

ANALISIS PERBANDINGAN FONDASI BORED PILE DENGAN DRIVEN PILE PADA GEDUNG RAWAT INAP RSUD AR-ROZY PROBOLINGGO

Raihan Harijanto¹, Moch. Sholeh², Dandung Novianto³

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: raihanharijanto@gmail.com¹, moch.sholeh@polinema.ac.id², dandung.novianto@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Gedung Rawat Inap RSUD Ar-Rozy Probolinggo merupakan proyek rumah sakit yang akan menjadi rumah sakit tipe C di Jawa Timur. Salah satu gedung pada proyek tersebut ialah Gedung Rawat Inap yang didirikan pada lapisan tanah dominasi pasir menggunakan struktur bawah *bored pile*. Lokasi proyek yang berada di daerah permukiman yang berjarak sedang, tanah yang didominasi pasir dan terhambatnya pengerjaan fondasi menjadi dasar peneliti untuk melakukan perancangan ulang. Rancangan ini dilakukan dengan membandingkan alternatif fondasi *bored pile* dengan *driven pile* pada Gedung Rawat Inap dengan empat pokok analisis bahasan. Pertama, menganalisis pembebanan struktur atas menggunakan RSAP 2021. Kedua, menganalisis daya dukung fondasi menggunakan nilai rata-rata dari Metode Tomlinson 1986 dan Décourt & Quaresma 1978. Ketiga, menganalisis penurunan menggunakan Metode Vesic 1977 dan Metode Meyerhof 1976. Keempat, merencanakan metode pelaksanaan pada perencanaan ulang alternatif desain fondasi. Berdasarkan analisis pembebanan, didapat beban terbesar $Q_v = 2823,278$ kN. Adapun hasil analisis fondasi *bored pile* didapat daya dukung izin $Q_{all} = 1176,891$ kN, diameter tiang 60 cm dengan panjang tiang 18,75 m, jumlah tiang sebanyak 131, penurunan terbesar $Stotal = 6,148$ cm, metode pelaksanaan menggunakan alat *Rotary Drilling Machines* untuk pengeboran serta menggunakan *Temporary Casing* pada proses pengecoran. Pada analisis fondasi *Driven Pile* diperoleh daya dukung izin $Q_{all} = 1482,652$ kN, diameter tiang 50 cm dengan panjang tiang 14,75 m, jumlah tiang sebanyak 131, penurunan terbesar $Stotal = 6,205$ cm dan metode pelaksanaan menggunakan *Hydraulic Static Pile Driver* 460 Ton untuk pemancangan dengan sistem hidrolis.

Kata kunci : *Bored Pile; Driven Pile; Rotary Drilling Machines; Hydraulic Static Pile Driver*

ABSTRACT

The Inpatient Building of Ar-Rozy Probolinggo Regional General Hospital is a hospital project that will become a Type C hospital in East Java. One of the buildings in the project is the Inpatient Building, which is constructed on a predominantly sandy soil layer using a bored pile foundation. The project site is located in a residential area at a moderate distance, with soil predominantly consisting of sand and hindered foundation work, becoming the basis for researchers to conduct a redesign. This design is carried out by comparing alternative bored pile and driven pile foundations for the Inpatient Building, with four main topics of analysis. First, analyzing the structural load using RSAP 2021. Second, analyzing the foundation bearing capacity using the average values from the Tomlinson Method (1986) and Décourt & Quaresma Method (1978). Third, analyzing settlement using the Vesic Method (1977) and Meyerhof Method (1976). Fourth, planning the implementation method for the alternative foundation design in the redesign plan. Based on the load analysis, the largest load obtained is $Q_v = 2823.278$ kN. The bored pile foundation analysis results in a permissible bearing capacity of $Q_{all} = 1176.891$ kN, with a pile diameter of 60 cm and a pile length of 18.75 m. The total number of piles is 131, and the maximum settlement is $Stotal = 6.148$ cm. The implementation method involves using Rotary Drilling Machines for drilling and Temporary Casing during the pouring process. On the other hand, the Driven Pile foundation analysis yields a permissible bearing capacity of $Q_{all} = 1482.652$ kN (50 cm diameter and 14.75 m length). The total number of piles is also 131, and the maximum settlement is $Stotal = 6.205$ cm. The implementation method involves using a Hydraulic Static Pile Driver 460 Ton for pile driving using a hydraulic system.

Keywords : *Bored Pile; Driven Pile; Rotary Drilling Machines; Hydraulic Static Pile Driver*

1. PENDAHULUAN

Suatu konstruksi dalam perancangannya direkayasa untuk dapat bertumpu pada tanah yang mana didukung oleh fondasi. Fondasi merupakan bagian terendah pada suatu bangunan yang memiliki fungsi meneruskan beban-beban yang ada di atasnya. Dari adanya beban-beban yang bekerja pada suatu konstruksi, struktur fondasi diharuskan untuk dapat menahan beban yang mana berpotensi terjadinya keruntuhan serta penurunan yang melebihi batas izin. Fondasi yang sering digunakan dalam pembangunan suatu konstruksi gedung ialah fondasi *bored pile* dan *driven pile*. Dalam pelaksanaannya, fondasi *bored pile* memiliki keunggulan tidak terdapat polusi suara dan getaran serta tiang yang dapat dipasang sampai kedalaman yang dalam dan dengan diameter yang besar, namun pada saat proses pengecoran dipengaruhi oleh cuaca serta mutu beton yang tidak terjamin keseragamannya sepanjang *bored pile* sehingga kualitas tiang fondasi kurang terjamin. Berbeda dengan fondasi *driven pile* yang diproduksi secara *precast* menghasilkan tiang fondasi dengan mutu yang terjamin dan terkontrol keseragamannya sepanjang tiang sehingga kualitas tiang dapat dipertimbangkan dengan matang. Terlebih lagi, *end bearing pile* dan *friction pile* dari fondasi *driven pile* dapat diandalkan. Kota Probolinggo merupakan salah satu kota besar yang berada di Jawa Timur, dengan jumlah penduduk yang cukup padat. Dengan padatnya penduduk, tentunya akan berbanding lurus dengan kebutuhan akan fasilitas dan prasarana hidup masyarakat. Salah satunya yaitu kebutuhan akan fasilitas kesehatan. Dalam menunjang akan fasilitas kesehatan tersebut, maka diadakanlah pembangunan Gedung Rawat Inap Rumah Sakit Umum Daerah Ar-Rozy Kota Probolinggo. Lokasi proyek gedung tersebut terletak di daerah pemukiman warga dengan jarak yang sedang, sehingga dalam perencanaan struktur bawah digunakan fondasi *bored pile* yang tidak menimbulkan polusi suara serta getaran pada daerah sekitar. Namun, dalam pelaksanaannya terhambat oleh cuaca yang kerap kali hujan selama proses pekerjaan fondasi *bored pile* yang mana menghambat capaian pekerjaan secara keseluruhan. Mempertimbangkan lokasi proyek yang berada pada jarak sedang pemukiman warga serta parameter data tanah kondisi eksisting berupa tanah dominasi pasir dan permasalahan yang terjadi pada proses pekerjaan *bored pile*, maka peneliti melakukan analisis perbandingan perencanaan ulang fondasi *bored pile* menggunakan alat berat *rotary drilling machines* untuk proses pengeboran dan menggunakan *temporary casing* pada proses pengecoran dan *driven pile* menggunakan alat berat *Hydraulic Static Pile Driver* untuk proses pemancangan dengan sistem hidrolis yang mana tidak menimbulkan polusi suara maupun getaran pada area Gedung Rawat Inap RSUD Ar-Rozy Probolinggo.

Dengan melakukan analisis perbandingan antara fondasi *bored pile* dan *driven pile* pada Gedung Rawat Inap RSUD Ar-Rozy Probolinggo, diharapkan dapat memberikan informasi komprehensif mengenai perbandingan alternatif desain penggunaan fondasi *bored pile* dengan *driven pile* dari daya dukung, penurunan serta metode pelaksanaan konstruksi fondasi pada proyek pembangunan Gedung Rawat Inap Rumah Sakit Umum Daerah Ar-Rozy Kota Probolinggo, yang mana hasil dari penelitian ini dapat menjadi acuan penting dalam pengambilan keputusan terkait pemilihan fondasi yang tepat untuk proyek-proyek serupa di masa depan. Dengan mempertimbangkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka peneliti mengambil judul skripsi “Analisis Perbandingan Fondasi *Bored Pile* dengan *Driven Pile* pada Gedung Rawat Inap RSUD Ar-Rozy Probolinggo”.

2. METODE

Daya Dukung Tunggal Tiang Fondasi

1) Tomlinson (1986)^[1]

Bored Pile

Tomlinson's Solution for Q_b

Bored Pile yang terbentuk di tanah tak berkoheksi dengan mengebor menggunakan rig. Sisi lubang mungkin didukung oleh penggunaan pipa selubung. Saat casing digunakan, beton di tempatkan di lubang bor dan casing ditarik secara bertahap. Dalam semua kasus sisi dan dasar lubang akan dilonggarkan sebagai akibat dari operasi pengeboran, meskipun pada awalnya mungkin dalam keadaan padat atau sedang. Tomlinson menyarankan bahwa nilai parameter didapat pada **Gambar 2** harus dihitung dengan mengasumsikan bahwa nilai sudut gesek akan mewakili kondisi longgar. Namun, ketika tiang dipasang dengan pengeboran putar di bawah bubur bentonite untuk menstabilkan sisi, dapat diasumsikan bahwa nilai sudut gesek yang digunakan untuk menghitung gesekan kulit dan tahanan dasar akan sesuai dengan kondisi tanah yang tidak terganggu (Tomlinson, 1986). Asumsi kondisi lepas untuk menghitung gesekan kulit dan tahanan dasar berarti bahwa daya dukung ultimit *bored pile* pada tanah tak berkoheksi akan jauh lebih rendah daripada *driven pile* pada jenis tanah yang sama. Sesuai De Beer (1965), resistansi dasar *q_b* *bored pile* dan *cast in situ* adalah sekitar sepertiga dari *driven pile*.

$$Q_b = \frac{1}{3} \cdot q_b \cdot A_{base} \quad (1)$$

Dimana :

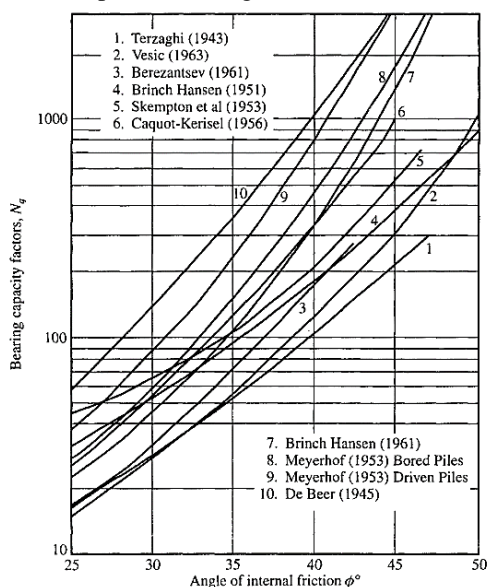
$$q_b = q'_0 \cdot N_q \leq 11000 \text{ kN/m}^2 \quad (2)$$

$$q'_0 = \gamma' \cdot h \quad (3)$$

Sejauh beban gesekan diperhatikan, parameter gesekan dapat dihitung dengan mengasumsikan nilai sudut gesek dengan 28° yang mewakili kondisi tanah lepas.

Driven Pile

Teoritis N_q factor pada **Gambar 2** merupakan fungsi dari sudut gesek. Terdapat variasi yang besar dalam nilai N_q yang diturunkan oleh peneliti yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Perbandingan ketahanan dasar tiang yang diamati Nordlund (1963) dan Vesic (1964) telah menunjukkan (Tomlinson, 1986) bahwa nilai N_q yang ditetapkan Berezantsev (1961) yang memperhitungkan rasio kedalaman terhadap lebar tiang, paling hampir sesuai dengan kriteria praktis kegagalan tiang. Nilai N_q Berezantsev seperti yang diadopsi oleh Tomlinson (1986) ditunjukkan **Gambar 2**. Dapat dilihat pada **Gambar 2** bahwa terjadi peningkatan N_q yang cepat, untuk sudut gesek yang tinggi, sehingga menghasilkan resistensi dasar yang tinggi. Sebagai aturan umum (Tomlinson, 1986), beban kerja yang diizinkan pada *driven pile* terisolasi yang didorong ke penolakan virtual, menggunakan peralatan penggerak normal, di pasir padat atau kerikil yang sebagian besar terdiri dari partikel kuarsa, diberikan oleh beban yang diizinkan pada tiang dianggap sebagai anggota struktural bukan dengan pertimbangan kegagalan tanah pendukung, atau jika tegangan kerja yang diizinkan pada material tiang tidak terlampaui, maka tiang tidak akan runtuh. Menurut Tomlinson, resistensi dasar q_b secara normal dibatasi hingga 1100 kN/m^2 berapapun kedalaman dari penetrasi tiang.



Gambar 1 Bearing Capacity Factors for Circular Deep Foundations (After Kézdi, 1975)

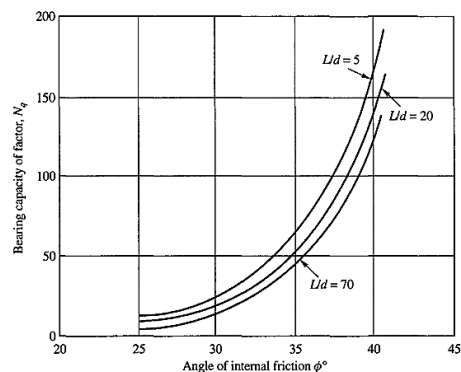
$$Q_b = q_b \cdot A_{base} \tag{4}$$

Dimana :

$$q_b = q'_0 \cdot N_q \tag{5}$$

$$q'_0 = \gamma' \cdot h \tag{6}$$

N_q diperoleh berdasarkan grafik **Gambar 2**



Gambar 2. Berezantsev's bearing capacity factor, N_q (after Tomlinson, 1986)

Skin Resistance (Sraight Shaft)

$$Q_f = A_{lateral} \cdot f_s \tag{7}$$

Dimana :

$$f_s = \bar{q}'_0 \cdot \bar{K}_s \cdot \tan \delta \leq 110 \text{ kN/m}^2 \tag{8}$$

$$\bar{q}'_0 = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot h \tag{9}$$

Dalam sistem lapisan tanah \bar{q}'_0 , \bar{K}_s dan δ bervariasi terhadap kedalaman. Broms (1996) telah mengaitkan nilai \bar{K}_s dan δ dengan sudut efektif gesekan internal dari tanah tak berkohesi untuk berbagai material tiang dan kerapatan relative (D_r) seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Value of \bar{K}_s and δ (Broms, 1966)

Pile Material	δ	Values of \bar{K}_s	
		Low D_r	High D_r
Steel	20°	0.5	1.0
Concrete	3/4 ϕ	1.0	2.0
Wood	2/3 ϕ	1.5	4.0

Décourt and Quaresma (1978) / Décourt (1998)^[5]

Pada awalnya, metode ini dirancang untuk digunakan pada *driven pile* yang dikembangkan oleh Décourt dan Quaresma (1978). Namun, kemudian metode ini diperbaharui agar dapat digunakan pada jenis fondasi *pile* lainnya oleh Décourt (1998).

$$Q_b = q_b \cdot A_{base} \tag{10}$$

Dimana :

$$q_b = \alpha \cdot K \cdot N \tag{11}$$

α diperoleh berdasarkan **Tabel 2**

Tabel 2. Coefficient α (Décourt 1998)

Soil Type	Pile Type		Bored Piles With			Injected Under High Pressure
	Driven Piles	Bored Piles	Bentonite	CFA	Micropiles	
Clay	1.0	0.85	0.85	0.3*	0.85*	1.0*
Intermediate Soil	1.0	0.60	0.60	0.3*	0.60*	1.0*
Sand	1.0	0.50	0.50	0.3*	0.50*	1.0*

* Values suggested, based on a limited number of tests

Koefisien K diperoleh berdasarkan **Tabel 3**

Tabel 3. Coefficient K (Décourt and Quaresma, 1978)

Soil Type	K (kPa)
Clay	120
Silty Clay (Residual Soil)	200
Silty Sand (Residual Soil)	250
Sand	400

N = Jumlah pukulan SPT (Standard Penetration Test) terhitung pada ujung tiang fondasi

$$Q_f = A_{lateral} \cdot q_s \quad (12)$$

Dimana :

$$q_s = 10\beta(\bar{N}/3 + 1) \quad (13)$$

β diperoleh berdasarkan **Tabel 4**

Tabel 4 Coefficient β (Décourt, 1998)

Soil Type	Pile Type		Bored Piles With			Injected Under High Pressure
	Driven Piles	Bored Piles	Bentonite	CFA	Micropiles	
Clay	1.0	0.80	0.90*	1.0*	1.5*	3.0*
Intermediate Soil	1.0	0.65	0.75*	1.0*	1.5*	3.0*
Sand	1.0	0.50	0.60*	1.0*	1.5*	3.0*

* Values suggested, based on a limited number of tests

\bar{N} = Rata-rata jumlah pukulan SPT (Standard Penetration Test) sepanjang tiang fondasi

Daya Dukung Tunggal Izin Tiang Fondasi

$$Q_{all} = \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_f}{SF} \quad (14)$$

Keterangan :

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

Q_b = Daya dukung dasar tiang fondasi (kN)

Q_f = Daya dukung gesekan tiang fondasi (kN)

SF = Faktor keamanan

Besarnya *working load* kapasitas izin tiang (Q_{all}) dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimit (Q_u) dibagi dengan *safety factor* (SF) yang sesuai.

a) **Bored Pile**^[2]

Untuk dasar tiang fondasi yang diperbesar dengan ukuran diameter $D < 2 m$:

$$Q_{all} = \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_f}{SF} = \frac{Q_b}{2,5} + \frac{Q_f}{2,5} \quad (15)$$

Untuk tiang fondasi tanpa pembesaran pada bagian bawahnya^[1] :

$$Q_{all} = \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_f}{SF} = \frac{Q_b}{2} + \frac{Q_f}{2} \quad (16)$$

b) **Driven Pile**^[2]

Untuk meyakinkan keamanan tiang terhadap keruntuhan dengan mempertimbangkan penurunan pada beban kerja yang diterima tiang fondasi, beberapa peneliti menyarankan faktor aman yang tidak sama untuk tahanan ujung dan tahanan gesek tiang. Kapasitas izin dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut^[1] :

$$Q_{all} = \frac{Q_b}{SF} + \frac{Q_f}{SF} = \frac{Q_b}{3} + \frac{Q_f}{1,5} \quad (17)$$

Efisiensi Kelompok Tiang

Bored Pile

Pada kelompok fondasi *bored pile* pada tanah pasir dimana tahanan gesek dominan dengan jarak $S = 3.0D$, nilai efisiensi berkisar 0,67-0,75^[3].

Formula Los Angeles :

$$E_g = 1 - \frac{D}{\pi \cdot s \cdot m \cdot n} \cdot [m \cdot (n - 1) + n \cdot (m - 1) \cdot (n - 1) \cdot \sqrt{2}] \quad (18)$$

Keterangan :

E_g = Efisiensi kelompok tiang fondasi

D = Diameter tiang fondasi

m = Jumlah baris tiang fondasi

n = Jumlah tiang fondasi dalam satu baris

Driven Pile

Pada kelompok *driven pile* baik pada tahanan gesek maupun tiang tahanan ujung dengan $S \geq 3.0D$, daya dukung kelompok tiang dapat diambil sama besar dengan jumlah daya dukung masing-masing tiang ($E_g = 1$)^[3].

Daya Dukung Kelompok Tiang

$$Q_g = E_g \cdot m \cdot n \cdot Q_{all} \quad (19)$$

Keterangan :

Q_g = Daya dukung kelompok tiang fondasi

E_g = Efisiensi kelompok tiang fondasi

m = Jumlah baris tiang fondasi

n = Jumlah tiang fondasi dalam satu baris

Distribusi Beban Kelompok Tiang

$$Q_{max} = \frac{Q_v}{m \cdot n} \pm \frac{M_y \cdot x_i}{m \sum x^2} \pm \frac{M_x \cdot y_i}{n \sum y^2} \quad (20)$$

Keterangan :

Q_{max} = Beban maksimum kelompok tiang fondasi

Q_v = Beban vertical dari kolom

m = Jumlah tiang fondasi arah x

n = Jumlah tiang fondasi arah y

M_y = Momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu y

M_x = Momen yang bekerja pada bidang yang tegak lurus sumbu x

x_i, y_i = Absis atau jarak tiang ke pusat kelompok tiang ke tiang nomor-i

$\sum x^2$ = Jumlah kuadrat tiang arah x

$\sum y^2$ = Jumlah kuadrat tiang arah y

Kekuatan Tiang Fondasi

Bored Pile

$$\phi P_n = \phi(0,85) \cdot [0,85 \cdot f'_c \cdot A_g + A_{st}(f_y - 0,85 \cdot f'_c)] \quad (21)$$

Dimana :

$\phi = 0,75$

Driven Pile

Allowable Compression = Berdasarkan data spesifikasi *precast* tiang fondasi

Penurunan Fondasi

a) Penurunan Tiang Tunggal^[4]

Vesic (1977) memisahkan penurunan total S_e menjadi 3 formula.

1) *Elastic shortening of the pile* [$S_{e(1)}$]

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \quad (22)$$

Keterangan :

Q_{wp} = Beban kerja titik pada tiang fondasi

ξ = Koefisien yang bergantung pada gesekan selimut sepanjang tiang dan dapat diambil sama dengan 0,6^[1]

Q_{ws} = Beban kerja sepanjang poros tiang fondasi

A_p = Luas penampang tiang fondasi

2) *Settlement of the pile due to the working load (Q_{wp}) at the pile point* [$S_{e(2)}$]

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (23)$$

Keterangan :

D = Diameter tiang

q_{wp} = Beban titik per satuan luas pada titik tiang
 $= Q_{wp} / A_p$ (24)

E_s = Modulus elastisitas dari tanah pada atau di bawah titik tiang

μ_s = Rasio tanah poisson

I_{wp} = Faktor pengaruh $\approx 0,85$

3) *Settlement of the pile due to the working load (Q_{ws}) along the pile shaft* [$S_{e(3)}$]

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \quad (25)$$

Keterangan :

p = Perimeter tiang

L = Panjang tiang tertanam

I_{ws} = Faktor pengaruh
 $= 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}}$ (26)

b) Penurunan Tiang Kelompok^[4]

Meyerhof (1976) menyarankan formula sebagai berikut^[3] :

$$S_{g(e)}(mm) = \frac{0,96 \cdot q \cdot \sqrt{B_g} \cdot I}{N_{60}} \quad (27)$$

$$q = Q_g / (L_g \cdot B_g) \quad (28)$$

$$I = 1 - L / 8B_g \geq 0,5 \quad (29)$$

Keterangan :

q = Tekanan pada dasar fondasi (kN/m^2)

L_g = Panjang kelompok tiang (m)

B_g = Lebar kelompok tiang (m)

I = Faktor pengaruh

N_{60} = Harga rata-rata N_{60} pada kedalaman B_g di bawah kaki fondasi tiang

L = Panjang penampang tiang (m)

Penurunan Izin Fondasi

Besarnya penurunan ditetapkan berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$S_{total} < 15 \text{ cm} + \frac{B_g}{600} \quad (30)$$

Keterangan :

S_{total} = Penurunan total (cm)

B_g = Lebar terpendek (cm)

Metode Pelaksanaan

a) Fondasi *Bored Pile*

Metode yang digunakan pada fondasi *bored pile* adalah metode *temporary casing*.

b) Fondasi *Driven Pile*

Metode yang digunakan pada fondasi *driven pile* adalah metode pemancangan secara *hydraulic*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Support Reaction

Melalui kombinasi ASD (*Allowable Stress Design*) menggunakan *Robot Structural Analysis Professional 2021* pada Gedung Rawat Inap Rumah Sakit Umum Daerah Ar-Rozy Kota Probolinggo didapat hasil pembebanan dengan 3 bagian pada tabel beban sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil *Support Reaction* Kombinasi ASD

Zona	Allowable Stress Design Load Combinations		
	F_z	M_x	M_y
	(kN)	(kNm)	(kNm)
K_A	776,320	-14,525	-27,169
K_B	1764,916	42,360	27,347
K_C	2823,208	-80,152	26,959

Analisis Daya Dukung Tiang Tunggal Fondasi

Bored Pile

Data Analisis :

Diameter tiang = 40 cm; 50 cm; 60 cm

Tinggi tiang = 18,75 m

Hasil analisis daya dukung izin berdasarkan parameter laboratorium tanah dan nilai SPT (*Standard Penetration Test*) untuk *bored pile* sebagai berikut :

Tabel 6. Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal Fondasi *Bored Pile*

No	Diameter (m)	Tomlinson	Décourt & Quaresma	Tomlinson and Décourt & Quaresma
		Q_{all}	Q_{all}	Q_{all} (Average)
		(kN)	(kN)	(kN)
1	0,40	599,350	721,241	660,296
2	0,50	816,488	990,600	903,544
3	0,60	1058,204	1295,578	1176,891

Driven Pile

Data Analisis :

Diameter tiang = 40 cm; 50 cm; 60 cm

Tinggi tiang = 14,75 m
 Hasil analisis daya dukung izin berdasarkan parameter laboratorium tanah dan nilai SPT (*Standard Penetration Test*) untuk *bored pile* sebagai berikut :

Tabel 7. Kapasitas Daya Dukung Tiang Tunggal Fondasi *Driven Pile*

No	Diameter (m)	Tomlinson	Décourt & Quaresma	Tomlinson and Décourt & Quaresma
		Q_{all} (kN) (Driven Pile)	Q_{all} (kN) (Driven Pile)	Q_{all} (Average) (kN) (Driven Pile)
1	0,40	814,501	1318,374	1066,438
2	0,50	1174,544	1790,760	1482,652
3	0,60	1459,103	2320,263	1889,683

Analisis Daya Dukung Kelompok Tiang

Bored Pile

Contoh perhitungan tipe P_c

$E_g = 71\%$

$n = 2$ (jumlah tiang arah sumbu y)

$m = 2$ tiang (jumlah tiang arah sumbu x)

$Q_{all} = 1176,891 \text{ kN}$

$Q_g = 71\% \cdot 2 \cdot 2 \cdot 1176,891$
 $= 3355,397 \text{ kN}$

$Q_v = 2823,208 \text{ kN}$

$Q_g > Q_v$

OK

Driven Pile

Contoh perhitungan tipe P_c

$E_g = 100\%$

$n = 2$

$m = 2$ tiang

$Q_{all} = 1482,652 \text{ kN}$

$Q_g = 100\% \cdot 2 \cdot 2 \cdot 1482,652$
 $= 5930,607 \text{ kN}$

$Q_v = 2823,208 \text{ kN}$

$Q_g > Q_v$

OK

Analisis Distribusi Beban Ke Tiap Tiang Fondasi

Bored Pile

Contoh perhitungan tipe P_c

$m = 2$ (jumlah tiang arah sumbu x)

$n = 2$ (jumlah tiang arah sumbu y)

$m \cdot n = 4$ tiang (jumlah tiang arah sumbu x dan y)

Absis tiang terhadap pusat *pile cap*

$m \sum x^2 = 2 \cdot (-0,90)^2 + 2 \cdot (0,0)^2 + 2 \cdot (0,90)^2$
 $= 3,24 \text{ m}^2$

$n \sum y^2 = 2 \cdot (-0,90)^2 + 2 \cdot (0,0)^2 + 2 \cdot (0,90)^2$
 $= 3,24 \text{ m}^2$

Beban terbesar berdasarkan distribusi tiang terdapat pada tiang no. 2, sehingga :

$Q_{max} = \frac{2823,208}{4} + \frac{26,959 \cdot 0,90}{3,24} + \frac{-80,152 \cdot -0,90}{3,24}$
 $= 861,970 \text{ kN}$

$Q_{all} = 1176,891 \text{ kN}$

$\phi P_n = 0,75 \cdot (0,85) \cdot [0,85 \cdot 29 \cdot 283 + 3216,991 \cdot (420 - 0,85 \cdot 29)]$
 $= 5253931,161 \text{ N}$
 $= 5253,931 \text{ kN}$

$Q_{p \max} < \phi P_n$

OK

Driven Pile

Contoh perhitungan tipe P_c

$m = 2$ (jumlah tiang arah sumbu x)

$n = 2$ (jumlah tiang arah sumbu y)

$m \cdot n = 4$ tiang (jumlah tiang arah sumbu x dan y)

Absis tiang terhadap pusat *pile cap*

$m \sum x^2 = 2 \cdot (-0,75)^2 + 2 \cdot (0,0)^2 + 2 \cdot (0,75)^2$
 $= 2,25 \text{ m}^2$

$n \sum y^2 = 2 \cdot (-0,75)^2 + 2 \cdot (0,0)^2 + 2 \cdot (0,75)^2$
 $= 2,25 \text{ m}^2$

Beban terbesar berdasarkan distribusi tiang terdapat pada tiang no. 2, sehingga :

$Q_{max} = \frac{2823,208}{4} + \frac{26,959 \cdot 0,75}{2,25} + \frac{-80,152 \cdot -0,75}{2,25}$
 $= 796,178 \text{ kN}$

$Q_{all} = 1482,652 \text{ kN}$

Spun pile kelas A3 Wika Beton

$Q_{all \text{ spun pile}} = 178,20 \text{ ton}$
 $= 1747,545 \text{ kN}$

$Q_{all} < Q_{all \text{ spun pile}}$

OK

$Q_{p \max} < Q_{all \text{ spun pile}}$

OK

Analisis Penurunan Tiang

Bored Pile

Tiang Tunggal

Diketahui untuk mencari $S_{total} = S_e + S_c$. Namun, apabila pada tana pasir $S_{tot} = S_e$

Contoh perhitungan tipe P_A

Tabel 10. Q_p dan Q_s Fondasi *Bored Pile*

Diameter (m)	Bored Pile					
	Tomlinson		Décourt & Quaresma		Tomlinson and Décourt & Quaresma	
	Q_b (kN)	Q_r (kN)	Q_b (kN)	Q_s (kN)	Q_p (Average) (kN)	Q_s (Average) (kN)
0,60	870,800	1245,608	1282,298	1308,858	1076,549	1277,233

1. *Elastic shortening of the pile*

$S_{e(1)} = \frac{(1076,549 + 0,6 \cdot 1277,233) \cdot 18,75}{0,283 \cdot 23500000}$
 $= 0,005200 \text{ m}$

2. *Settlement of the pile due to the working load Q_{wp} at the pile point*

$S_{e(2)} = \frac{3807,513 \cdot 0,6}{34411,199} \cdot (1 - 0,15^2) \cdot 0,85$
 $= 0,055161 \text{ m}$

3. *Settlement of the pile due to the working load Q_{ws} along the pile shaft*

$S_{e(3)} = \left(\frac{1277,233}{1,885 \cdot 18,75} \right) \frac{0,60}{64187,524} (1 - 0,4^2) \cdot 3,957$

$$\begin{aligned}
 &= 0,001123 \text{ m} \\
 S_e &= S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \\
 &= 0,061484 \text{ m} \\
 &= 6,148 \text{ cm} \\
 S_{izin} &= 15 \text{ cm} + 60/600(b \text{ dalam satuan cm}) \\
 &= 15,100 \text{ cm} \\
 S_{total} &< S_{izin} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Tiang Kelompok

Diketahui untuk mencari $S_{total} = S_{g(e)} + S_{g(c)}$. Namun, apabila pada tanah pasir $S_{total} = S_{g(e)}$

Contoh perhitungan tipe P_C

$$\begin{aligned}
 S_{g(e)} &= \frac{0,96 \cdot 4,998 \cdot \sqrt{240} \cdot 0,5}{19} \\
 &= 1,934 \text{ cm} \\
 S_{izin} &= 15 \text{ cm} + 240/600(b \text{ dalam satuan cm}) \\
 &= 15,400 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$S_{total} < S_{izin} \quad \text{OK}$$

Driven Pile

Tiang Tunggal

Contoh perhitungan tipe P_A

Diketahui untuk mencari $S_{total} = S_e + S_c$. Namun, apabila pada tanah pasir $S_{total} = S_e$

Tabel 11. Q_p dan Q_s Fondasi Driven Pile

Diameter	Driven Pile					
	Tomlinson		Décourt and Quaresma		Tomlinson and Décourt & Quaresma	
	Q_b	Q_f	Q_b	Q_s	Q_p (Average)	Q_s (Average)
(m)	(kN)		(kN)		(kN)	
0,50	2158,557	682,537	2141,884	1615,198	2150,221	1148,868

1. *Elastic shortening of the pile*

$$\begin{aligned}
 S_{e(1)} &= \frac{(2150,221 + 0,6 \cdot 1148,868) \cdot 14,75}{0,196 \cdot 33892181,989} \\
 &= 0,006294 \text{ m}
 \end{aligned}$$

2. *Settlement of the pile due to the working load Q_{wp} at the pile point*

$$\begin{aligned}
 S_{e(2)} &= \frac{10950,983 \cdot 0,5}{71785,305} (1 - 0,4^2) \cdot 0,85 \\
 &= 0,054461 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3. *Settlement of the pile due to the working load Q_{ws} along the pile shaft*

$$\begin{aligned}
 S_{e(3)} &= \left(\frac{1148,868}{1,571 \cdot 14,75} \right) \frac{0,50}{62659,509} (1 - 0,4^2) \cdot 3,901 \\
 &= 0,001297 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_e &= S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \\
 &= 0,062051 \text{ m} \\
 &= 6,205 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{izin} &= 15 \text{ cm} + 50/600(b \text{ dalam satuan cm}) \\
 &= 15,083 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$S_{total} < S_{izin} \quad \text{OK}$$

Tiang Kelompok

Contoh perhitungan tipe P_C

Diketahui untuk mencari $S_{total} = S_{g(e)} + S_{g(c)}$. Namun, apabila pada tanah pasir $S_{total} = S_{g(e)}$

$$\begin{aligned}
 S_{g(e)} &= \frac{0,96 \cdot 7,197 \cdot \sqrt{200} \cdot 0,5}{18} \\
 &= 2,727 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{izin} &= 15 \text{ cm} + 200/600(b \text{ dalam satuan cm}) \\
 &= 15,333 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$S_{total} < S_{izin} \quad \text{OK}$$

Metode Pelaksanaan

Bored Pile

- 1) Pengerjaan *stake out* dan *marking* koordinat titik-titik *bored pile*.
- 2) Fabrikasi dan pemasangan tulangan utama dan sengkang spiral sesuai dengan spesifikasi gambar kerja rencana.
- 3) Pengeboran titik *bored pile* dengan alat berat *Rotary Drilling Machines* sesuai dengan kedalaman rencana.
- 4) Pemasangan *casing* untuk menahan dari runtuhnya tanah pada sekeliling dinding lubang bor dan sebagai pelindung dari muka air tanah pada proses pengecoran. Dalam pemasangan *casing* dilakukan dengan dibantu oleh alat berat *Crawl Crane*.
- 5) Pengecoran *bored pile* dengan bantuan pipa tremi.
- 6) Pengangkatan *casing* dengan bantuan alat berat *Crawl Crane*.
- 7) Pembobokan kepala *bored pile*

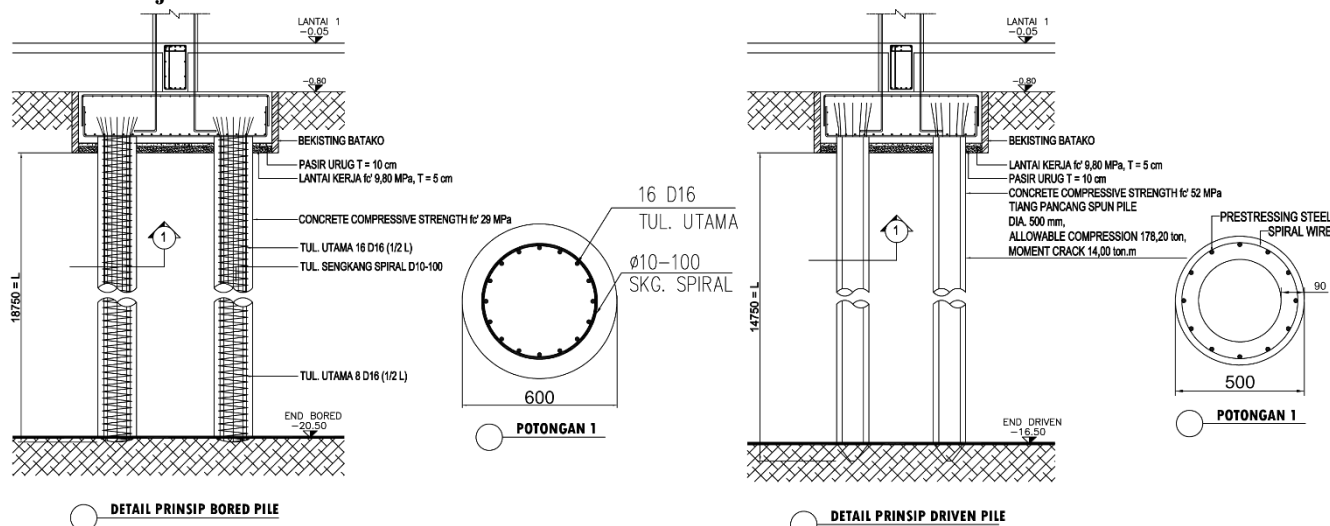
Driven Pile

- 1) Pengerjaan *stake out* dan *marking* koordinat titik-titik *driven pile*.
- 2) Pengecatan pada *driven pile* sebagai perincian kedalaman rencana tiang.
- 3) *Hydraulic Static Pile Driver* bergerak menuju koordinat titik yang ditentukan (*moving to the point*).
- 4) Pengikatan tiang dengan *sling* (tali baja) yang selanjutnya dikaitkan angker *mobile crane*. Tiang yang semula posisi horizontal dengan perlahan diangkat hingga posisi *vertical*.
- 5) Perletakan *driven pile* pada *clamping box*.
- 6) Pengecekan *verticality driven pile*.
- 7) Penekanan *driven pile* yang dilakukan oleh sistem *jack in* yang naik dan mengikat tiang. Ketika tiang sudah dijepit dengan erat oleh *clamping box*, selanjutnya tiang ditekan dengan sistem *hydraulic*.
- 8) Pengecekan daya dukung *driven pile* dengan *manometer oil pressure* yang berada pada ruang *control/cabin*.
- 9) Pembobokan kepala tiang *driven pile*

Tabel 12. Perbandingan Metode Pelaksanaan *Bored Pile* dengan *Driven Pile*

Metode Pelaksanaan	Fondasi Bored Pile	Fondasi Driven Pile
<i>Stake out</i> dan <i>marking</i>	✓	✓
Fabrikasi tulangan	✓	X
Pengeboran	✓	X
Pemancangan	X	✓
Pemasangan <i>casing</i>	✓	X
Pengecoran	✓	X
Pengangkatan <i>casing</i>	✓	X
Pembobokan kepala tiang	✓	✓

Gambar Kerja Rencana



Gambar 3. Detail Prinsip Bored Pile dan Driven Pile

4. KESIMPULAN

Fondasi Bored Pile	Fondasi Driven Pile
<ul style="list-style-type: none"> Kapasitas beban dari struktur atas dengan kombinasi ASD (<i>Allowable Stress Design</i>) pada kolom tipe K_A diperoleh Q_v sebesar 776,320 kN, kolom tipe K_B diperoleh Q_v sebesar 1764,916 kN dan kolom tipe K_C diperoleh Q_v sebesar 2823,208 kN. Daya dukung fondasi <i>bored pile</i> pada tiang fondasi tipe P_A dengan jumlah 1 tiang diperoleh Q_{all} sebesar 1176,891 kN, tiang fondasi tipe P_B dengan jumlah 2 tiang diperoleh Q_g sebesar 2228,910 kN dan tiang fondasi tipe P_C dengan jumlah 4 tiang diperoleh Q_g sebesar 3355,397 kN Fondasi <i>bored pile</i> menggunakan diameter 0,60 m dan panjang tiang tertanam 18,75 m. Susunan jumlah fondasi <i>bored pile</i> dibagi menjadi 3 tipe, yaitu P_A dengan jumlah 1 tiang, P_B dengan jumlah 2 tiang dan P_C dengan jumlah 4 tiang. Jumlah keseluruhan <i>bored pile</i> didapat sebanyak 131 tiang fondasi. Penurunan yang terjadi pada tiang fondasi <i>bored pile</i> tipe P_A sejumlah 1 tiang diperoleh S_{total} sebesar 6,148 cm, kelompok <i>bored pile</i> tipe P_B sejumlah 2 tiang diperoleh S_{total} sebesar 2,418 cm dan kelompok <i>bored pile</i> tipe P_C sejumlah 4 tiang diperoleh S_{total} sebesar 1,934 cm. Metode yang digunakan pada fondasi <i>bored pile</i> adalah metode <i>temporary casing</i> yang dilakukan dengan melakukan pekerjaan pengeboran, pembersihan dasar lubang, pemasangan tulangan, pengecoran menggunakan <i>casing</i> dan terakhir pengangkatan <i>casing</i>. Berdasarkan analisis perbandingan daya dukung, dimensi, penurunan dan metode pada perencanaan ulang alternatif fondasi <i>bored pile</i> dan <i>driven pile</i>, maka dipilih alternatif fondasi <i>driven pile</i> yang lebih unggul dan efisien dalam pelaksanaan daripada <i>bored pile</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> Daya dukung fondasi <i>driven pile</i> pada tiang fondasi tipe P_A dengan jumlah 1 tiang diperoleh Q_{all} sebesar 1482,652 kN, tiang fondasi tipe P_B dengan jumlah 2 tiang diperoleh Q_g sebesar 2675,932 kN dan tiang fondasi tipe P_C dengan jumlah 4 tiang diperoleh Q_g sebesar 5351,864 kN. Fondasi <i>driven pile</i> menggunakan diameter 0,50 m dan panjang tiang tertanam 14,75 m. Susunan jumlah fondasi <i>driven pile</i> dibagi menjadi 3 tipe, yaitu P_A dengan jumlah 1 tiang, P_B dengan jumlah 2 tiang dan P_C dengan jumlah 4 tiang. Jumlah keseluruhan <i>driven pile</i> didapat sebanyak 131 tiang fondasi. Penurunan yang terjadi pada fondasi <i>driven pile</i> tunggal tipe P_A sejumlah 1 tiang diperoleh S_{total} sebesar 6,205 cm, kelompok <i>driven pile</i> tipe P_B sejumlah 2 tiang diperoleh S_{total} sebesar 3,410 cm dan kelompok <i>driven pile</i> tipe P_C sejumlah 4 tiang diperoleh S_{total} sebesar 2,727 cm. Metode yang digunakan pada fondasi <i>driven pile</i> adalah hidrolis yang dilakukan dengan melakukan penekanan <i>spun pile</i> ke dalam tanah yang menggunakan sistem <i>hydraulic</i> dan mendapat reaksi pembebanan dari <i>counterweight</i>.

DAFTAR PUSTAKA

- Murthy, V.N.S. 2002. Geotechnical Engineering : Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering (1st Edition). United States : CRC Press.
- Hardiyatmo, Christady. 2008. Teknik Fondasi II Edisi ke 4. Yogyakarta : Beta Offset
- Paulus P, Raharjo, ph.D. 2013. Manual Pondasi Tiang. Bandung : Universitas Katolik Parahyangan
- Das, Braja M and Nagaratnam. 2019. Principles of Foundation Engineering Ninth Edition. United State of America : Cengage Learning.
- Fernandes, Manuel Matos. 2020. Analysis and Design of Geotechnical Structures. Boca Raton : CRC Press.