada fondasi terjadi akibat beban yang bekerja serta kondisi tanah yang menopang tiang fondasi dalam menahan bangunan.

a. Penurunan Elastis Tiang Tunggal

$$S_e = S_1 + S_2 + S_3 \quad (17)$$

Dimana:

S_e = penurunan elastis tiang tunggal

S_1 = penurunan yang terjadi sepanjang tiang

S_2 = penurunan tiang disebabkan oleh beban yang bekerja pada ujung tiang

S_3 = penurunan tiang disebabkan oleh beban yang bekerja sepanjang kulit/selimut

b. Penurunan Elastis Tiang Kelompok

$$S_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} S_e \quad (18)$$

Dimana:

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

L_g = Panjang kelompok tiang

B_g = Lebar kelompok tiang

c. Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi pada kelompok tiang pada tanah lempung digunakan untuk pendekatan penyebaran distribusi tegangannya dengan perbandingan 2:1

- Penambahan tegangan pada tiap tengah lapisan

$$\Delta p_i = \frac{Q_v}{(B_g + z_i) \times (L_g + z_i)} \quad (19)$$

Dimana:

Δp_i = Penambahan tegangan pada tengah-tengah lapisan i

Q_v = Beban aksial yang bekerja pada kelompok tiang

L_g, B_g = Panjang dan lebar kelompok tiang

z_i = Jarak dari $z = 0$ sampai dengan tengah lapisan ke-i

- Penurunan tiap lapisan

$$\Delta S_i = \left[\frac{\Delta e(i)}{1 + e_{o(i)}} \right] \times H_i \quad (20)$$

Dimana:

ΔS_i = Penurunan konsolidasi pada lapisan ke-i

$\Delta e(i)$ = Perubahan angka pori akibat penambahan tegangan pada lapisan ke-i

e_o = Angka pori awal pada lapisan ke-i

H_i = Tebal lapisan ke-i

- Penurunan total konsolidasi

$$\Delta S_g = \sum \Delta S_i \quad (21)$$

$$\Delta S_i = \left[\frac{C_{c(i)} \times H_i}{1 + e_{o(i)}} \right] \log \left[\frac{P_{o(i)} + \Delta p(i)}{P_{o(i)}} \right] \quad (22)$$

Dimana:

ΔS_g = Penurunan total konsolidasi kelompok tiang

ΔS_i = Penurunan konsolidasi pada lapisan ke-i

d. Penurunan Total Fondasi

$$S_{total} = S_{g(e)} + \Delta S_g \quad (23)$$

$$S_{total} < S_{ijin} \quad (24)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan langkah-langkah dalam analisis fondasi:

1) Analisis Pembebanan Struktur Atas Bangunan

Analisis struktur atas bangunan dilakukan menggunakan perangkat lunak *Robot Structural Analysis Professional 2023*, dan diperoleh hasil analisis sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Analisis Menggunakan *Software Robot Structural Analysis Professional 2023* kombinasi LRFD

Type	Fz (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
Interior	6066,37	835,69	760,91
Exterior	3893,13	725,45	928,61

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 2. Hasil Analisis Menggunakan *Software Robot Structural Analysis Professional 2023* kombinasi ASD

Type	Fz (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)
Interior	2148,08	69,87	7,73
Exterior	1311,98	771,53	103,29

Sumber: Hasil Analisis

2) Analisis Daya Dukung Tiang

Berikut merupakan perhitungan analisis daya dukung tiang tunggal untuk fondasi *spun pile* dan fondasi *bored pile*:

a. Metode Meyerhoff (1976) Fondasi Spun Pile

1. Daya dukung ujung tiang (Q_p)

$$C_u = 196 \text{ kN/m}^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi 3,14^2 = 0,13 \text{ m}^2$$

$$Q_p = 9 C_u \times A_p = 9 \times 196 \times 0,13 = 258,75 \text{ kN}$$

2. Daya dukung selimut tiang (Q_s)

$$p = \pi \times D = 3,14 \times 0,4 = 1,26 \text{ m}$$

$$f_{av1} = 0,02 \times Pa \times \bar{N}_{60} = 0,02 \times 100 \times 8 = 16 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s1} = p \times L_1 \times f_{av1}$$

$$= 1,26 \times 4 \times 16 = 80,38 \text{ kN}$$

$$Q_{s(\text{total})} = 1083,93 \text{ kN}$$

3. Daya dukung ijin tiang tunggal (Q_{all})

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} = \frac{(258,75 + 1083,93)}{3} = 447,56 \text{ kN}$$

b. Metode Lucciano Decourt (1982) Fondasi Bored Pile

1. Daya dukung ujung tiang (Q_p)

$$A_p = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} 3,14 \times 0,4^2 = 0,13 \text{ m}^2$$

$$Q_p = \alpha \times A_p \times N_p \times K \\ = 0,85 \times 0,13 \times 35 \times 196,13 = 732,86 \text{ kN}$$

2. Daya dukung selimut tiang (Q_s)

$$A_s = \pi \times D \times L = 3,14 \times 0,4 \times 45 = 56,52 \text{ m}^2$$

$$Q_s = \beta \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) A_s \\ = 0,8 \left(\frac{10,35}{3} + 1 \right) 56,52 = 351,90 \text{ kN}$$

3. Daya dukung ijin tiang tunggal (Q_{all})

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} = \frac{(732,86 + 351,90)}{3} = 361,59 \text{ kN}$$

3) Analisis Daya Dukung Kelompok Tiang

Berikut merupakan analisis daya dukung tiang kelompok untuk fondasi spun pile dan bored pile:

a. Metode Meyerhoff (1976)

$$n = \frac{Q_v}{Q_{all}} = \frac{2148,08}{447,56} = 5,05 \approx 6 \text{ Tiang}$$

$$Q_{all(g)} = n \times Q_{all} \\ = 6 \times 447,56 = 2685,35 \text{ kN}$$

$$Q_{tk} = E_g \times n \times Q_{all} = 1 \times 6 \times 447,56 \\ = 2685,35 \text{ kN} > Q_v = 2148,08 \text{ kN}$$

b. Metode Lucciano Decourt (1982)

$$n = \frac{Q_v}{Q_{all}} = \frac{2148,08}{361,59} = 5,94 \approx 6 \text{ Tiang}$$

$$Q_{all(g)} = n \times Q_{all} = 6 \times 361,59 = 2169,52 \text{ kN}$$

$$Q_{tk} = E_g \times n \times Q_{all} = 1 \times 6 \times 361,59 \\ = 2169,52 \text{ kN} > Q_v = 2148,08 \text{ kN}$$

Tabel 3. memperlihatkan hasil rekapitulasi perhitungan daya dukung tiang pada fondasi *Spun Pile* dan *Bored Pile*, meliputi parameter perhitungan utama dan hasil kontrol terhadap beban rencana.

Tabel 3. Rekapitulasi Analisis Daya Dukung Tiang

No.	Jenis Fondasi	Dimensi (cm)	Depth (m)	Q_v (kN)	Q_p (kN)	Q_s (kN)	Q_{all} (kN)	n	$Q_{all(g)}$ (kN)	Q_{tk} (kN)	Kontrol
1	SPUN PILE	40	45	2148,08	258,75	1083,93	447,56	6	2685,35	2685,35	OKE
2		50			404,29	1303,81	569,37	4	2277,48	2277,48	OKE
3		60			582,18	1564,58	715,59	4	2862,35	2862,35	OKE
4	BORE PILE	40	45	2148,08	732,86	351,90	361,59	6	2169,52	2169,52	OKE
5		50			1366,41	314,34	560,25	4	2241,01	2241,01	OKE
6		60			1967,63	377,21	781,61	3	2344,84	2344,84	OKE

Sumber: Hasil Analisis

4) Distribusi Beban Kelompok Tiang

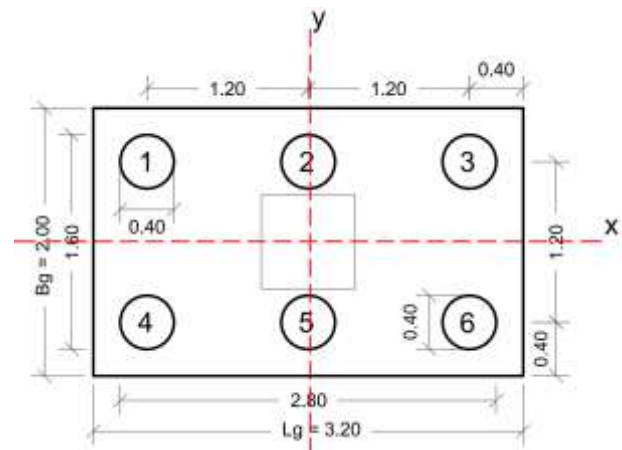
Berikut merupakan perhitungan distribusi beban kelompok tiang:

$$P_{max} = \frac{Q_v}{n} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y}{\sum y^2}$$

- Interior

$$e_x = \frac{M_x}{Q_v} = \frac{-11,23}{2148,08} = -0,005 \text{ m}$$

$$e_y = \frac{M_y}{Q_v} = \frac{7,73}{2148,08} = 0,004 \text{ m}$$



Gambar 2. Distribusi Beban Kelompok Tiang

Berikut merupakan hasil distribusi beban kelompok tiang yang terjadi untuk daerah interior:

Tabel 4. Distribusi Beban Kelompok Tiang Interior

No. Tiang	Koordinat		x^2	y^2	P_{max} (kN)
	x	y			
1	-1,195	0,596	1,427	0,356	353,31

2	0,005	0,596	0,000	0,356	354,92
3	1,205	0,596	1,453	0,356	356,53
4	-1,195	-0,604	1,427	0,364	359,55
5	0,005	-0,604	0,000	0,364	361,16
6	1,205	-0,604	1,453	0,364	362,77
Total (Σ)			5,760	2,160	2148,23

Sumber: Hasil Analisis

Kontrol:

- Untuk tiang *spun pile* harus lebih kecil dari mutu *spun pile* type class A3 dengan PC 52, $f_c' = 1178$ kN
- Sedangkan koreksi untuk tiang *bored pile* harus lebih kecil dari hasil perhitungan penulangan kehancuran tiang *bored pile* yaitu $\phi P_n = 3383,63$ kN

5) Penurunan Kelompok Tiang

Berikut merupakan susunan lapisan tanah yang terdiri beberapa karakteristik tanah:

a) Fondasi *Spun Pile*

- Penurunan Elastis

$$\text{Interior}, S_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} S_e = \sqrt{\frac{160}{40}} 3,94 = 7,876 \text{ cm}$$

- Penurunan Konsolidasi

$$\begin{aligned} \text{Interior}, \Delta Sc_{(u)} &= \Delta Sc_{(1)} + \Delta Sc_{(2)} + \Delta Sc_{(3)} \\ &= 2,65 + 3,37 + 0,21 = 6,22 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Penurunan Total

$$\begin{aligned} \text{Interior} &= S_{g(e)} + \Delta Sc_{(u)} \\ &= 7,876 + 6,22 \\ &= 14,10 \text{ cm} < S_{ijin} = 18,83 \text{ cm} \end{aligned}$$

b) Fondasi *Bored Pile*

- Penurunan Elastis

$$\text{Interior}, S_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}} S_e = \sqrt{\frac{160}{40}} 3,82 = 7,641 \text{ cm}$$

- Penurunan Konsolidasi

$$\begin{aligned} \text{Interior}, \Delta Sc_{(u)} &= \Delta Sc_{(1)} + \Delta Sc_{(2)} + \Delta Sc_{(3)} \\ &= 2,65 + 3,37 + 0,21 = 6,22 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Penurunan Total

$$\begin{aligned} \text{Interior} &= S_{g(e)} + \Delta Sc_{(u)} \\ &= 7,641 + 6,22 \\ &= 13,87 \text{ cm} < S_{ijin} = 18,83 \text{ cm} \end{aligned}$$

Sehingga, rekapitulasi perhitungan penurunan untuk fondasi spun pile dan bored pile yang telah dihitung sebagai berikut:

Tabel 5. Rekapitulasi Penurunan Fondasi

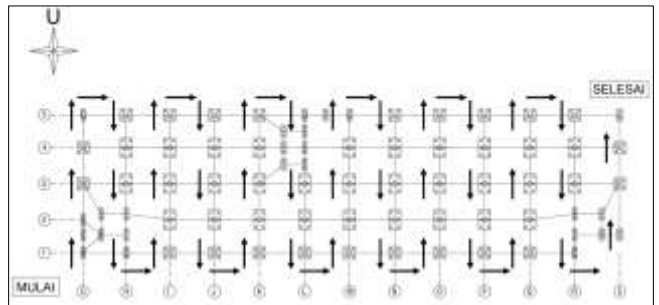
Jenis Fondasi	Letak	D (m)	L (m)	Se (cm)	S _{g(e)} (cm)	$\Delta Sc_{(u)}$ (cm)	S total (cm)	S _{ijin} (cm)	Kontrol
SPUN PILE	Interior			3,94	7,87	6,22	14,10	18,83	AMAN
	Eksterior			3,94	7,87	5,15	13,03	18,83	AMAN
BORE PILE	Interior	0,4	45	3,82	7,64	6,22	13,87	18,83	AMAN
	Eksterior			3,82	7,64	5,15	12,79	18,83	AMAN

Sumber: Hasil Analisis

6) Metode Pelaksanaan

Berikut merupakan alur pelaksanaan pekerjaan fondasi tiang. Alur pelaksanaan pekerjaan fondasi tiang ini disusun untuk mengoptimalkan efisiensi kerja, menjaga stabilitas area kerja, dan meminimalkan gangguan terhadap pekerjaan yang sudah selesai.

Alur pelaksanaan digunakan untuk pelaksanaan fondasi spun pile dan fondasi bored pile serta pelaksanaan pile cap.



Gambar 3. Alur pelaksanaan Fondasi Tiang

a) Fondasi *Spun Pile*

Metode yang digunakan adalah pemancangan dengan cara menekan tiang ke dalam tanah menggunakan *Hydraulic Static Pile Driver (HSPD)* berkapasitas tekanan maksimum 320 ton. Alat ini bekerja tanpa menimbulkan getaran maupun kebisingan yang dapat mengganggu, serta dilengkapi sistem pemantauan yang memungkinkan pengendalian gaya penekanan secara *real time*.

Pelaksanaan pekerjaan diawali dengan tahap persiapan dan mobilisasi peralatan, kemudian dilakukan penandaan titik pancang. Posisi alat HSPD dipastikan rata sebelum tiang dimasukkan ke dalam clamping box, lalu dilakukan penekanan secara bertahap setiap interval 1,5 meter. Apabila diperlukan sambungan, tiang tambahan diposisikan, dilakukan pengelasan, dan penekanan dilanjutkan hingga mencapai kedalaman yang direncanakan. Sisa tiang yang melebihi kebutuhan akan dipotong, kemudian mesin dipindahkan ke titik berikutnya untuk mengulangi proses yang sama.

b) Fondasi *Bored Pile*

Metode yang diterapkan adalah *temporary casing* dengan menggunakan *Rotary Drilling Machine*. Peralatan ini dilengkapi sistem operasi berbasis komputer untuk memantau produktivitas, serta bekerja tanpa menghasilkan getaran yang berarti.

Pelaksanaan pekerjaan dimulai dengan tahap persiapan dan mobilisasi peralatan, dilanjutkan oleh surveyor yang menentukan titik pengeboran. Setelah itu,

dilakukan pabrikasi tulangan dan proses pengeboran yang mencakup pre-boring, pemasangan casing, pengeboran hingga mencapai kedalaman yang direncanakan, serta pemasangan tulangan. Tahap berikutnya adalah pengecoran menggunakan pipa tremie, kemudian casing dicabut. Terakhir, mesin dipindahkan ke titik selanjutnya untuk mengulangi prosedur yang sama.

c) Pekerjaan Pile Cap

Setelah penyelesaian pekerjaan fondasi, tahap berikutnya adalah pembuatan pile cap yang berfungsi menggabungkan beberapa tiang tunggal menjadi satu kesatuan kelompok tiang.

Pekerjaan diawali dengan melakukan penggalian tanah di sekitar tiang serta pengukuran elevasi sesuai kedalaman pile cap. Selanjutnya, kepala tiang dibobok menggunakan metode bottom-up. Setelah itu, dilakukan pengurugan pasir setebal 10 cm diikuti pengecoran lantai kerja setebal 5 cm. Tahap berikutnya adalah pemasangan bekisting dan penulangan pile cap, kemudian pembersihan area kerja. Setelah area dinyatakan bersih, dilaksanakan pengecoran pile cap.

7) Rencana Anggaran Biaya

a) Fondasi Spun Pile

Berikut adalah rincian estimasi anggaran biaya pekerjaan fondasi *spun pile*, mencakup tahap persiapan hingga pembesian, yang dilengkapi dengan volume, harga satuan, dan total biaya sebagai acuan perhitungan proyek.

Table 6. Rencana Anggaran Biaya Fondasi Spun Pile

NO	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	HARGA SATUAN	JUMLAH HARGA
1	2	3	4	5
PEKERJAAN FONDASI SPUN PILE				
I	PEKERJAAN PERSIAPAN			
1	Pembersihan Area	2056,2 m2	Rp 20.790,00	Rp 42.748.398,00
			JUMLAH TOTAL	Rp 42.748.398,00
II	PEKERJAAN TANAH			
1	Galian Tanah Pile Cap	277,6 m3	Rp 43.862,72	Rp 12.176.291,07
2	Pekerjaan Urugan Pasir Bawah Pile Cap	32 m3	Rp 213.908,20	Rp 6.845.062,40
3	Pekerjaan Lantai Kerja Bawah Pile Cap	16 m3	Rp 1.146.821,17	Rp 18.349.138,72
4	Pekerjaan Bekisting Pile Cap (Batako)	425 m2	Rp 760.771,00	Rp 323.327.675,00
5	Pekerjaan Pemancangan Spun Pile	14310 m'	Rp 1.951.188,36	Rp 27.921.505.431,60
			JUMLAH TOTAL	Rp 28.282.203.598,79
III	PEKERJAAN BETON			
1	Pekerjaan Volume Beton Pile Cap	229,6 m3	Rp 1.482.196,54	Rp 340.312.325,58
2	Pekerjaan Pembobokan Kepala Tiang	34,74 m3	Rp 1.776.381,42	Rp 61.713.195,86
			JUMLAH TOTAL	Rp 402.025.521,44
IV	PEKERJAAN PEMBESIAN			
1	Pekerjaan Tulangan Pile Cap	37785,33 kg	Rp 34.480,05	Rp 1.302.840.086,78
			JUMLAH TOTAL	Rp 1.302.840.086,78
TOTAL				Rp 30.029.817.605,02
DIBULATKAN				Rp 30.029.817.606,00

Sumber: Hasil Analisis

b) Fondasi Bored Pile

Berikut merupakan rincian rencana anggaran biaya fondasi *bored pile*, yang memuat rincian pekerjaan, volume, harga satuan, dan total biaya sebagai dasar estimasi kebutuhan biaya proyek.

Tabel 7. Rencana Anggaran Biaya Fondasi Bored Pile

NO	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	HARGA SATUAN	JUMLAH HARGA
1	2	3	4	5
PEKERJAAN FONDASI BORE PILE				
I	PEKERJAAN PERSIAPAN			
1	Pembersihan Area	2056,2 m2	Rp 20.790,00	Rp 42.748.398,00
			JUMLAH TOTAL	Rp 42.748.398,00
II	PEKERJAAN TANAH			
1	Galian Tanah Pile Cap	277,6 m3	Rp 43.862,72	Rp 12.176.291,07
2	Pekerjaan Urugan Pasir Bawah Pile Cap	32 m3	Rp 213.908,20	Rp 6.845.062,40
3	Pekerjaan Lantai Kerja Bawah Pile Cap	16 m3	Rp 1.146.821,17	Rp 18.349.138,72
4	Pekerjaan Bekisting Pile Cap (Batako)	425 m2	Rp 760.771,00	Rp 323.327.675,00
5	Pekerjaan Pengeboran Bor Pile	14310 m'	Rp 634.464,31	Rp 9.079.184.333,34
			JUMLAH TOTAL	Rp 9.439.882.500,53
III	PEKERJAAN BETON			
1	Pekerjaan Volume Beton Pile Cap	229,6 m3	Rp 1.482.196,54	Rp 340.312.325,58
2	Pekerjaan Volume Beton Bore Pile	1797,34 m3	Rp 1.482.196,54	Rp 2.664.005.200,42

3	Pekerjaan Pembobokan Kepala Tiang	34,74	m3	Rp	1.776.381,42	Rp	61.713.195,86
					JUMLAH TOTAL	Rp	3.066.030.721,86
IV	PEKERJAAN PEMBESIAN						
1	Pekerjaan Tulangan Spiral Bore Pile	189570,44	kg	Rp	34.480,05	Rp	6.536.398.391,27
2	Pekerjaan Tulangan Utama Bore Pile	255730,10	kg	Rp	34.480,05	Rp	8.817.586.570,51
3	Pekerjaan Tulangan Pile Cap	37785,33	kg	Rp	34.480,05	Rp	1.302.840.086,78
					JUMLAH TOTAL	Rp	16.656.825.048,56
TOTAL						Rp	29.205.486.668,95
DIBULATKAN						Rp	29.205.486.669,00

Sumber: Hasil Analisi

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Hasil analisis struktur dengan menggunakan software *Robot Structural Analysis Professional (RSAP 2023)* menunjukkan bahwa beban aksial fondasi (Q_v) pada tiang interior sebesar 2148,08 kN, sedangkan pada tiang eksterior sebesar 1311,98 kN. Untuk *pile cap*, beban aksial (Q_v) pada interior mencapai 6066,37 kN, sementara pada eksterior sebesar 3893,13 kN.
- Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis, didapatkan hasil daya dukung fondasi tiang tunggal (Q_{all}) untuk metode *Mayerhoff 1976* pada fondasi *spun pile* sebesar 447,56 kN, sedangkan untuk metode *Lucciano Decourt 1982* pada fondasi *bored pile* sebesar 361,59 kN. Dari kedua hasil tersebut, didapatkan jumlah tiang untuk interior sebanyak 6 tiang dan untuk eksterior sebanyak 4 tiang pada masing-masing metode, sehingga diperoleh juga nilai daya dukung tiang kelompok $Q_{all}(g)$ untuk metode *Mayerhoff 1976* pada tiang interior sebesar 2685,35 kN dan tiang eksterior sebesar 1790,24 kN. Sedangkan nilai daya dukung tiang kelompok $Q_{all}(g)$ untuk metode *Lucciano Decourt 1982* pada tiang interior sebesar 2169,52 kN dan pada tiang eksterior sebesar 1446,34 kN.
- Hasil analisis penurunan total fondasi *spun pile* tiang interior sebesar 14,10 cm dan untuk tiang eksterior 13,03 cm. sedangkan penurunan total fondasi *bored pile* untuk tiang interior sebesar 13,87 cm dan untuk tiang eksterior sebesar 12,79 cm, yang dimana dari keempat nilai tersebut dikatakan aman karena lebih kecil dari batas penurunan yang diizinkan yaitu 18,83 cm.
- Metode pelaksanaan yang digunakan pada fondasi *spun pile* adalah metode pemancangan dengan menekan tiang masuk ke dalam tanah menggunakan alat *Hydraulic Static Pile Driver (HSPD)*. Sedangkan, metode pelaksanaan untuk fondasi *bored pile* adalah metode *temporary casing*, dengan menggunakan alat pengeboran yaitu *Rotary Drilling Machine*.
- Hasil Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang diperlukan untuk fondasi *spun pile* sebesar Rp 30.007.182.142,00,

dan untuk fondasi *bored pile* sebesar Rp 29.182.851.206,00.

DAFTAR PUSTAKA

- Solikhati, Y. (2011). PENGERTIAN DAN JENIS FONDASI.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). Analisis & Perancangan Fondasi II. In: Gadjah Mada University Press.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Das, B. M., (2019). *Principles of Foundation Engineering 9th ed.*, 9th ed. Maryland: Brookes and Cole.
- Rahmawati, S., Hasan, M., & Putra, D. (2021). Analisis Daya Dukung Fondasi Menggunakan PLAXIS 2D. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 120-135.
- Warman, Reza Satria. (2019). Kumpulan Parameter Geoteknik dan Fondasi. Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga