

ANALISIS FONDASI DALAM PADA BANGUNAN RUMAH 2 LANTAI DI ATAS LAHAN BEKAS SAWAH DI BALI

Savior Leon¹ dan Aniek Prihatiningsih²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
Savior.325190020@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
aniekprihatiningsih@ft.untar.ac.id

Masuk: 19-01-2023, revisi: 31-05-2023, diterima untuk diterbitkan: 14-08-2023

ABSTRACT

The foundation is the element that receives the forces from the building construction above and channels them to the subsoil, where they function to support the building so that there is no failure of the structure from the bottom. Driven Piles are deep foundations that are precast or finished in the factory to certain specifications. Piles have a long and direct shape with the aim of transmitting structural loads to deeper soil. Bored piles are the foundation for channeling structural loads to great depths. Drilled piles are directly printed in the field (cast in the field) with pre-drilled holes and immediately reinforced in situ. Of these three foundations, they are analyzed and designed in such a way as to be able to support a 2-story house with soil conditions that are former paddy fields. Then, after completing the design, the results are analyzed in terms of price to find out which one is cheaper when using the foundation for a two-story house. The total cost of the pile is Rp. 271,971,237, and for the drilled pile, it is Rp. 286,267,346.

Keywords: foundation; driven pile; bore piled; price

ABSTRAK

Fondasi menjadi elemen yang menerima gaya-gaya dari konstruksi bangunan di atas dan disalurkan ke tanah bawah dan berfungsi untuk menopang bangunan agar tidak terjadi kegagalan struktur dari bagian bawah.. Tiang pancang merupakan fondasi dalam yang merupakan pracetak atau sudah jadi dari pabrik dengan spesifikasi tertentu. Tiang pancang memiliki bentuk yang panjang dan langsung dengan tujuan untuk menyalurkan beban struktur ke tanah yang lebih dalam. Tiang bor merupakan fondasi untuk menyalurkan beban struktur ke kedalaman yang dalam. Pelaksanaan tiang bor adalah langsung dicetak dilapangan (dicor dilapangan) dengan lubang yang sudah di bor dan langsung dipasang tulangan secara in-situ. Dari ketiga fondasi ini dianalisis dan didesain sedemikian rupa agar mampu bisa menopang bangunan rumah 2 lantai dengan kondisi tanah yang merupakan lahan bekas sawah. Lalu setelah selesai hasil desain tersebut di analisis dari segi harga untuk mengetahui mana yang lebih murah dalam pemakaian fondasi dirumah 2 lantai. Untuk total biaya tiang pancang adalah Rp 271.971.237 dan untuk tiang bor senilai Rp 286.267.346.

Kata kunci: fondasi; tiang pancang; tiang bor; biaya

1. PENDAHULUAN

Walaupun Indonesia adalah negara yang memiliki luas lahan sawah yang cukup besar namun tidak bisa dipungkiri bahwa tidak semua sawah yang tersedia digunakan untuk pertanian. Banyak sawah yang masih kosong (tidak digunakan untuk kegiatan pertanian). Bali adalah salah satu provinsi dan pulau yang sangat terkenal dengan keanekaragaman budaya dan wisata. Banyak wisata di Bali yang tidak hanya tempat hiburan melainkan sawah-sawah yang menjadi tempat wisata.

Banyak sawah-sawah yang sudah tidak digunakan atau sudah dialihfungsikan dan banyak sawah yang sudah tidak digunakan dipakai untuk dibangun sebuah rumah 2 lantai. Karena hal tersebut penelitian ini bertujuan untuk mencari tahu fondasi apa yang cocok untuk pembangunan dalam daya dukung, penurunan, dan biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan.

Berdasarkan hal yang telah disampaikan pada latar belakang masalah, maka akan menghasilkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Menganalisis daya dukung yang dihasilkan fondasi dalam (tiang pancang dan tiang bor).

2. Menganalisis penurunan yang terjadi pada fondasi dalam (tiang pancang dan tiang bor) berdasarkan hasil desain.
3. Membandingkan banyaknya fondasi dan dimensi yang memengaruhi biaya yang dianggarkan untuk mengetahui opsi yang murah dan mahal.



Gambar 1. Persebaran tanah di Bali

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui daya dukung yang dihasilkan dari fondasi dalam.
2. Mengetahui besarnya penurunan yang terjadi pada fondasi dalam.
3. Mengetahui banyaknya fondasi dan dimensi yang memengaruhi biaya yang dianggarkan untuk mengetahui opsi yang murah dan mahal.

Fondasi merupakan tahap awal dalam pembangunan sebuah bangunan. Fondasi adalah komponen struktur terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada di bawahnya (Hardiyatmo, 2002). Dalam perencanaan fondasi terdiri dari dua bagian yang penting, yaitu daya dukung *ultimate* dari tanah di bawah fondasi dan batas penurunan terbesar yang memenuhi persyaratan yang berlaku tanpa menyebabkan keruntuhan pada struktur atas. Terdapat banyak daerah yang memiliki tanap berlapis yang berbeda-beda ketinggiannya dan jenis tanahnya. Ada yang lapisan tanah keras berada di atas lapisan tanah yang lunak maupun sebaliknya. Hal tersebut perlu diperhatikan selama perencanaan fondasi.

Analisis daya dukung ujung tiang pancang

Untuk analisis daya dukung ujung tiang menggunakan metode CPT dan dapat dirumuskan pada Persamaan 1 (Cernica, 1995).

$$Q_{p_{\text{tiang}}} = \frac{A_{p_{\text{tiang}}} P}{SF} \quad (1)$$

dengan $Q_{p_{\text{tiang}}}$ = daya dukung tiang (kN), $A_{p_{\text{tiang}}}$ = luas penampang ujung tiang pancang (m^2), P = nilai konus rata-rata dari hasil sondir (kN/cm^2), SF = faktor keamanan (digunakan 3).

Analisis daya dukung selimut tiang pancang

Untuk analisis daya dukung ujung selimut menggunakan metode CPT dan dapat dilihat pada Persamaan 2 (Cernica, 1995).

$$Q_{s_{\text{tiang}}} = \frac{A_{s_{\text{tiang}}} C}{SF} = \frac{0Lc}{SF} \quad (2)$$

dengan $Q_{s_{\text{tiang}}}$ = daya dukung selimut tiang (kN), $A_{s_{\text{tiang}}}$ = luas selimut dinding tiang (m^2), 0 = keliling tiang pancang (m), L = panjang tiang yang masuk ke dalam Tanah (m), c = harga clef/hambatan pelekat rata-rata (kg/cm^2).

Analisis daya dukung ujung tiang bor

Pada penelitian ini daya dukung selimut tiang dicari menggunakan metode Meyerhof yang dapat dilihat sebagai dilihat pada Persamaan 3 (Budhu, 2010).

$$Q_p \approx N_c^* c_u A_p = 9c_u A_p \quad (3)$$

dengan Q_p = daya dukung tiang (kN), N_c^* = faktor daya dukung, c_u = kohesi *undrained* dari tanah pada bawah lapisan tanah di ujung tiang (kN), dan A_p = luas penampang (m^2).

Analisis daya dukung selimut tiang bor

Pada penelitian ini daya dukung selimut tiang dicari menggunakan metode Alpha, dimana metode ini dapat dirumuskan pada Persamaan 4 (Terzaghi et al., 1996).

$$Q_s = \sum f p \Delta L = \sum \alpha S_u p \Delta L \quad (4)$$

dengan α = faktor adhesi empiris, S_u = kohesi *undrained* (kN/m^2), p = perimeter penampang (m), dan ΔL = tebal lapisan (m).

Daya dukung tiang kelompok

Tiang kelompok pada umumnya sangat banyak digunakan dibanding denan tiang tunggal. Tiang kelompok memiliki sistem dimana sisi ujung tiang maupun sekelilingnya akan terjadi *overlapping* pada daerah yang mengalami tegangan-tegangan akibat beban konstruksi. Untuk tiang kelompok diatas tanah lempung menggunakan *block failure* yang dapat dirumuskan pada Persamaan 4 (Das & Sivakugan, 2019).

$$\sum Q_u = L_g B_g C_{u(p)} N_c^* + \sum 2(L_g + B_g) C_u \Delta L \quad (5)$$

dengan $\sum Q_u$ = kapasitas ultimate kelompok, $C_{u(p)}$ = kohesi tanah di bawah dasar kelompok tiang (kN/m^2), C_u = kohesi tanah disekeliling kelompok tiang (kN/m^2), B_g = lebar kelompok tiang (m), L_g = panjang kelompok tiang (m), ΔL = kedalaman tiang di bawah permukaan tanah (m), dan N_c^* = faktor kapasitas daya dukung.

Analisis penurunan tanah fondasi dalam

Pada penelitian ini akan dicari penurunan tanah. Penurunan tanah terdiri dari penurunan elastis dan penurunan konsolidasi primer. Penurunan elastis menggunakan metode Vesic yang dapat dilihat pada Persamaan 6-15 (Das, 1998).

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

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws}) L}{A_p E_p} \quad (7)$$

$$F_{Q_p} = \frac{Q_p}{Q_p + Q_s} \quad (8)$$

$$F_{Q_s} = \frac{Q_s}{Q_p + Q_s} \quad (9)$$

$$Q_{wp} = \frac{F_z}{n F_{Q_p}} \quad (10)$$

$$Q_{ws} = \frac{F_z}{n F_{Q_s}} \quad (11)$$

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (12)$$

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{p L} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} = \frac{Q_{ws} C_s}{L q_p} \quad (13)$$

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_p} \quad (14)$$

$$I_{ws} = 2 + 0,35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (15)$$

dengan S_e = penurunan elastis (m), $S_{e(1)}$ = pemendekkan elastis tiang (m), $S_{e(2)}$ = penurunan ujung tiang (m), $S_{e(3)}$ = penurunan akibat gesekan selimut tiang (m), Q_{wp} = beban yang bekerja pada ujung tiang (kN), Q_{ws} = beban yang bekerja pada gesekan selimut tiang (kN), ξ = konstanta nilai *skin friction* (0,5-0,67), q_{wp} = beban luas area pada ujung tiang, n = jumlah tiang, E_s = modulus elastisitas tanah (kN/m^2), I_{wp} dan I_{ws} = faktor pengaruh, C_s = konstanta empiris, p = perimeter tiang (m).

Berikut merupakan rumus penurunan konsolidasi primer (*normally consolidated*) yang dapat ditunjukkan pada Persamaan 16 (Das & Sivakugan, 2019).

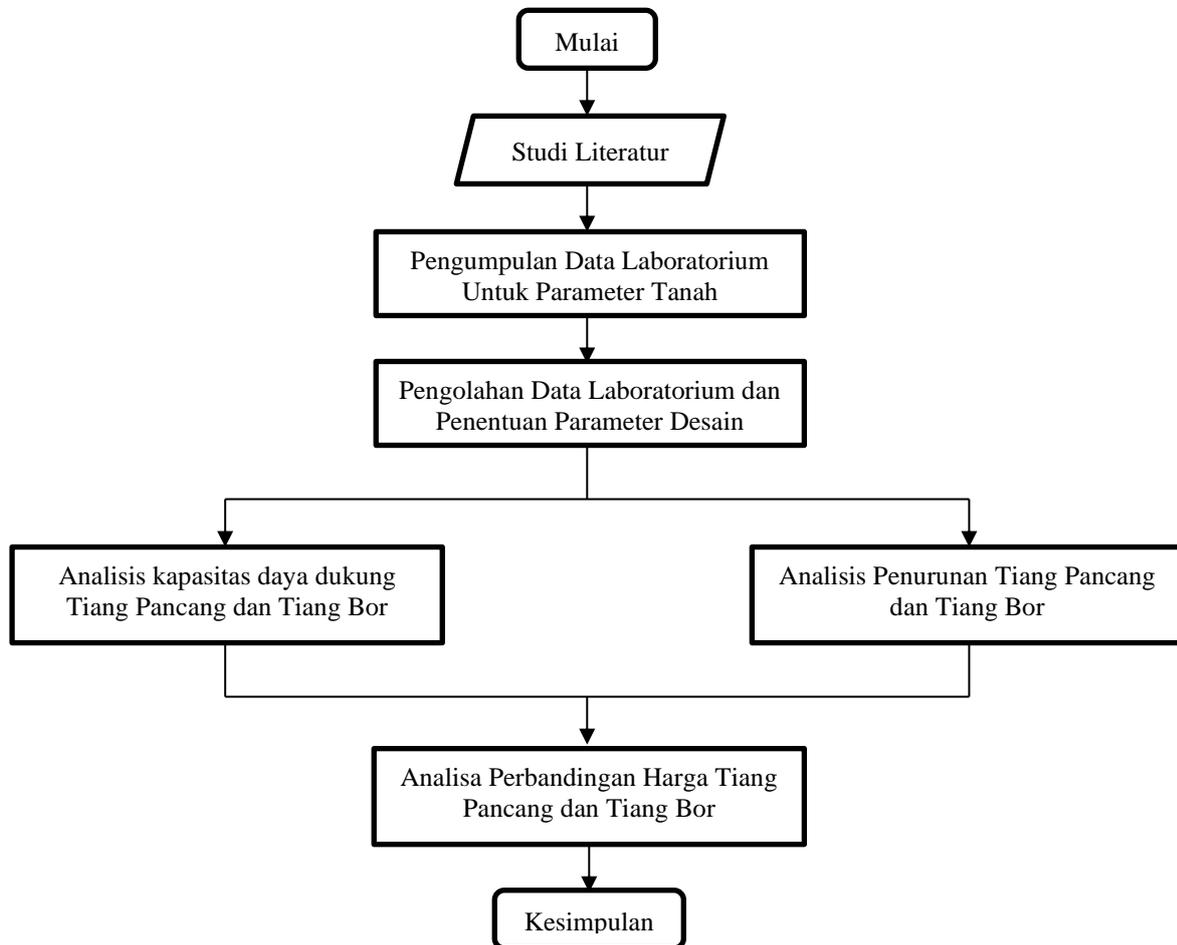
$$S_c = \frac{C_c H_c}{1 + e_o} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o} \quad (16)$$

dengan S_c = penurunan konsolidasi primer (m), e_o = angka pori awal tanah, C_c = indeks kompresibilitas, H_c = ketebalan lapisan tanah (m), σ'_o = *effective overburden pressure* (kN/m²), dan $\Delta\sigma'$ = perubahan tekanan (kN/m²).

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah studi laboratorium dan studi kasus. Studi laboratorium adalah metode penelitian dengan cara melakukan percobaan suatu objek atau material di dalam laboratorium. Studi kasus adalah metode penelitian dengan menganalisis kasus yang nyata. Pada penelitian ini akan digunakan metode penelitian studi kasus.

Sebelum melakukan pengolahan data, studi literatur perlu dicari agar dapat memahami dasar teori yang perlu diperhatikan dan mengumpulkan rumus yang digunakan untuk analisis. Setelah studi literatur selesai dicari, akan dilanjutkan dengan pengolahan data tanah (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini berguna untuk mengetahui perbedaan biaya penempatan fondasi dalam konstruksi bangunan rumah 2 lantai di atas lahan bekas sawah yang dilihat dari daya dukung fondasi dan penurunan tanah. Penelitian ini dilakukan dengan mengolah data tanah sehingga dihasilkan parameter akhir tanah. Parameter akhir tanah digunakan untuk menghitung daya dukung dan penurunan tanah yang terjadi. Daya dukung dan penurunan tanah akan dibandingkan dengan beban per kolom sesuai posisi. Setelah mengetahui hasil desain akan dilakukan analisis biaya sesuai dengan ukuran dan dimensi desai. Setelah biaya didapat akan dibandingkan untuk dibuat kesimpulan dan saran berdasarkan hasil analisis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data proyek

Untuk menghitung daya dukung fondasi dan penurunan tanah digunakan data proyek berupa data sondir di daerah Ubud, Bali (Tabel 1-2). Data proyek terdiri dari 2 buah titik. Dari data proyek ini akan dibuat parameter akhir yang akan menyimpulkan kondisi tanah pada lokasi studi kasus.

Tabel 1. Parameter desain

Elevasi (m)	Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Konsistensi	γ_{sat} (kN/m ³)	e_0	Cc	Cs	ϕ' (°)	
0	1	0.5	Lempung	Lembut	21.8	0.74	0.196	0.112	31.2
1	2	1.5	Lempung	Lembut	21.8	0.74	0.196	0.112	31.6
2	3	2.5	Lempung	Lembut	21.8	0.74	0.196	0.112	31.8
3	4	3.5	Lempung	Lembut	21.8	0.729	0.192	0.1103	32
4	5	4.5	Pasir lanau	Lembut	21.8	0.724	0.189	0.1097	33.4
5	6	5.5	Pasir lanau	Lembut	21.8	0.724	0.189	0.1097	33.4
6	7	6.5	Pasir lanau	Lembut	21.8	0.724	0.189	0.1097	34.8
7	8	7.5	Pasir lanau	Lembut	18.6	0.724	0.189	0.1097	35.8
8	9	8.5	Pasir	Padat	20.2	168.5			
9	10	9.5	Pasir	Padat	19.8	204.65			

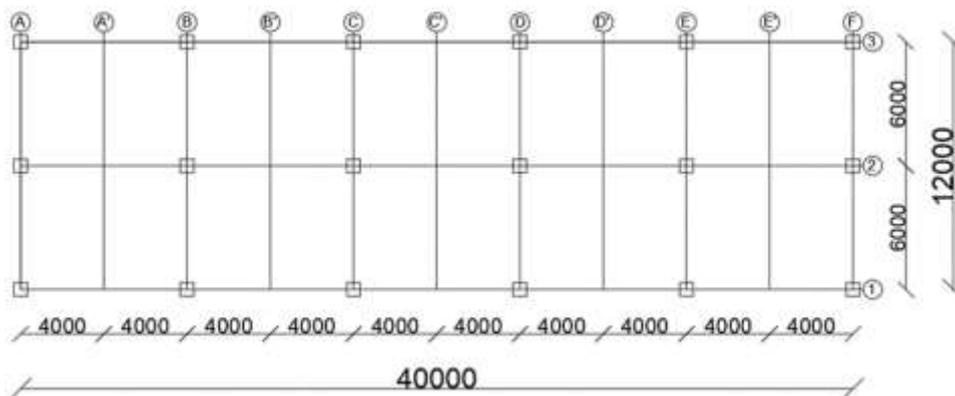
Tabel 2. Parameter desain (lanjutan)

Elevasi (m)	Kedalaman (m)	Su (kPa)	C' (kPa)	Eu (Mpa)	qc (kg/cm ²)	
0	1	0.5	45	24	38	25.5
1	2	1.5	45	26	38	27.31
2	3	2.5	45	26	38	27.03
3	4	3.5	45	26	38	30.71
4	5	4.5	70	32	46	39.49
5	6	5.5	70	34	50	44.73
6	7	6.5	120	42	58	50.58
7	8	7.5	160	56	86	88.21

dengan γ_{sat} = berat jenis tanah tersaturasi (kN/m²), e_0 = angka pori (void ratio), Cc = indeks pemuaihan, Cs = indeks pemampatan kembali, ϕ' = sudut geser tanah, Su = kohesi undrained (kN/m²), C' = kohesi efektif (kPa), Eu = modulus elastis tanah (kN/m²), qc = nilai konus sondir (kg/cm²).

Spesifikasi bangunan

Rumah 2 lantai memiliki konfigurasi 24 m × 12 m. Seluruh lantai bangunan berundak menggunakan konfigurasi bangunan yang sama. Ilustrasi konfigurasi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Denah bangunan

Berat beban yang akan digunakan untuk masing-masing lantai dapat dilihat pada Tabel 3-4 **Error! Reference source not found.**

Tabel 3. Total beban *live load* rumah 2 lantai

Jenis Beban	Berat Jenis	Luas (m ²)	Total (kN)
Pelat	4.79 kN/m ²	480	2299.2
Dak Atap	0.96 kN/m ²	480	460.8
Total Live Load (kN)			2760

Tabel 4. Total beban *dead load* rumah 2 lantai

Jenis Beban	Berat Jenis	Luas (m ²)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Jumlah	Total (kN)
Pelat Atap	24 kN/m ²	480			0.13	1	1497.6
Pelat 2	24 kN/m ³	480			0.13	1	1497.6
Balok Induk Vertikal	24 kN/m ³		144	0.25	0.5	1	432
Balok Induk Horizontal	24 kN/m ³		240	0.7	0.35	1	1411.2
Balok Anak	24 kN/m ³		120	0.4	0.25	1	288
Penggantung	0.068 kN/m ²	480				2	65.900688
Penutup Lantai	0.392 kN/m ²	480				2	376.57536
Spesi (per 2 cm tebal)	0.411 kN/m ²	480				2	395.404128
Mechanical & Electrical	0.245 kN/m ²	480				2	235.3596
Plafon	0.1075 kN/m ²	480				2	103.558224
Kolom	24 kN/m ³		0.65	0.65	4	36	1460.16
Total (kN)							7763.358

$$Dead Load = 7763,358 \text{ kN}$$

$$Live Load = 2760 \text{ kN}$$

$$Dead + Live = 10523,358 \text{ kN}$$

$$Total \text{ Beban per Kolom} = \frac{10523,358 \text{ kN}}{18 \text{ Buah}} = 584,631 \text{ kN}$$

$$Beban \text{ Kolom Pojok} = \frac{1}{4} \times 60 \text{ ton} = 15 \text{ ton}$$

$$Beban \text{ Kolom Pinggir} = \frac{1}{2} \times 60 \text{ ton} = 30 \text{ ton}$$

$$Beban \text{ Kolom Dalam} = 60 \text{ ton}$$

Perhitungan daya dukung dan penurunan tiang pancang

Untuk perhitungan daya dukung tiang pancang menggunakan metode CPT. Untuk perhitungan penurunan menggunakan metode janbu. Perhitungan ini dibagi menjadi 3 bagian sesuai dengan posisi fondasi pada denah yaitu posisi pojok, pinggir, dan dalam. Berikut adalah hasil dari perhitungan daya dukung dan penurunan fondasi tiang pancang pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan daya dukung dan penurunan tiang pancang

Posisi	Beban (ton)	Diameter (m)	Qall (ton)	Keterangan	Penurunan (mm)
Pojok	15	0.3	17.474	Tiang Tunggal	149.678
Pinggir	30	0.3	17.474	Tiang Grup	22.673

Dalam	60	0.6	37.954	Tiang Grup	39.404
-------	----	-----	--------	------------	--------

Perhitungan kelompok tiang pancang

Dari Tabel 5 dapat disimpulkan bahwa tiang pancang pada posisi pinggir dan posisi dalam harus menggunakan tiang pancang 2 buah atau *group pile*. Perhitungan daya dukung tiang kelompok menggunakan metode *block failure*. Berikut adalah hasil daya dukung kelompok yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan daya dukung kelompok tiang pancang

Posisi	Qp (kN)	Qs (kN)	Qu, 1	L/bg	Lg/Bg	Nc*	Qu, 2	Qall (kN)	Qall (ton)
Pinggir	31.95	482.32	1028.53	5.71	0.29	9	1062.45	342.84	34.41
Dalam	152.34	964.64	2233.95	3.24	0.32	9	2267.30	744.65	74.73

Perhitungan daya dukung dan penurunan tiang bor

Untuk perhitungan daya dukung tiang bor menggunakan metode Meyerhof untuk daya dukung ujung dan metode Alpha untuk daya dukung selimut. Untuk perhitungan penurunan menggunakan metode janbu. Perhitungan ini dibagi menjadi 3 bagian sesuai dengan posisi tiang pada denah yaitu posisi pojok, pinggir, dan dalam. Berikut adalah hasil dari perhitungan daya dukung dan penurunan fondasi tiang bor pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan daya dukung dan penurunan tiang bor

Posisi	Beban (ton)	D (m)	Qall (ton)	Keterangan	Penurunan (mm)
Pojok	15	0.5	15.656	Tiang Tunggal	148.470
Pinggir	30	0.5	15.656	Tiang Grup	32.503
Dalam	60	0.8	31.102	Tiang Grup	51.805

Perhitungan kelompok tiang bor

Dari Tabel 7 dapat disimpulkan bahwa tiang bor pada posisi pinggir dan posisi dalam harus menggunakan tiang bor 2 buah atau *group pile*. Perhitungan daya dukung tiang kelompok menggunakan metode *block failure*. Berikut adalah hasil daya dukung kelompok yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan daya dukung kelompok tiang bor

Posisi	Qp (kN)	Qs (kN)	Qu, 1	L/bg	Lg/Bg	Nc*	Qu, 2	Qall (kN)	Qall (ton)
Pinggir	185.550	275.204	921.51	4.57	0.29	9	1991.25	307.17	30.83
Dalam	475.009	440.326	1830.67	2.86	0.29	9	3715.20	610.22	61.24

Rancangan anggaran biaya

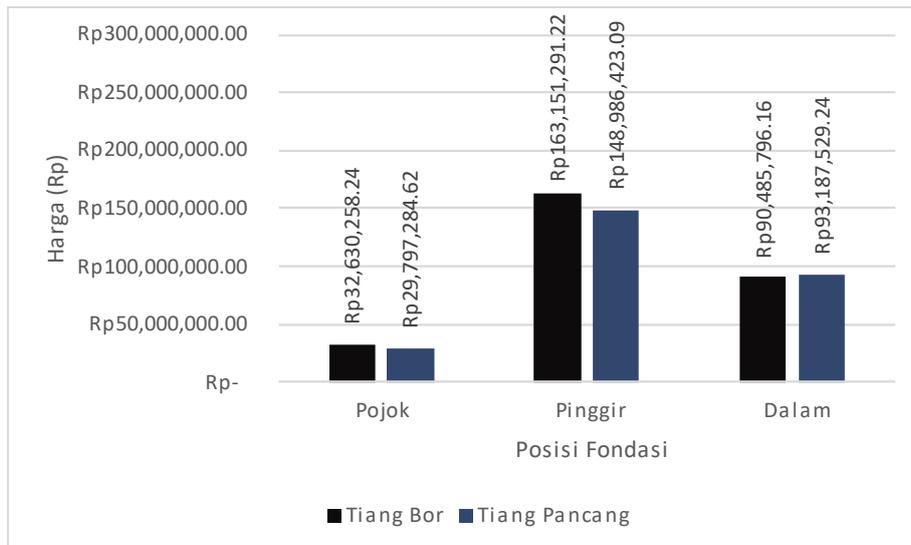
Perhitungan anggaran biaya menggunakan analisis harga satuan pekerjaan dari peraturan Menteri pekerjaan umum dan perumahan Republik Indonesia nomor 1 tahun 2022. Dan untuk harga upah dan barang diambil dari sumber sumber dengan harga yang sudah terbaru. Berikut adalah hasil analisis biaya yang ditunjukkan pada Tabel 5-10. Lalu dapat dilihat perbandingan harga total dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 5. Total rancangan anggaran biaya tiang pancang dan tiang bor untuk rumah 2 lantai di atas bekas sawah dengan luas 12 x 40 m

Posisi	Biaya Total Bor	Biaya Total Pancang
Pojok	Rp 32,630,258	Rp 29,797,285
Pinggir	Rp 163,151,291	Rp 148,986,423
Dalam	Rp 90,485,796	Rp 93,187,529
Total	Rp 286,267,346	Rp 271,971,237

Tabel 6. Biaya pertitik untuk tiang pancang dan tiang bor

Posisi	Biaya per titik Tiang Bor	Biaya per titik Tiang Pancang
Pojok	Rp 8,157,565	Rp 7,449,321
Pinggir	Rp 16,315,129	Rp 14,898,642
Dalam	Rp 22,621,449	Rp 23,296,882



Gambar 4. Perbandingan biaya anggaran tiang pancang dan tiang bor

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung didapat hasil daya dukung yang sudah mampu menahan beban terpusat dari struktur di setiap masing-masing lokasi fondasi dengan desain yang sudah paling maksimal.
2. Berdasarkan hasil perhitungan penurunan didapat untuk tiang pancang dan tiang bor untuk *single pile* memiliki penurunan yang lumayan signifikan dibanding dengan penurunan yang terjadi pada *group pile* hal ini disebabkan karena distribusi tegangan yang terbagi menjadi 2 titik sehingga beban yang diterima pada tiang di *group pile* lebih kecil dibandingkan dengan penurunan pada *single pile*.
3. Berdasarkan hasil perbandingan anggaran biaya dapat disimpulkan bahwa tiang pancang lebih murah dibandingkan dengan tiang bor. Tiang pancang lebih murah 5% dari tiang bor. Sehingga tiang pancang lebih direkomendasikan dalam pembangunan rumah 2 lantai di atas lahan bekas sawah.

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, dapat diambil saran bahwa:

1. Karena data yang tersedia hanya data sondir, disarankan untuk dilakukan tes laboratorium atau boring log untuk memperlengkap parameter desain yang akan dipakai dan memperakurat perhitungan.
2. Untuk perhitungan dapat digunakan aplikasi seperti Midas GTS NX agar hasil perhitungan menjadi lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2017). Persyaratan perancangan geoteknik (SNI 8460-2017)
- Budhu, M. (2010). *Soil mechanics and foundations* (3rd Ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Cernica, J. N. (1995). *Geotechnical engineering: Soil mechanics*. Wiley.
- Das, B. M. (1998). *Mekanika tanah (prinsip-prinsip rekayasa geoteknis) Jilid 1*. Erlangga.
- Das, B. M. & Sivakugan, N. (2019). *Principles of foundation engineering* (9th Ed.). Cengage Learning.
- Duncan, J. M. & Buchignani, A. L. (1976). *An engineering manual for settlement studies*. Department of Civil Engineering, University of California.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika tanah 1*. Gadjah Mada University Press.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*. Wiley-Interscience Publication.